

## XV. Nemzetközi Gépész Találkozó

### OGÉT 2007, Kolozsvár

Egy tudományos szervezet tevékenységében a szakmai találkozók a létjogosultságot és a kitűzött célok eléréséhez vezető utat jelentik. Ugyanez a helyzet az EMT Gépészeti Szakosztályánál is, mely 1990-ben jött létre

Az egyik legfontosabb célkitűzésünk a magyar műszaki nyelv ápolása, fejlesztése és a hazai magyar szakemberek összefogása. Az elmúlt évek bebizonyították, hogy ez egy nagyon nehéz, komplex feladat, amit egyedül nem tudunk véghezvinni, szükség van az összefogásra. Ebben óriási szerepe van a kapcsolatrendszerünknek, a belföldi, valamint a magyarországi és más külföldi intézetekkel, szervezetekkel való együttműködésnek.

A másik fontos célkitűzésünk az, hogy a szaktalálkozók keretében lehetőséget biztosítsunk a hazai és külföldi szakemberek kutatási témáinak és eredményeinek bemutatására.

Az utóbbi évtizedeket az informatika, elektronika és mechanika, röviden a mechatronika és a modern technológiák rohamos fejlődése jellemzi, mely maga után vonja új anyagok előállítását is. A kutató munka lassan nem csak a makro-világot, hanem a mikro-világot is meghódítja, a nanotechnológiát és nanomechanizmusokat is beleértve.

A XXI. évszázad első éveiben már modern gépgyártásról beszélünk, melyet az elektronika, informatika és mechanika, azaz a *mechatronika* sikereként lehet elkönyvelni. Az élet minden területén megtaláljuk a mechatronikát, a játékoktól kezdve a számvezérlésű szerszámgépekig. Itt, a fogaskerék-hajtások helyett megjelenik az informatikai lánc, mellyel számítógépek szinkronizálják a különböző mozgásokat, nagy pontosságot és hosszú működési időt biztosítva a gépeknek.

A kutatómunka eredményességét nagymértékben meghatározza, többek között, az egyetemek és főiskolák tanerői, szakemberei által végzett tevékenység, úgy a kutatásban, mint a diákok és doktoranduszok, a jövő szakembereinek felkészítésében, mely kihangsúlyozza azt a tényt, hogy a jelen dinamikus piacgazdaságban egy szakembernek nagyon sok ismerettel, tapasztalattal kell rendelkeznie ahhoz, hogy szakmai sikerélményei legyenek.

Ezt a célt szolgálja a felsőoktatásnak az Európai Unió által javasolt kritériumok szerinti átalakítása, alap-, mesteri- és doktori fokozatú képzésre, így megtartva a helyi jellegzetességeket is, a jól felkészült szakemberek nem ütköznek majd akadályokba az Európa államaiban való munkavállaláskor.

Ugyanezek a változások jellemezték és jellemzik az OGÉT gépész találkozók tematikáját és dolgozatainak tartalmát is. Évről-évre lehet követni a kutatási eredmények fejlődését.

A konferenciák tudományos elismertségét bizonyítja az a tény is, hogy a jelenlévő szaktekintélyek között több hazai és anyaországi egyetem rektora, rektorhelyettese, dékánja, dékánhelyettese, tanácsvezetője, tanára, kutatója, szakembere tette tiszteletét, így a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Miskolci Egyetem (ME), veszprémi Pannon Egyetem (VE), győri Szechenyi István Egyetem (GYE), Kecskeméti Főiskola (KF), Budapesti Műszaki Főiskola (BMF), Szolnoki Főiskola (SZF), Komáromi Selye János Egyetem (SJE), SAPIENTIA Erdélyi Magyar Tudomány Egyetem (EMTE), Brassói Transilvania Egyetem (BE), Kolozsvári Műszaki Egyetem (KME), Gépipari Tudományos Egyesület (GTE), valamint számos más kutató központ és ipari cég képviselői.

Öröndetes az a tény is, hogy a résztvevők soraiban egyre nagyobb a fiatal tanerők, doktoranduszok, egyetemisták és kutatók száma.

A jelen, XV. Nemzetközi Gépész Találkozóznak, az OGÉT 2007-nek, a romániai műszaki képzés élvonalát képviselő Kolozsvári Műszaki Egyetem Mechanika Kara ad otthont, melynek modern tantermei és berendezései meghitt környezetet biztosítanak a szakmai előadásoknak és a szakemberek közötti kapcsolatteremtésnek.

A konferencia egyre növekvő elismertségét bizonyítja az a tény is, hogy az eddigi konferenciák közül, idén mutatják be a legtöbb dolgozatot, melyek az EMT által kiadott Műszaki Szemle (Technical Review) folyóirat különszámában jelennek meg.

Az eddigi találkozók kellemes állófogadással fejeződtek be, melyek keretében évente kiosztottuk a nagyra becsült FŐGÉPÉSZ DÍJAT, melyet olyan hazai és anyaországi szakszemélyiség kaphat, aki elősegítette az EMT működését és kapcsolatrendszerének fejlesztését. Ezt a díjat minden évben egy-egy hazai és anyaországi szakember kapta: Dr. Antal Béla, Dr. Barabás István, Dr. Kerekes László, Dr. Maros Dezső, Dr. Pálffy Károly, Dr. Sándor László, Dr. Szöcs Katalin, *Kolozsvár*, Dr. Hollanda Dénes, Dr. Máthé Márton, *Marosvásárhely*, Péter Péter, *Székelyudvarhely*, Dr. Ábrahám György, Dr. Halmai Attila, Dr. Huba Antal, *Budapest*, Dr. Cselényi József, Dr. Döbröczöni Ádám, Dr. Dudás Illés, Dr. Kamondi László, *Miskolc*, Dr. Boza Pál, *Kecskemét*, Dr. Nagy Vince, *Győr*, Dr. Timár Imre, *Veszprém*.

A találkozók sikeréhez nagyban hozzájárult a jól működő társszervezői kapcsolat a többi egyetemmel, a résztvevők és a dolgozatok számának növelésében. Ennek a kapcsolatnak köszönhetően, a félifürdői találkozón rendezett fogadáson, a miskolci diákok egy sikeres selmechányai szakestet szerveztek. Ugyanennek a jó kapcsolatnak köszönhetően Dr. Csibi Vencel, az EMT elnökhelyettese, a Gépészeti Szakosztály elnöke, megkapta a *Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karának Emlékérmét* és a Gépgyártástechnológia Tanszék "Pro Scientia Technologiae – A technológiatudományért" nevű Bálint Lajos emlékérmét.

Szakosztályunk egyik legnagyobb sikerének könyveljük el, hogy az innen kipattant szikra, javaslat és a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Kara támogatása eredményeként, Dr. Maros Dezső professzort a Magyar Tudományos Akadémia külső tagjává választotta.

Az EMT, az MMÉV-ME és az egyetemek kapcsolatának köszönhetően szakosztályunk több tagja, úgy gyakorló mérnök, egyetemi tanerő, mint végzős diák, egy-egy hetet tölthetett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, a Miskolci Egyetemen, a Veszprémi Pannon Egyetemen vagy a Győri Széchenyi István Egyetemen, tanulmány céljából.

A konferenciák sikeréhez nagyban hozzájárultak az Erdély szépségeit bemutató kirándulások és nem utolsósorban az EMT titkárságának odaadó, profi szervezése.

Végezetül, nyugodt szívvel állapíthatjuk meg, hogy eddigi tevékenységünk és az egyre nagyobb érdeklődéssel várt szakmai találkozóink meggyőzték arról, hogy jó úton haladunk, még aktívabban kell folytassuk eddigi tevékenységünket a legfőbb cél, a magyar szakmai nyelv ápolása és a kapcsolat-teremtés érdekében.

**Dr. Csibi Vencel-József**

az EMT elnökhelyettese  
a Gépészeti Szakosztály elnöke

# Tartalomjegyzék – Content

## Plenáris előadások / Plenary Presentations

Különleges csigahajtások SPECIAL WORM GEAR DRIVES <i>LÉVAI Imre, DUDÁS Illés</i> .....	10
A kockázatalapú karbantartási módszer bevezetése az erdélyi papír iparba RISC BASED MAINTENANCE PROCEDURE INTRODUCTION AT TRANSILVANIA PAPER INDUSTRY <i>GYENGE Csaba, VARGA András, GYENGE Zoltán</i> .....	18
A technikatörténet jelentősége a gépészmérnök képzésben THE ROLE OF HISTORY OF TECHNICS IN MECHANICAL ENGINEERING <i>HORVÁTH Sándor, SZUNYOGH Gábor</i> .....	26

## Szekcióelőadások / Session Presentations

Mérőműszer szintévesztés diagnosztizálására MEASURING INSTRUMENT FOR MAKING UP DIAGNOSIS OF COLOUR DEFICIENCY30 <i>ÁBRAHÁM György, NAGY Balázs Vince</i> .....	30
Osztósík vízszinteség mérő készülék kalibrálásának tapasztalatai CALIBRATION OF THE INSTRUMENT FOR MEASURE THE HORIZONTAL POSITION OF REACTOR MAIN DIVIDING PLANE <i>ÁBRAHÁM György, SZABÓ Tibor</i> .....	34
A térben kapcsolódó fogfelületek között megjelenő csúszási tényezők meghatározása THE CALCULUS OF THE SLIDING COEFFICIENTS BETWEEN THE TEETH SURFACES AT SPACE MESHING GEAR <i>ANTAL Tibor Sándor, ANTAL Béla</i> .....	39
Bio-hajtóanyagok befecskendezési képének vizsgálata STUDY OF BIOFUEL SPRAY IMAGES <i>BARABÁS István, TODORUȚ Adrian</i> .....	43
Polimer – szén nanocső kompozitok tanulmányozása INVESTIGATION OF POLYMER CARBON NANOTUBE COMPOSITES <i>BELINA Károly, ÁDÁMNÉ MAJOR Andrea</i> .....	47
Robotkar ütésgerjesztéses mérése STRESS EXCITATION MEASUREMENT OF ROBOT ARM <i>BENCSIK Attila L.</i> .....	51
Csavarfelületek geometriai hibáinak modellezése MODELING SHAPE ERRORS OF WORM GEARS <i>BERCSEY Tibor, GROMA István</i> .....	55
Ponthegeztett szalagkábelcsatlakozók problémái PROBLEMS OF THE SPOT-WELDED RIBBON CABLE CONNECTORS <i>BERNÁTH Mihály, VÉGVÁRI Ferenc</i> .....	59

Nagyrugalmasságú szilikon szenzorok HYPERELASTIC SILICONE RUBBER SENSORS <i>BOJTOS Attila, HUBA Antal</i> .....	65
Lemezalkatrészek méretváltozásának és felületi érdességének vizsgálata vízzel történő vágás után EXAMINATION OF THE SURFACE QUALITY AND OF THE DIMENSION VARIATION OF PLATE-COMPONENTS FOLLOWING WATER JET CUTTING <i>BOZA Pál, PÁLFI Imre</i> .....	70
Kötőtpályás nyomkarimakenő berendezések beállítási paraméter rendszere TUNING PARAMETER SET OF A WHEEL FLANGE LUBRICATING DEVICE IN RAILWAY VEHICLES <i>BOZÓKY László, NAGY Vince</i> .....	75
Fuzzy logikával vezérelt automatikus gyártórendszer AUTOMATED PRODUCTION SYSTEM CONTROLLED BY FUZZY LOGIC <i>CZIFRA Juraj, VINCZE Koloman</i> .....	79
Planétázás szárazon és vízen PARALLEL PLAIN MOTION „BY LAND AND SEA” <i>DÖBRÖCZÖNI Ádám</i> .....	83
Kerékkabroncs kihasználás optimalizálás WHEEL USAGE OPTIMIZATION IN RAILWAY VEHICLES <i>DÖME Béla, BOZÓKY László, NAGY Vince, ORBÁN Tamás</i> .....	86
Gépszerkezetek végeselemes szilárdságtani modellezési lehetőségei FINITE ELEMENT MODELING OPPORTUNITIES OF MACHINE STRUCTURES <i>ÉGERT János, ÉGERTNÉ MOLNÁR Éva</i> .....	90
Egyszeres teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtóművek elemzése ANALYSIS OF SINGLE POWER SPLIT INFINITELY VARIABLE TRANSMISSIONS <i>FARKAS Zsolt</i> .....	96
„Ellentmondásos” eredmények mikrotopográfiai vizsgálatok esetén “CONTRADICTION” RESULTS IN CASE OF SURFACE MICROTOPOGRAPHY <i>FEKETE Gábor, CZIFRA Árpád, HORVÁTH Sándor</i> .....	100
A fékezés intenzitását kijelző féklámpák emberre gyakorolt hatásainak mérése PROCEDURE FOR MEASURING DIFFERENCES BETWEEN STANDARD AND PROPORTIONAL STOP LAMPS <i>FEKETE Róbert, ÁBRAHÁM György</i> .....	104
Klórtartalmú véggázok újrahasznosítása (Sztrippelő oszlop optimalása) RECYCLING OF END – GASES CONTAINING CHLORINE <i>FEKETE Tamás József, HORVÁTH Géza</i> .....	108
Axiális vízturbina hidraulikai tervezése és a CFD szimulációjának előkészítése HYDRAULIC DESIGN OF AXIAL-FLOW WATER TURBINE AND PRE-TREATMENT OF CFD SIMULATION <i>FODOR Béla, KALMÁR László</i> .....	112
A termomechanikus kezelés hatása a szemcsehatárookra THE EFFECT OF THERMO-MECHANICAL TREATMENT ON GRAIN BOUNDARIES <i>GAÁL Zoltán, SZABÓ Péter, GINSZTLER János</i> .....	116
Gumi próbatetek dinamikus mechanikai analízisének (DMA) hőtani vonatkozásai THERMAL ASPECTS OF DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS (DMA) OF RUBBER SPECIMENS <i>GODA Tibor, SOÓS Enikő</i> .....	121



Genetikai algoritmus (GA) alkalmazhatósága a felületi hullámosság és érdesség rekonstrukciójában USABILITY OF GENETIC ALGORITHM (GA) IN RECONSTRUCTION OF SURFACE WAVINESS AND ROUGHNESS <i>GYURECZ György</i> .....	125
Golyósorsós finompozicionáló asztal digitális PI szabályzása DIGITAL PI CONTROL OF A BALL-SCREWED FINE POSITIONING SYSTEM <i>HALAS J., VALENTA L., CZMERK A., KUCSER I., FEHÉR G., BACSÓ I.</i> .....	129
Többváltozós optimalizálás korlátozó feltétellel a Pro Engineer szoftver felhasználásával MULTIVARIATE OPTIMALIZATION PROBLEM WITH A CONSTRAINT USING THE PRO ENGINEER SOFTWARE <i>HALBRITTER Ernő</i> .....	133
A rudak összhosszának minimalizálási lehetősége a négycsuklós mechanizmus tervezésénél a Pro Engineer felhasználásával MINIMIZATION POSSIBILITIES OF THE TOTAL LENGTH OF BARS IN FOUR-JOINTED MECHANISM PLANNING BY USING THE PRO ENGINEER SOFTWARE <i>HALBRITTER Ernő, KOZMA István</i> .....	137
Hengeres és tárcsás légréstekerceses egyenáramú mikromotorok összehasonlítása COMPARISON OF CYLINDRICAL AND DISC TYPE DC MICROMOTORS <i>HALMAI Attila, LUKÁCS Attila</i> .....	141
Az alkohol mint energiaforrás ALCOHOL AS AN ENERGY SOURCE <i>HANDKI Andrea, LAKATOS Károly</i> .....	145
Excenteres prés gép meghibásodásának vizsgálata EXAMINATION OF FAILURE OF THE ECCENTRIC PRESS <i>N. H. HOANG, A. VARGA</i> .....	149
JIT elv szerint beszállítandó alkatrészek megválasztására szolgáló módszer mechatronikai szerelő rendszerek esetében PRODUCT SELECTION METHOD FOR JIT SUPPLY OF MECHATRONICAL PRODUCT ASSEMBLY SYSTEMS <i>HORVÁTH Attila, KOVÁCS László, CSELÉNYI József</i> .....	154
A magyar íj mechanikája III. THE MECHANICS OF TRADITIONAL HUNGARIAN COMPOSITE REFLEX BOWS III. <i>HORVÁTH Sándor, KÖRTVÉLYESI Géza, LEGEZA László, SZŐLLŐSY Gábor</i> .....	161
Golyósorsós mozgás-átalakító dinamikai modellje DYNAMIC MODELLING OF BALL SCREW MOTION TRANSFORMER <i>HUBA Antal</i> .....	165
A Robert Bosch Mechatronikai Tanszék bemutatása INTRODUCING THE ROBERT BOSCH DEPARTMENT OF MECHATRONICS <i>JAKAB Endre, SZILÁGYI Attila, TATÁR Sándor</i> .....	170
Gázelszívó rendszer számítógéppel segített tervezése optimalizációs eljárások alkalmazásával CAD OF GAS-EXHAUSTING PIPE-LINE SYSTEM USING OPTIMIZATION METHODS <i>KALMÁR László, JANIGA Gábor, SZABÓ Szilárd</i> .....	173
Funkciómegoldások fejlődési lehetőségei a mozgásleképezésben EVOLUTION POSSIBILITIES OF FUNCTION-SOLUTIONS IN MOVEMENT-IMAGE <i>KAMONDI László</i> .....	181

Műanyagalapú lemezalakító szerszámok kopásvizsgálata WEAR-TEST OF SHEET-METAL FORMING DIES OF POLYMER COMPOSITES <i>KARDOS Károly, KIRCHFELD Mária</i> .....	187
A kombinatorikus kinetostatika alapösszefüggései BASIC CORRELATIONS OF COMBINATORICAL KINETOSTATICS <i>KARSAI Géza</i> .....	194
CE megfeleléségi jelölés – mint Európai Közösségi követelmény CE LABELING – AS EUROPEAN COMMUNITY REQUIREMENT <i>KEREKES László, ORBAN Sándor</i> .....	198
Versenyjármű vezetési stratégiája, tüzelőanyag fogyasztásának optimalizálása DRIVING STRATEGY OF A RACE CAR, AND OPTIMIZATION OF THE FUEL CONSUMPTION <i>KESZENHEIMER Attila, RÁCZ László, OLÁH László, BARABÁS István, CSIBI Vencel</i> .....	204
Perforált mikroszűrő membránok terhelhetőségének becslése ESTIMATION OF LOAD CAPACITY OF PERFORATED MICROFILTER MEMBRANES <i>KOVÁCS Ádám</i> .....	208
Űrszonda CCD kamerájának radiometrikus kalibrációja THE RADIOMETRIC CALIBRATION OF A SPACECRAFT CCD CAMERA <i>KOVÁCS Gábor</i> .....	212
Mikroregionális virtuális logisztikai hálózat kialakításának módszere, koncepciója METHOD AND CONCEPTION FOR ESTABLISHMENT OF A MICROREGIONAL VIRTUAL LOGISTICS NETWORK <i>KOVÁCS György, CSELÉNYI József, SOMOGYVÁRI Zsuzsa</i> .....	216
Síkkerekes hullámhajtómű fogazati paramétereinek vizsgálata INVESTIGATION OF THE TOOTHING PARAMETERS OF A FLAT WHEEL HARMONIC GEAR DRIVE <i>KRISCH Róbert, HÁZKÖTŐ István</i> .....	222
A rugalmas-képlékeny peridinamikus anyagmodell vizsgálata ANALYSIS OF ELASTOPLASTIC PERIDYNAMIC MATERIAL MODEL <i>LADÁNYI Gábor, JENEI István</i> .....	226
Megbízhatóság-elemzési eljárások összehasonlítása, értékelése COMPARING AND VALUATION OF RELIABILITY ANALYSIS METHODS <i>LENDVAY Marianna</i> .....	230
Trapéz alakú bordázott lemez optimális méretezése genetikussal OPTIMISATION OF A TRAPEZE SHAPED RIBBED PLATE USING GENETIC ALGORITHMS <i>LISZTES István</i> .....	234
Új típusú aktuátorcsalád mobiltelefonok rezgő hívásjelzésére A NEW FAMILY OF ACTUATORS USED FOR VIBRATION FUNCTION IN CELLULAR PHONES <i>LUKÁCS Attila, HALMAI Attila</i> .....	239
Elméleti profilhiba-mentes egyenesfogú metszőkerék geometriája THE GEOMETRY OF A STRAIGHT TEETHED GEAR CUTTER WITHOUT THEORETICAL PROFILE ERRORS <i>MÁTÉ Márton, HOLLANDA Dénes</i> .....	243
Autóipari beszállítókat segítő virtuális logisztikai klaszter operatív irányítási feladatai OPERATIVE LEVEL CONTROL TASKS OF VIRTUAL LOGISTICS CLUSTER HELPING AUTOMOTIVE SUPPLIERS <i>MÉSZÁROS Ferenc, CSELÉNYI József, ILLÉS Béla</i> .....	247

Az inventív problémamegoldás módszerei METHODS OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING <i>MEZEINÉ NAGY Klaudia</i> .....	253
Térsztrahidak teherbírása elméletben és gyakorlatban THE CARRYING CAPACITY OF THE PASTA-BRIDGES IN THEORY AND IN PRACTICE <i>MOHAROS István</i> .....	257
Családi házak klimatizálásának lehetősége ásott kutak felhasználásával THE POSSIBILITY OF EMPLOYMENT OF THE OUT-OF-ORDER-DUG-WELLS IN THE FIELD OF HOUSE-AIR-CONDITIONING <i>MOHAROS Sándor</i> .....	261
Szervopneumatikus rendszer modelljének linearizálása MODEL LINEARIZATION OF A SERVO-PNEUMATIC SYSTEM <i>MOLNÁR László, CZMERK András</i> .....	265
Ín implantátum konstrukció fejlesztése numerikus módszerrel IMPROVEMENT OF TENDON IMPLANT USING NUMERICAL METHOD <i>MOLNÁR László, PARÓCZI Annamára</i> .....	269
Hidraulikus működtetésű elzáró rendszer nagy rugalmasságú anyagból HYDRAULIC OPERATED, HIGHLY ELASTIC CLOSURE SYSTEM <i>MUKA István, HUBA Antal</i> .....	277
Önjáró flexibilis ürepszonda vezérlése CONTROLLING OF THE SELF PROPELLING ELASTIC ROBOT <i>MUKA István, HUBA Antal</i> .....	281
Az emberi színmegkülönböztetés mérése és modellezése MEASURING AND MODELLING HUMAN COLOR DISCRIMINATION <i>NAGY Balázs Vince</i> .....	285
Kötőtpályás járművek kerékprofiljainak számítógéppel támogatott ellenőrzési technológiája COMPUTER AIDED MONITORING OF WHEEL PROFILE IN RAILWAY VEHICLES <i>NAGY Vince, BOZÓKY László, KISS László, SZAUTER Ferenc, ORBÁN Tamás</i> .....	291
Járműtelevi minta rendszermodell kifejlesztése DEVELOPMENT OF VEHICLE FLEET-YARD SYSTEM MODEL <i>NAGY Vince, DÖME Béla, BOZÓKY László, NAGY Gergely, ORBÁN Tamás</i> .....	295
Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszerek beszállítóinak megválasztása közvetlen és közvetett beszállítások esetén SELECTION OF PURCHASERS OF ASSEMBLY PLANT OPERATING IN NETWORK IN CASE OF DIRECT TRANSPORT AND TRANSPORT THROUGH THE DISTRIBUTION STORES <i>NAGYNÉ GYÜCKER Mónika, BÁNYAINÉ TÓTH Ágota, CSELÉNYI József</i> .....	300
Ruhaipari robotizált rendszerek biztonsági aspektusai SAFETY ASPECTS OF ROBOTIZED SYSTEMS IN TEXTILE INDUSTRY <i>OGORODNIKOVA Olesya</i> .....	306
Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszernél a felhasználók készterméki igényeinek szerelőüzemekhez történő hozzárendelésére szolgáló egyszerűsített és összetett célfüggvényekkel végzett optimalizálások összehasonlítása és érzékenységi vizsgálata COMPARISON AND SENSITIVITY ANALYSIS OF OPTIMISATION FOR ASSIGNMENT OF FINAL PRODUCT REQUIREMENTS OF END USERS TO THE ASSEMBLY PLANTS BY SIMPLIFIED AND COMPLEX OBJECTIVE FUNCTION IN A NETWORK-LIKE OPERATING ASSEMBLY SYSTEM <i>OLÁH Béla, BÁNYAI Tamás, CSELÉNYI József</i> .....	311

Alternáló mozgást végző dugattyúrúd tömítés végeelemes modellezése FINITE ELEMENT MODELLING OF ALTERNANT MOVING ROD SEAL <i>PÁLFI László</i> .....	319
A színes moiréjelenség alkalmazásának vizsgálata síkbeli elmozdulások esetén ANALYSIS OF COLOR MOIRÉ PHENOMENON FOR IN-PLANE DISPLACEMENT MEASUREMENTS <i>PAVELEVA Daria, WENZEL Klára, ANTAL Ákos</i> .....	323
Csőhibák héjelméleten alapuló szilárdságtani vizsgálata MECHANICAL ANALYSIS OF PIPELINE DAMAGES USING SHELL THEORY <i>PERE Balázs, ÉGERT János</i> .....	327
Az eloid kúpkerek illusztrálása a fogazógépen való lefejtésekor a generáló síkkerek segítségével GENERATION OF ELOID BEVEL-GEAR ON TOOTH-CUTTING MACHINE WITH THE GENERATING FACE-GEAR <i>POPA-MÜLLER Izolda</i> .....	334
Többszintes, tömbtárolásos automatizált parkolórendszerek magas tárolótéri kihasználtságot biztosító diszponálási stratégiák esetén az elérhető teljesítőképessége és energiaszükséglete WORKING CAPACITY AND ENERGY CONSUMPTION OF BLOCK-STORING ALLOCATION STRATEGY PROVIDING HIGH STORAGE UTILISATION IN MULTI LEVEL, BLOCK-STORING AUTOMATED CAR PARKING SYSTEMS <i>RÁDAI Levente, CSELENYI József, ILLÉS Béla</i> .....	339
Légrugó numerikus vizsgálata végeelem-módszerrel NUMERICAL ANALYSIS OF AN AIRSPRING BY FEM <i>SZABÓ Tamás</i> .....	346
Villamos mozdony rendellenes kerékkopásainak csökkentése DECREASE OF ABNORMAL WHEEL WEAR IN AN ELECTRIC RAILWAY ENGINE <i>SZAUTER Ferenc, NAGY Vince, BOZÓKY László, DÖME Béla</i> .....	350
A tervezési folyamat költségszempontú elemzése DEVELOPMENT PROCESS ANALYSIS IN COST ASPECTS <i>SZEGHŐ Krisztina</i> .....	354
Pontfelhő alapú felületillesztés és testmodellezés összehasonlítása COMPARISON OF POINTCLOUD BASED SURFACE FITTING AND SOLID MODELING <i>SZIKSZAY-MOLNÁR Gergely</i> .....	358
Polimerek folyásának tanulmányozása spirál szerszám alkalmazásával INVESTIGATION OF FLOW PROPERTIES OF POLYMERS BY SPIRAL MOULD <i>SZŰCS András, BELINA Károly</i> .....	362
Termelő vállalatok készáru raktározása egy részének outsourcingba adási vizsgálata bérraktározási lehetőségek felhasználása esetén OUTSOURCING POSSIBILITIES FOR PART OF FINISHED GOODS STORAGE ACTIVITY OF PRODUCTION COMPANIES BY RENTED WAREHOUSE <i>TAMÁS Péter, CSELENYI József</i> .....	366
Robotizált ruhaipari tervezés ROBOTIZED PLANNING IN TEXTILE INDUSTRY <i>TAMÁS Péter, SOMLÓ János</i> .....	372
Felületek virtuális modellezése VIRTUAL SURFACE MODELLING <i>TEUTAN Emil Octavian, ORBÁN György</i> .....	377

Rácsos tartó modellezése MODELING OF TRUSS-GIRDER <i>TIMÁR Imre, HORVÁTH Pál, LISZTES István</i> .....	381
A réteg-rugalmas féltér rendszer kvázistatikus hőrugalmasságtani feladata THE QUASISTATIC PROBLEM OF THERMOELASTICITY FOR LAYER-HALFSPACE SYSTEM <i>TIMÁR Imre, TURCSIN Igor, SZULIM Georgij, SCSUKIN Valentyin</i> .....	387
Megoldások néhány felület és testmodell adatátvitelre CAD alkalmazások között SOLUTIONS TO SOLVE SOME DATA EXCHANGE PROBLEMS BETWEEN CAD APPLICATIONS REGARDING SURFACE AND SOLID MODELS <i>TOLVALY-ROȘCA Ferenc</i> .....	393
A hatékonyság függvényegyenleteiről II. ABOUT THE FUNCTIONAL EQUATIONS OF EFFICIENCY II <i>TUZSON Ágnes</i> .....	397
Az élhang aeroakusztikai szimulációja AEROACOUSTIC SIMULATION OF THE EDGE TONE <i>VAIK István, PAÁL György</i> .....	401
Új eszközök és sajátosságok a 3D modellezéshez AutoCAD 2007-ben NEW TOOLS AND FEATURES TO 3D MODELING IN AUTOCAD 2007 <i>VARGA Tibor</i> .....	405
Stabilitás vizsgálata környezetbarát esztergálás során fellépő rezgési jelenségek esetén STABILITY EXAMINATION OF VIBRATION PHENOMENA OCCURRING AT ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TURNING <i>VARGA Gyula, RÁCZKÖVI László</i> .....	409
Felületen bevonatolt szerszámok súrlódási tényezőjének mérése szalaghúzó próbával DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF FRICTION OF SURFACE-COATED TOOLS WITH STRIP DRAWING PROBE <i>VÉGVÁRI Ferenc</i> .....	415
Eloszlások leírása és alkalmazása a műszaki életben DESCRIPTION OF DISTRIBUTIONS AND APPLICATION IN TECHNICAL FIELDS <i>VERDES Sándor</i> .....	419
ELEM-i ösztön?! – Hogyan tegyük hatékonyabbá a szárazelem begyűjtést egy automatával HOW TO INCREASE BATTERY COLLECTION LEVEL BY AN „BATTERY-BUYBACK CASH-MACHINE” <i>WÁGNER RÉKA</i> .....	423
A környezetvédelem színes képei COLOR PICTURES OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION <i>WENZEL Klára, SAMU Krisztián</i> .....	428

## Különleges csigahajtások

### SPECIAL WORM GEAR DRIVES

Prof. Dr. LÉVAI Imre<sup>1</sup>, Prof. Dr. DUDÁS Illés<sup>2</sup>

professor emeritus<sup>1</sup>, tanszékvezető, egyetemi tanár<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ME, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék,  
3515 Miskolc-Egyetemváros, +36-46-565-111/17-79

<sup>2</sup>ME, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros,  
+36-46-565-160, ggytdi@uni-miskolc.hu

#### ABSTRACT

*Special worm gear drives (as spiroid, disc, toroid, etc.) contains the semi conical worm gear drives as well, when one element of worm gear pair is conical. The aim of this paper is to call-up and solve some geometrical questions of this relatively new worm gearing.*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*A különleges csigahajtások (spiroid, disc, toroid, stb.) egyik csoportját alkotják a félkúpos csigahajtások, amikor a csigapárok egyike kúpos. Az előadás célja ezen viszonylag új csigahajtás típus néhány geometriai kérdésének felvetése, megoldása.*

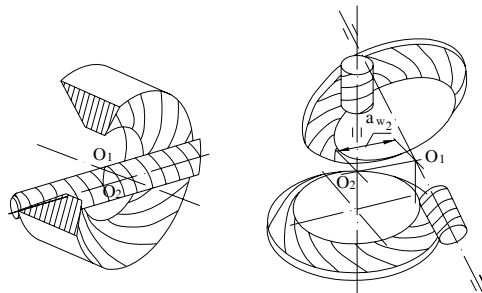
#### 1. FÉLKÚPOS CSIGAHAJTÁSOK

A térbeli különleges hajtások rendszerezésével többek között Erikhov [6], Minkov [14], Drahos [4] foglalkoztak. Litvin [13] munkái is foglalkoznak ilyen hajtásokkal. Magyarországon a hipoid, spiroid és különleges hajtásokkal Lévai [9, 10, 11] spiroiddal Hegyháti [8], Dudás [5], míg a különleges toroid hajtásokkal Bercsey [2] foglalkozott. Különleges hajtásoknak tekinthetjük a belső hordó csigahajtásokat is, melyeket Pay E. [15] és Pay G. [16] publikált. Egyfajta javaslat a Goldfarb [7] által publikált munka.

Cikkünkben a [7] által felvetett úgynevezett félkúpos csigahajtásokkal foglalkozunk, melynek geometriai méretezését, illetve lehetőségét tárjuk fel. Ez a hajtópár elrendezés különleges konstrukciós lehetőségre ad és speciális kis helyszükségletű hajtások alakíthatók ki (például helikoptereknél). A félkúpos csigahajtások vizsgálatához alapként a spiroid hajtást tekintjük. Az [5] irodalomban közölt általános matematikai modell is felhasználható megfelelő paraméterezéssel ezek vizsgálatához.

##### 1.1. Geometriai méretezés, modellezés

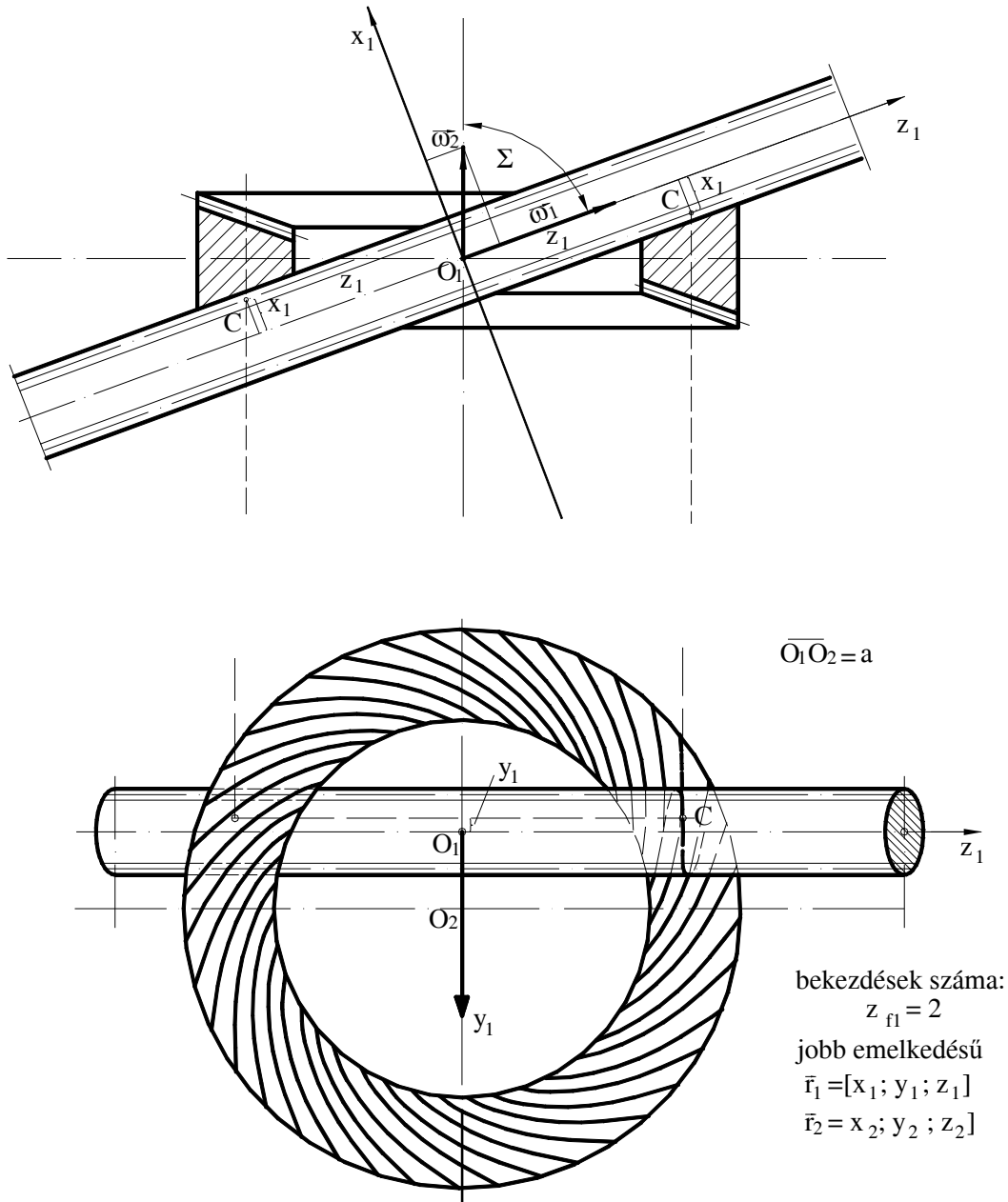
Az 1. ábrán modellezett hengeres csiga – belső, illetve külső kúpos hajtások és a hengeres csiga – síkkerék (toroid) hajtások láthatók [7].



1. ábra

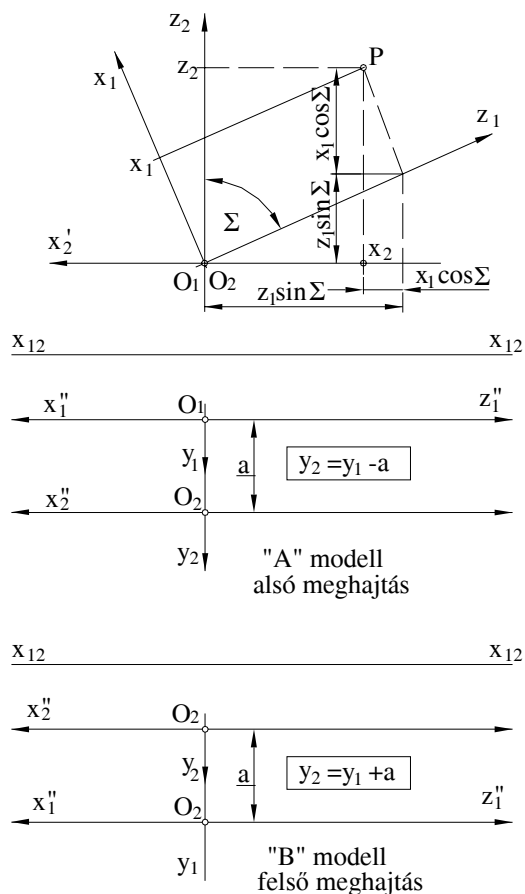
Belső, külső kúpos, valamint toroid hajtások

Ez esetben a **hengeres csiga – belső kettős kúpos kerék** kapcsolódását vizsgáljuk meg. Az eredmények könnyen általánosíthatók a külső kúpos és a síkkerék kapcsolódásokra is. A kiemelt modell a 2. ábrán látható.



2. ábra  
Hengeres csiga – belső kúpkerek kapcsolódása

A 2. ábrára hivatkozva vegyük fel az alábbi 1 és 2 koordináta-rendszereket.



3. ábra  
Alkalmazott koordinátarendszerek

A továbbiakban a 3. ábrán látható, alsó meghajtást reprezentáló „A” modell szerint járunk el. Ezt mutatja be a 2. ábra is. Az ábrák alapján felírjuk a kiindulási adatokat.

$$\vec{\omega}_1 = \omega_1 [0; 0; 1]$$

$$\vec{\omega}_2 = \omega_2 [\sin \Sigma; 0; \cos \Sigma]$$

$$\vec{r}_1 = [x_1; y_1; z_1]$$

$$\vec{r}_2 = [x_2; y_2; z_2]$$

$$x_2 = x_1 \cos \Sigma - z_1 \sin \Sigma$$

$$x_1 = x_2 \cos \Sigma - z_2 \sin \Sigma$$

$$y_2 = y_1 - a$$

$$y_1 = y_2 + a$$

$$z_2 = x_1 \sin \Sigma + z_1 \cos \Sigma$$

$$z_1 = -x_2 \sin \Sigma + z_2 \cos \Sigma$$

$$\vec{\omega}_{12} = \omega_2 [-\sin \Sigma; 0; (\dot{i}_{12} - \cos \Sigma)]$$

$$\vec{v}_1 = \vec{\omega}_1 \times \vec{r}_1 = \omega_1 [-y_1 \vec{i}_1 + x_1 \vec{j}_1] \quad (1)$$

$$\vec{v}_2 = \vec{\omega}_2 \times \vec{r}_2 = \omega_2 [-y_2 \vec{i}_2 + x_2 \vec{j}_2]$$

A koordináta transzformációban résztvesznek az egységvektorok is, azaz



$$\vec{i}_2 = \vec{i}_1 \cos \Sigma - \vec{k}_1 \sin \Sigma$$

$$\vec{i}_1 = \vec{i}_2 \cos \Sigma - \vec{k}_2 \sin \Sigma$$

$$\vec{j}_2 = \vec{j}_1$$

$$\vec{j}_1 = \vec{j}_2$$

$$\vec{k}_2 = \vec{i}_1 \sin \Sigma + \vec{k}_1 \cos \Sigma$$

$$\vec{k}_1 = -\vec{i}_2 \sin \Sigma + \vec{k}_2 \cos \Sigma$$

Transzformáció után

$$\frac{\vec{v}_2}{\omega_2} = \vec{i}_1 (a - y_1) \cos \Sigma + \vec{j}_1 (x_1 \cos \Sigma - z_1 \sin \Sigma) - \vec{k}_1 (a - y_1) \sin \Sigma \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\vec{v}_{12}}{\omega_2} = & - \left[ a \cos \Sigma + (i_{12} - \cos \Sigma) y_1 \right] \vec{i}_1 + \\ & + \left[ z_1 \sin \Sigma + (i_{12} - \cos \Sigma) x_1 \right] \vec{j}_1 + (a - y_1) \sin \Sigma \vec{k}_1 \end{aligned} \quad (3)$$

Itt állítjuk elő az ún.  $\vec{t}$  transzverzális vektort

$$\vec{t} = \vec{v}_1 \times \vec{v}_2. \quad (4)$$

A számítás részletezése nélkül

$$\frac{\vec{t}}{\omega_1 \omega_2} = - (a - y_1) \sin \Sigma \left[ x_1 \vec{i}_1 + y_1 \vec{j}_1 + \left( y_1 z_1 - \frac{ax_1}{\tan \Sigma} \right) \vec{k}_1 \right] \quad (5)$$

Hengeres csigánál a csiga kúpszöge

$$\sin \delta_1 = \frac{\vec{\omega}_1}{\omega_1} \cdot \frac{\vec{t}}{|\vec{t}|} = \vec{k}_1 \frac{\vec{t}}{|\vec{t}|} = y_1 z_1 - \frac{ax_1}{\tan \Sigma} = 0, \text{ ha } \delta_1 = 0, \text{ ekkor tehát}$$

$\vec{t}$  vektor merőleges  $\vec{k}_1$  egységvektorra, így

$$z_1 = \frac{x_1 a}{y_1 \tan \Sigma} \quad (6)$$

A hengeres csigahajtások geometriai tárgyalásának egyik fontos összefüggése, amely a későbbiek során elvezet a **kapcsolódási tengelyek** definíciójához.

Ezzel a megjegyzéssel írjuk fel  $\vec{t}$  egységvektorát, amelyre majd szükségünk lesz.

$$e\vec{t} = - \left[ \frac{x_1}{r_{m1}} \cdot \vec{i}_1 + \frac{y_1}{r_{m1}} \cdot \vec{j}_1 \right] \quad (7)$$

ahol:

$$r_{m1}^2 = x_1^2 + y_1^2.$$

Itt jegyezzük meg, hogy a csigakerék kúpossága:

$$\sin \delta_2 = \frac{\vec{\omega}_2}{\omega_2} \vec{e}_t = \vec{k}_2 \vec{e}_t = -\frac{x_1}{r_{m1}} \sin \Sigma \quad (8)$$

### 1.2. Kapcsolódás tengelyei, fővonalak

A kapcsolótérben egy sajátos egyenespárt alkotnak. Ezekre mindig illeszkednek a kapcsolódásban lévő fognormálisok. A kapcsolódás tengelyei függetlenek az érintkezési pontok koordinátáitól, vagyis térben állandóak. Metszik a legrövidebb tengelytáv vonalát, arra merőlegesen. Ahol ilyeneket fel lehet fedezni, a kapcsolódás geometriája lényegesen egyszerűsíthető.

Ezen a téren jelentős elméleti vizsgálatot végzett Altmann [1] és Litvin [12].

A félkúpos csigahajtások geometriai tervezése tehát nagyobb figyelmet feltételez. Amint az elemzésből következik két megoldás is lehetséges, a tervezőnek kell választani. Az egyik esetben az I., a másik esetben a II. kapcsolódási tengelyen lesz a főpont, de mindkettő kívül van a tengelytávolság vonalán [9].

### 1.3. A hajtás hatásfoka

A műszaki fejlesztés természetes törekvése a jó hatásfokú hajtások tervezése és megvalósítása. Az egyik lehetőség: biztosítani a kedvező hidrodinamikai feltételeket. Csigahajtásoknál ebben az irányban jelentős fejlesztések történtek, amelyek szakmai körökben általában ismertek. Igen jó eredményeket értek el például az ívelt profilú (körív) csigákkal és a hozzájuk kidolgozott technológiákkal [5].

Lehetséges azonban olyan módszer alkalmazása is, amely a fogfelületek „befeszülése” (nagy erők a fognormális irányában) miatt előálló többlet terhelések és veszteségek csökkentéséhez vezet. Ezt a lehetőséget szerző [10] dolgozata ezt bemutatta. A műszaki megoldáshoz – részletezés nélkül – a következő gondolatsoron át juthatunk el. Tegyük fel, hogy **a csiga hajt**. A kerékről levehető teljesítmény alapján a **hatásfok**:

$$\eta = \frac{F_2 v_2}{F_2 v_2 + \mu F_n v_{12}} \quad (9)$$

Ahol:

$F_2$  – kerületi erő a keréken,

$v_2$  – kerületi sebesség a keréken,

$\mu F_n$  – súrlódó erő,

$\mu F_n v_{12}$  – teljesítmény veszteség,

$F_n = F_2 / \cos \alpha_n \cdot \cos \beta_2$  – normális erő

$v_n = v_2 \cdot \cos \beta_2$  – normális irányába eső sebesség komponens.

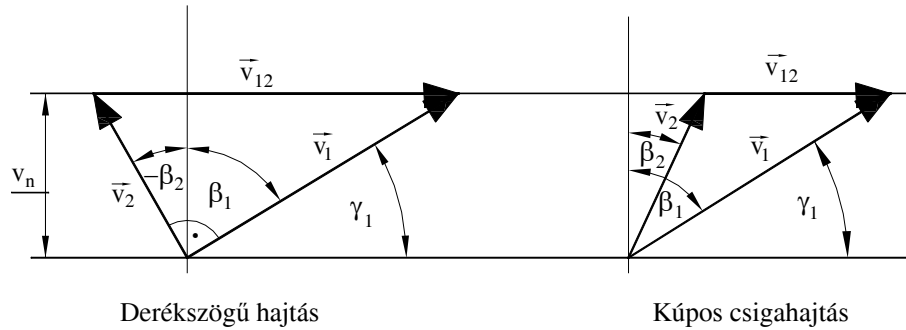
A kifejezések helyettesítése után:

$$\eta = \frac{F_2 v_2}{F_2 v_2 + F_2 v_2 \frac{\mu}{\cos \alpha_n} \cdot \frac{v_{12}}{v_n}} = \frac{1}{1 + \frac{\mu}{\cos \alpha_n} \cdot \frac{v_{12}}{v_n}} = \frac{1}{1 + \frac{\mu}{\cos \alpha_n} \cdot C_v} \quad (10)$$

$$C_v = \frac{v_{12}}{v_n} \quad (11)$$

dimenzió nélküli kifejezést **veszteségszámnak** hívjuk.

Itt nem részletezett megfontolások alapján a veszteségszámot többféleképpen is ki lehet még fejteni. Az egyik, ha felrajzoljuk a kerületi- és relatív sebességek háromszögét.



4. ábra  
Sebességi háromszögek

Az ábra alapján is követhető

$$C_v = \left| \tan \beta_1 - \tan \beta_2 \right| \quad (12)$$

$\beta_1$ -et és  $\beta_2$ -öt előjelhelyesen kell figyelembe venni. Bizonytalanság esetén rajzoljuk meg a vektorháromszöget.

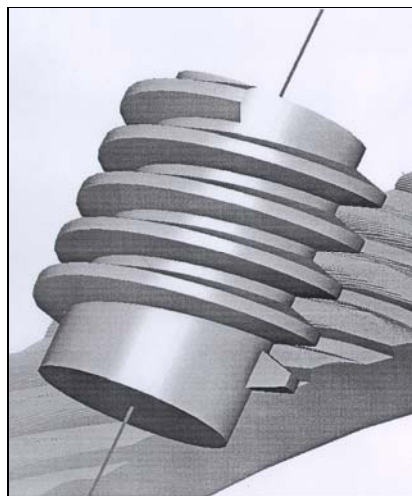
A számításokat derékszögű csigahajtással összevetve, 5-6 %-os hatásfok javulást várhatunk. A hidrodinamikai kenés kialakulásának természetesen ekkor is nagy jelentősége van, vagyis a javulás inkább a normális irányú erők jelentősebb csökkenésére vonatkozik.

#### 1.4. Térbeli hajtások geometriai méretezése

Bármely térbeli hajtás összes geometriai jellegű adatát **hat kiindulási adat egyértelműen meghatározza** [10]. Ezek közül **három alapadat** tengelytávolság ( $a$ ), tengelyszög ( $\Sigma$ ), és a hajtás áttétele ( $z_{f2}/z_{f1}=i_{12}$ ). A **többi három** pedig ezektől és egymástól független geometriai paraméter lehet. A legváltozatosabb kombinációk fordulnak elő. Ezekben a kombinációkban lehet figyelembe venni bizonyos elméleti szempontokat, a technológiát, a gyártószerszámok adatait, stb. Egy-egy tervezési folyamatnál, algoritmusnál, ezeknek a szempontoknak a kialakítását nevezzük **tervezési stratégiának**. A nagy fogazó cégek általában híven őrzik számítási vagy tervezési stratégiájukat.

Ebben a fejezetben egy konkrét példában [18] bemutatunk egy **számítási eljárást**, amely által a **hengeres csiga – belső kúpos csigakerék** főbb geometriai méreteit megkaphatjuk.

A csiga megjelenítése a 5. ábrán látható.



5. ábra  
A csiga modellje

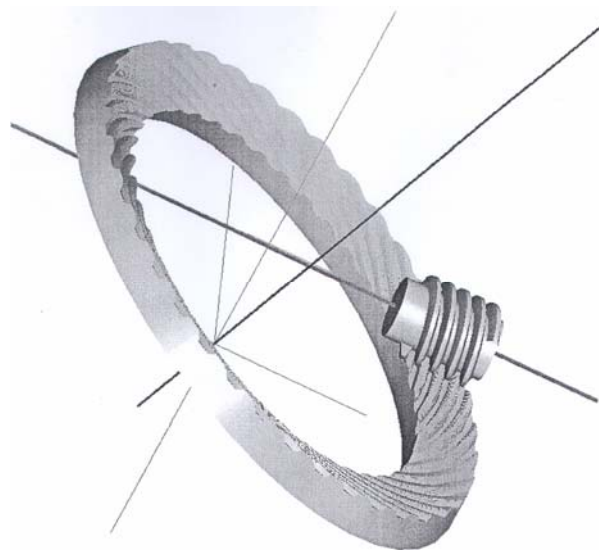
A csiga-kúpkerék fogzatának szimulálása kissé komplikáltabb. Először is szükség van a csiga fogfelületén előálló karakterisztika – vagy pillanatnyi érintkezési vonalakra. (Ezt itt nem írtuk le, nem számoltuk ki). A karakterisztika vonalakat a  $\varphi_1$  forgó koordináta-rendszerből transzformálni kell a kerék tengelye körül  $\varphi_2$ -vel forgó  $K\varphi_2$  koordináta-rendszerbe és pontosan ki kell tűzni a fogfelület határait. Ez mind aprólékos, hosszadalmas munka. Speciális helyzetre tekintettel csak a koordináta-transzformációt adjuk meg.

A csiga – kúpkerék fogfelület pontjainak koordinátái a  $K\varphi_2$  koordináta-rendszerben.

$$\begin{aligned}
 x_{\varphi_2} &= x_1 (\cos \Sigma \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 - \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) - \\
 &\quad - y_1 (\cos \Sigma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \varphi_1 \sin \varphi_2) - \\
 &\quad - z_1 (\sin \Sigma \cos \varphi_2) + a \sin \varphi_2 \\
 y_{\varphi_2} &= x_1 (\cos \Sigma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 + \sin \varphi_1 \cos \varphi_2) - \\
 &\quad - y_1 (\cos \Sigma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 - \cos \varphi_1 \cos \varphi_2) - \\
 &\quad - z_1 (\sin \Sigma \sin \varphi_2) + a \cos \varphi_2 \\
 z_{\varphi_2} &= x_1 \sin \Sigma \cos \varphi_1 - y_1 \sin \Sigma \sin \varphi_1 + z_1 \cos \Sigma
 \end{aligned} \tag{13}$$

A képletben  $x_1, y_1, z_1$  a  $\vartheta$  paraméterrel és  $\varphi_1$  változóval leírt pillanatnyi karakterisztika pontot jelenti [11].

A hajtás geometriai modelljét a 6. ábra szemlélteti. Ez a tengelyhelyzet különleges konstrukciós megoldásokat és alkalmazásokat eredményezhet.



6. ábra  
A hajtás geometriai modellje

## ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiek alapján világosan látható, hogy a félkúpos csigahajtások geometriai méretezése a spiroidra alapozva elvégezhető. A hatásfok és kenés vonatkozásában ezek a különleges csigahajtások adott esetben jó értéket adnak. Meg kell említeni, hogy az utóbbi években a hengeres íveltprofilú csigahajtásokkal [5] igen jó eredményeket értünk el. A hipoid hajtásokra [9, 10, 11] és a toroid [2] hajtásokra kitűnő eredmények adódtak. A félkúpos különleges hajtások egyesítik magukba a hidrodinamikai kenés szempontjából kedvező érintkezési karakterisztikát és jó hatásfokot. Véleményünk szerint e különleges hajtásokra a jövőben jelentős alkalmazás várható.

Készült a K63377 sz., „A gyártásgeometria és a kapcsolódás jellemzőinek komplex vizsgálata korszerű csigahajtások esetében” című OTKA, valamint az MTA-ME Gépgyártástechnológiai Tanszéki Kutatócsoport támogatásával (témavezető: Dr. Dudás Illés)

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Altmann, F.G.: Bestimmung des Zahnflankeneingriffs bei allgemeinen Schraubgetrieben. VDI Forschung aus dem Gebiete des Ingenieurwesens. Berlin, 1937. No. 3.
- [2] Bercsey T.: Toroid hajtások elmélete. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
- [3] Capelle, J.: Théorie et calcul des engrenages hipoids. Dunod, Paris, 19410.
- [4] Drahos, I.: A Wildhaber-Novikov fogazás általánosítása forgási körgyűrű felülettel lefejtett fogfelületek esetére. Kandidátusi disszertáció. Kézirat. Miskolc, 1964., p. 51.
- [5] Dudás I.: Worm Gear Drives. Penton Press, London, 2000.
- [6] Erikhov, M.L.: Systematic principals, analysis methods and gearing scheme synthesis questions. Diss. Doct. Techn. Sc. USSR, Leningrád, 1972., p. 458. (in Russian).
- [7] Goldfarb, V.: Skew Axis Gearing Scheme Synthesis. International Conference on Motion and Power-transmission. 1991. Hiroshima, Japan.
- [8] Hegyháti, J.: Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben. Diss. A. TU. Dresden, 1988., p. 121.
- [9] Lévai I.: Hipoidhajtások tervezésének alapjai. Egyetemi Kiadó, 1994.
- [10] Lévai I.: Definition of the Loss Factor in the Relative Space of Torsion of Gear Trains having Skew Axes. Publications of University of Miskolc. Series C. Mechanical Engineering. Volume 47. 1997.
- [11] Lévai I., Nándoriné Tóth M.: Kapcsolási tengelyek, mint határértékek általános helyzetű csigahajtásnál. GÉP, 2007/2.
- [12] Litvin, F.L.: Gear Geometry and Applied Theory. Prentice Hall, 1994.
- [13] Litvin, F.,L., Fuentes, A.: Gear Geometry and applied Theory. Cambridge University Press. p. 800.
- [14] Minkov, K.: A new approach to basic geometry and classification of nonorthogonal gearing. Proceedings, International Power Transmission and Gearing Conference, Chicago, vol. 2, 1989., pp.: 593-598.
- [15] Pay, E.: Technological Experiments on the Grinding Process of Worm Gears, IMEC 96, Manufacturing Engineering: 2000 and Beyond, Connecticut, U.S.A., Aug. 1996. pp.189-191.
- [16] Pay, G. L.: Belső csigás hajtások PhD. Disszertáció, Miskolc, 2001
- [17] Takahashi, K.: Basic Relationships of Gear mesh with a Contact Line. International Conference on Motion and Power transmission. 1991. Hiroshima. Japan.
- [18] „A gyártásgeometria és a kapcsolódás jellemzőinek komplex vizsgálata korszerű csigahajtások esetében” OTKA K 63377. A kutatás időtartama: 2006-2008. (Témavezető: Dudás I.)

## A kockázatalapú karbantartási módszer bevezetése az erdélyi papír iparba

### RISC BASED MAINTENANCE PROCEDURE INTRODUCTION AT TRANSILVANIAN PAPER INDUSTRY

Dr. Dr.H.c. GYENGE Csaba<sup>1</sup>, VARGA András<sup>2</sup>, GYENGE Zoltán<sup>3</sup>

<sup>1</sup>egyetemi tanár, az MTA külső tagja

Kolozsvári Műszaki Egyetem

<sup>2</sup>PhD hallgató, Kolozsvári Műszaki Egyetem

<sup>3</sup>szoftverfejlesztő OK Pat, Svájc

#### ABSTRACT

*After a detailed analyze of the construction and the behavior in exploitation of the paper manufacturing complex equipments there has been established a clear evidence of the different sources of failures. Based on this it was elaborated a repair program which follows the „risk based maintenance” methodology. Also, in this paper there are presented different characteristic aspects of the defects appeared during exploitation.*

#### 1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedben bekövetkezett ipari fejlődés - gazdasági globalizáció, erősödő versenyképesség, minőségi célkitűzések - felhívta a figyelmet a műszaki felügyelet és karbantartás szerepére. Az ipari szerkezetek különböző kopási, rongálódási, koroziós degradációs folyamatoknak vannak kitéve, amelyek meghibásodáshoz vezetnek.

A meghibásodások egyre kevésbé elfogadhatóak az ipar számára, mivel sérüléseket és termelési veszteségeket okozhatnak, valamint megengedhetetlen költségeket jelentenek.

A rendszeres felügyelet és karbantartás célja az, hogy a hibák és hatásuk elkerülhetőek legyenek, és megfelelő rendszerezéssel kulcs-szerepet töltsenek be a gyártó berendezések versenyképességében és a dolgozók biztonságában.

Jelenleg a karbantartási költségek az üzemeltetési költségek jelentős részét teszik ki. A nehéziparban, mint pl. acélipar vagy cellulóz és papíripar, elérheti akár a teljes gyártási költségeknek a 40%-át is (Mobray,1992). A felügyeleti és karbantartási tevékenységeknek két fő célja van:

- ◆ Balesetek elkerülése, amelyek csökkenthetik a biztonságot vagy környezeti károkat okozhatnak,
- ◆ A berendezés, üzemi működési állapotának maximális biztosítása.

A kockázat alapú döntés nem jelent új fogalmat, azonban használata a felügyelet-karbantartás tervezésben még mindig gyerekcipőben jár számos ipari területen. Ennek a módszernek a minősége és gyakorlati alkalmazása a fejlett ipari országokban jelentős mértékben terjed.

#### 2. CÉLKITŰZÉSEK

Kutató csoportunk a Sapientia Kutatási Pályázat által támogatott projekt keretében, egy átfogó tanulmányt készített a kockázatalapú karbantartási módszerek bevezetése főleg a cellulóz és papír iparban. A projekt fő szakmai célkitűzései a következők voltak:

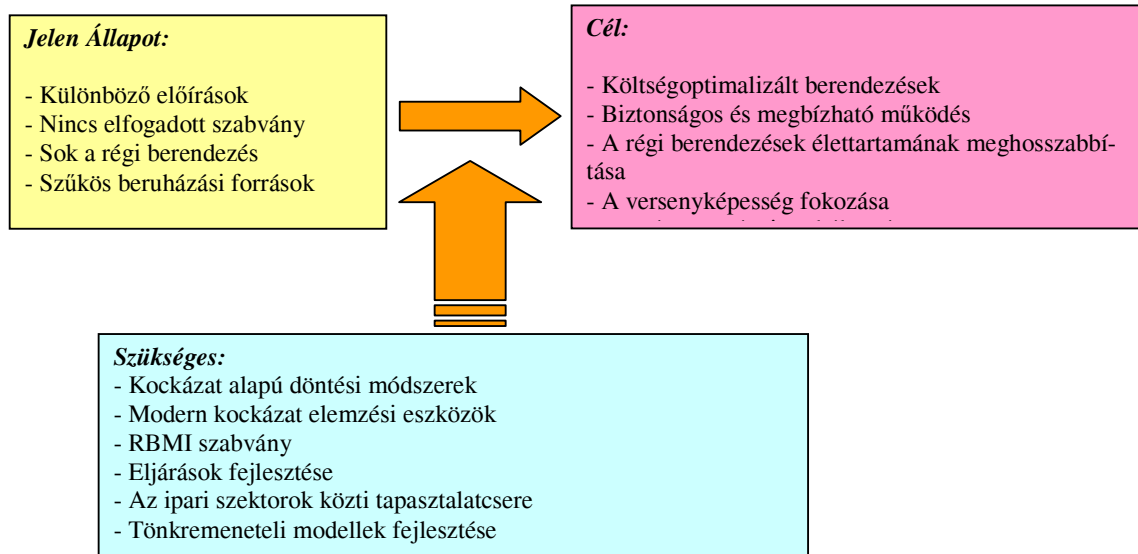
- ◆ Egy következetes módszertan kidolgozása, és egy átfogó program elkészítése az Erdélyi ipari vállalatokban való bevezetésére,
- ◆ A felügyeleti tevékenység összekapcsolása a karbantartás tervezéssel a döntési logikán keresztül,
- ◆ A „kemény” és a „puha” ismeretek alkalmazása a kockázattértékelésben annak érdekében, hogy javítsa a kockázati döntési logikát valamint az elemzési eljárást.

### 3. A KUTATÁS TUDOMÁNYOS HÁTTERE, ELŐZMÉNYEI

A kockázatalapú felügyelet és karbantartás (Risk Based Inspection and Maintenance-RBIM) fogalma jó pár éve ismert és használatos, de a terjedelmes bevezetése az ipari gyakorlatban napjainkban is folyamatosan fejlődik még a nyugati országokban is.

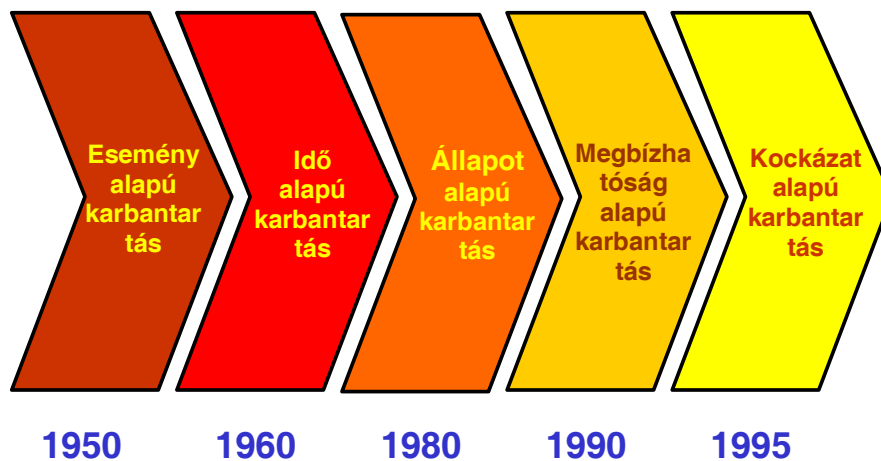
A kockázatalapú módszerek ipari alkalmazása az Egyesült Államokból indult, az ehhez kapcsolódó első előírások, szabványok kidolgozása a múlt évtizedekben kezdődött, illetve napjainkban is folyik (ASME - American Society for Mechanical Engineers; API- American Petroleum Institute; EPRI- Electric Power Institute).

Európában a módszer Risk Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry – RIMAP - címmel került kidolgozásra. Ennek lényegét az 1. ábra foglalja össze, amely kiterjed a jelenlegi európai helyzet alapos felmérésére, a szükséges tevékenységek megfogalmazására és a célokban rögzített elvek alapján történő megvalósításra.



1. ábra  
A RIMAP módszer struktúrája

A karbantartási stratégiák fejlődését a 2. ábrán szemléltetjük



2. ábra  
A karbantartási stratégiák fejlődése (Tóth 2002)

A hálózatban 35 partner vett részt (Magyarországot a Miskolci Bay Zoltán Intézet képviselte). A csatlakozásra váró országok közül Románia 2004-ben kezdte meg a hálózatban való bevezetését.

Ennek érdekében 2004 július 1-én megrendezésre került Turnu Severin-ben az első RIMAP szeminárium. Ennek következtében Romániát bevették a RIMPAP- NAS programban amelyben az újonnan integrált, valamint a váró országok vesznek részt.

A Kolozsvári Műszaki Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszéke, Dr. Gyenge Csaba irányításával, 2005 május 19-én rendezte meg az első romániai RIMAP workshopot amelyen a Bay Zoltán Intézet részéről részt vett Dr. Tóth László - igazgató, a Temesvári ISIM intézet részéről Dr. Mateiu H. igazgató, valamint több mint 20 szakember, 15 erdélyi ipari vállalatból (Gyenge 2005).

Ennek keretében ismertették a módszer és a projekt lényegét és felmérés készült az érdeklődésről.

## **4. KOCKÁZATALAPÚ FELÜLVIZSGÁLATI ÉS KARBANTARTÁSI ELJÁRÁSOK**

### **4.1 Összefoglalás és feladatok**

Az energia, az offshore és a petrokémiai iparban napjainkban végzett kockázat alapú felülvizsgálati és karbantartási tevékenységek értékelésének fontos következtetése az, hogy minden módszer ugyanazon az elven alapszik:

*Kockázat = Tönkremenetel következménye x Tönkremenetel valószínűsége [Tóth 2002].*

A felügyelet és a karbantartás legfontosabb jellemzői az iparban:

- ◆ Energia - elmozdulni az időalapútól az állapotalapú felé
- ◆ Offshore - elmozdulni az időalapútól az állapot-, és kockázatalapú felé
- ◆ Petrokémia – Papíripar- elmozdulni az időalapútól a kockázatalapú felé

### **4.2 Az RBMI (Risk Based Maintenance and Inspection - Kockázat Alapú Karbantartás és Felülvizsgálat) főbb hajtóerői:**

- ◆ Energia (atomerőművek) - növelt biztonság és használhatóság
- ◆ Energia (fosszilis tüzelésű erőmű) - élettartam megnövelése és költségcsökkentés
- ◆ Offshore - kockázat menedzsment (biztonság, környezet, gazdaság), a szerkezetre – költségcsökkentés (felügyeleti költségek)
- ◆ Petrokémia- vegyipar, papíripar - költségcsökkentés, felügyeletek gyakoriságának csökkentése, javul az üzembiztonság

*Az RBI A következő berendezésekre, összpontosít :*

- ◆ Erőművek - forgó, statikus (főleg a forgó elemek)
- ◆ Offshore - víz feletti szerkezetek (statikus, csövek), csővezetékek
- ◆ Petrokémia – papíripar, statikus, csövek, kazánok, stb.

*Az RBMI elemzés megvalósítási lehetőségei:*

Az általános módszer esetében az alábbi követelmények fontosak:

- ◆ az alkalmazottak( karbantartó szakemberek) képzése, és betanítása;
- ◆ a módszer partikularizálása az adott berendezések és a vállalat sajátosságaihoz illeszkedve;
- ◆ auditok és felülvizsgálatok elvégzése.

*A meghibásodási valószínűség:*

A meghibásodási valószínűség meghatározásánál a következőket kell figyelembe venni:



- ◆ az előző évek meghibásodási frekvenciáját,
- ◆ a szerkezet maradék élettartamát,
- ◆ a konkrét üzemeltetési tényezőket (pl.: emberi tényezők)

**A meghibásodások főbb következményei:**

A meghibásodások esetében a következő károkkal kell számolni:

- ◆ üzembiztonsági zavarok (tűz-, és robbanásveszély),
- ◆ egészségkárosodás (mérgezés-, tűz-, és robbanásveszély)
- ◆ környezeti hatások
- ◆ gazdaságossági tényezők (költségsökkentés, leszállítások elmaradása, minőség csökkentése, a vállalat presztízsének csökkenése, stb.)

### 4.3 A kockázatalapú karbantartás tervezésének főbb elvei

Egyelőre Romániában még nincsenek kidolgozva és elfogadva a megfelelő ipari szabványok a kockázati kritériumok meghatározására. Ezért kutatásaink keretében a nemzetközi normatívumokat alkalmazzuk.

A kockázat, vagy kockázati szint számításánál az alábbi szempontokat kell figyelembe venni és meghatározni:

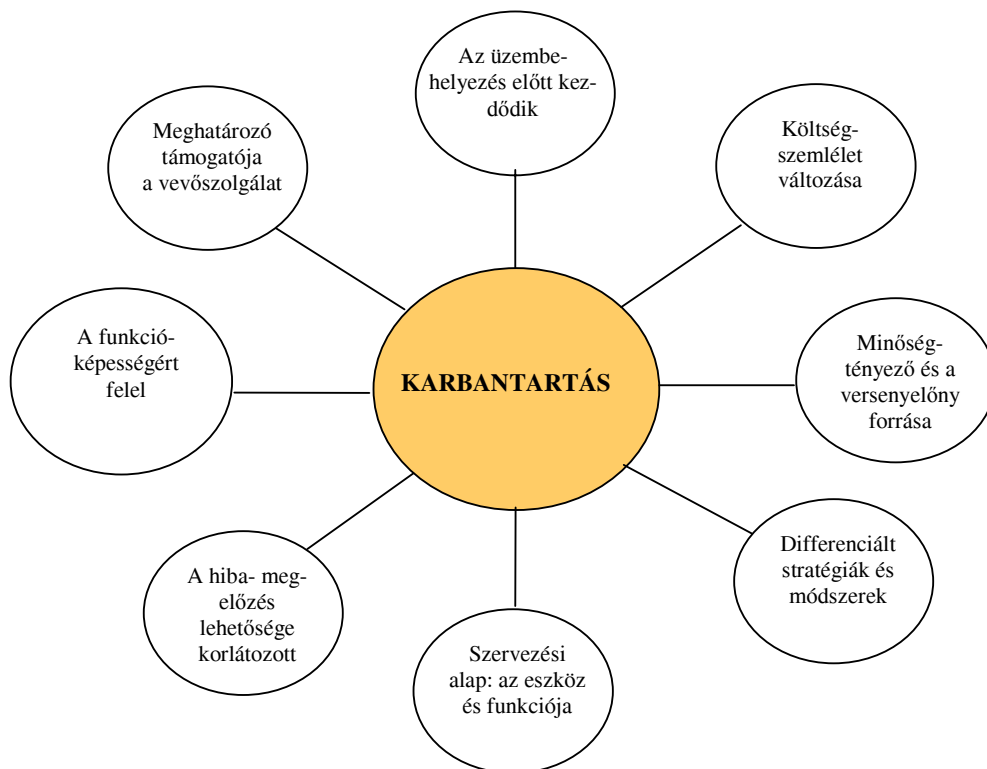
- ◆ maximális kockázat,
- ◆ az elfogadott biztonsági szint meghatározása,
- ◆ a kockázatcsökkentési lehetőségek feltérképezése, a megfelelő módszer kidolgozása,
- ◆ a költségek, valamint az új karbantartási módszer gazdasági eredményeinek meghatározása,
- ◆ a rendelkezésre álló eszközök segítségével, meghatározni kimérni a biztonsági, és a kockázati paramétereket, valamint a valószínű emberi életveszélyt (PLL-Probability of Loss of Life),
- ◆ a végzetes baleset mértékét (FAR - Fatal Accident Rate), stb.

Néhány példa a kockázati kritériumokra (1. táblázat):

1. táblázat

Kockázati kritérium	Megjelenési formája
Pénzügyi kockázat (üzleti hatás)	Leállítás költsége / nap
Beruházási kockázat (nyereség veszteség)	Berendezések javítási költsége
Biztonság csökkentés költsége / év	Környezeti költség / év
Valószínűsíthető emberi életveszély	Események / év
Végzetes baleset mértéke	Események / év

#### 4.4 Termelésorientált karbantartási alapelvek



3. ábra

*A karbantartás néhány megváltozott alapelve*

## 5. GYAKORLATI KUTATÁSOK ÉS FELMÉRÉSEK

### 5.1 Kockázatalapú felülvizsgálati és karbantartási eljárások bevezetése a papír feldolgozó iparban

A kutatásunk, főleg a Somes S.A (Dej) vállalatra összpontosult, amely a SCR társaság tagja. Ennek a vállalatnak a 2004-es termelése 20.000 tonna papír és több mint 25.000 tonna cellulóz volt.

A kutatás keretében a következő szempontokat vettük megfigyelve:

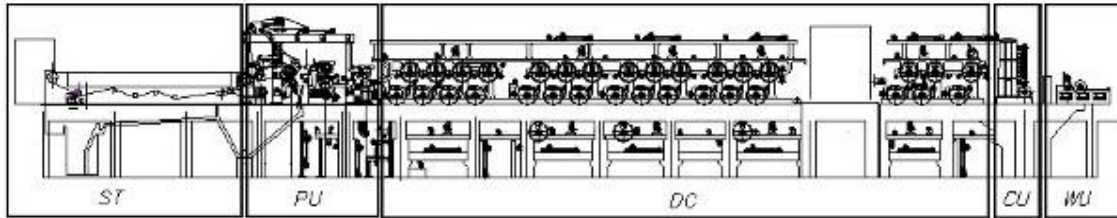
- a használt aggregátok konstruktív jellemzői,
- a jellegzetes kopások és meghibásodások, az ezek által okozott működési megszakítások,
- a karbantartási technológiák és a korszerűsítési megoldások.

A papír feldolgozására szakosodott Somes S.A vállalat egyik legnagyobb nehézsége a komplex technológiai felszerelések karbantartása.

Figyelembe véve, ennek a vállalatnak a 2004-es nagy mennyiségű papír és cellulóz feldolgozását, modern és versenyképes metodológia kidolgozása vált szükségessé.

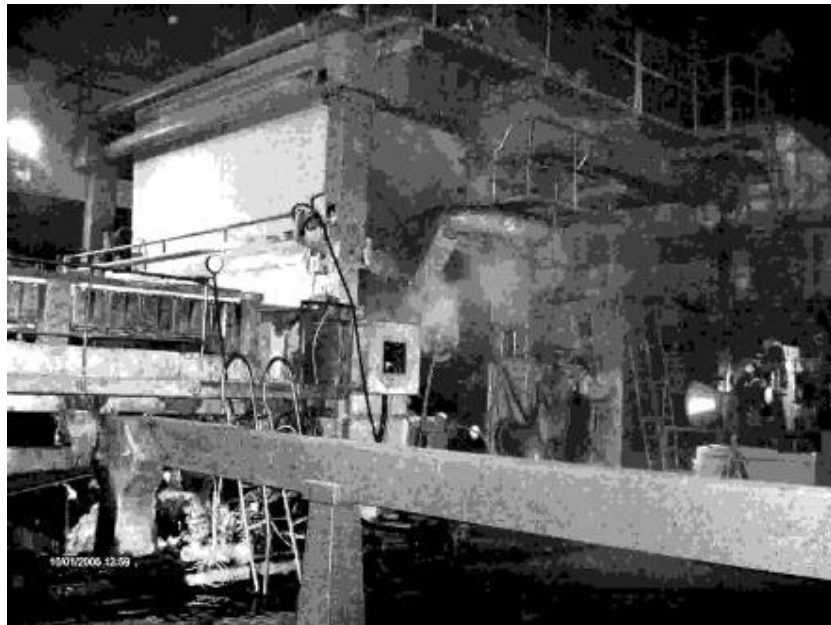
### 5.2 A papírgyártó berendezések leírása

Az elemzett berendezés sémája a 4. ábrán és egy fényképe az 5. ábrán látható.



ST (the table of the sieve) - a szita asztal, PU (press unit) - a préselő egység, DC (drying cylinders) - a szárító hengerek, CU (calender unit) - a kalander egység, WU (wrapping unit) - a csomagoló egység  
4. ábra

*A papírgyártó berendezés elvi rajza*



5. ábra

*A papírgyártó berendezés áttekintő nézete*

### 5.3 A berendezések nem szándékos leállításainak áttekintése

2000-es évvel kezdődően a cég pontos nyilvántartást tartott a berendezések nem szándékos leállításokról. Kutatásunk keretében ezeket négy csoportra osztottuk (2.táblázat):

2. táblázat *A papír berendezés nem szándékos leállításai működési órákban*

Év	Műszaki	Elektronikai	Mechanikai	Össz leállások
2000	175	87	96	358
2001	164	94	94	352
2002	142	115	88	345
2003	152	26	65	243
2004	74	14	20	108

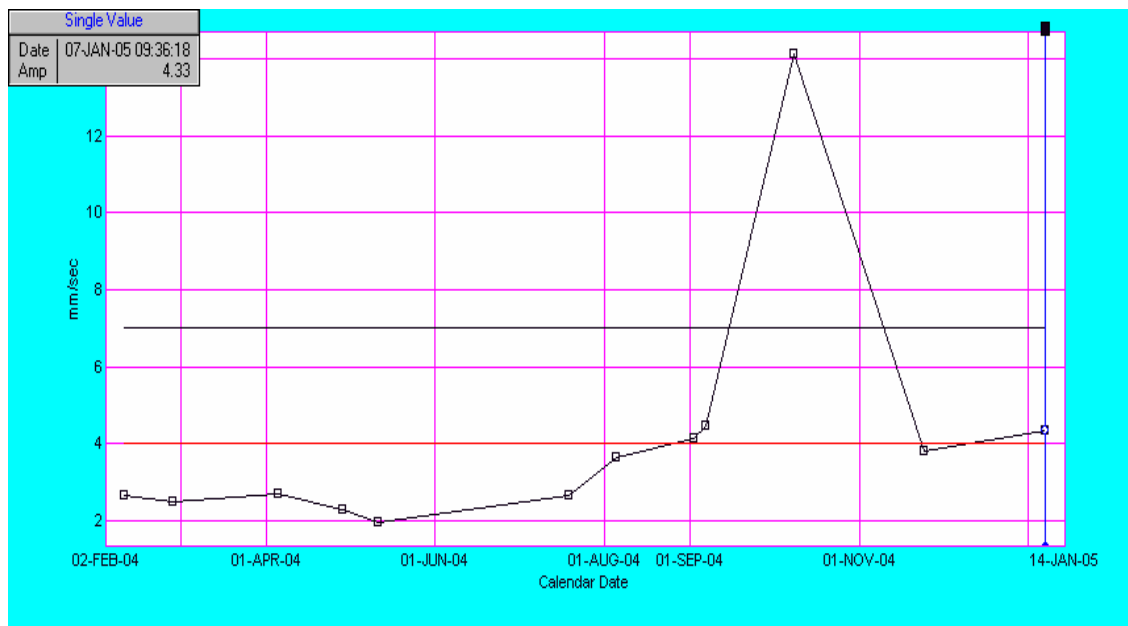
A táblázatból láthatjuk, hogy az új felügyeleti módszerek bevezetésnek köszönhetően az utolsó 5 évben az össz meghibásodások száma fokozatosan csökkent.

#### 5.4 A berendezés állapotának ellenőrzési módszere

A berendezés állapotának egyik leghatékonyabb felülvizsgálási módja a rezgések mérése. Ebből a célból egy Microlog CMVA60 és egy Martin-Condition Detectort használtunk amelyekkel a rezgések ütemét mértük meg a következő irányokban:

**H** - vízszintes, **V** -függőleges, **A** - tengelyirányban.

A 6. ábrán a vízszintes rezgések láthatók.



6. ábra

*A berendezés szivattyújának a vízszintes rezgéseinek ütemének változása*

Amint az ábrán is látható az első hat hónapban a rezgési ütemek normális határok között ingadoztak. 2004 augusztusában azonban ezek hirtelen növekedni kezdtek. Megfelelő karbantartási intézkedések révén ezeket újból a normális tartományba hoztuk.

A 7.ábrán egy pár jellegzetes kopási jelenséget láthatunk, amelyek a papírgyártó berendezésnél észleltünk.



a) a szivattyúban;

b) a választó szitában;

c) a fogaskereken

7.ábra

*Jellegzetes kopások a papírgyártó berendezésnél*

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK

A kockázatalapú karbantartás (RIMAP) komplex gyakorlati bevezetése egy ilyen nagy kombinációba, mint a S.C.SOMES Dés, további kutatásokat és beruházásokat igényel.

A vállalattól megkapott meghibásodások nyilvántartásait, valamint ezek következményeinek feljegyzéseit részletesen elemeztük a Miskolci Bay Zoltán Intézet szakembereivel közösen és ennek alapján kidolgoztunk egy közös együttműködési tervet a RIMAP módszer komplex bevezetésére.

Az előzetes felértékelések szerint, a bevezetéshez több mint 100.000 EUR-ós beruházás szükséges, úgy célszoftverek, mint további felülvizsgálati berendezések beszerzésére. A tárgyalásokat megkezdjük és várjuk a cég vezetőségének a döntését.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Gyenge, Cs., Fülöp,I., Hosu, A. és Costea, A. Main aspects regarding the maintenance of equipments for paper and pulp Industry. Proceedings of 9<sup>th</sup> TMT 2005 Conference ,Antalia,Turkey, ISBN 9958-617—28-5., 1169-1174 old.
- [2] Gyenge,Cs., Fülöp,I., Hosu,A. és Costea, A. Some characteristic aspects regarding the maintainance of equipments for paper and pulp industry. In: MicroCAD2005, International Scientific conference,Miskolc,10-11 March 2005,section M, 31-36 old.
- [3] Pecht, M. Product Reliability,Maintenability and Supportability Handbook, New York, CRP Press,1995.
- [4] Vermes Pál. Termelésorientált karbantartási alapelvek. ÉszakkeletMagyarország, 2001,03. 8-11 old.
- [5] Toth,L., Szávai Szabolcs. Kockázat alapú karbantartási stratégiák - Európai törekvések- RIMAP. GÉPGYÁRTÁS 2002. január-február, 19-22 old.
- [6] Megyeri, I. Gondolatok a teremelésbiztonság és a karbantartás összefüggéséről.: Északkelet Magyarország, 2000, 43-44 old.

## A technikatörténet jelentősége a gépészmérnök képzésben

### THE ROLE OF HISTORY OF TECHNICS IN MECHANICAL ENGINEERING

Dr. HORVÁTH Sándor<sup>1</sup>, Dr. Habil. SZUNYOGH Gábor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>főiskolai docens, dékánhelyettes

<sup>1,2</sup> Budapesti Műszaki Főiskola

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

1081 Budapest, Népszínház u. 8.

Tel.: +36-1-666-6345, fax: +36-1-666-5423,

horvath.sandor@bgk.bmf.hu, www.banki.hu

<sup>2</sup> főiskolai tanár, muzeológus, Országos Műszaki Múzeum

#### ABSTRACT

*The paper gives a short overview of prime movers of the Hungarian Museum for Science and Technology and about the cooperation between Museum and Budapest Tech. Main objects are in cooperation to acquaint the student of mechanical engineering with evolution of science of engineering. We explain - through walk of life of Donát Bánki famous all over the world - that the Life Long Learning is a challenge not only- in our days.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk röviden bemutatja az Országos Műszaki Múzeum erőgép gyűjteményét. Ismerteti a múzeum és a Budapesti Műszaki Főiskola közötti együttműködést, melynek fő célja, hogy a gépészmérnök hallgatók a gépészeti tudományok fejlődését megismerjék. A világhírű gépészmérnök, Bánki Donát életútján keresztül rávilágítunk arra, hogy az élethosszig való tanulás kényszere nem csak a legújabb idők kihívása.*

**Kulcsszavak:** technikatörténet, gépészmérnök-képzés, gépfejlődés, Life Long Learning

#### 1. BEVEZETÉS

A technikai fejlődés menetének bizonyítékául szolgáló tárgyak, dokumentumok és egyéb alkotások megőrzésére 1954-ben jött létre a Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport, amely 1973-ban Országos Műszaki Múzeum néven múzeumi rangra emelkedett. Raktár- és irodaépületei *Budapest XI. kerületében, a Kaposvár utca 13-15* alatt található, ahol az elmúlt fél évszázad gyűjtőmunkája révén igen gazdag tárgyi anyagot gyűlt össze. E gyűjtemény azonban sajnálatos módon a nagyközönség előtt a közelmúltig „el volt rejtve”, mert állandó kiállításainak befogadására tervezett épülete nem valósult meg. Annak érdekében, hogy a kollekcója mégis közkinccsé válhasson, raktárainkat un. tanulmánytárként megnyitottuk a látogatók előtt.

A tanulmánytár lényege, hogy ott a műtárgyak nem tágas termek „hermetikusan lezárt” vitrinjeiben foglalnak helyet, hanem polcsorokra, sűrűn egymás mellé rakva, de jól láthatóan kerültek elhelyezésre. Ennek hátránya ugyan, hogy a tárgyak viszonylag zsúfoltan helyezkednek el, nincsenek el látva részletekbe menő feliratokkal és kiegészítő információkkal, viszont a látogatók gyűjteményünknek sokkal több tárgyát megismerhetik, ill. — megfelelő felügyelet mellett — kiemelhetik vizsgálatra, tanulmányozásra.

A műszaki muzeológiai tevékenység és az oktatás összekapcsolására kiváló alapot nyújt a Budapesti Műszaki Főiskola és az Országos Műszaki Múzeum között 2005-ben létrejött együttműködési megállapodás. Ennek szellemében a BMF Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara

igen szoros tanulmányi kapcsolatot alakított ki az Országos Műszaki Múzeummal. A Múzeum — un. kooperatív képzés keretében — szemeszterenként több hallgatót folyamatosan foglalkoztat, lehetővé téve számukra, hogy gyakorlati tapasztalatokat szerezzenek a műszaki muzeológia feladatainak megoldásában. A tanulmánytár hatékony kihasználását szolgálja, hogy a Főiskolán megalakult a Bánki Donát Hagyományörző Kör, valamint meghirdetésre került a *Had- és technikatörténet* című tantárgy.

Jelen munkában vázlatosan — elsősorban figyelemfelkeltés céljából — ismertetjük a tanulmánytár azon részének felépítését, melyet közvetlenül hasznosítunk a gépészmérnök képzésben. Célnk, hogy a főiskola hallgatói megismerjék azt az utat, melyet a gépészeti tudományok bejártak, míg fejlődésük eljutott a mai *erőgépek* műszaki színvonalára. Nyilvánvaló, hogy a főiskola szaktárgyi tananyagában nem szerepelhetnek azok a gépek, melyek a fejlődés korábbi stádiumait képviselik, és ma már egyáltalán nem használják azokat, de a fejlődés útját, mérnökelődeink munkáját illik ismerni, hiszen szervesen hozzátartoznak műszaki kultúránkhöz. Szeretnénk elérni, hogy diákjaink felismerjék a gépészet fejlődésére is jellemző *megszűntetve megőrzés elvét*: bár a technikai haladás során a gépek *egésze* alapvető átalakulásokon megy keresztül, (bizonyos korok uralkodó gépei teljesen eltűnnek, akár a biológiai fejlődés ősellatai), de praktikus elemei vagy működési elvei megmaradnak, és a korszerű berendezésekben is fellelhetők. Hallgatóinkat egy képzeletbeli „időutazásra” visszük: azt játszunk, hogy XVIII. és XIX. századi gőzgéptervezők, hőlégmotor-konstruktőrök, turbinamérnökök vagyunk, és átlátva megoldandó problémáikat, megpróbáljuk követni gondolatmenetüket egy-egy feladat megoldása kapcsán. Alább röviden ismertetjük e technikatörténeti séta főbb állomásait.

## 2. A DUGATTYÚS GŐZGÉPEK FEJLŐDÉSE

Az erőgépek fejlődési útját a *gőzgépek kialakulásának műszaki-fizikai előzményeivel* kezdjük. Elvégezzük a gőzgépek kialakításához vezető híresebb fizikai kísérleteket, majd a hallgatóságot végigvezetjük a *gőzgépek fejlődésének főbb állomásain*, kezdve az atmoszférikus gőzgépekkel, folytatva az alacsony nyomású gőzgépekkel, végül taglalva a nagynyomású gőzgépeket. Annak érdekében, hogy érzékeltethessük a gőzgépek XVIII. és XIX. századi szerepét, áttekintjük a *gőzgépek legjellegzetesebb alkalmazási területeit*. Szóba kerülnek a bányavízmentesítő telepek és a különböző gőzzel működő szállítógépek. Kiemeljük a gőzgépek szerepét a közlekedésben, a munkagépek energiaellátásában és különböző energiaellátó berendezésekben.

A további technikai részletek megértéséhez *át kell tekinteni a maga idejében korszerű, nagy-nomású gőzgépek működési elvét, szerkezetük főbb elemeit*. Erre szolgálnak modell-metszeteink és 5-25 tonnás eredeti méretű gépeink. Megvalósítandó azt a célt, hogy hallgatóink valóban mérnöki szemüvegen keresztül lássák a technika fejlődésének menetét, tanulmánytárunk felkészült mindazoknak a gőzgépekhez kapcsolódó gépelemeknek és gépszerkezeteknek a részletes bemutatására, melyek átöröklődtek a mai gépekre is. Világosan elkülöníthetők rajtuk azok a szerkezeti elemek, melyeket ma is használnak azoktól, melyek eleve technikai zsákcának tekinthetők, vagy amelyek az „utolsó percig” korszerűek voltak ugyan, de a dugattyús gőzgépekkel együtt „kihaltak”. A gőzgépek legfontosabb szerveinek sorát a gőzellátó berendezések bemutatásával kezdjük. Gyűjteményünkben megtalálhatók mind a XIX. század végén használatos gőzkazánok (100 éves) modell-metszetei, mind a Láng Gépgyár által a XX. század közepéig gyártott különféle kazán-modellek. Ezek nem csak tüzeléstechnikai érdekességeik miatt fontosak, hanem rávilágítanak az energiaátalakulási lánc azon elemére, melynek során a tűz mechanikailag közvetlenül hasznosíthatatlan „melege” (belső energiája) munkavégzésre alkalmas „nyomási energiává” válik. Közvetlenül szolgálják a mai gépészmérnök képzést a *gőzgépekben előforduló nevezetesebb mechanizmusok* gyűjteményünkben őrzött, kézzel mozgatható, XIX századi oktató modelljei. A modellek lehetővé teszik, hogy hallgatóink a mechanizmusok kinematikáját ne csak papírról ismerjék meg, hanem saját kezűleg működtetve közvetlenül is tanulmányozhassák azokat.

Hasonló mondható el a *gőzgépek szabályozó berendezéseiről* is. 1,2 m magas, 150 kg tömegű centrifuga-regulátort semmilyen gépen sem láthatunk már, de éppen nagy mérete teszi áttekinthetővé. Hajdani síjtárcsáján keresztül kézzel meghajtva közvetlenül érezhetjük fordulatszámát és regulátor-gömbjeinek emelkedése közötti kapcsolatot.

Nyomon követhetjük a *gőzbeömlés szerveinek* fejlődését a szinte primitív elemi tolattyúktól a különböző szabályozható tolattyúkon és csapos vezérléseken keresztül a mai motorokban is alkalma-

zott kényszervezérelt szabályozható szelepekig. Hallgatóink számba vehetik a gépek mozgó alkatrészeinek *kenését* szolgáló különböző berendezéseket. Ezek többsége szintén letűnt a technika színpadáról, de pl. egy excenterrel mozgatott Mollerup-kenőkészülék működésének felderítése bizony edzi ifjú mérnökeink műszaki képzelőerejét. Mindezek 21 db, többnyire a XIX. és XX. század fordulóján készült, tökéletesen valóságú, kézzel működtethető modellen vizsgálhatók.

### 3. HÍD A GŐZGÉPEK ÉS A BENZIN-MOTOROK KÖZÖTT: A GÁZMOTOROK SZEREPE A TECHNIKAI FEJLŐDÉSBEN

A hőerőgépek történetének következő fejezete hallgatóinkat a motorok „hőskorába” vezeti, amikor a feltalálók gőzkazánok nélküli, kisebb méretű erőgépek megalkotására törekedtek. E folyamat kezdeti lépéseit jelentő puskaporos motorokból sajnos nincsenek tárgyaink, de a fejlődés következő (szintén zsákutcába vezető) stádiumából, a XIX. század elején szabadalmaztatott *hőlégmotorokból* három változatot is be tudunk mutatni. Bár e gépek szerkezetéből, működési elvükből szinte semmi sem öröklődött tovább, a mérnökhallgatók figyelmébe mégis ajánlható, mert nagyon alkalmasak a hőerőgépek körfolyamatainak tanulmányozására. A hőerőgépek többsége ugyanis kipufogós rendszerű, ezért nem könnyű belátni, hogy miképpen záródik (az alacsony hőmérsékletű oldal mentén) a körfolyamat. A hőlégmotorok viszont zárt rendszerűek, mindig ugyanaz a munkaközeg dolgozik bennük, így a körfolyamatok valamennyi szakasza világosan elkülöníthető működésük során.

A fejlődés következő állomása a XIX. század II. felére esik, amikor széles körben elterjedtek az *atmoszférikus gázmotorok*. Működési elvüket és fogasléces-kilincskerekes mechanizmusukat Otto és Langen igen népszerű gázmotorjának modelljén be tudjuk mutatni. Rajta keresztül ismét szép példát találunk a „megszüntette megőrzés” elvére, mert visszatértek benne Papin XVII. századi puskaporos motorjának vagy Newcomen XVIII. században használatos atmoszférikus gőzgépének alap gondolatához: a felrobbanó gáz „csak” feldobta a dugattyút; a munkavégzés akkor történt, amikor a dugattyú súlyánál fogva (illetve a kialakult vákuum „szívóhatásának” következtében) visszasüllyedt.

A technikai evolúció további lépése a *négyütemű gázmotorok* megjelenésében tükröződik. A fent említett modell mellett ugyanis egy gőzgéphez roppant hasonló szerkezet: Otto négyütemű gázmotorjának modellje áll. A hasonlóság nem véletlen: Otto és Langen egy valódi dugattyús gőzgépet alakított át belsőégésű gázmotorrá. A belső égés problémáit tehát — az egyébként teljesen használhatatlan — puskaporos motorokon kísérletezte ki, a jó hatásfok eléréséhez szükséges négy munkaközem ötletét pedig a gőzgépek üzemből adaptálta. Bár e gépek feltalálásukat követő pár évtized múltán „süllyesztőbe” kerültek, elévülhetetlen érdemeket szereztek azáltal, hogy hidat vertek a gőzgépek és a benzinmotorok között.

### 4. FEJEZETEK BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROK KIALAKULÁSÁNAK TÖRTÉNETÉBŐL

Az Országos Műszaki Múzeum erőgépgyűjteménye csaknem teljes áttekintést tud adni *Bánki Donát és Csonka János motorfejlesztési munkáiról*. Itt őrizzük a világ első porlasztóját, illetve több, Bánki és Csonka által a XIX. és XX. század fordulóján kifejlesztett karburátort. Hallgatóink megismerhetik az első porlasztós motort, valamint annak nyomán készült, 8 darabból álló, 500-3000 kg tömegű, 4-10 kW teljesítményű motorsorozatunkat. Minthogy a különböző példányok nem csak méretükben, hanem szerkezeti kialakításukban is eltérőek, kiválóan alkalmasak a motorfejlődés zezugos, zsákutcákkal nehezített útjának érzékeltetésére. Figyelemre méltók külső (excenteres) szelepvezérlési mechanizmusaik, hatalmas lendítő kerekeik, robosztus hajtórúdjaik, amik — habár lassan eltűnő módon — de még magukon viselik a gőzgépek egy-egy vonását.

Erőgépgyűjteményünk kifejezésre juttatja a *motorfejlesztések fő irányait*. A konstruktőrök kezdetben un. stabil (azaz helyhez kötött) gépeket terveztek, később megjelentek a „félstabil” motorok, melyek vas kerekeken vagy szekéren, ha nehézkesen is, de mozgathatóak voltak. Méretük, formájuk fokozatosan távolodott a gőzgépektől, és sorra megjelentek rajtuk a mai motorokra jellemző formai kialakítások.

A fejlődésben — ahogy műtárgyaink igazolják — akkor történt alapvető változás, amikor elkezdődött a *járműmotor-gyártás*. Raktárunkban fellelhetők a híres gépgyárainkban készült magyar autó-



motor-fejlesztések változatai. Mérnökjelöltjeink buzdításául a technikatörténeti kurzusba feltétlenül be kell kapcsolni a *különleges motorok* bemutatását, pl. a forgóhengeres Szklenár-féle csillagmotort, a Katona-féle toroidális forgódugattyús motort, vagy a keringődugattyús Czike-motort, melyek ugyan nem terjedtek el, de felhívják a figyelmet az alapos műszaki ismeretek és a bátor alkotói fantázia gyümölcsöző egységére.

A belsőégésű motorok másik fő irányának: a Diesel-motorok kialakulásának menetét szintén meg tudjuk világítani. A mai fiatalok számára a Diesel-motorok szinte e összemosódnak az Otto-féle motorokkal, hiszen mindkettő elterjedt a gépjárművekben, és kinézetük is hasonló, de múltba tekintve azonban szembeötlő különbségek fedezhetők fel. Egy 1902-ben a Fegyver és Gépgyárban készült (35 tonnás) stabil motorral kezdődően 13 változaton át kísérhetik figyelemmel hallgatóink a magyar Diesel-motor-fejlesztés folyamatát. Hazafias kötelességünk kiemelni a *Jendrassik-féle Diesel-motorokat*, hiszen Jendrassik György a XX. század derekán — a GANZ főkonstruktőreként — meghatározó szerepet töltött be a belső égésű hőerőgépek korszerűsítése terén. Különállóan is be tudjuk mutatni Diesel-motorok legfontosabb szerveit. Jendrassikhoz kapcsolódnak *gázturbináink* is: az Országos Műszaki Múzeum őrzi Jendrassik kisteljesítményű, a maga idejében világszenzációnak számító gázturbináinak kísérleti példányait.

## 5. LIFE LONG LEARNING – CSAK A XX-XXI. SZÁZADOK KIHÍVÁSA?

Az élethosszig való tanulás, a Life Long Learning kényszerét gyakran a mai idők kihívásaként emlegetik, mint a rendkívüli mértékben felgyorsult technikai fejlődés velejáróját. A korábbi századok műszaki nagyjainak életútja azonban egyértelműen cáfolja ezt az állítást.

A technikatörténet oktatásának fontos fejezetét jelenti a nagy elődök szakmai életútjának bemutatása. Természetesen a kar névadója, Bánki Donát ebből a szempontból is kiemelkedő helyet foglal el. Tevékenységének erősen kivonatos bemutatása is egyértelmű választ ad a fejezetcímbe feltett kérdésre: *a műszaki ember számára a folyamatos megújulás képessége mindig is elengedhetetlen volt.*

Bánki Donát világhírnévre a robbanómotorokkal kapcsolatos eredményeivel tett szert, legfontosabb ezek közül a Csonka Jánossal közösen kifejlesztett karburátor, valamint a kompressziónövelés terén elért eredmények. (Fontos felhívni a mérnökhallgatók figyelmét arra, hogy a virágáruslány vízpermetezőjének megpillantásakor született „nagy ötlet”-et követően még két év kitartó kísérletezés és fejlesztés vezetett a gyakorlatban is használható karburátorig.)

Ezt követően egy születőfélben lévő tudományágban, az áramlástanban alkotott Bánki Donát egyetemi oktatóként és mérnök-kutatóként is maradandót. A Bánki féle kettősátömlésű vízturbinát a világ legjelentősebb találmányai közt tartják számon.

A repülés kezdeti stádiumának biztonsági problémái is felkeltették érdeklődését, a számára teljesen új szakterület megismerése után repülőgép-stabilizátort fejlesztett ki.

Egy újabb területet jelentett a Vaskapu erőmű terve. Ez a nagyléptékű terv megoldotta volna az aldunai hajózást, az Alföld öntözését és az alföldi városok villamosítását is.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Tapasztalataink szerint a Főiskola és az Országos Műszaki Múzeum között két éve kezdődött szoros együttműködés eredményei beváltották hozzáfűzött reményeinket. A technikatörténet oktatása, műszaki nagyjaink életútjának és alkotásaiknak bemutatása a gépészmérnök hallgatók számára a motiváló, szemléletformáló hatás mellett számos esetben szakmai tanulsággal is jár.

## 7. IRODALOM

- [1] Komondi, Z: Gőzgépek, gőz- és gázturbinák. I-II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1959.
- [2] Mattschoss, C: Die Entwicklung der Dampfmaschine. I-II. Verlag Springer, Berlin, 1908.
- [3] Terplán, Z (szerk.): Pattantyús, Gépész és villamosmérnökök kézikönyve. 4. kötet. Energiafejlesztő és szállítógépek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.
- [4] Gáti J, Kártyás Gy, Horváth S: Bánki Donát emlékezete, Gép, 2005/2-3. pp. 4-6.

## Mérőműszer színtévesztés diagnosztizálására

### MEASURING INSTRUMENT FOR MAKING UP DIAGNOSIS OF COLOUR DEFICIENCY

Dr. ÁBRAHÁM György<sup>1</sup>, NAGY Balázs Vince<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MTA doktora, tanszékvezető,  
<sup>2</sup>egyetemi tanársegéd

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika,  
Optika és Műszertechnika Tanszék

Hungary, Budapest, 1111. Egrý J. u. 1-3 E épület, 313; Tel: 463-2602 Fax: 463-3787,  
Web: www.mom.bme.hu; abra@mom.bme.hu; nagyb@mom.bme.hu

#### ABSTRACT

*This paper reports on the development of a novel instrument capable of diagnosing the type of color deficiency and selecting the correction glasses. First the expected values adjusted on the instrument have been modeled and simulated in virtual PC environment. Finally the instrument was tested with real color deficient patients. Along with the instrument we have also developed a diagnosis algorithm based on the test method which provides the identification of the color deficient types.*

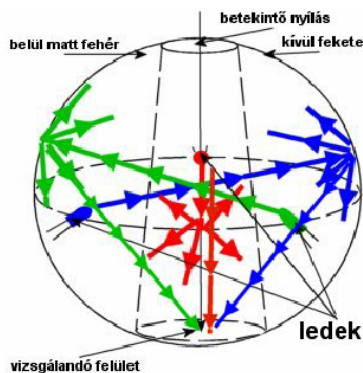
#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A színtévesztés diagnosztizálására és a korrigáló szemüvegek kiválasztására szolgáló műszer fejlesztési eredményeiről számolunk be. Számítógépes modellt készítettünk, amellyel előre szimuláltuk azt, hogy az egyes páciensek mit fognak beállítani a műszerünkön. Végül valóságos páciens mérésekkel ellenőriztük modellezésünk helyességét. Kifejlesztettünk egy diagnosztizáló algoritmust is, amely segít a színtévesztés típusok identifikálásában.*

**Kulcsszavak:** színtévesztés, színlátás vizsgálat, mérőműszer, LED

#### 1. AZ ANOMAL TESZTER FELÉPÍTÉSE

Az anomal checker műszer 3 LED (vörös, zöld, kék) páronkénti színkeverésével működik. Az anomaloszkóptól eltérően azonban úgynevezett belső referenciával dolgozik, vagyis a páciens színfogalmára számít, így nem kell foglalkozni a világosságok kiegyenlítésével. (1. ábra)



1. ábra

A színkeverés elve az Anomal Tester műszerben

Előzetes modell vizsgálatok alapján a zöld LED-nek  $520\pm 5\text{nm}$ , a pirosnak  $655\pm 5\text{nm}$  és a kéknek  $470 \pm 5 \text{ nm}$  jellemző hullámhosszúságúnak kell lennie. [7]

A LED-ek paramétereit tartalmazza a 1. táblázat.

1. táblázat

A LED színe	Jellemző hullámhossz	Félértékszélesség
Kék	470 nm	25 nm
Zöld	525 nm	40 nm
Piros	660 nm	25 nm

A LED-ek alkalmazása során felmerülő probléma, a hullámhosszaknak a hőmérséklet változástól való függése. Mivel a LED-ek zárt térben – egy integráló gömbben – helyezkednek el, elsősorban a terhelő áram okozta hőmérséklet növekedés befolyásolja a LED-ek csúcsintenzitásának helyét. Állandó környezeti hőmérséklet mellett ez az eltolódás a kék LED esetében 2 nm, zöldnél 4 nm, míg pirosnál 3 nm. A LED-ek jellemző hullámhossza így is a megállapított tűrésen ( $\pm 5\text{nm}$ ) belül maradt.

### Piros-vég mérés

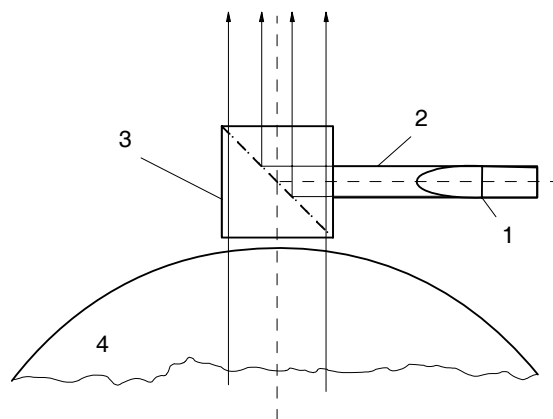
A mérés elve szerint egy sárga háttér elé bevetítünk egy infravöröshöz közeli piros foltot. Ezt az egyre jobban balra eltolódott protosszal rendelkező személyek egyre kevésbé érzékelik, míg a protanóp szintévesztők már egyáltalán nem is látják.

Az alkalmazott LED paramétereit a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat

A LED színe	Jellemző hullámhossz	Félértékszélesség
Piros	705 nm	100 nm

A piros-vég mérés optikai felépítését a 2. ábra szemlélteti. Az integráló gömb (4) által kikevert színt és a LED (1) fényét egy osztóprizma (3) segítségével juttatjuk a mérendő személy szemébe. A fénysugar szóródását egy cső (2) akadályozza meg.



2. ábra

A „piros vég” mérés optikai vázlatja

### 3. MÉRÉSI ADATOK GYŰJTÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE

Mind a négy mérést – türkiz, sárga, piros-vég, lila – háromszor ismételtük meg minden páciensnél. A program az A1 és A2 csatorna jeleit átlagolta, szórásértékeket számított, és táblázatban megjelenítette. Az így kapott adatokat az előzetesen más mérésekből (D15, anomaloszkópos vizsgálat) felállított diagnózissal együtt, előre elkészített mérőlapokon regisztráltuk.

Az ily módon összegyűjtött 89 mérési sorozatból álló adatbázist EXCEL táblázatkezelő programmal dolgoztuk fel. Célunk az volt, hogy a műszer segítségével ne csak a leggyakrabban előforduló főbb típusok között tudjunk különbséget tenni, mint protanomália, deuteranomália illetve protanóp, hanem az anomáliákon belüli osztályokat is meg tudjuk különböztetni, úgymint enyhe (slight), közepes (moderate) és erős (severe). Tehát összesen kilenc osztályt kell megkülönböztetnünk, amint az alábbi mutatja. A táblázat harmadik oszlopában feltüntettük a rendelkezése álló adatokat.

4. táblázat

Színtévesztés típusai		Mérések száma
N	Normal	57
L15	Protanomalous slight	9
L20	Protanomalous moderate	3
L22	Protanomalous severe	3
L25	Protanopia	5
M15	Deuteranomalous slight	8
M20	Deuteranomalous moderate	2
M22	Deuteranomalous severe	1
M25	Deuteranopia	1

A mért adatokat először színenként csoportokba soroltuk. A szín-csoportokon belül a színtévesztés típusa szerint osztályoztuk, majd ezen adatok eloszlását vizsgáltuk normál eloszlást feltételezve.

### 4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A normál és színtévesztő személyeken végzett mérések statisztikai kiértékelésének eredményeit 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat

Mérés szerint	Mérések száma	Türkiz		Sárga		Piros -vég		Lila	
		átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
<b>Normál</b>	57	<b>2,1</b>	<i>0,16</i>	<b>3,1</b>	<i>0,20</i>	<b>0,5</b>	<i>0,05</i>	<b>4,0</b>	<i>0,2</i>
<b>L15</b>	9	<b>2,1</b>	<i>0,09</i>	<b>2,9</b>	<i>0,08</i>	<b>0,6</b>	<i>0,06</i>	<b>4,0</b>	<i>0,30</i>
<b>L20</b>	3	<b>2,2</b>	<i>0,10</i>	<b>2,6</b>	<i>0,33</i>	<b>0,8</b>	<i>0,24</i>	<b>4,3</b>	<i>0,07</i>
<b>L22</b>	3	<b>2,4</b>	<i>0,21</i>	<b>2,5</b>	<i>0,47</i>	<b>1,1</b>	<i>0,90</i>	<b>4,0</b>	<i>0,51</i>
<b>L25</b>	5	<b>2,2</b>	<i>0,23</i>	<b>2,9</b>	<i>0,45</i>	-	-	<b>4,1</b>	<i>0,39</i>
<b>M15</b>	8	<b>2,1</b>	<i>0,10</i>	<b>3,3</b>	<i>0,09</i>	<b>0,4</b>	<i>0,08</i>	<b>4,0</b>	<i>0,43</i>
<b>M20</b>	2	<b>1,9</b>	<i>0,04</i>	<b>3,6</b>	<i>0,01</i>	<b>0,4</b>	<i>0,03</i>	<b>3,4</b>	<i>0,59</i>
<b>M22</b>	1	<b>2,0</b>	-	<b>3,6</b>	-	<b>0,4</b>	-	<b>3,9</b>	-
<b>M25</b>	1	<b>2,0</b>	-	<b>2,7</b>	-	<b>0,4</b>	-	<b>4,6</b>	-

Ezeket az adatokat összevetve a modell által előre vetített értékekkel a modell helyességéről nyerhetünk bizonyosságot. A táblázatban vastag betűszedéssel jelöltük a kb. egyező, maximum egy tizedessel eltérő adatokat. Látható, hogy a legkevesebb egyezés a lila esetében tapasztalható.

## 5. A DIAGNOSZTIZÁLÓ SZOFTVER

A diagnosztizáló szoftvert, hasonlóan az első mérésekhez használt programhoz LabVIEW környezetben készítettük el. A kiértékelés alapját a modell, és a mérések statisztikai eredményei adták.

Elegendő mérési adat birtokában megpróbáltuk a szintévesztők súlyosság szerinti osztályozását. A statisztikai elemzések arra a következtetésre vezettek, hogy a legnagyobb diagnosztikai értékkel a sárga mérés bír. Azonban súlyos (L22 és M22) esetekben a sárga mérés, a nagy bizonytalanság miatt kiértékelhetetlen. Erre az anomáliára a modell adta a megoldást. Láthattuk, hogy a súlyos esetekben a LED-ek színei (zöld, kék és piros) által keltett érzetek átkerültek más színérzetek területeire (és). Tehát szín-identifikációs vizsgálatokkal kizárhatjuk az ilyen pácienseket a sárga vizsgálatából.

## 6. KONKLÚZIÓ

A páciensmérések eredményei igazolták a modellezés során a különböző esetekre előre jelzett értékeket – a páciensek tényleg ezeket az értékeket állítják be. Megállapítható, hogy az Anomal tester műszer ezért alkalmas a szintévesztők diagnosztizálására és a szintévesztés típusán kívül annak erősségére vonatkozóinformációt is szolgáltat.

## 7. IRODALOM

- [1] *Dr Ábrahám György (szerk.):* Optika. Panem – McGraw – Hill, Budapest, 1998.
- [2] *Rita L. Atkinson, Richard C. Atkinson, Edward E. Smith, Dary J. Bem:* Pszichológia. Osiris – Századvég, Budapest, 1995.
- [3] *W. D. Fröhlich:* Pszichológiai szótár. Springer, Budapest, 1996.
- [4] *Lindsay T. Sharpe, Andrew Stockman, Herbert Jägle, Jeremy Nathans:* Opsin genes, cone photopigments, color vision and color blindness. Color vision p.4-51
- [5] *Giordano Beretta:* Understanding color. Hewlett – Packard Company, Palo Alto, 2000.
- [6] *Nagy Balázs Vince:* Színidentifikáció és diszkrimináció vizsgálata. BME, Budapest, 2000.
- [7] The radiometry of light emitting diodes. Labsphere.
- [8] Color and Vision Database <http://www-cvrl.ucsd.edu>
- [9] Color Science <http://www.physics.sfasu.edu/astro/color.html>
- [10] CIE – Web site of International Commission On Illumination <http://www.cie.co.at>
- [11] Functional Retinal Morphology, Research for Understanding Vision <http://www.univie.ac.at/Vergl-Physiologie/www/research/morphretframe.html>
- [12] Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Egyetem Élettani Intézet Vision Laboratory <http://www.phys.szote.u-szeged.hu/frames/vision.htm>
- [13] *Gy.Ábrahám, B.V. Nagy:* Colour identification of CVDs based on opponent colour signals. - ICVS2001 Symposium, Cambridge, UK, July 2001.
- [14] DAQPad – 1200 USER MANUAL, National Instruments Corporation, 1995.

## Osztósík vízszinteség mérő készülék kalibrálásának tapasztalatai

### CALIBRATION OF THE INSTRUMENT FOR MEASURE THE HORIZONTAL POSITION OF REACTOR MAIN DIVIDING PLANE

Dr. ÁBRAHÁM György, Dr. SZABÓ Tibor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék  
H-1111 Budapest, Egry. J. u. 1.  
tel: 36-1-4632602 fax: 36-1-4633787  
abra@mom.bme.hu, szabo@mom.bme.hu

#### ABSTRACT

*The measuring instrument for measure the horizontal position of the Paks Nuclear Power Plan is calibrated regularly every 2 years on MOM Department of TUB. In the calibration process are determined the differences between of the zero points of the measuring instrument and the geodesic level and also determined the uncertainty and the transfer function of the instrument.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

Paksi Atomerőmű Rt. részére kifejlesztett, elektronikus libellát, – mint vízszintmérőt – tartalmazó mérőeszköz rendszeresen (2 évente) kalibrálásra kerül a BME MOM Tanszékén. A kalibrálás során meghatározásra kerül a libella nullpontjának eltérése a geodéziai vízszintestől, valamint a mérőeszköz átviteli függvénye, és a mérőeszköz eredő bizonytalansága.

**Kulcsszavak:** méréstechnika, kalibrálás, libella, szórás, mérési bizonytalanság

#### 1. KALIBRÁLÁSI FELADATOK

A Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék (korábban: Finommechanikai, Optikai Tanszék) által a Paksi Atomerőmű Rt. részére 1997-ben kifejlesztett *VSZ-100* vízszinteség-mérő készülék két-két éves használat után 1999-ben, 2001-ben, 2003-ban, 2005-ben, majd 2007-ben ismét újrakalibrálásra került.

A mérőeszközök metrológiai paraméterei megváltozhatnak a használat során, ezért van szükség a rendszeres ellenőrzésre. Az egyedi mérési feladatok megoldására készített speciális mérőeszközök esetén célszerű, ha ezen ellenőrzést az eszközt kifejlesztő intézmény végzi, hiszen ott vannak meg a mérések elvégzésének feltételei, ott biztosíthatók azonos környezeti és személyi feltételek a mérőeszköz rendszeres ellenőrzéséhez. A mérőeszköz ellenőrzése során minden alkalommal elvégeztük az alábbi feladatokat:

- A mérőrendszer elemeinek ellenőrzése, funkcionális működőképesség vizsgálata.
- A műszerbe épített elektronikus libella nullpontjának meghatározása.
- A vízszinteség-mérő műszer újrakalibrálása.
- A mérőeszköz átviteli függvényének meghatározása.
- Az átviteli függvény paramétereinek az adatgyűjtő szoftverbe történő beírása.
- A mérőrendszer ellenőrzése a módosított szoftverrel.
- Hibaanalízis.

### 1.1. A mérőrendszer elemeinek ellenőrzése, funkcionális működőképesség vizsgálata

A szemrevételezéses ellenőrzés során megvizsgáljuk a vízszintesség-mérő műszert, mechanikai sérülésre utaló jeleket keresünk. A tapintó felületeken karcolási nyomokat találtunk az utóbbi években. Ennek mértéke még nem befolyásolhatja a mérés pontosságát, azonban még néhány éves használat után felmerülhet a tapintók cseréjének szükségessége. A készülék elektromos csatlakozóit sérülés esetén javítottuk. Bekapcsolva a készüléket, a mérésvezérlő számítógéppel összekötve minden funkciója rendeltetésszerű működését leellenőriztük.

### 1.2. A műszerbe épített elektronikus libella nullpontjának meghatározása

Mivel az elektronikus libellát nem lehetséges a tapintók felfekvési pontjai által meghatározott síkkal pontosan párhuzamosan elhelyezni, így a libella nullpontja nem esik egybe a geodéziai vízszintessel. Ezen nullponteltolódás mértéke kimérhető egy iterációs eljárással. A vízszintesség-mérő készüléket lehelyezzük egy közel vízszintes felületre, esetünkben a gránitlapra, leolvassuk a mutatott szög (ill. az elektronikus libella kimenetén megjelenő feszültség) értékét, majd 180 fokkal elforgatva ugyanoda visszahelyezzük, és ismét leolvassuk a mutatott értéket. Mérőhasábokat helyezve a tapintók alá beállítható, hogy mindkét (az egymáshoz képest 180 fokot bezáró) helyzetben a libella azonos értéket mutasson. A kapott érték a libella nullpontjának eltolódása a geodéziai vízszintestől. A mért értékeket az 1. ábra tartalmazza (változás alatt az előző kalibráláshoz képest mért különbséget értjük):

Év	Eltérés [V]	Változás [V]	Változás [mm]
1997.	0,065	0	0
1999.	0,085	0,020	0,038
2001.	0,107	0,022	0,042
2003.	0,114	0,007	0,013
2005.	0,108	-0,006	-0,011
2007.	0,119	0,011	0,021

1. ábra

Nullponteltolódás változásának mértéke

A mérőeszköz átviteli függvényét figyelembe véve a változás mértéke megfelel a tapintók 0,01 ~ 0,04 mm-es magasságkülönbség változásának az elmúlt tíz éves használat során, mely feltehetően a mérőeszköz tapintójának kopásából, a mechanikus alkatrészek vetemedéséből adódhat. Egyértelmű, a nullponteltolódás megváltozásának okára utaló jelet egyik kalibrálás során sem találtunk.

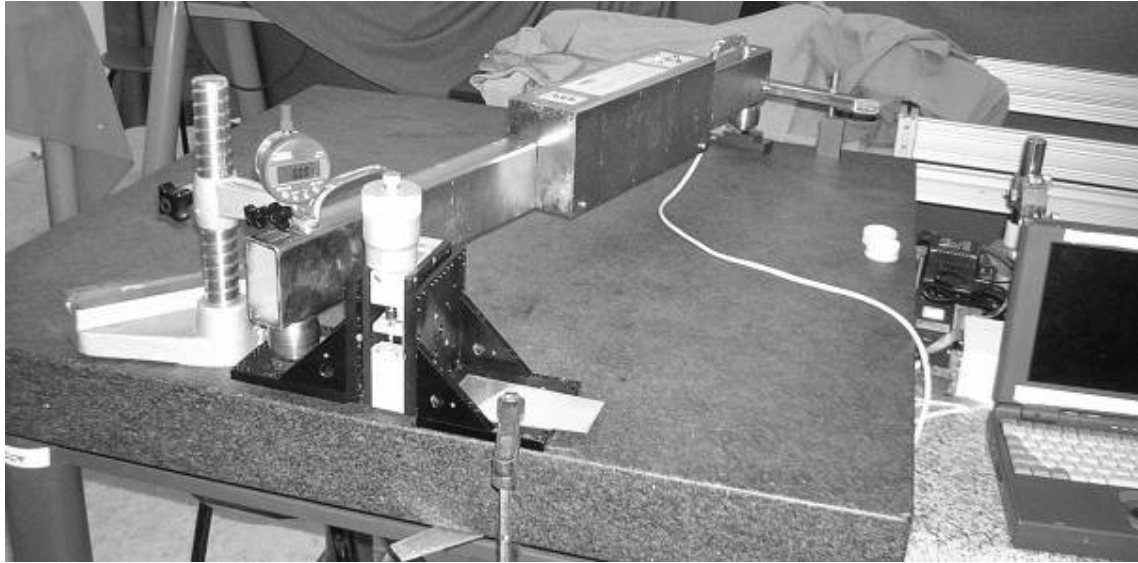
A kiértékelő szoftver korigálja ezen nullponteltolódásból adódó hibát, azaz az előző kalibrálás óta elvégzett mérési eredmények értékét nem befolyásolja, azonban ezen nullponteltolódásból adódóan az elektronikus libella munkapontja is eltolódik, így az érzékelő nemlinearitásból adódó bizonytalanság felléphet.

### 1.3. A vízszintesség-mérő műszer újrakalibrálása

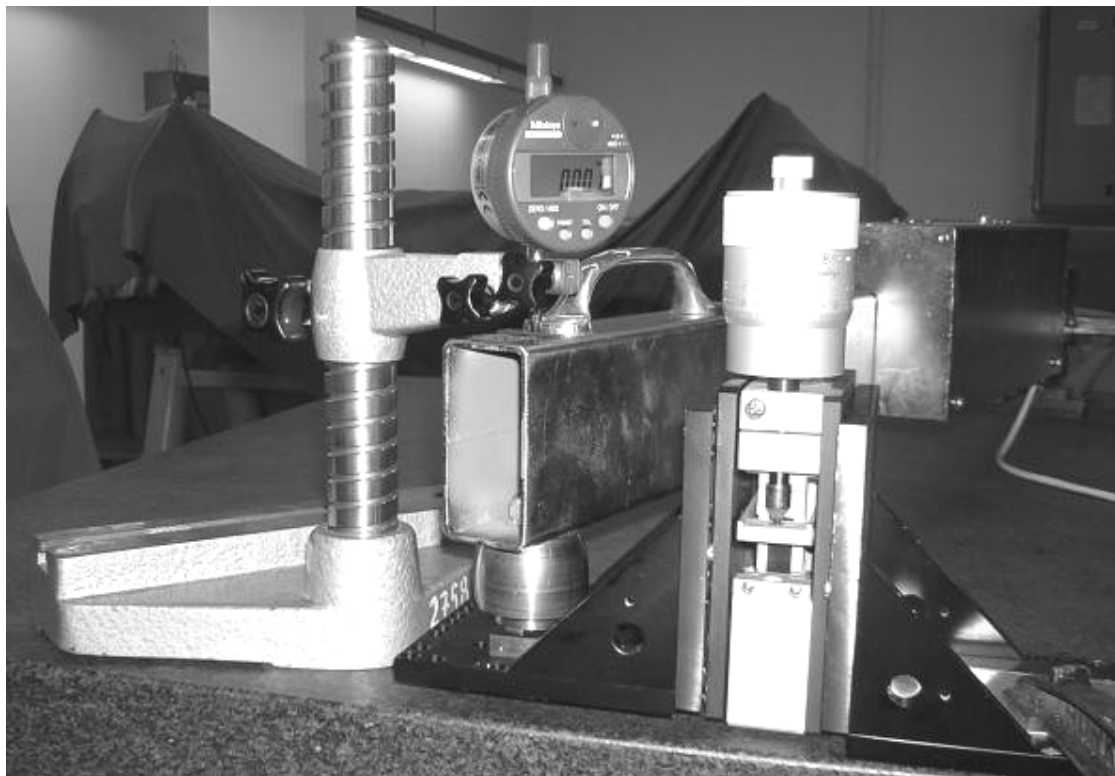
A kalibrálás során a teljes méréstartományban végeztünk ellenőrző méréseket. A vízszintesség-mérő készüléket egy gránitlapra vízszintesen elhelyeztük. A támasztóláb oldali tapintó helyben maradt, a másik tapintót pedig egy 0,2 mikrométeres feloldású finompozicionáló rendszerrel (MITUTOYO mikrométer és KUTESZ finompozicionáló asztal) függőlegesen mozgattuk a méréstartományban. A függőleges elmozdulást mikrométeres feloldású digitális mérőórával mértük. A készülékben lévő elektronikus libella által mutatott értéket a beépített A/D konverter kimenetéről vettük. Az elektronikus libella hiszterézise miatt a mérést a méréstartományban mindkét irányban elvégeztük, ügyelve arra, hogy a méretre való ráállás mindig azonos irányból történjék. A mérési feladat, valamint

az elvégzett mérések eredményeinek ismeretében a műszert a  $\pm 1$  mm-es méréstartományban szükséges használni, így elegendő ebben a tartományban elvégezni az ellenőrzést.

A pozitív előjelű elmozdulás a mozgatott tapintó lefelé történő mozgása eredményezi. A mérés  $20 \pm 1$  °C-os hőmérsékleten történt. A mérési összeállítást az alábbi (2. és 3. ábrán található) fényképek szemléltetik.



2. ábra  
Vízszinteség-mérő készülék kalibrálása



3. ábra  
Finompozicionáló rendszer



A hiszterézis legnagyobb értékére a tíz év alatt elvégzett hat mérés során 0,002V, azaz 0,004mm adódott. A mérések során megállapítottuk, hogy a műszer hiszterézise kis mértékben csökkent az évek során. A libella méretre való beállási ideje (kúszása) lényegesen csökkent az utolsó két kalibrálás alatt. A műszer átadásakor (1997-ben) amint az a mérőeszköz gépkönyvében is szerepel, hozzávetőlegesen 2 perc volt a mérési ciklus, azaz a kijelzett érték állandósulása. Az utóbbi két kalibrálás során ezen érték hozzávetőleg a felére csökkent. A jelenségre magyarázat lehet az elektronikus libellában lévő folyadék viszkozitásának csökkenése, illetve a folyadék nedvesítő tulajdonságának változása, mely lehet a mechanikus, hő és radioaktív sugárzás hatásának eredménye.

#### 1.4. A mérőeszköz átviteli függvényének meghatározása

A mérőeszköz fejlesztése során azt tapasztaltuk, hogy nem tökéletesen lineáris a műszerbe épített elektronikus libella. A mérési értékekre különféle függvényeket illesztettünk. Azt tapasztaltuk, hogy mindegyik közel azonos hibával közelíti a mért értékeket, így a legegyszerűbb, lineáris regresszióval maradtunk:

$$y = mx_0 + b$$

ahol  $x_0$  – az elektronikus libella kimenete [V]  
 $y$  – a tapintók magasságkülönbsége [mm]

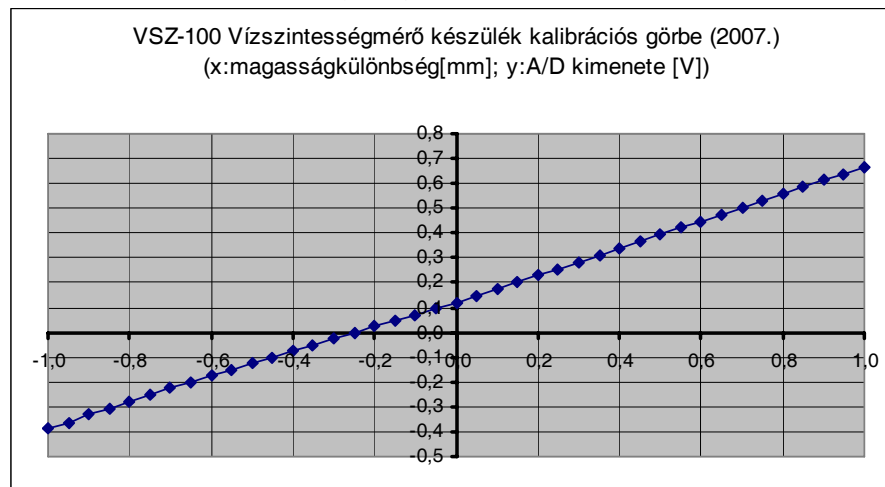
A 4. ábra mutatja az  $a$  és  $b$  paraméterek értékeit a kalibrálások során:

Év	$m$ [mm/V]	$b$ [mm]
1997.	1,9662	-0,1330
1999.	1,9788	- 0,1898
2001.	1,9621	- 0,2327
2003	1,9606	- 0,2488
2005.	1,9360	- 0,2354
2007.	1,9126	- 0,2540

4. ábra

Regressziós egyenes paraméterei

A vízszintesség-mérő készülék 2007-es kalibrációs görbéje az 5. ábrán lévő diagramban található. A vízszintes tengelyen a tapintók magasságkülönbsége [milliméterben], a függőleges tengelyen pedig az elektronikus libella által kiadott jel digitalizált értéke [Voltban] található.



5. ábra

Kalibrációs görbe

### 1.5. Az átviteli függvény paramétereinek az adatgyűjtő szoftverbe történő beírása

Újrakalibrálásaink után ezen átviteli függvény bekerült a kiértékelő programba, így eszerint dolgozza fel, és jeleníti meg az új mérési adatokat a szoftver. Mindez csak az újrakalibrálás után történő mérések esetére vonatkozik, a korábbi mérési sorozatok eredményei változatlanok maradtak. A mérési sorozatok természetesen továbbra is összevethetők a korábban mértekkel, hiszen az újrakalibrálás során a mérőeszköznek a mérési eredmény értékét befolyásoló hibáját egy esetben sem tapasztaltuk, csupán a mérés bizonytalanságát (hibáját) pontosítottuk.

## 2. A VÍZSZINTESSÉG-MÉRŐ KÉSZÜLÉK EREDŐ BIZONYTALANSÁG MEGHATÁROZÁSA

### 2.1. A mérőeszköz szórásának, bizonytalanságának meghatározása

A mérőeszköz szórása az alábbi összetevőkből adódik:

– A kalibrálásnál használt eszközök szórása:  $\sigma_k = 0,001mm$

– A linearizálás szórása a linearizálási hiba terjedelmének harmadával közelíthető:  
 $\sigma_l = 0,009mm$

A mérőeszköz szórása:  $\sigma_m = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_l^2} = 0,009mm$

A mérőeszköz bizonytalansága  $k=2$  konfidencia intervallummal (azaz 95%-os valószínűségi szinten):

$$U_m = 0,018mm$$

### 2.2. A mérési módszer eredő bizonytalanságának meghatározása

A mérési módszer eredő szórása az alábbi összetevőkből adódik:

– A mérőeszköz szórása:  $\sigma_m = 0,009mm$

– A mérés körülményeiből adódó szórásérték:  $\sigma_p = 0,004mm$

A mérési eredmény 12 független mérési eredményből adódik.

A mérési módszer eredő szórása:  $\sigma = \sqrt{12 \cdot (\sigma_m^2 + \sigma_p^2)} = 0,034mm$

A mérési módszer, azaz az osztósík vízszintestől való eltérésének eredő bizonytalansága  $k=2$  konfidencia intervallummal (azaz 95 %-os valószínűségi szinten):  $U = 0,07mm$

Ezen érték kisebb a műszer specifikációjában megadott ( $U_{max} = 0,1mm$ ) értéknél.

## IRODALOM

- [1] D. Hoffmann: Az ipari méréstechnika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [2] Riemann: Valószínűségelmélet és matematikai statisztika mérnököknek, Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- [3] Ábrahám – Szabó – Kovács: Osztósík vízszintesség-mérés a Paksi Atomerőműben XIV. Nemzetközi Gépész Találkozó, 1996.

# A térben kapcsolódó fogfelületek között megjelenő csúszási tényezők meghatározása

## THE CALCULUS OF THE SLIDING COEFFICIENTS BETWEEN THE TEETH SURFACES AT SPACE MESHING GEAR

Dr. ANTAL Tibor Sándor<sup>1</sup>, Dr. ANTAL Béla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>docens, <sup>2</sup>professzor  
Kolozsvári Műszaki Egyetem

### ABSTRACT

*The paper gives a general method for determining the relative sliding coefficients for different gear transmissions types. The knowledge of these enables to evaluate the lubrication conditions which occur between the teeth's surface meshing and the wearing.*

### ÖSSZEFOGLALÁS

*A jelen lévő dolgozat bemutat egy általános módszert, amelynek alapján meghatározhatók a relatív súrlódási tényezők különböző típusú fogaskerékajtások esetében. Ezek ismerete lehetővé teszi, hogy következtetni lehessen a fogfelületek között megjelenő kenési viszonyokra és a kopásra.*

### 1. BEVEZETÉS

A kapcsolódó fogfelületek között a mozgások és terhelések továbbítása nyomán, csúszások jelennek meg. Ezek hozzá járulnak a fogfelületek kopásához és sok esetben a hajtás pontosságát is befolyásolják. Az olajban működő fogfelületek esetében a csúszások befolyásolják a kialakuló hidrodinamikusan kenési viszonyokat is. Ezért fontos az, hogy egy meghatározott módszer alapján a csúszások kiértékelése lehetséges legyen.

A jelen lévő dolgozat bemutat egy általános módszert a relatív csúszási tényezők meghatározására, a térbeli fogaskerékajtások esetében.

### 2. A RELATÍV CSÚSZÁSI TÉNYEZŐK MEGHATÁROZÁSA

Az [1] alapján a relatív csúszási tényezők, két kapcsolódó felület között, a következő képletekkel számíthatók:

$$\zeta_{12} = \frac{\vec{V}_{12} \cdot \vec{V}_{12}}{\vec{V}_1 \cdot \vec{V}_{12}}, \quad (1)$$

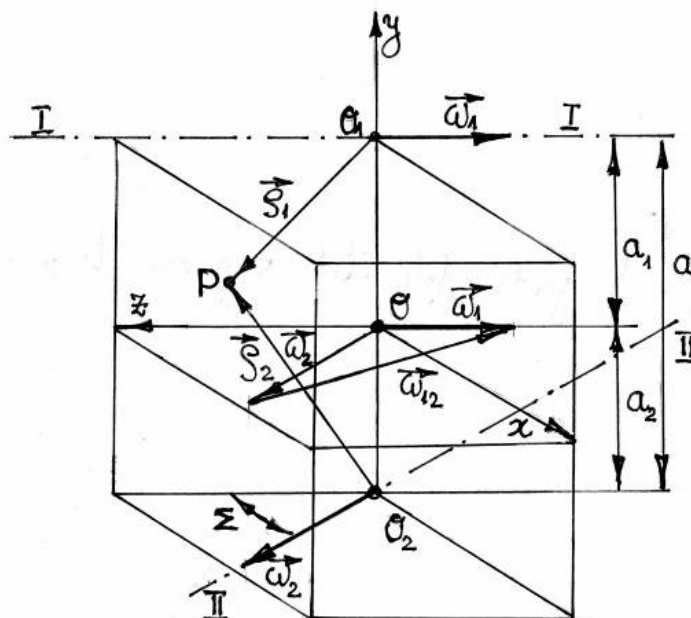
és

$$\zeta_{21} = \frac{\vec{V}_{21} \cdot \vec{V}_{21}}{\vec{V}_2 \cdot \vec{V}_{21}}, \quad (2)$$

ahol

$\vec{V}_1 = \vec{\omega}_1 \times \vec{r}_1$  és  $\vec{V}_2 = \vec{\omega}_2 \times \vec{r}_2$  a kapcsolódó fogfelületek érintkező P pontjának abszolút sebességei az I és II tengelyekhez viszonyítva (1. ábra).

$\vec{V}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2$  és  $\vec{V}_{21} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1$  a kapcsolódó fogfelületek egymáshoz viszonyított relatív sebességei az érintkezési P pontban.



1. ábra

A P-vel jelölt érintkezési pontban (1 ábra) az abszolút sebességek a következők:

$$\vec{V}_1 = \vec{\omega}_1 \times \vec{\rho}_1 = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & -\omega_1 \\ x & y - a_1 & z \end{vmatrix}, \quad (3)$$

és

$$\vec{V}_2 = \vec{\omega}_2 \times \vec{\rho}_2 = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \omega_2 \sin(\Sigma) & 0 & \omega_2 \cos(\Sigma) \\ x & y + a_2 & z \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Felhasználva az abszolút sebességeket, a relatív sebességek meghatározhatók a következő képletekkel:

$$\vec{V}_{12} = (A\vec{i} - B\vec{j} - C\vec{k})\omega_1, \quad (5)$$

és

$$\vec{V}_{21} = (-A\vec{i} + B\vec{j} + C\vec{k})\omega_1, \quad (6)$$

ahol

$$\left. \begin{aligned} A &= y(1 + u_{21}\cos(\Sigma)) - a_1 + a_2 u_{21}\cos(\Sigma); \\ B &= x(1 + u_{21}\cos(\Sigma)) + z u_{21}\cos(\Sigma); \\ C &= (y + a_2)u_{21}\cos(\Sigma); \\ u_{21} &= \frac{\omega_2}{\omega_1}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Behelyettesítve a (3), (4), (5), (6) és (7) kifejezéseket a relatív csúszási tényezők képleteibe az alábbi összefüggések kaphatók:

$$\zeta_{12} = \frac{\vec{V}_{12} \cdot \vec{V}_{12}}{\vec{V}_1 \cdot \vec{V}_{12}} = \frac{A^2 + B^2 + C^2}{Bx + A(y - a_1)}, \quad (8)$$

és

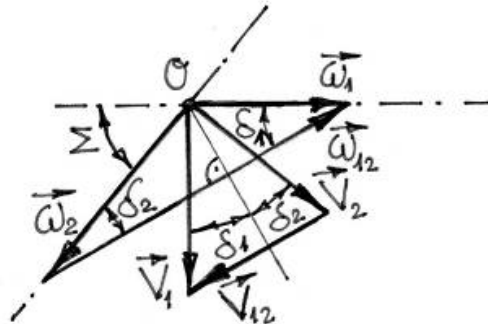
$$\zeta_{21} = \frac{\vec{V}_{21} \cdot \vec{V}_{21}}{\vec{V}_2 \cdot \vec{V}_{21}} = \frac{A^2 + B^2 + C^2}{A(y + a_2)u_{21}\cos(\Sigma) + B(x\cos(\Sigma) - z\sin(\Sigma))u_{21} + C^2}. \quad (9)$$

A fenti képletek alapján a relatív csúszási tényezők között létezik az alábbi összefüggés:

$$\zeta_{21} = \frac{\zeta_{12}}{\zeta_{12} - 1}. \quad (10)$$

### 3. A GÖRDÜLŐFELÜLETEK SUGARAINAK MEGHATÁROZÁSA

Ismeretes az, hogy a kitérőtengelyű hajtások esetében a gördülőfelületek egyköpenyű hiperboloidok, amelyeknek sugarai  $a_1$  és  $a_2$  a közös merőleges mentén a 2. ábra alapján számíthatók.



2. ábra

A2 ábrából felírhatók az alábbi kifejezések:

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 \sin(\delta_1) &= \omega_2 \sin(\delta_2); \\ a_1 \omega_1 \cos(\delta_1) &= a_2 \omega_2 \cos(\delta_2); \\ \delta_1 + \delta_2 &= \Sigma; \\ u_{21} &= \frac{\omega_2}{\omega_1}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Ezekből a képletekből meghatározhatók az  $a_1$  és  $a_2$  távolságok, az „a” tengelytávolság, az  $u_{21}$  át-tételi arány és a  $\Sigma$  tengelyszög függvényében.

$$a_1 = a \frac{u_{21}^2 + u_{21}\cos(\Sigma)}{u_{21}^2 + 2u_{21}\cos(\Sigma) + 1}, \quad (12)$$

és

$$a_2 = a \frac{u_{21} \cos(\Sigma) + 1}{u_{21}^2 + 2u_{21} \cos(\Sigma) + 1}. \quad (13)$$

Ismerve a kapcsolódó fogfelületek érintkezési pont koordinátáit, a (7), (12) és (13) összefüggések segítségével, számíthatjuk a  $\zeta_{12}$  és  $\zeta_{21}$  relatív csúszástényezőket párhuzamos tengelyvonalú, metsződő tengelyvonalú és kitérő tengelyvonalú, különböző típusú fogaskerékajtások esetében

#### 4. A MEGHATÁROZOTT RELATÍV CSÚSZÁSI TÉNYEZŐK KÉPLETEINEK ELLENŐRZÉSE, A KÜLSŐ FOGAZATÚ HENGERES FOGASKEREKEK KAPCSOLÓDÁSA ESETÉBEN

Ha például, feltételezzük, hogy a tengelyszög  $\Sigma = 0^0$  akkor a (7), (8) és (9) képletekből megkapjuk a relatív súrlódási tényezők kifejezéseit, külső kapcsolódású fogaskerékajtások esetében, amelyek megtalálhatók [1].

$$\zeta_{12} = (u_{21} + 1) \frac{x^2 + y^2}{x^2 + y^2 - a_1 y}, \quad (14)$$

és

$$\zeta_{21} = \frac{u_{21} + 1}{u_{21}} \frac{x^2 + y^2}{x^2 + y^2 + a_2 y}, \quad (15)$$

ahol

$x$  és  $y$  a kapcsolódó pont koordinátái;

$u_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$  - áttételi arány;

$a_1 = r_{w1}$  és  $a_2 = r_{w2}$  - a gördülőkörök sugarai.

Tehát a levezetett képletek általános jellegűek és érvényesek bármilyen típusú fogaskerékajtásra.

#### SZAKIRODALOM

- [1] Antal, B., Antal, T. S., Methods for choosing the addendum modification. microCAD'96. International Computer Science Conference. February 29, 1996. Miskolc. Hungary. p. 39-43.

# Bio-hajtóanyagok befecskendezési képének vizsgálata

## STUDY OF BIOFUEL SPRAY IMAGES

BARABÁS István, TODORUȚ Adrian

Kolozsvári Műszaki Egyetem

### ABSTRACT

*Using vegetable oils in order to fuel direct injection diesel engines creates problems due to their low heat energy, low volatility and high viscosity. These problems are reduced to minimum by subjecting the vegetable oils to the process of transesterification. Some problems remain, like as spray parameters – injection velocity, injection cone angle, spray penetration, droplets size – modified by different fuel properties.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Növényi olajak dízelmotorok hajtóanyagaként történő hasznosításának legfontosabb nehézségeit ezek alacsonyabb fűtőértéke, párolgási készsége és magasabb viszkozitásuk jelentik. Ezek mérsékelhetőek a növényi olajok áteszterezésével, azonban a befecskendezési kép jellemzőit illetően – sebesség, befecskendezési szög, szórási távolság, cseppméret – jelentős eltérések észlelhetők.*

**Kulcsszavak:** befecskendezési sebesség, befecskendezési szög, szórási távolság, cseppméret

### 1. BEVEZETÉS

Az alternatív motorhajtó-anyagok bevezetésének szükségességének két legfontosabb szempontja a környezetszennyezés és a hagyományos – többnyire fosszilis eredetű – energiahordozók termésmézes tartalékának végeessége. Biomasszából előállított motorhajtó-anyagokkal részben vagy egészben kiválthatók a hagyományos hajtóanyagok, azonban széleskörű alkalmazásuk még várat magára.

Írásunk a biodízel típusú motorhajtóanyagok illeszthetőségének vizsgálatát tűzte ki célul, a motorikus folyamatokat nagyban befolyásoló befecskendezés minőségének elméleti kutatásával.

### 2. A BIODÍZEL TÍPUSÚ MOTORHAJTÓ-ANYAGOK A BEFECSKENDEZÉS MINŐSÉGÉT BEFOLYÁSOLÓ FONTOSABB TULAJDONSÁGAI

A biodízel alapanyaga lehet növényi olaj, állati zsiradék, valamint különböző termokémiai úton előállított biomassza alapú szénhidrogén termék. Napjainkban a legszélesebb körű felhasználásnak a növényi olajok metilészterei örvendenek.

Bár a növényi olajok metilészterei nagyban megközelítik a gázolaj fizikai és kémiai tulajdonságait, mégis maradnak olyan paraméterek, amelyek a motor keverékképzését nagyban befolyásolják. Összehasonlításként, a legfontosabb növényi olajból nyert metilészterek fizikai tulajdonságait az 1. táblázatban foglaltuk össze. A Romániában szabványosított gázolaj (SR EN 590) valamint az Európai Unió biodízeltre vonatkozó előírásai (EN 14214) a táblázatban összehasonlítás céljából szerepelnek.

A táblázatban bemutatott értékeket összehasonlítva megállapíthatók a következők:

- növényi olajokból nyert biodízel típusú hajtóanyagok sűrűsége bár magasabb a gázolajénál, beilleszkedik a biodízel szabványban előírt intervallumba;

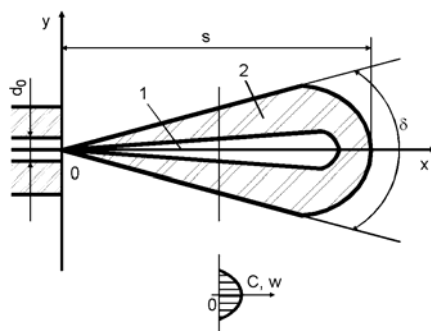
- a bio-motorhajtóanyagok 40°C-on mért kinematikai viszkozitása magasabb a gázolajéhoz képest, azonban csupán a RME esetében észlelhető a szabványban javasolt értékek enyhe túllépése;
- a felületi feszültséget vizsgálva megállapítható, hogy a biohajtóanyagok esetében ennek értéke jóval magasabb a gázolajénál, ami nagyban befolyásolja a befecskendezés minőségét;
- a biodízel fűtőértéke alacsonyabb a gázolajénál, ami a motor teljesítményének a csökkenéséhez és a tüzelőanyag-fogyasztás növekedéséhez vezet;
- alacsony hőmérséklet-tartományban a biodízel hajlamosabb zavarodásra, a fagypontja pedig 8-14 °C-kal magasabb a gázolajénál.

A biodízel típusú motorhajtóanyagok fontosabb tulajdonságai 1. táblázat

Tulajdonság	Jelölés	Mértékegység	Repceolaj metil észter (RME)	Napraforgóolaj metil észter (NFME)	Szójaolaj metil észter (SZME)	Biodízel, EN 14214	Gázolaj, SR EN 590
Cetánszám	CC	–	54,4	39,9	46,2	min. 51	47,8
Sűrűség 15 °C-on	$\rho$	kg/ m <sup>3</sup>	874	873	884	860-900	852
Kinematikai viszkozitás 40°C-on	$\nu$	m <sup>2</sup> /s	6,2·10 <sup>-6</sup>	3,66·10 <sup>-6</sup>	3,8·10 <sup>-6</sup>	5,5-5·10 <sup>-6</sup>	3,2·10 <sup>-6</sup>
Dinamikai viszkozitás 40°C-on	$\eta$	N·s/ m <sup>2</sup>	5,42·10 <sup>-3</sup>	3,22·10 <sup>-3</sup>	3,3·10 <sup>-3</sup>	–	2,73·10 <sup>-3</sup>
Felületi feszültség	$\sigma$	N/m	25,4·10 <sup>-3</sup>	28,8·10 <sup>-3</sup>	28,2·10 <sup>-3</sup>	–	22,5·10 <sup>-3</sup>
Alsó fűtőérték	Q <sub>i</sub>	MJ/kg	37,77	37,19	37,04	–	(42,50)
Zavarodáspont	t <sub>z</sub>	°C	-2	2	0	–	-12
Fagypont	t <sub>f</sub>	°C	-9	-3	-2	–	-16
Égési hőmérséklet	t <sub>e</sub>	°C	179		188	–	74
Lobbanáspont	t <sub>l</sub>	°C	210		204	101	88

## 2. A BEFECSKENDEZÉSI FOLYAMAT MODELLEZÉSE

A belsőégésű motorok keverékképző rendszerében a tüzelőanyag befecskendezése a porlasztó csúcs furatán nyomáskülönbség hatására létrejövő erő által átréselt tüzelőanyag porlasztásával jön létre (1-es ábra). A porlasztási kép két jól elkülönülő részt mutat be: az 1-el jelölt folyékony halmazállapotú folytonos tüzelőanyag-sugarat és az ezt körülvevő 2-es jelölésű apró cseppekből alakult, ködszerű burkot.



1. ábra  
Egyszerűsített porlasztási kép.

A folyékony halmazállapotú hajtóanyagok égéséhez elengedhetetlen a tüzelőanyag aprózódása és az égéstérben történő szétszórása. Befecskendezéssel a folyékony halmazállapotú tüzelőanyag a levegővel kapcsolatba kerülő felülete megközelítőleg az ezerszeresére növekszik, elősegítve az előbbi gyorsabb párolgását és az oxidációs kémiai reakciók elindulását és lefolyását. Ugyanakkor, a befec-



skendezett sugarat úgy irányítja az égéstérbe, hogy a rendelkezésre álló levegő-mennyiség maximálisan kihasználódjon.

A **sebességet** az energiamérleg egyenletéből kapott képlettel lehet számolni [1, 5]:

$$w_0 = \mu_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{ta}}} \quad (1)$$

ahol  $\mu_0$  állandó a porlasztócsúcs furatában létrejövő veszteségeket veszi figyelembe,  $\Delta p$  – pedig a befecskendezési nyomás és az égéstéri nyomás különbsége.

A **szórási távolság (S)** akkor optimális, ha a tüzelőanyag a befecskendezés ideje alatt áthalad a teljes égéskamrán, anélkül hogy ennek szemközti falára csapódna. Ha a szórási távolság túl nagy, a tüzelőanyag az égéstér hideg falára csapódva lassú kémiai folyamatokon megy át, ami tökéletlen égéshez, az égéstér elkoszosodásához és a motor erős, kék színű füstöléséhez vezet. Túl rövid szórás a porlasztócsónk környezetében okoz hasonló jelenségeket, emellett mivel a falak közelében levő levegő nem vesz részt az égésben, így ez tökéletlen marad, ami a motor fekete színű füstölésével jár.

A szórási távolságot a következőképpen lehet felírni [4, 5]:

$$S = \begin{cases} 0,39 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_l}} \cdot \tau & 0 < \tau < \tau_{sze} \\ 2,95 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_l}} \cdot \sqrt{d_0} \cdot \tau & \tau > \tau_{sze} \end{cases} \quad (2)$$

ahol

$$\tau_{sze} = 28,65 \cdot \frac{\rho_{ta} \cdot d_0}{\sqrt{\rho_l \cdot \Delta p}} \quad (3)$$

A szórási távolság egyenesen arányos a  $d_0$ ,  $w_0$ ,  $\rho_{ta}$ ,  $\eta_{ta}$ ,  $\tau$ , és fordítottan a  $\rho_l$ ,  $\sigma_{ta}$  paraméterekkel, vagyis a porlasztás egyenmőségét és a szórási távolságot ugyanazok a tényezők határozzák meg.

A **szórási szög ( $\delta$ )** a porlasztási kép körvonalára érintőlegesen, a porlasztócsónk furatából kiindulva szerkesztett kúp központi szöge. Kísérleti úton bizonyított, hogy a szórási szög időben változó paraméter, aminek értéke csupán a befecskendezési idő vége fele állandósul. A szórási szög a szórási távolsággal együtt a tüzelőanyag égéstéri eloszlását jellemzi. Értékének meghatározására a következő tapasztalati összefüggés használható [2,5]:

$$\tan(\delta) = \frac{1}{A} 4\pi \sqrt{\frac{\rho_{ta}}{\rho_l}} \frac{\sqrt{3}}{6}, \quad (4)$$

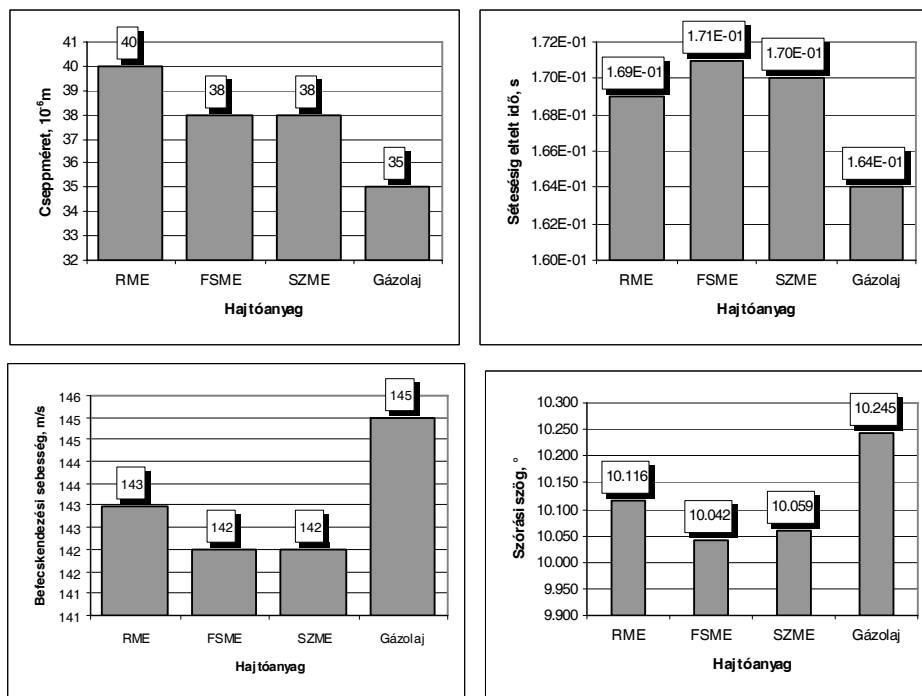
$$A = 3 + 0,28 \frac{l_0}{d_0} \quad (5)$$

ahol  $l_0$  a befecskendező furatának a hossza,  $d_0$  pedig ennek az átmérője.

### 3. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

A modell alapján elvégzett számítások eredményeit a 2. ábrán mutatjuk be. Megállapítható, hogy a cseppméret növekszik a biohajtóanyagok esetében, elsősorban a magasabb viszkozitásuk és felületi feszültségük eredményeképpen. A megnövekedett cseppméret egyenes következménye, hogy kevésbé egyenmű lesz a keverék, az alacsonyabb párologási sebesség pedig lassabb keverékképzést eredményez. Egyidejűleg megnő a tüzelőanyag-sugár széteséséig eltelt idő, ezzel együtt pedig a porlasztási távolság, aminek következtében a tüzelőanyag rácsapódik az égéstér falára. Mindezek a körülmények a tüzelőanyag tökéletlen égéséhez vezet.

A lecsökkent befecskendezési sebesség miatt az égéstérbe juttatott tüzelőanyag mennyisége csökken, ami, az alacsonyabb fűtőérték mellett, tovább rontja a motorba fecskendezett energia mennyiségét. Megállapítható, hogy a szórási szög lényegesen nem változik.



2. ábra.

A befecskendezés fontosabb minőségi mutatói

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

A fentiekből megállapítható, hogy ahhoz hogy a motor teljesítménye ne csökkenjen, meg kell növelni a motor-ciklusonként befecskendezett tüzelőanyag-adagot, a szórási távolság lecsökkentéséhez valamint a porlasztás egyenmőségének javításához pedig le kell csökkenteni a cseppméretet. Ezeknek megvalósításához meg kell növelni a porlasztócsúcs furatának átmérőjét és a befecskendezési nyomást.

A bio-hajtóanyagok motorikus felhasználásával középtávon kiválthatók a hagyományos motorhajtó anyagok. Mivel a bio-motorhajtóanyagok fizikai tulajdonságai különböznek a gázolajétól, ezek alkalmazása megköveteli a motor egyes paramétereinek módosítását. A porlasztócsúcs furatának növelésével megvalósítható a motor teljesítményének megtartása, a befecskendezési nyomás növelésével pedig elérhető a porlasztás minőségének megtartása.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Christopher von Kuensberg Sarre, Song-Charng Kong, Rolf D. Reitz: *Modeling the Effects of Injector Nozzle Geometry on Diesel Sprays*, SAE Paper 1999-01-0912.
- [2] Hiroyasu, H., Arai, M.: *Fuel Spray Penetration and Spray Angle of Diesel Engines*, Trans. of JSAE, Vol. 21, pp. 5-11, 1980.
- [3] Jung, D., Assanis, D. N.: *Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model for Cycle Simulation Studies of Engine Performance and Emissions*. SAE Paper 2001-01-1246.
- [4] Mariaşiu, F.: *Modelarea injecţiei de combustibil la motoare cu aprindere prin comprimare*. Cluj-Napoca, Sincron könyvkiadó, 2001.
- [5] Mariaşiu, F., Băţaga, N., Barabás, I.: *Modelarea curgerii hidrodinamice a combustibilului prin orificiul unui injector*. Piteşti, 2000.

## Polimer – szén nanocső kompozitok tanulmányozása

### INVESTIGATION OF POLYMER CARBON NANOTUBE COMPOSITES

Dr. habil BELINA Károly<sup>1</sup>, ÁDÁMNÉ MAJOR Andrea<sup>2</sup>

<sup>1</sup>főiskolai tanár, <sup>2</sup> főiskolai tanársegéd

Kecskeméti Főiskola, Fém- és Műanyagfeldolgozó Technológiai Intézet

Műanyag- és Gumitechnológiai Szakcsoport

H-6000 Kecskemét Izsáki út 10.

Tel: (+36)-76-516-390, Fax: (+36)-76-516-399, email: belina.karoly@gamf.kefo.hu, www.gamf.hu

#### SUMMARY

*Polypropylene and polycarbonate carbon nanotube composites were investigated. Structures of the composites were characterised by SEM method. Mechanical tests were carried out on injection moulding samples. It was found that the mechanical properties have not change up to 2% nanotube content. Flammability of the composites is less than the original materials.*

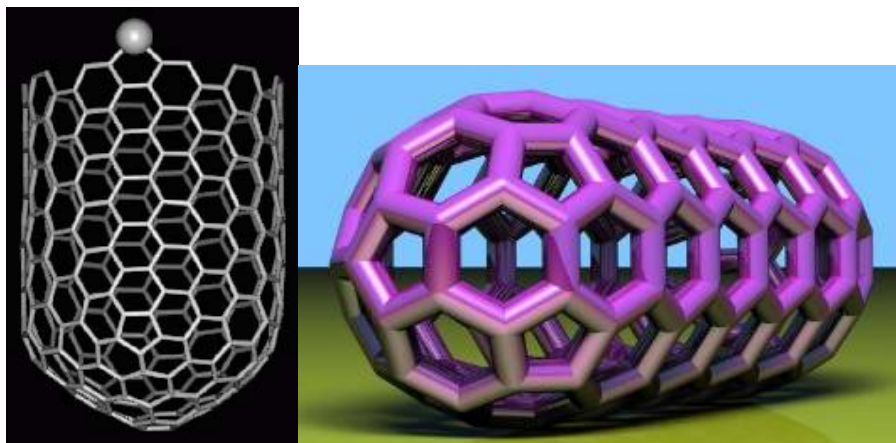
#### ÖSSZEFOGLALÁS

*Polipropilén és polikarbonát szén nanocső kompozitokat vizsgáltunk. Az anyagok szerkezetét SEM módszerrel jellemeztük. A nanocső tartalmú kompozitokból fröccsöntéssel készítettünk próbatesteket, amelyeknek meghatároztuk a mechanikai jellemzőit. Kimutattuk, hogy a mechanikai jellemzők nem változnak egészen 2% nanocső tartalomig. A kompozitok éghetősége kisebb, mint a tiszta polimereké.*

**Kulcsszavak:** szén nanocső, polipropilén, polikarbonát, kompozit

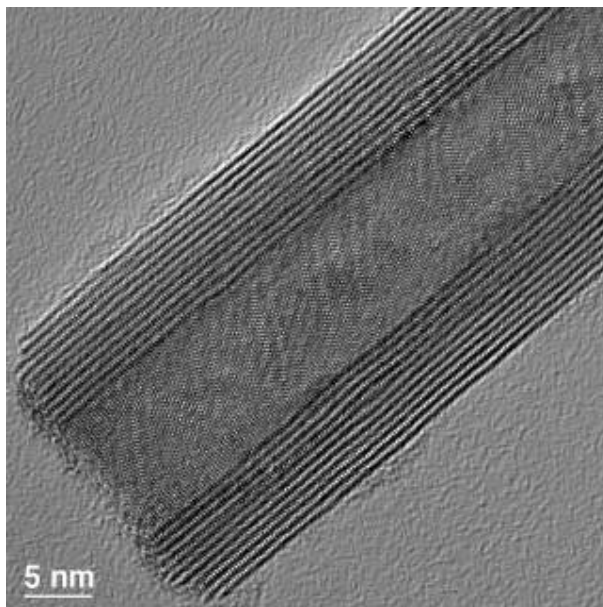
#### 1. BEVEZETÉS

A polimerek kutatása során az elmúlt időszakban a legnagyobb figyelem a nanokompozitok irányában mutatkozott. A nano részecskék közül egyre nagyobb szerepet kap a szén nanocső. Ezek szerkezete nagyon hasonlít a fullerénekéhez. Az 1. ábrán a szén nanocső szerkezetét mutatjuk be.



1 .ábra  
Szén nanocső szerkezete

A nanocső mérete csak nagy felbontású mikroszkópiával tanulmányozható. Leggyakrabban a transzmissziós elektronmikroszkópiát (TEM) alkalmazzák erre a célra. A 2. ábrán egy ilyen felvétel látható.



2. ábra  
Szén nanocső TEM felvétele

A szén nanocsöveket a polimerek elektromos vezetőképességének növelésére szokták alkalmazni. Már 1%-os nanocső tartalom lényegesen lecsökkenti a polimerek ellenállását, ami jelentősen csökkenti, esetleg meg is szünteti a feltöltődést.

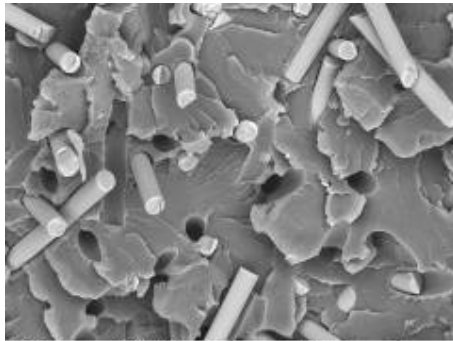
Közleményünkben a polipropilén és polikarbonát polimerekbe kevertünk szén nanocsövet különböző koncentrációban. Meghatároztuk az előállított anyagok mechanikai jellemzőit, valamint a elektromos vezetőképesség és a lángállóság változását az összetétel függvényében.

## 2. KÍSÉRLETI RÉSZ

A vizsgálatokhoz polipropilén homopolimert (TIPPLEN, TVK Rt) és üvegszál tartalmú polikarbonátot (MAKROLON, Bayer) használtunk. A szén nanocsövet mesterkeverék (Hyperion Catalyst, USA) formájában kevertük a tiszta polimerhez dinamikus keverőberendezésben (IDMX). A fröccsöntést ARBURG Allrounder 270 U fröccsöntő géppel végeztük. A vizsgálatokat szabványos piskóta alakú próbatesteken végeztük.

## 3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

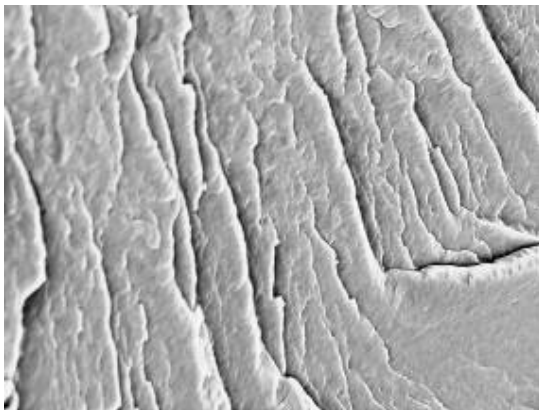
A kompozitokból készített próbatesteket cseppfolyós nitrogénnel lehűtöttük, majd a cseppfolyós nirtogénben eltörtük. A töretfelületet SEM technikával jellemeztük. A 3.-6. ábrákon a SEM felvételeket mutatjuk be.



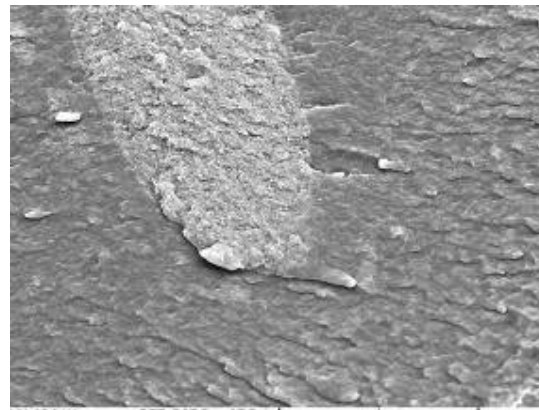
3. ábra  
Nanocső mentes PC töretfelülete



4. ábra  
8% nanocső tartalmú PC töretfelülete



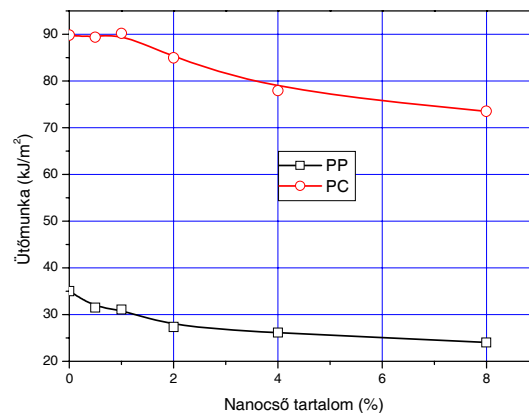
5. ábra  
Nanocső mentes PP töretfelülete



6. ábra  
8% nanocső tartalmú PP töretfelülete

A 3. ábrán jól megfigyelhető, hogy a polikarbonát és az üvegszál között gyakorlatilag nincs kölcsönhatás. Ezt jól mutatja, hogy a felületen számos lyuk figyelhető meg, amelyből az üvegszál kieset a törés során. Ezzel szemben a 8% nanocső tartalmú minta felvételén jól megfigyelhető, hogy a polikarbonát mátrix és az üvegszál között jó a kölcsönhatás. Az üvegszálak körül nem látható elválás, és a lukakban megfigyelhető a beletört üvegszál.

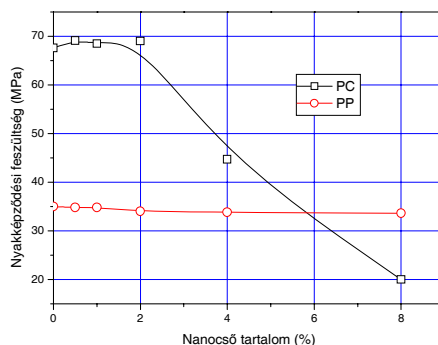
Hasonló szerkezeti változás figyelhető meg a polipropilén esetén is. A nanocső tartalmú minta töretfelülete sokkal egyenletesebb, ami kristályszerkezeti változásra utal.



7. ábra  
Az ütőmunka változása a nanocső tartalom függvényében

A Charpy-féle ütőmunka csökken a nanocső tartalom növekedésével. PC esetén a változás csak 1% fölött kezd szignifikánsná válni. PP kompozitok esetén is hasonló jelleg figyelhető meg. Felhívjuk a figyelmet a PC és PP ütésállósága közötti közel háromszoros különbségre.

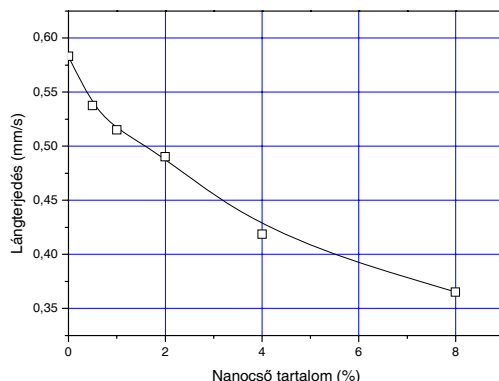
A húzó mechanikai jellemzők is hasonló tendenciát mutatnak. Példaként a nyakképződési feszültség változását mutatjuk be a 8. ábrán. Meglepő módon a PP kompozitok esetén a nanocső tartalom növekedése gyakorlatilag nem befolyásolja a nyakképződési feszültséget, míg PC kompozitokban a szilárdság 2% nanocső tartalom fölött drámai módon lecsökken. Feltételezzük, hogy ez a viselkedés a polipropilén kristályszerkezeti változására vezethető vissza. Ennek kiderítésére a DSC vizsgálatok jelenleg folyamatban vannak.



8. ábra

*A nyakképződési feszültség változása a nanocső tartalom függvényében*

A PP kompozitok vezetőképessége 8 nagyságrendet növekedett a tiszta polimerhez viszonyítva. Ez a növekedés már a 0,5% nanocső tartalmú kompozitnál is tapasztalható volt. A nanocső tartalom további növelése nem eredményezett további növekedést (9. ábra). A lángállóság a nanocső tartalom függvényében folyamatosan csökken. 8%-os kompozitok esetén már nem volt tapasztalható csepegés sem.



9. ábra

*PP kompozitok éghetősége a nanocső tartalom függvényében.*

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Közleményünkben bemutattuk PP és PC szén nanocső kompozitok tulajdonságainak változását az összetétel függvényében. Elektronmikroszkópiás mérésekkel jellemeztük az előállított anyagok szerkezetét az összetételük függvényében.

## Robotkar ütésgerjesztéses mérése

### STRESS EXCITATION MEASUREMENT OF ROBOT ARM

BENCSEK Attila L.

Budapesti Műszaki Főiskola  
 Mechatronikai és Autótechnikai Intézet  
 H-1081 Budapest, Népszínház u. 8.  
 bencsik.attila@bgk.bmf.hu, rudas@bmf.hu

#### ABSTRACT

*Dynamic rigidity is one of the key issues in Robotic. The rigidity of the robot arm, which would give useful information to the designer and help to prepare modifications of the construction of the arm.*

*This investigation of rigidity means that we go into the theme of dynamic rigidity and the reciprocal of these, i.e. the compliance. The paper is illustrated with the results of the measurements one robot arm.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

A robotika egyik „kulcseleme” a dinamikus merevség. A robotkar merevsége hasznos információt ad a tervezőnek és segítséget a kar konstrukciós módosításának előkészítéséhez. Ezen vizsgálat a dinamikus merevség és reciproka az engedékenység tárgyalásán keresztül vezet el annak jelentőségéhez. A publikáció egy robot kar mérési eredményeinek illusztrációját mutatja be.

**Kulcsszavak:** Robotkar, dinamikus merevség, ütés erőgerjesztés, rezgésvizsgálat, spektrum

#### BEVEZETÉS

A Budapesti Műszaki Főiskolán többféle megközelítésben foglalkozunk az állapotvizsgálat és állapotfelügyelet kérdéseivel. A diagnosztika kutatási területei közül a mérőrendszerekkel, [1] a gépek és az azokat kiszolgáló berendezések vizsgálataival is foglalkozunk. Az állapottól függő karbantartást segítik a rezgésdiagnosztikával és a termovízióval kapcsolatos munkák [2], [3]. Az ipari robotok vizsgálatával közel húsz éves tapasztalattal rendelkezünk [6].

A dinamikus merevség vizsgálatát kétféle megoldásban végezhető el. Az egyik mérési eljárásnál ütésgerjesztéssel, – a vizsgáló függvény impulzusfüggvény - a másikonál harmonikus gerjesztéssel - a vizsgálófüggvény exponenciális, ahol  $s$  képzetes - terheljük a robotkar végpontját. Jelen munkában az ütésgerjesztéses vizsgálatot mutatjuk be.

#### DINAMIKUS MEREVSÉGI JELLEMZŐK

Egy mechanikai szerkezet (robotkar) adott pontjára a dinamikus merevség a

$$C(j\omega) = \frac{F(j\omega)}{D(j\omega)} \quad C(f) = \frac{F(f)}{D(f)}$$

összefüggéssel adható meg. Ahol:

$$j = \sqrt{-1}$$

$\omega =$  a gerjesztő erő illetve a létrejövő dinamikus deformáció körfrekvenciája [Hz],

$f =$  a gerjesztő erő illetve a létrejövő dinamikus deformáció frekvenciája [Hz],

$F =$  a gerjesztő erő [N],

$D =$  a gerjesztés hatására létrejövő deformáció [ $\mu\text{m}$ ]

$C =$  a dinamikus merevség, tehát az adott frekvenciájú dinamikus deformációt okozó gerjesztés (terhelés) és az ennek hatására létrejövő deformáció hányadosa [ $\text{N}/\mu\text{m}$ ].

A merevség reciproka [4] a dinamikus gyengeség

$$G(j\omega) = \frac{D(j\omega)}{F(j\omega)} \quad G(f) = \frac{D(f)}{F(f)}$$

könnyebben értelmezhető, mint az adott frekvenciájú egységnyi dinamikus terhelésre létrejövő dinamikus deformáció [ $\mu\text{m}/\text{N}$ ].

A dinamikus deformáció mérése általában csak közvetve lehetséges, a könnyen mérhető gyorsulásjel kétszeres integrációjával. A torzítások elkerüléséért sokszor elhagyják az integrálást és az ún. dinamikus inertanciát mérik;

$$I(j\omega) = \frac{a(j\omega)}{F(j\omega)} \quad I(f) = \frac{a(f)}{F(f)}$$

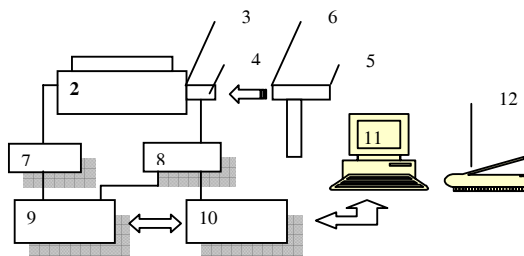
ahol:  $a$  a gerjesztés hatására létrejövő gyorsulás [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

Ha a sajátfrekvenciákat akarjuk nagy megbízhatósággal meghatározni, célszerű az integrálást elkerülni és a dinamikus inertanciát mérni.

### 3. ÜTÉSGERJESZTÉSES VIZSGÁLATI MÓDSZER

A dinamikus gyengeségi helyek frekvencia meghatározásának legegyszerűbb módszere az ütésgerjesztéses vizsgálat. A végtelen rövid idejű ( $\Delta t \rightarrow 0$ ) és végtelen nagyságú ( $F \rightarrow \infty$ ) ütés egységnyi amplitúdójú frekvenciaspektruma ugyanis azt jelenti, hogy a vizsgált tárgyat az összes frekvencián azonos erővel gerjesztjük. Így a válaszfüggvény és az erőfüggvény frekvenciaspektrumainak hányadosa egyszerűen és közvetlenül megadja a dinamikus gyengeségi, illetve inertanciaspektrumot.

A robotkar forgatható végpontjára (1. ábra 1 tétel) szerelhető terhelésközvetítő készülék konstrukciója (1. ábra 2 tétel) lehetővé teszi az erő- és gyorsulásérzékelő vízszintes illetve függőleges felszerelését is. Az erőt piezo erőmérő cella (3) érzékelté, amelynek jele erősítés (8) után a gyorsulásérzékelők jeleivel - integrálást és erősítést (7) követően - együtt mérőmagnetofonnal került rögzítésre (1. ábra 9 tétel).



1 robotkarvég	5 ütő kalapács	9 mérőmagnetofon
2 terhelésközvetítő készülék	6 ütőbetét	10 FFT analízátor
3 piezo erőmérő cella	7 integráló töltéserősítő	11 Számítógép
4 előfeszítő betét	8 töltéserősítő erőmérő cellához	12 nyomtató

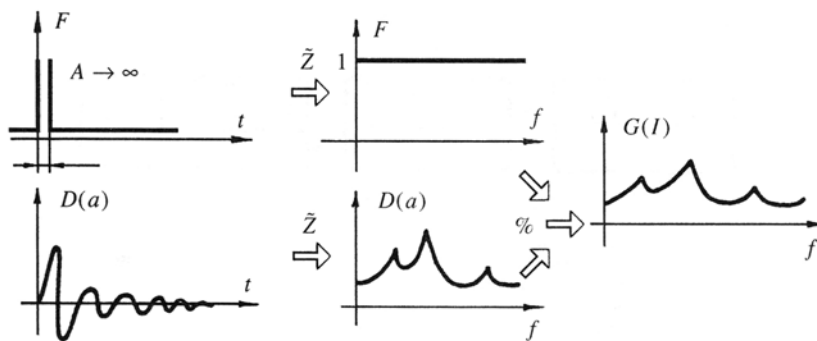
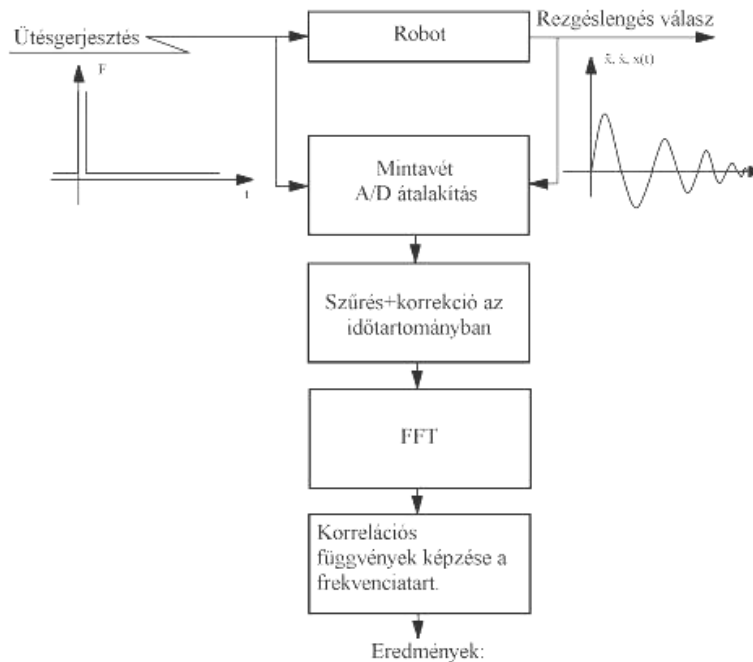
1. ábra Ütésgerjesztéses dinamikus merevség vizsgálati összeállítása



#### 4. A KIÉRTÉKELÉS ALGORITMUSA

Az ütésgerjesztéses vizsgálat elvi lépései a 2. ábrán láthatók. Kövessük végig a vizsgálat és kiértékelés folyamatát.

- Az erőjel hitelesítését kalibrált amplitúdójú szinuszjel segítségével végeztük. Így a mérések-nél használt beállításnál is leolvashatók az ütésgerjesztés (erő)- idő függvény pillanatnyi értékei.
- A gyorsulásjel hitelesítését rázóasztal segítségével végeztük, amely  $1g=9,81 \text{ m/s}^2$  hiteles gyorsulással rezgeti a gyorsulásérzékelőt.
- A gerjesztő erőjelet lehetőleg minél jobban a Dirac impulzus jelalakra kell hozni. A visszapattanások és lecsengések kiszűrésére az erőjelnél un. (flat) – négyszögablakot kell használni. A válaszjelet viszont exponenciális szűrésnek kell alávetni, hogy a lecsengés utáni jelek a Fourier-transzformációnál ne okozzanak torzítást.



2. ábra

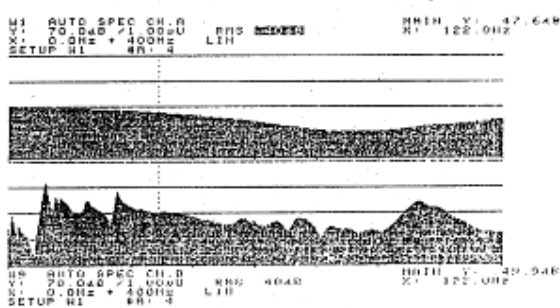
Az ütésgerjesztéses vizsgálat kiértékelésének algoritmus

- Az erőjel természetesen nem elégítheti ki a Dirac impulzus feltételeit és így csak meghatározott frekvenciáig jelent a spektrumban egyenletes gerjesztést. Az ütésjel frekvenciaspektrumát képezve megállapítottuk, hogy a legfontosabb 0-100 Hz-es sávban a gerjesztő erő spektruma egyenletesnek fogadható el, mivel 122 Hz-nél is még kisebb volt a szintesés mint 3 dB. (3. ábra)
- Mivel az erőjel spektruma igen egyenletes, ezért a gyorsulásválasz és a dinamikai inertancia  $H1(f) = a(f)/F(f)$  függvénye szinte teljesen megegyezett. (4. ábra)

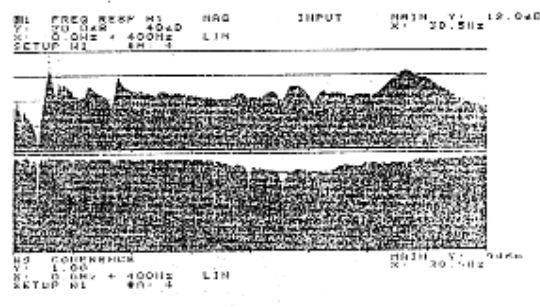
A mérés megbízhatóságát az igen jónak nevezhető koherencia-függvény is jelezte.

- A gyorsulás és inertancia jelekből kétszeres integrálással képeztük a kitérés válaszspektrumot és a dinamikai gyengesség függvényeit. A magasabb frekvenciákon egyértelműen megfigyelhető volt az amplitúdó-vágás. Mivel ez már a robot működésének szempontjából fontos, alacsony frekvenciákon is elég jelentős, ezért a későbbiekben a kritikus sajátfrekvenciákat elsősorban a dinamikai inertancia függvényekből célszerű kiolvasni.
- A a gumi és a danamid ütőbetéttel végzett gerjesztés eredményeit hasonlítva egyértelműen megállapítható volt, hogy a danamid-betét az alacsonyabb frekvenciás csúcsokat elmossa, azonosíthatatlanná teszi.

Mivel a robot működése szempontjából ez az igazán érdekes frekvenciatartomány, a robotvizsgálatoknál a gumi betétet használtunk.



3. ábra Ütésgerjesztés és gyorsulásválasz spektrumok [dB]



4. ábra Dinamikai inertancia  $H1(f) = a(f)/F(f)$  és a koherencia függvény

## IRODALOM

- [1] Hermann Gy. : Error Analysis and Correction of a 2D Virtual Measuring Frame 4<sup>nd</sup>. Slovakian Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence SAMI 2006 p. 556-562
- [2] Szabó József Zoltán: Termográfia és rezgésmérés a megelőző karbantartásban – a komplex diagnosztika előnyei GTE Gép Különszám 2006 július
- [3] Szabó József Zoltán: Gépek élettartamának növelése tengelybeállítással Pneumatika, hidraulika hajtástechnika, automatizálás szakfolyóirat X. évf. 2006 pp. 49-55
- [4] G. Endrocz: Signal Identification Method for Diagnostik use with Filter Triad. KFKI-1980-57.
- [5] Tibor Cselle: Modulares Mess- und Steuersystem zur Überwachung und Führung für spanende Werkzeugmaschinen. Dissertation. Dresden, 1985.
- [6] Attila Bencsik: Robotkar vizsgálata hidraulikus hajtású ipari robotoknál. (Robot arm investigation on hydraulic driven industrial robots.) XII. Scientific Session of Technical College "Kandó Kálmán". 1988. pp. 30-37.

# Csavarfelületek geometriai hibáinak modellezése

## MODELING SHAPE ERRORS OF WORM GEARS

Dr. BERCSEY Tibor<sup>1</sup>, GROMA István<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., kand., habil., <sup>2</sup>Ph.D. hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépszerkezettani Intézet, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Tel.: (+36)-1-463-2345, Fax: (+36)-1-463-3510, URL: <http://gszi.bme.hu/>

<sup>1</sup>bercsey.tibor@gszi.bme.hu, <sup>2</sup>groma.istvan@gszi.bme.hu

### ABSTRACT

*The development of space research, military and medical technology requires more exact and more efficient power transmission techniques. In order to create efficient gearings it is important to produce gear parts with proper geometrical. Our goal was to work out a mathematical model for handling shape errors in worm gear manufacture. The model is a new approach in order to analyze confidence level and properties of gear manufacturing methods.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Az űrkitűzés, a hadipar és az orvostechika fejlődése egyre pontosabb és hatékonyabb hajtóművek fejlesztését teszi szükségessé. Megbízható alakzáró hajtóművek előállításának fő feltétele, hogy pontos geometriával gyártsuk a hajtópár elemeit. Célunk, hogy a gyártási elégtelenségekből származó alakhibák analizálására alkalmas modellt dolgozzunk ki. A modell egy új megközelítés gyártási eljárások megbízhatóságának vizsgálatára, valamint azok adottságainak elemzésére.*

**Kulcsszavak:** csavarfelület, gyártási elégtelenségek, alakhiba, determinisztikus- és sztochasztikus hibatagok, valószínűségi geometria

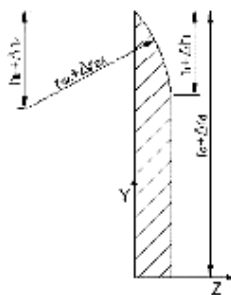
### BEVEZETÉS

Egy megbízható, hosszú élettartamú alakzáró hajtómű előállításának feltétele, hogy a hatópárt pontos geometriával gyártsuk. Az alakhibával gyártott fogaskerekek nem megfelelően kapcsolódnak egymáshoz, így működés közben energiavesztés lép fel, ami egyrészt rontja a hajtómű hatásfokát, másrészt érzékelhető mellékhatásai vannak: zaj, kopás, csapágyak túlzott terhelése. A kapcsolódás feltétele, hogy a hajtópár működő felületei egymás konjugált felületei legyenek. A konjugált felületek érzékenyek az alakhibákra, ezért a gyártásból fakadó alakhibák elemzésére kialakított modellünk segítséget nyújthat megbízhatóbb hajtóművek előállításához, valamint a legyártott hajtópárok tulajdonságainak elemzéséhez. Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban kizárólag hengeres csigahajtópárok alakhibáinak modellezésével foglalkozunk.

### CSAVARFELÜLETEK ALAKHIBÁINAK SZÁRMAZTATÁSA

A gyártási-, megmunkálási hibák szorosan kapcsolódnak a gyártástechnológiához, ezért az alakhibák modellezését az alkalmazott gyártási eljárásra alapozzuk. 0 alapján feltételezzük, hogy a csiga forgácsolással készül (köszörűkoronggal), majd a hozzá kapcsolódó tányérkerék fogazatát egy, a csigával azonos módon megmunkált lefejtőmaróval alakítják ki. Ilyen gyártástechnológia mellett az alakhibák legnagyobb mértékben a csigakerék és a lefejtőmaró csavarfelületének megmunkálási problémáiból adódnak. Az alakhibák modellezéséhez az 0 és 0-ban ismertetett ún. Dudás-féle összevont általános kinematikai modelltől indulunk ki. 0 megkülönböztet ún. direkt, illetve indirekt feladatot. Direkt feladatnak azt nevezzük, mikor egy adott csavarfelület forgácsolásához szükséges szerszám profilját származtatjuk a csavarfelületből. Az indirekt feladat ennek fordítottja; adott a szerszámprofil, amelynek

segítségével a csavarfelület geometriájának meghatározása a feladat. Mivel gyártáskor alapvetően a szerszámot (köszörűkorong) tekintjük adottnak, egy indirekt feladattól indulunk ki.



1. ábra

*JKörív alkotójú szerszám geometriáját leíró paraméterek tengelymetszetben ábrázolva.*

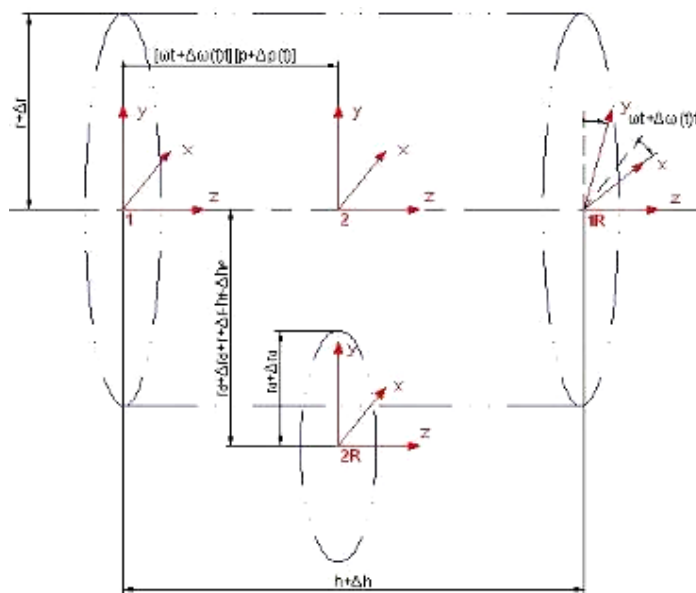
Az 1. ábrán egy köríves fogprofil forgácsolásához használt köszörűkorong tengelymetszete látható. A szerszámot egy koordináta-rendszerbe helyezve, két futó paraméter bevezetésével ( $u$ ,  $w$ ) a korong működő felülete formalizálható (a képletben szereplő szimbólumokról később lesz szó):

$$u \in \left[ 0, \sqrt{(r_{ax} + \Delta r_{ax})^2 - (h_k + \Delta h_k - h_f - \Delta h_f)^2} - \sqrt{(r_{ax} + \Delta r_{ax})^2 - (h_k + \Delta h_k)^2} \right], \quad w \in [0, 2\pi] :$$

$$r_{2R} := \begin{bmatrix} \sin(w) \left( \sqrt{(h_k + \Delta h_k)^2 - 2u\sqrt{(r_{ax} + \Delta r_{ax})^2 - (h_k + \Delta h_k)^2} + u^2} + r_d + \Delta r_d - h_k - \Delta h_k \right) \\ \cos(w) \left( \sqrt{(h_k + \Delta h_k)^2 - 2u\sqrt{(r_{ax} + \Delta r_{ax})^2 - (h_k + \Delta h_k)^2} + u^2} + r_d + \Delta r_d - h_k - \Delta h_k \right) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$u$

A csavarfelület meghatározásához szükségünk van a szerszám által leírt mozgáspályájára. Mivel a korong mozgása elemi elfordulásokra és eltolásokra bontható (homogén lineáris transzformációk), ezért homogén koordinátákat bevezetésével a teljes mozgás leírható mátrixos formában. A mozgás saját paraméterének ( $t$ ) fizikai jelentése a megmunkálási idő.



2. ábra

*A csavarfelület gyártását leíró matematikai modellhez használt koordináta-rendszerek*

A mátrix meghatározásához több köztes, mozgó, merőleges koordináta-rendszert vezetünk be a 2. ábra szerint, majd az áttérési transzformációk szorzatából adódik az eredmény (a csigával együtt forgó koordináta-rendszerből nézve:  $IR$ ).

$$t \in \left[ 0, \frac{h+\Delta h}{(p+\Delta p)(\omega+\Delta\omega)} \right] :$$

$$M_{2R,1R}(t) = \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \Delta\omega(t)t) & \sin(\omega t + \Delta\omega(t)t) & 0 & 0 \\ -\sin(\omega t + \Delta\omega(t)t) & \cos(\omega t + \Delta\omega(t)t) & 0 & \begin{matrix} h+\Delta h+r_d+\Delta r_d+ \\ +r+\Delta r-h_f-\Delta h_f \end{matrix} \\ 0 & 0 & 1 & -(\omega t + \Delta\omega(t)t)(p + \Delta p(t)) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Egy adott felületponthoz tartozó normál- illetve relatív sebességvektorból a kapcsolódás általános törvényének segítségével kifejezhető a  $w$  paraméter, a kapott értéket  $w^*$ -al jelöljük.

$$\begin{aligned} n_{2R}(u, w) &= \frac{d}{du} r_{2R}(u, v) \times \frac{d}{dw} r_{2R}(u, w) \\ v_{2R}^{21}(u, w, t) &= M_{2R,1R}(t) \cdot \frac{d}{dt} M_{2R,1R}^{-1}(t) \cdot r_{2R} \\ n_{2R}(u, w) \cdot v_{2R}^{21}(u, w, t) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Végül a csavarfelülethez rögzített koordináta-rendszerbe áttérve ( $IR$ ), megkapjuk a teljes csavarfelület paraméteres alakját, a megmaradó szabad paraméterek;  $u$  ill.  $t$ .

$$r_{1R}(u, t) = M_{2R,1R}^{-1}(t) \cdot r_{2R}(u, w^*) \quad (4)$$

Fontos peremfeltétel, hogy a megmunkált csavarfelület nem nyúlhat túl a csiga alaptestén. Ha pontatlan pozicionálással végezzük a forgácsolást, a csavarfelület elcsúszik a hengerhez képest, ezért a fogmélység körkörösen változni fog. Hogy az ilyen jellegű alakhibákat is figyelembe tudjuk venni, további feltételre van szükségünk, ami megszabja, hogy a csavarfelület pontjai csak az alaptesten belül helyezkedhetnek el.

$$\forall u, t : (r_x^2(u, t) + r_y^2(u, t) \leq r^2 \wedge 0 \leq r_z(u, t) \leq h) \quad (5)$$

A szerszámgeometriát, illetve a szerszámmozgást meghatározó paramétereket (mérétek, beállítások, fizikai állandók) egy-egy szimbólummal jelöljük, így a konkrét fizikai adatoktól elvonatkoztatott geometriai modellt kapunk. 0, 0 és 0-ban a szimbólumok valós állandókat jelöltek. Egy fizikai rendszer tulajdonságai csak adott pontossággal mérhetőek meg, állíthatók be. Megközelítésünk szerint a paraméterek egy determinisztikus és egy sztochasztikus tagból tevődnek össze, ahol a determinisztikus tag fejezi ki a paraméter elvárt értékét, a sztochasztikus tag pedig a beállítási pontatlanságból adódó bizonytalanságot. A hibaanalízis szerint például egy hosszúságméretet egy normális eloszlású valószínűségi változóval szokás reprezentálni. A determinisztikus tag jelen esetben a paraméter várható értéke (mérési átlag), a sztochasztikus tag pedig a valószínűségi eloszlást befutó változó. A hibaanalízis során a hiba mértékét egy abszolút korláttal jellemezhetjük, ami a mérési pontosságot határozza meg. Normális eloszlású mennyiség esetén a háromszoros szórást szokás hibakorlátnak tekinteni, mivel a lehetséges esetek 99,8%-ának várható értéktől való eltérése ennél kisebb.

A gyártásgeometriát meghatározó paramétereket rendre a bevezetett determinisztikus és sztochasztikus tagok összegével helyettesítjük. Bizonyos paraméterekre jellemző lehet, hogy a hiba mértéke a megmunkálási idő alatt változik. Ilyen időben változó hibataggal lehet kifejezni azt, ha a köszörűkorong eltolásának sebessége nem állandó, ami egy jellegzetes alakhibához, az osztás és a fogemelkedés ingadozásához vezet. Az időfüggő hibatagokat függvényeként formalizáljuk, ezek - hasonlóan a valós hibatagokhoz - valójában egy-egy függvényhalmazt jelölnek. Ha például az emelkedés, vagy osztás ingadozását akarunk modellezni, akkor a  $\Delta f(t) := A \sin(\omega t)$  függvénnyel helyettesítjük a megfelelő hibatagot, ahol  $A$ -t (amplitúdó) és  $\omega$ -t (körfrekvencia) két új, a geometriát befolyásoló paraméternek tekintjük. Ezek a paraméterek már mérhető mennyiségek, hibaeloszlást tudunk hozzájuk rendelni. A 1. táblázat összefoglalja a hengeres csavarfelület paramétereit és a hozzájuk kapcsolódó hibatagokat ( $\Delta$  jelöléssel).

A gyártásgeometria leírására szolgáló paraméterek			1. táblázat
$h + \Delta h \in (0, +\infty)$	A csiga fogazott hossza (mm).	$r + \Delta r \in (0, +\infty)$	Fejhenger sugara (mm).
$h_k + \Delta h_k \in (0, +\infty)$	A köríves fogprofil középponttávolsága a lábhengertől (mm).	$r_d + \Delta r_d \in (0, +\infty)$	A köszörűkorong maximális sugara (mm).
$h_f + \Delta h_f \in (0, +\infty)$	Működő fogmagasság (mm).	$r_{ax} + \Delta r_{ax} \in (0, +\infty)$	A körív alakú fogprofil sugara (mm).
$\omega t + \Delta \omega(t)t \in [0, +\infty)$	A henger szögsebessége (rad/sec).	$p + \Delta p(t) \in [0, +\infty)$	A csavarvonal emelkedési paramétere (mm/rad).

A hibatagok bevezetésével a (4)-es formális leírás már nem egy konkrét geometriát jelent, hanem az elképzelhető geometriák halmazát. A megmunkált csavarfelület ennek a halmaznak egy eleme, mivel azonban hibahatáron belül az ismereteink hiányosak, nem tudjuk meghatározni, hogy pontosan melyik elem.

$$\left\{ \Delta f_1 \in [-\Delta f_1^*, +\Delta f_1^*], \dots, \Delta f_n \in [-\Delta f_n^*, +\Delta f_n^*] \middle| r_{IR}^{\Delta f_1, \dots, \Delta f_n}(u, t) \right\} \quad (6)$$

Ha a felület geometriával kapcsolatos tulajdonságait akarjuk analizálni (mechanikai feszültség, illeszkedés, kapcsolódási tulajdonságok, tribológiai sajátságok stb.), azt a teljes halmazon kell megtennünk. Egy folytonos halmazt leginkább véletlen mintavételezéssel, statisztikai eszközökkel van mód vizsgálni. A módszer szerint tehát a sztochasztikus hibatagokhoz előállítunk egy véletlen mintát, majd a minta minden egyes eleméhez kiszámítjuk a konkrét geometriát és elvégezzük az analízist, végül az eredményekből különböző statisztikákat számolunk (átlag, tapasztalati szórás stb.). A modell segítségével adott tulajdonságú gyártási környezethez meghatározhatók az előállított csigakerék várható számítható tulajdonságai, illetve az, hogy ezek milyen határok között mozoghatnak.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Hengeres hajtóművel korábbi, gyártásszemléletű geometriai leírását felhasználva, azt determinisztikus ill. sztochasztikus hibatagokkal megfelelően kiegészítve csavarfelületek ún. valószínűségi geometriáját állíthatjuk elő. A valószínűségi geometria a mérési, beállítási pontatlanságokból fakadó bizonytalanságot modellezi. A módszer alapot biztosít egy olyan CAD szoftver kifejlesztésére is, amellyel vizsgálhatók a gyártási elégtelenségekből eredő alakhibák és azok hatásai. A valószínűségi geometria a bemutatottnál bonyolultabb hajtópárookra (helikon-, spiroid-, hipoid-, kúpkerék hajtás) is meghatározható, az általános leírás megalálható 0-ben.

A szerzők köszönetüket fejezik ki, hogy a publikációban szereplő kutatást az OTKA K 62875 számú kutatási szerződés támogatja.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Faydor L. Litvin: Theory of Gearing, NASA, Washington DC, 1989.  
 Dudás Illés: Csavarfelületek gyártásának elmélete, doktori értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc, 1988.  
 Óváriné Balajti Zsuzsanna: Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2006.  
 Dr. Bercsey Tibor, Groma István: Csavarfelületek geometriai hibáinak modellezése, Gép, LVII. évfolyam 2006/8-9. 1. kötet, 57-59 o.

## Pontheesztett szalagkábelcsatlakozók problémái

### PROBLEMS OF THE SPOT-WELDED RIBBON CABLE CONNECTORS

Dr. BERNÁTH Mihály, Dr. VÉGVÁRI Ferenc

Kecskeméti Főiskola GAMF Kar

#### ABSTRACT

*In many cases, fixation of the ribbon cables to the connectors is made by spot-welding. The parameters of the spot-welding influences the quality of the joining. In this paper we are dealing with the influence of the spot-welding parameteres and the subsequent applied injection moulding in plastic socket on the reliability of the connection.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Szalagkábelek csatlakozókhöz való rögzítése sok esetben pontheesztéssel történik. A pontheesztés paraméterei befolyásolják a kötés minőségét. Munkánkban bemutatjuk, hogyan befolyásolja a pontheesztés paramétere és az azt követő műanyagfoglalatba történő fröccsöntés a csatlakozás megbízhatóságát.*

**Kulcsszavak:** Szalagkábel csatlakozó, pontheesztés.

A mai motorizált világunkban millió számra gyártanak az országúti járművekbe (a személyautóktól a kamionokig) ellenállás-pontheesztéses kötésekkel tartalmazó, különböző méretű szalagkábeleket. A szalagkábelek csatlakozásának üzem közbeni meghibásodása súlyos baleseteket idézhet elő, ezért velük szemben fokozott követelményeket támasztanak. A gyártásnál a kábelek rendszeres tesztelése során véletlenszerűen jelentkezve hibás szalagkábel csatlakozókat találtak. Minden gyártó számára elengedhetetlenné válik ilyenkor a selejt okának kiderítése, mert az a számára a piacon már elfoglalt helyzetének megtartását is veszélyeztetheti, és a kábelek üzem közbeni meghibásodása súlyos baleseteket okozhat.



1. ábra. Különböző csatlakozók

A kábelcsatlakozók hegesztéseiknek megbízhatóknak kell lenniük, tartósan el kell viselniük a gépjármű használata során jelentkező különböző frekvenciájú rezgéseket is. A hegesztések SOUDAX GMF5/15 és SOUDAX TEM10 berendezéssel készültek. A pontheesztést volfrám elektródával végzik. Az elektróda 1,5mm átmérőjű, külön hűtéssel nem rendelkezik, ezért hegesztés közben erősen felmelegszik.

Vizsgálatainkat elsősorban a 620 $\mu$ m vastag érintkezőhöz rögzített 35 $\mu$ m vastag vezető szálakat hegesztésére terjesztettük ki. Az általunk vizsgált csatlakozó elem 12 darab egymás mellett, szorosan elhelyezkedő érintkezőt tartalmaz (1. ábra).

## 1. AZ ALKALMAZOTT HEGESZTŐ ELEKTRÓDÁK VIZSGÁLATA

A vizsgálatainkat első lépésben a hegesztő elektródák állapotára, időnként esedékes felújítására helyeztük. Az elektródák elhasználódásának nyomon követésére az elektródákat makroszkopikus és mikroszkopikus vizsgálatoknak vetettük alá 2500 (30 000 hegesztési pont), az 5000 (60 000 hegesztési pont), és a 7500 (90 000 hegesztési pont) alkatrész lehegesztése után.

### a) Elektróda vizsgálata 2500 alkatrész (30 000 hegesztési pont) után.

A 2500 alkatrész lehegesztése után (30 000 hegesztési pont) a jobb és baloldali gép elektródáinak felületén szemcsehatármenti repedések voltak megfigyelhetők (2. – 3. ábra), amelyek lenyomata a hegesztett kötésen is megjelent (4. – 5. ábra). Az ilyen elektródák már nem alkalmasak jó minőségű hegesztési kötés kialakítására.



2. ábra  
Baloldali N10x



3. ábra  
Jobboldali N10x



4. ábra  
Baloldali N10x

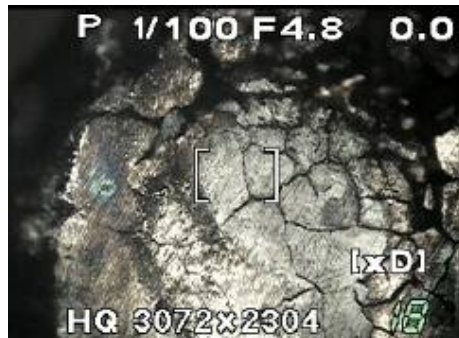


5. ábra  
Jobboldali N10x

### b) Elektróda vizsgálata 7500 alkatrész (90 000 hegesztési pont) után.

A 7500 alkatrész lehegesztése után (90 000 hegesztési pont) a jobb és baloldali gép elektródáinak felületén a berepedések még erőteljesebben jelentkeztek, az egyes szemcsék szinte elváltak. Különösen erőteljes az elhasználódás az elektróda egyes részein, ahol a szemcsék a repedések következtében erősen eltávolodtak (6. – 7. ábrák). Az ilyen mértékben elhasználódott elektródával készített hegesztés a fólia erős roncsolódását okozza (6. – 7. ábrák).





6. ábra  
Baloldali N=10x



7. ábra  
Jobboldali N10x



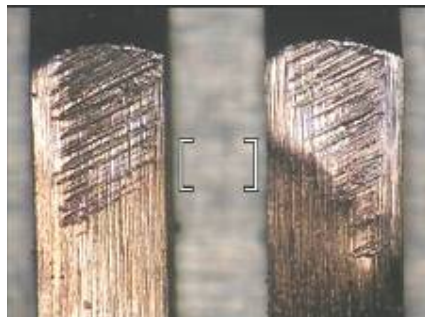
8. ábra  
Baloldali N=10x



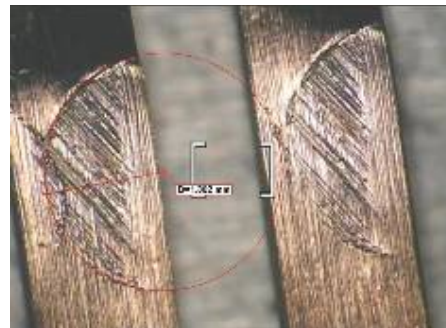
9. ábra  
Jobboldali N10x

## 2. ÚJ ELEKTRÓDÁK VIZSGÁLATA

A gyártó rendelkezésünkre bocsátott új elektródákat is, és a velük kisszámú hegesztés után készített szalagkábeleket. Az elektróda dolgozó felületét megvizsgálva, azon az elektróda méretéhez képest viszonylag nagyméretű egyirányú karcnyomok (feltételezhetően köszörülési nyomok) voltak felismerhetők. Az új elektródával készített hegesztett kötéseken ezek a nyomok jól láthatóak (10. ábra). A lenyomatok nem voltak kör alakúak, így feltételezhető, hogy az erő hatásvonalára az elektróda dolgozó vége nem merőleges. Az új elektródával történt hegesztések vizsgálatánál fényderült arra is, hogy egyes hegesztéseknél durva pozícionálási hibák is előfordulnak (11. ábra), ami szintén okozhatja a kötés nem megfelelő voltát. Az elektródák felületi minőségének és pozícionálási hibáinak kijavítása után sort kerítettünk az alkalmazott áramerősség felülvizsgálatára, mert egyes hegesztett kötések képei (pl.: 4. – 5. és 8.- 9. ábra) túl nagy áramerősséggel történő hegesztés jeleit mutatták.

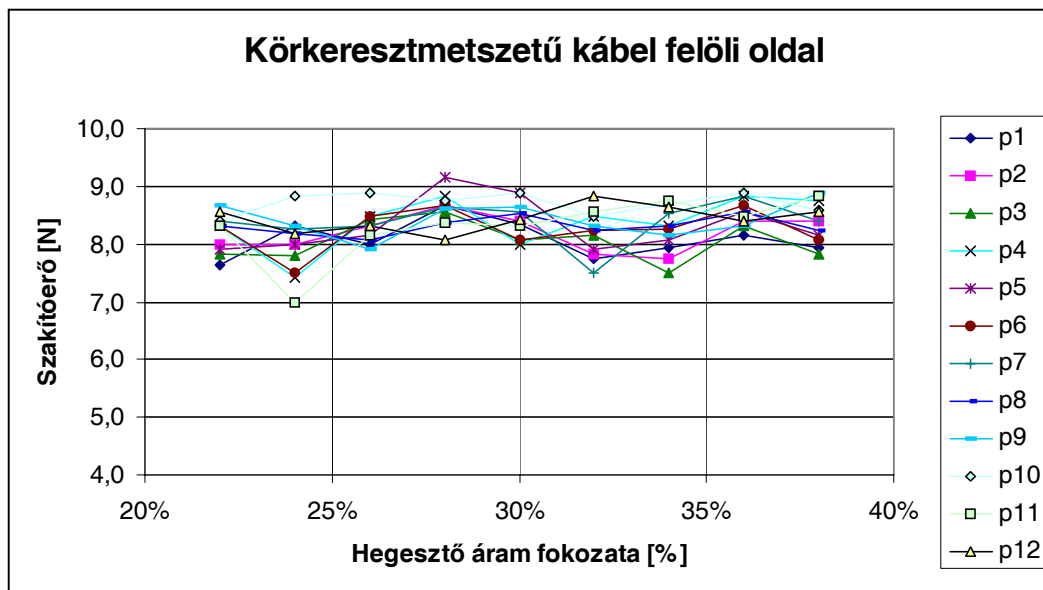


10. ábra  
Új elektródával készített hegesztés  
N=5x

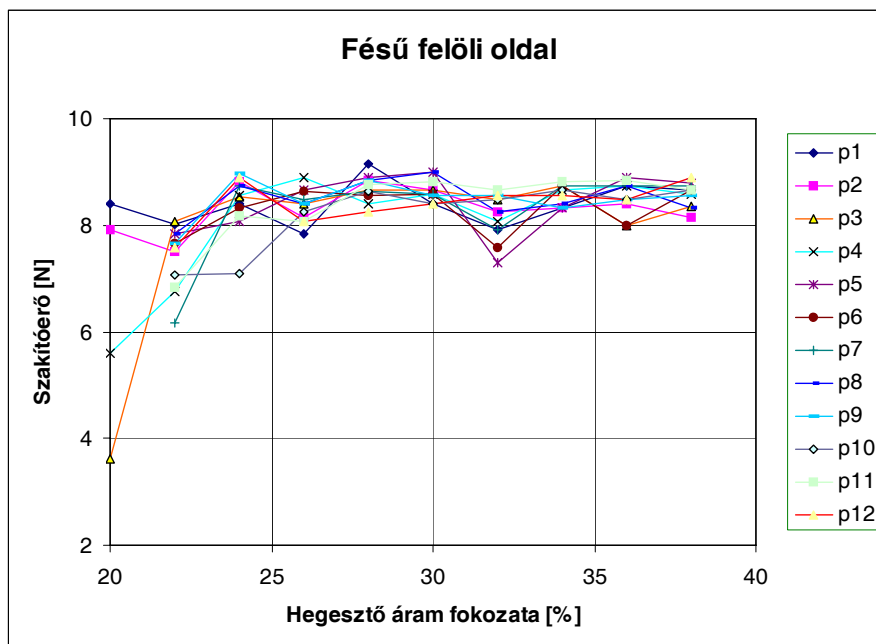


11. ábra  
Pozícionálási hiba  
N=5X

Vizsgálat tárgyává tettük az áramerősség hatását is. Vizsgáltuk az egyre növekvő hegesztési áramerősség-fokozat paraméterekkel készített hegesztésekkel létrehozott kötések szilárdságát. A szalagkábelre vonatkozó követelmény az, hogy hegesztés után minden pontnak min 7 N szakítóerővel kell rendelkeznie. Az elvégzett vizsgálatok eredményeit a 12.-13. ábrákon látható diagramokban mutatjuk be. A diagramokban a p1-p12 az egyes érintkezőkön (összesen 12 db érintkező van egy csatlakozó elemen) mért értékeket jelenti.



12. ábra. A hegesztőáram hatása

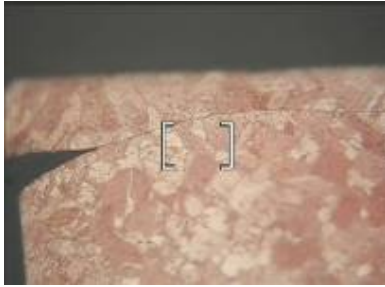


13. ábra. A hegesztőáram hatása

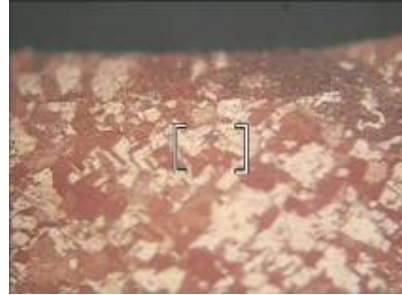
Az elvégzett vizsgálatokból megállapítottuk, hogy az eredetileg alkalmazott 33-35 –(38)% áramfokozat helyett a sokkal kisebb 22-24% áramfokozaton végzett hegesztések szakítóereje is megfelelő szilárdságú kötést biztosít.

### 3. HEGESZTETT KÖTÉSEK VIZSGÁLATA

Az elektródák és az áramerősség szerepe mellett a továbbiakban megvizsgáltuk a hegesztett kötések jóságát is. A vizsgálatokhoz a hegesztési pontokra merőlegesen hosszirányú metszeteket készítettünk. A mikroszkópi vizsgálatok igazolták, hogy helyes beállítás és áramerősség esetén



14. ábra  
Hegesztési pont N50x

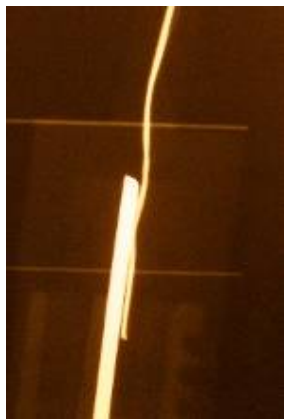


15. ábra  
Hegesztési pont N50x

megfelelő hegesztett kötés készíthető. A hegesztési helyeken felismerhető a részlegesen újrakristályosodott szövetszerkezet, és a két összerősített munkadarab között látható egy vékony határvonal (14.-15. ábrák), amelyet a felületi szennyeződések okozhatnak. Ez a határvonal a megfelelő villamos és szilárdsági tulajdonságokkal rendelkező kötéseknel is felfedezhető, tehát nem befolyásolja a kötés jóságát.

### 4. HEGESZTETT KÖTÉSEK RÖNTGEN VIZSGÁLATA

A már megfelelőnek vélt technológiával készített kész szalagkábelek tesztelésénél ugyan már lényegesen kisebb gyakorisággal, de még mindig akadtak hibás darabok, annak ellenére, hogy a hegesztés után még azok is jónak minősültek. A műanyaggal beöntött kábelvégeket nem lehetett szétszerelni úgy, hogy a kötés az eredeti állapotában maradjon, ezért a kábelvégeket röntgen vizsgálatnak vettük alá. A röntgenvizsgálatok folyamán megvizsgáltunk jó és hibás kábeleket is.



a)



b)



c)

16. ábra  
Felszakadt kötés

A 16.a ábrán fröccsöntés után is jónak mért kötés látható. A 16. b ábrán fröccsöntés közben a beáramló műanyag meghúzta a vékony szalagkábelt, de a kötés még el bírta viselni ezt az igénybevételt. A 16. c ábrán a beáramló műanyag oly mértékben húzta meg a szalagkábelt, hogy a kötés leszakadt, az érintkezés megszűnt.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett vizsgálatok alapján a szalagkábelek csatlakozók gyártása során bevezetett intézkedések hatására a csatlakozók minősége megbízhatósága lényegesen javult.

Javasolt intézkedések:

- Az elektródákat lényegesen kisebb darabszám hegesztése után (2500 alkatrész) le kell cserélni, fel kell újítani.
- A felújított elektródáknál ügyelni kell a homlokfelület tengelyre való merőlegességének a biztosítására.
- Az elektróda felülete nem köszörült, hanem polírozott kell hogy legyen.
- Legömbölyített elektróda alkalmazása szükséges.
- A hegesztési áramerősséget csökkentettük.
- Nagyobb figyelmet fordítanak az elektródák megfelelő pozicionálására.
- Javaslatot tettünk a fröccsöntés anyagáramlási irányának megváltoztatására

### Szerzők:

Dr. BERNÁTH Mihály főiskolai docens  
Kecskeméti Főiskola GAMF Kar  
Fém- és Műanyagfeldolgozó Technológiai Intézet,  
Mechanikai Technológiai Szakcsoport  
bernath.mihaly@gamf.kefo.hu

Dr. VÉGVÁRI Ferenc főiskolai tanár  
Kecskeméti Főiskola GAMF Kar  
Fém- és Műanyagfeldolgozó Technológiai Intézet,  
Mechanikai Technológiai Szakcsoport  
vegvari.ferenc@gamf.kefo.hu

# Nagyrugalmasságú szilikon szenzorok

## HYPERELASTIC SILICONE RUBBER SENSORS

BOJTOS Attila<sup>1</sup>, Dr. HUBA Antal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD hallgató, <sup>2</sup> egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Mechatronika Optika és Műszertechnika Tanszék

1111. Budapest, Egrý J. u. 1., tel.: (+36) 1 463-2602, fax: (+36) 1 463-3787  
bojtos@mom.bme.hu, huba@mom.bme.hu, www.mom.bme.hu

### ABSTRACT

*Silicone rubber is known since '40 in industry but nowadays also it can be used for new applications. Silicone rubber is essential construction material in food industry, medicine and some field of mechanical engineering, because it's mechanical, electrical, biomechanical and other special properties. The paper summarizes the silicon rubber's potential application as sensor and the newest result of the investigation of this topic.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Annak ellenére, hogy a szilikon már a 40-es évektől ismeretes az iparban, újabb és újabb alkalmazási lehetőségek nyílnak előtte. A szilikon gumi mechanikai, villamos, biomechanikai és egyéb különleges tulajdonságai révén napjaink egyik nélkülözhetetlen konstrukciós anyagává vált az élelmiszeriparban, az orvostudományban és az ipar számos területén. A cikk összefoglalja a szilikon gumi szenzorként való alkalmazásának lehetőségeit és a témában folytatott kutatások legújabb eredményeit.*

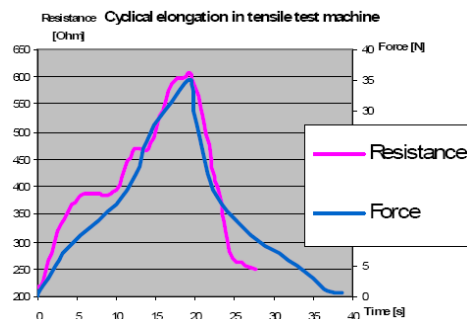
**Kulcsszavak:** Szilikon gumi, szenzor, erőmérő, nyúlásmérő.

### BEVEZETÉS

A szilikon szenzorként való alkalmazásakor főként a szénnel töltött, elektromosan vezető szilikon jöhet szóba. Ennek oka az, hogy manapság minden mért érték feldolgozása elektronikusan történik. A kutatás során Wacker gyártmányú Elastosil R570/70 típusjelű szilikont használunk. A vezető szilikont mindeddig csak elektródák, érintkezők, klaviatúrák, és egyéb elektromosan vezető vagy antisztatikus elemek gyártására alkalmazták. Szenzorként való alkalmazásának egyik fő oka a nagy rugalmasság, ami előnyt jelent az eddig ismert szenzorkonstrukciókkal szemben.

### SZILIKON MINT NYÚLÁSMÉRŐ BÉLYEG

Az széntöltésű szilikon, nyúlásmérő szenzorként való alkalmazását az teszi lehetővé, hogy elektromosan vezető, és deformáció hatására változik az ellenállása. Nagy rugalmassága miatt olyan nyúlásmérő bélyegeket konstruálhatunk, amelynek nyújthatósága akár a 100 %-ot is meghaladja, ellentétben a hagyományos nyúlásmérő bélyegek ( $10^{-7} < \varepsilon = \Delta l/l < 10^{-3}$ ) mérési tartományával. Az elektromos ellenállás és a megnyúlás vizsgálatok azt tapasztaltuk, hogy közöttük szignifikáns korreláció van, és ez a jelenség reprodukálható. [2]



1. ábra: R570/70-es szilikon ellenállás-változása a húzóvizsgálat alatt. [2]

A nyúlásmérő bélyeges feszültségmérés az 1940-es évektől ismert és ma is használatos. A nyúlásmérő bélyeg nem más, mint egy rugalmas deformációt mérő ellenállás. Alapegyenlete:

$$\frac{dR}{R_0} = (1 + 2\nu)\varepsilon + \frac{d\rho}{\rho} \quad (3.1)$$

A bélyeg mérési tulajdonságait jellemzésére, bevezették az ún. bélyegtényezőt v. gauge faktort, melynek képletét az 3.1 egyenlet átrendezésével kapjuk:

$$k = \frac{dR}{R_0} = (1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho} \quad (3.2)$$

Ma a nyúlásmérő bélyegek két formája használatos, a fém huzalos és a félvezető. A fém nyúlásmérő bélyegek bélyegtényezője 1,8 - 2,2 körüli, mely tisztán a tenzometrikus hatásnak, vagyis a fém deformációjának az eredménye. A félvezető bélyegek bélyegtényezője ezzel szemben 100 - 120 nagyságrendű, ami a szinte teljes mértékben a félvezető piezorezisztív tulajdonságának köszönhető.

A kutatás korábbi szakaszában már feltérképeztük az elektromosan vezető szilikon gumi legfontosabb mechanikai és villamos tulajdonságait. A tekintetben viszont még nem vizsgáldtunk, hogy megállapítsuk, vajon milyen hatások befolyásolják a szilikon nyúlásmérő szenzor ellenállás-változását. A vizsgálatokhoz korábbi húzóvizsgálatok mérési eredményeit használtam [4]. A húzóvizsgálat során a nyúlással párhuzamosan mérték a szilikon próbatest ellenállását. A méréseket 3-szor végezték el ugyanazon a próbatesten, és összesen 3 próbatesten, különböző frekvencián mérve. A mérési pontokra az

$$R(x) = R_0 + A \left( 1 - e^{-\frac{x}{T}} \right) \quad (3.3)$$

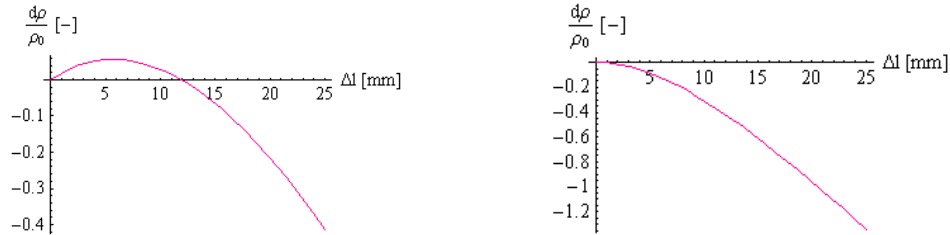
függvényt illesztettem, ahol A és T paraméterek. Az ellenállás-változás, tenzometrikus és piezorezisztív komponensekből áll. Noha ez utóbbi nem azonos a kristályoknál és kerámiáknál tapasztalt jelenséggel, a szakirodalom [5] mégis piezorezisztív hatásként említi. Ennek oka az, hogy ebben az esetben is, az anyag a fajlagos ellenállása, (külső) mechanikai feszültség hatására megváltozik. A fajlagos ellenállás megváltozásának oka a szénszemcsék eloszlásának megváltozásában keresendő. A tenzometrikus komponens csak a geometria változásától függ, így a Poisson tényező és a fajlagos nyúlás ismeretében könnyen számolható (3.4 egyenlet).

$$r_{tenz} = (1 + 2\nu)\varepsilon \quad (3.4)$$

A piezorezisztív komponens nem ismert ezért azt, az eredő ellenállás-változás és a tenzometrikus rész hányadosaként számoltam (3.5 egyenlet).

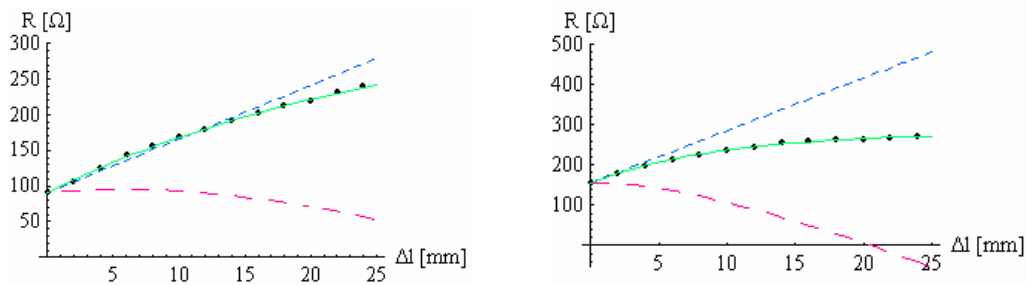
$$r_{piez} = \frac{d\rho}{\rho} = \frac{R(x) - R_0}{R_0} - (1 + 2\nu) \cdot \frac{x}{l_0} \quad (3.5)$$

A 2. ábrán a fajlagos ellenállás-változás piezorezisztív komponensének függvénye látható. Az 1. húzás görbéjének (bal oldali) van egy emelkedő szakasza is. A 2. és 3. húzásakor kapott görbéknel (jobb oldali) már csak csökkenő szakasz jelentkezett, aminek mértéke is nagyobb volt, mint az első húzásakor. Ez a jelenség a gumik más tulajdonságaiban is megjelenik. Tehát az 1. húzást (szűzgörbe) követően fokozatosan felvesz egy állandósult értéket. Ez azzal magyarázható, hogy a gumiban az első igénybevételekkor maradandó változások jönnek létre.



2. ábra: A fajlagos ellenállás-változás piezorezisztív részének alakulása az 1.(bal) és a további húzásokkor (jobb).

A 3.a ábrán egy diagramban ábrázoltam a mért értékekre illesztett ellenállás görbét a tenzometrikus és a piezorezisztív komponensekkel. A szemléletesség kedvéért az origó helyett az R<sub>0</sub> pontból indulnak a görbék, ami azt mutatja, hogy milyen lenne az ellenállás változás, ha tisztán csak a tenzometrikus, vagy tisztán csak a piezorezisztív hatás érvényesülne.



3. ábra: Az ellenállás-változás ———, valamint annak tenzometrikus ——— és piezorezisztív ——— része, az 1. és a további húzásokkor.

Ha az exponenciális függvény helyett az ellenállás görbét egy egyenessel közelítjük, akkor a bélyegállandó kiszámításakor konstanszt kapunk. A kilenc húzóvizsgálatból kapott bélyegállandók az 1. táblázatban vannak összefoglalva. Ebből is látszik, hogy az 1. mérés volt a legnagyobb, majd a 2. ill. 3. mérés értékek közel azonosak.

A gauge faktorok értéke a különböző húzóvizsgálatoknál

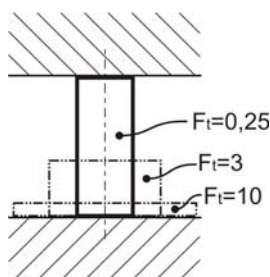
1. Táblázat

k	1. próbatest	2. próbatest	3. próbatest
	4 kHz	9,5 kHz	0,4 kHz
1. mérés	<b>1,79</b>	<b>2,42</b>	<b>2,38</b>
2. mérés	<b>0,89</b>	<b>1,12</b>	<b>0,86</b>
3. mérés	<b>0,91</b>	<b>1,04</b>	<b>0,92</b>

### SZILIKON MINT NYOMÓERŐ-MÉRŐ SENZOR

Hasonlóan a nyúlásmérőhöz, összenyomódás ill. nyomóerő mérésére is felhasználhatjuk a vilamosan vezető szilikon gumit. Az elektromosan vezető szilikon fajlagos ellenállása és a nyomóerő közötti pontos összefüggés megismerése érdekében és konkrét szenzor konstrukciók kidolgozásához elengedhetetlenül szükséges nyomóvizsgálatok elvégzése. A nyomóvizsgálat során a nyomódiagram felvétele mellett, rögzítjük az ellenállás-változást is.





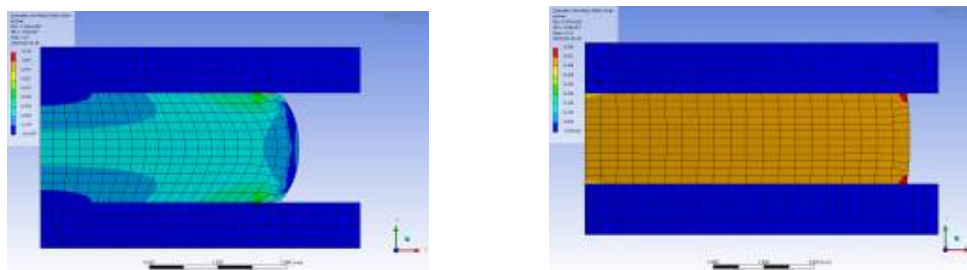
4. ábra: Különböző Formátényezőjű próbadarabok nyomásvizsgálata.

Eltérő formátényezőjű próbatetek vezetőképességre tett hatását, különböző magasságú hengeres testek nyomásvizsgálatával végezzük. A formátényezőt a befogott felületek, és a szabad felületek hányadosa adja.

$$F_t = \frac{A_{befogott}}{A_{szabad}} = \frac{d}{2h} \quad (4.1)$$

A vizsgálat célja a formátényező, jelleggörbére tett hatásának meghatározása. A szakirodalomban található mérések szerint a 0,25 formátényezőjű próbatest deformációja független a befogás felületének minőségétől. Az ilyen oldalarányú ( $h=2d$ ), hengeres próbatestet választották szabványosnak.

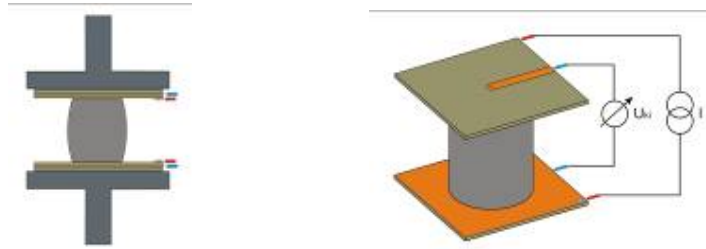
Azért, hogy vizsgáljuk a különböző típusú deformáció hatását a vezetőképességre, egy szabványos méretű hengeres testen nyomóvizsgálatokat végzünk, a támadási felületek különböző csúszási tulajdonságai mellett. Az említett vizsgálat már ismert, de villamos tulajdonságok mérésekor, tudtommal, még nem alkalmazták. Abban az esetben, amikor a nyomott felület nem mozdul el, a palástfelület hordósodik. Ezt úgy érhető el, hogy a nyomópofák érdesek, vagy hozzá vannak vulkanizálva a gumihoz. Az érintkező felületek kenésekor, azok a deformáció során elcsúsznak a nyomópofákon, így nem történik hordósodás, a palástfelület hengeres marad. A kent állapot eléréséhez, olyan kenőanyagot kell használni, ami vezet a elektromos áramot. A vizsgálat során az ellenállásmérést úgy a legcélszerűbb megoldani, hogy a megfelelően kialakított nyomópofák jelentsék a próbadarab elektromos kivezetését.



5. ábra: Szilikon nyomóvizsgálatának szimulálása, különböző felületminőségű nyomópofákkal.

A nyomópofák és a szilikon gumi közötti kontaktellenállás nem elhanyagolható a mért ellenálláshoz képest és nagysága bizonytalan. Az érintkezések átmeneti ellenállásának hatása részben kiküszöbölhető a mérendő ellenállás négyvezeték bekötésével, azaz az áram hozzávezetés és a feszültségmérés kapcsainak elkülönítésével. Ilyen négyelektródás méréseket alkalmaznak, pl. talajellenállás méréséhez, vagy felvevő lapkák felületi ellenállásának méréséhez. A nyomóvizsgálat során az elektromos kivezetést két nyáklap jelenti, amely a nyomóerőt közvetíti. A jobb érintkezés elérése érdekében arany bevonat alkalmazható.





6. ábra: A nyomóvizsgálat és a mérési elrendezés.

A szakítógép pofáiba való befogás legegyszerűbb módja, ha a 6. ábrán látható T-alakú elemre ragasztjuk a nyákot. A T elem szára befogható a szakítógép pofái közé.

### SZILIKON SENZOR ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

Felmerül a kérdés, hogy miért jobb a szilikonból készíthető szenzor mint a ma használatos szenzorok? A válasz a szilikon nagy rugalmasságában keresendő. A nyúlásmérő szenzor esetében láthattuk, hogy a hagyományos bélyegekkel ellentétben akár 100 %-os nyúlás mérésére is alkalmas. A nyomó-erő mérő szenzor esetében ez a tulajdonsága a szilikonnak, akkor lehet előnyös, ha több szegmensből álló szenzormátrixról van szó. „In vitro” biomechanikai vizsgálatoknál az ízületek közötti nyomóerő mérésére alkalmas szenzormátrix, rugalmas tulajdonságai miatt felveszi az ízület alakját, vagy eleve a kívánt alakúra készíthető.



7. ábra: Mátrix elrendezésű erő szenzor.

A szilikon más tulajdonságait is kihasználva, integrált szerkezeteket lehet létrehozni, például olyan csillapító elemet, ami egyben erőmérésre is alkalmas. Nagy jelentőséggel bírna egy ilyen konstrukció az erővisszacsatolt robotmegfogók építésénél.

*A kutatást az OTKA T048386 számú projekt támogatja.*

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Molnár László: Szilikon anyagú finommechanikai elemek és szerkezetek modellezése. PhD disszertáció, BME, 2002.
- [2] L. Valenta, Dr. A. Huba: Silicone Rubber Strain Gauge with High Elasticity, REM2005June 30th–July 1st 2005 France.
- [3] Dr. Halamai Attila: Intelligens Gépek elemei. Előadásjegyzet BME
- [4] Paulik Szabina: Vezető szilikon elasztomerek mechanikai vizsgálata. Diplomatervezés 2005
- [5] A. K. Kulshreshtha, C. Vasile: Handbook of Polymer Blends and Composites, 2002. Rapra Technology, Shrewsbury

## Lemezalkatrészek méretváltozásának és felületi érdességének vizsgálata vízzel történő vágás után

### EXAMINATION OF THE SURFACE QUALITY AND OF THE DIMENSION VARIATION OF PLATE-COMPONENTS FOLLOWING WATER JET CUTTING

Dr. BOZA Pál, PÁLFI Imre

Kecskemét College Faculty of GAMF  
Department of Manufacturing Engineering

#### ABSTRACT

*In this article, we examine the variation of the surface quality and dimension of the cut cross-section at the entry and exit of the water jet in function of the cutting speed and the material's thickness. At different thickness and cutting speed levels we have measured at the exit of the water jet the surface roughness on the cut cross-section. The pressure of the liquid, the diameter and distance of the nozzle remained constant. The cut cross-section was filmed by microscope.*

#### BEVEZETÉS

*Ebben a munkában a felületi érdesség és a vágott keresztmetszet méretszórását vizsgáltuk a vízszög bemeneti és kimeneti oldalánál, a vágási sebesség és a vágott anyag vastagságának függvényében. Minden esetben a vágáshoz használt folyadék nyomását, a fúvóka átmérőjét és a fúvóka távolságát a vágott felületről állandó értéken tartottuk. A vágott felületet mikroszkóppal is megvizsgáltuk.*

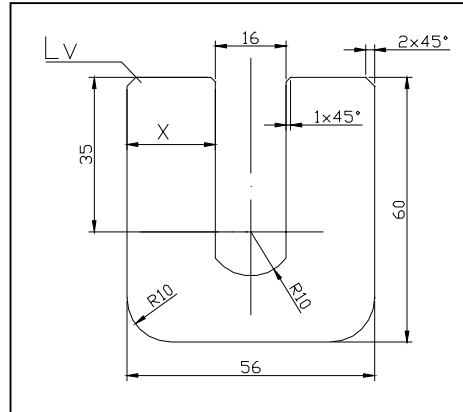
*A nagynyomású vízszög vágási technológiát néhány évtizede alkalmazzák az ipar legkülönbözőbb területein, az autóipartól kezdve a repülőgépgyártáson, az élelmiszeriparon keresztül a papír- és a szigetelőanyag-gyártásig. Ez a technológia steril vágásnak is megfelel, ezért például mélyfagyasztott húst, süteményt is darabolnak az eljárással. Összességében sokoldalúan alkalmazható, mivel termelékeny és környezetbarát. A nagynyomású szivattyúval akár 4000-6000 bar víznyomás is előállítható, ami speciális vezetéken keresztül éri el a vágófejet. A vágófejből kilépő vízszög láncza alakot formál, ha polimer részecskéket adagolnak hozzá és körülbelül 900-1000 m/s sebességgel éri el a megmunkálendő anyag felületét. Gyakorlatilag a vízszög kinetikai energiája eredményezi a vágást, míg kemény anyagok vágásakor abrazív szemcsék alkalmazására van szükség. Ekkor a vízszögbe kevert abrazív anyag koptató hatása teszi lehetővé a megmunkálást. A vízszög vágás során nem történik hőbevitel, így nem kell számolnunk a termikus eljárásokra jellemző káros hatásokkal, mint pl. anyagszerkezeti változásokra, vetemedésekre stb. A reflektív, kompozit és hőérzékeny anyagok is jó minőségben, kis vágási résszel munkálhatók meg.*

*A vágás minősége alapvetően az alábbi technológiai paramétereiktől függ: az alkalmazott nyomástól, a fúvóka méretétől, az abrazív anyag mennyiségétől, az abrazív szemcse méretétől, a fúvóka mozgásának sebességétől, a vágás magasságától (a láncza csúcsának távolsága a vágandó felszíntől), a láncza fókuszálhatóságától és a vágandó darab vastagságától, valamint összetételétől. A vágási paraméterek hatásának a vizsgálatához néhány technológiai paramétert állandó értéken tartottunk.*

#### KISÉRLETI RÉSZ

*A vizsgálatokhoz melegen hengerelt ötvözetlen szerkezeti acélt (S275 J2 G3) és ausztenites Cr-Ni acélt (X5CrNi18-10) választottunk, amelyek a megmunkálás során a gyártóknak gyakran okoznak nehézséget. A kivágott próbadarab méreteit az 1. ábrán láthatjuk. A vágás során az alábbi paramétereket állandó értéken tartottuk:*

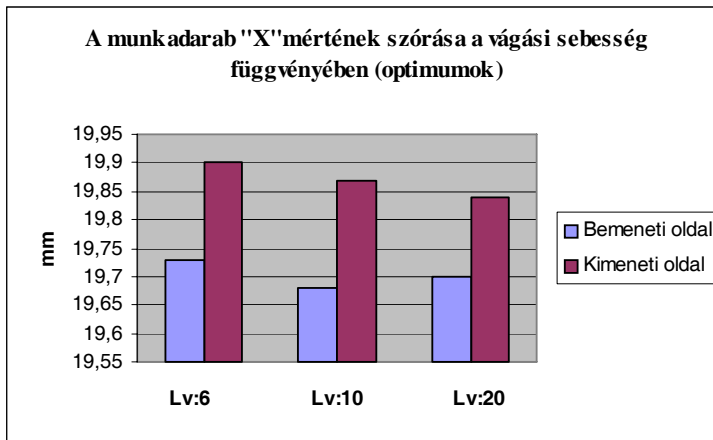
- Nyomás: 2300 bar=230 MPa
- Abrázív anyag: 160 g/min
- Fúvóka átmérő: 0,9 mm
- Fókusz: 0,3 mm
- Indítási idő: 4 sec
- Vágási magasság: 4 mm



1. ábra.

A próbadarabon az „X” méret ellenőrzését végeztük

A melegen hengerelt ötvöztelen szerkezeti acélnál az „X” méret szórásának alakulását láthatjuk a vágás után (2. ábra). A vágott felület érdességének alakulását a 1. táblázatban összegeztük (az értékeket öt mérés átlagából számítottuk). Valamennyi próbatesten a felületi érdesség alakulását a vágási keresztmetszet azon oldalán mértük, ahol a vízszög elhagyta az anyagot, mivel minden esetben itt alakult ki kedvezőtlen érték.



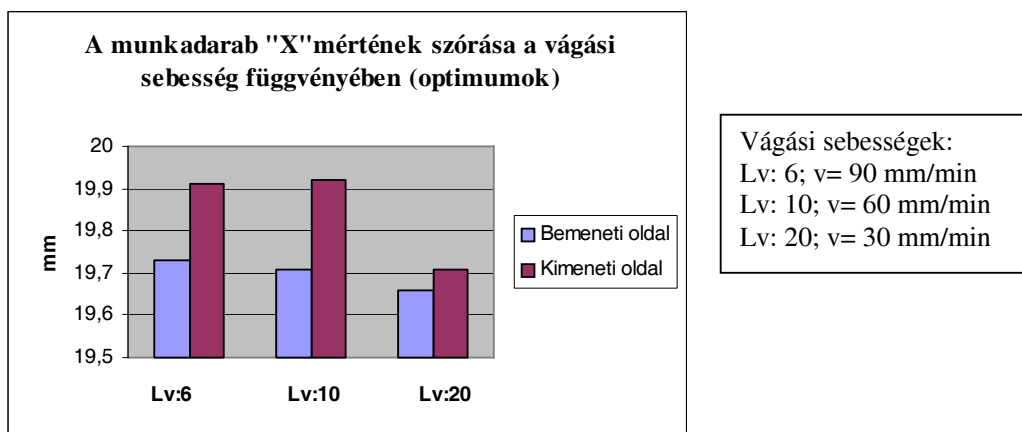
Vágási sebességek:  
 Lv: 6; v=90 mm/min  
 Lv: 10; v=60 mm/min  
 Lv: 20; v=30 mm/min

2. ábra. A próbadarab „X” mértékének szórása a lemezvastagság függvényében

1. táblázat. A felületi érdesség mérőszámai közel optimális vágási paraméter esetében

Optimum értékek		Anyag: S275 J2 G3		
Vastagság	Átlagos felületi érdesség (Ra)	Érdesség-mélység (Rt)	Hullám-mélység (Wt)	Vágási sebesség m/min
Lv: 6 mm	4,78	45,15	16,90	90
Lv: 10 mm	5,41	42,47	21,30	60
Lv: 20 mm	5,01	40,614	19,12	30

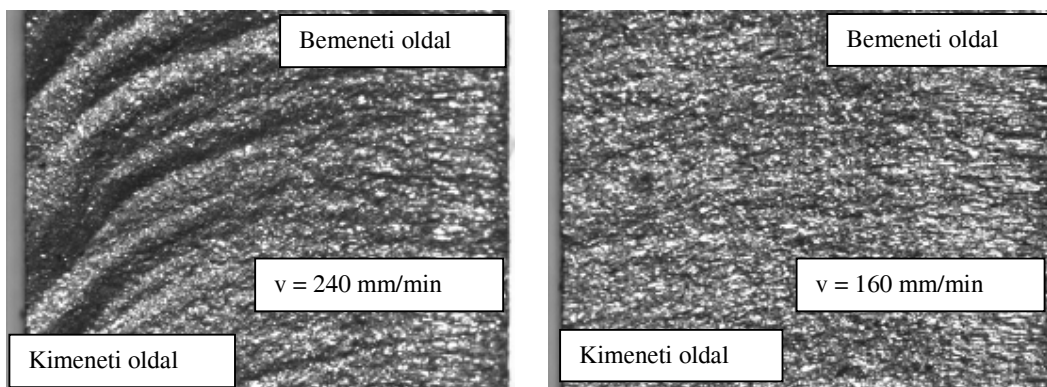
Az ausztenites Cr-Ni acélnál az „X” méret vágás utáni szórásának alakulását láthatjuk a 3. ábrán. A vágott felület érdességének alakulását a 2. táblázatban összegeztük (az értékeket öt mérés átlagából számítottuk).



3. ábra. A próbadarab „X” mértének szórása a lemezvastagság függvényében

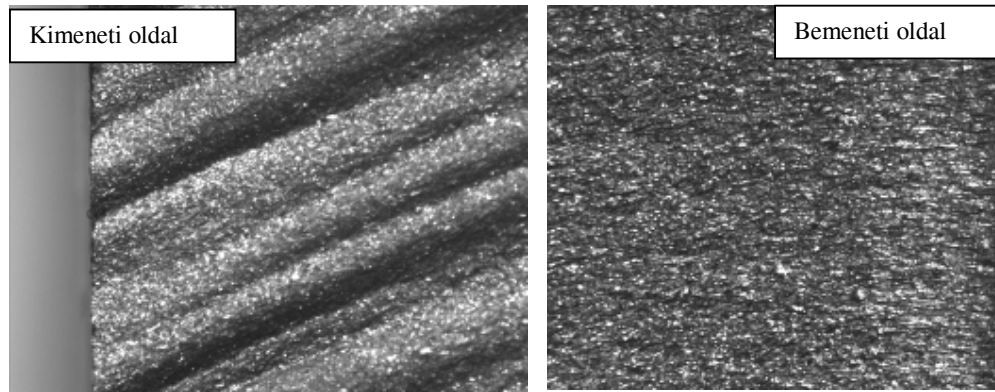
2. táblázat. A felületi érdesség mérőszámai közel optimális vágási paraméterek esetében

Optimum értékek		Anyag: X5CrNi18-10		
Vastagság	Átlagos felületi érdesség (Ra)	Érdesség mélység (Rt)	Hullám-mélység (Wt)	Vágási sebesség m/min
Lv: 6 mm	4,55	39,78	23,82	90
Lv: 10 mm	4,07	35,09	25,84	60
Lv: 20 mm	5,70	42,14	36,98	30



4. ábra. Mikroszkópi felvétel egy 6 mm vastagságú próbadarab keresztmetszetéről

Auszténites Cr-Ni acél (X5CrNi18-10) darabolásánál abban az esetben, ha a lemezvastagság Lv: 6 mm volt, a 240 mm/min nagyságú vágási sebességnél a folyadék annyira „elhajlik” a kilépő oldalon, hogy a vágott keresztmetszet felületi érdessége nem felel meg azoknak a kritériumoknak, amelyeket felállítottunk. Elfogadható felületi érdességet a vágási sebesség csökkentésével lehet elérni. Ebben az esetben ez az érték v=160 mm/min sebességnél következett be (4. ábra). Minden vágandó anyag vastagságához (anyagonként ez változik) tartozik egy optimális vágási sebesség, amivel a felhasználó minimális IT pontosságot állíthat elő. Természetesen elérhetünk egy olyan vastagságot, amikor hiába csökkentjük a vágási sebességet a sugár kimeneténél, a felület „durva” marad (lásd 5. ábra). A vizsgálatnál használt mikroszkóp típusa: QUICK VISION ELF PRO 200.



5. ábra. Mikroszkópi felvétel egy 20 mm vastagságú próbadarab keresztmetszetéről ( $v = 48 \text{ mm/min}$ )

Az egyes lemez vastagságnál elérhető optimális IT pontosságot foglaltuk össze a vágási sebesség függvényében a 3. táblázatban.

3. táblázat. Az elért „IT” fokozatok összefoglalása

Melegen hengerelt ötvöztelen szerkezeti acél (S275 J2 G3)		
Lemez-vastagság [mm]	Vágási sebesség [mm/min]	Elért pontosság
3	160	IT 7
6	90	IT 9
10	60	IT 11
20	30	IT 11

Ausztenites Cr-Ni acél (X5CrNi18-10)		
Lemez-vastagság [mm]	Vágási sebesség [mm/min]	Elért pontosság
3	160	IT 7
6	90	IT 11
10	60	IT 12
20	30	IT 11

## KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok során változó vastagságú próbadarabokat gyártottunk négy különböző vágási sebesség alkalmazásával. Minden esetben a legkedvezőbb „IT” fokozat és a legjobb felületi érdesség elérése volt a cél. A kísérlet során számos fontos technológiai paramétert állandó értéken tartottunk: a folyadék nyomását, a fúvóka átmérőjét, az abrazív anyag mennyiségét, a vágási magasságot, a fókusz és az indítási idő nagyságát. Ebből az következik, hogy az állandó értéken tartott paraméterek változtatásával az említett két peremfeltétel („IT” fokozat, felületi érdesség) tovább finomítható. Megállapítható, hogy ha a nyomást állandó értéken tartjuk, az optimálisan vágható lemez vastagsága egyre kisebb lesz, ha növeljük a vágási sebességet.

Addig, amíg az ausztenites Cr-Ni acél mechanikus megmunkálása számos nehézséget jelent, addig a vízzel történő darabolásnál a két acél vágásánál lényeges eltérést nem tapasztaltunk. A vágott keresztmetszet vizsgálatánál az ausztenites Cr-Ni esetében (azonos technológiai paraméterek alkalmazásánál) kedvezőbb felületi érdességi mutatókat mértünk. Az ajánlott abrazív anyag mennyiségénél többet is adagoltunk a vágás során, főleg a termelékenység növelése érdekében. Az abrazív anyag növelésével párhuzamosan a vágási sebesség is növelhető, amit főleg vastagabb lemezek darabolásánál alkalmaznak. Ebben az esetben jelentős mértékben megnő a vágási rés, ami a méretek pontatlanságát okozza.

A technológia alkalmazása előtt célszerű más vágási eljárásokkal összehasonlítani a vízzel történő vágást, annak érdekében, hogy minden esetben a legversenyképesebb eljárást alkalmazzuk. A gyakorlat azt mutatja, hogy a vágandó anyag ismeretében lehet megválasztani a vízvágásnál alkalmazandó technológiai paramétereket, figyelembe véve a szükséges méretpontosságot és felületi érdességet.

### **IRODALOMJEGYZÉK**

- [1] S. Matsui et Al.: Current Applications of Abrasive Waterjet (AWJ) Cutting for Manufacturing Industries, Proc. Of the 5th International Symposium of the Japan Welding Society, P225-230 (1999).
- [2] Manufacturing Technology Review of Abrasive Waterjet Cutting, Joitec, P134-140, Vol. 5, No.3 (1998) (in Japanese).
- [3] Claude Gelé: Jet d'eau la nouvelle donne, Industries et Techniques, P56-60, Vol. 15/06/97 (La France).

## Kötőtpályás nyomkarimakenő berendezések beállítási paraméter rendszere

### TUNING PARAMETER SET OF A WHEEL FLANGE LUBRICATING DEVICE IN RAILWAY VEHICLES

Dr. BOZÓKY László, Dr. NAGY Vince

Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

#### ABSTRACT

*The reconditioning and, after a certain number of reconditioning, the replacement of wheels of railway vehicles results in a significant maintenance cost. The cycle time between wheel reconditionings can be extended by applying lubrication to the wheel flange.*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*A sínen futó járművek karbantartásánál jelentős költség a kerékpárok profiljainak időszakonkénti szabályozása és bizonyos számú szabályozás után a kerékabroncs csere. Ezen ciklusidők növelése nyomkarimakenéssel elérhető.*

**Kulcsszavak:** Karbantartás, kerékabroncs, kenés

Jelen kutatási, fejlesztési tanulmány célul tűzte ki az alábbi feladatok kidolgozását:

- A nyomkarimakenéssel szemben támasztott követelményrendszer felállítása
- A nyomkarima kenőberendezéssel szemben támasztott követelményrendszer felállítása
- Az alkalmazott főbb nyomkarimakenő berendezés típusok üzemének és paramétereinek elemzése
- A nyomkarimakenés hatásosságának elemzése és értékelése villamos mozdonyra
- Laboratóriumi mérések és vizsgálatok alapján új technológia kifejlesztése
- Üzemi beállítási paraméterrendszer kifejlesztése
- Javaslatok költségcsökkentési megoldásokra

A Széchenyi István Egyetem Közúti és Vasúti Járművek Tanszék laboratóriumában végzett kísérletsozrat alapján meghatározásra kerültek a nyomkarima kenőanyag műszaki paramétereivel szemben támasztott mérhető követelmények, melyek az alábbiak:

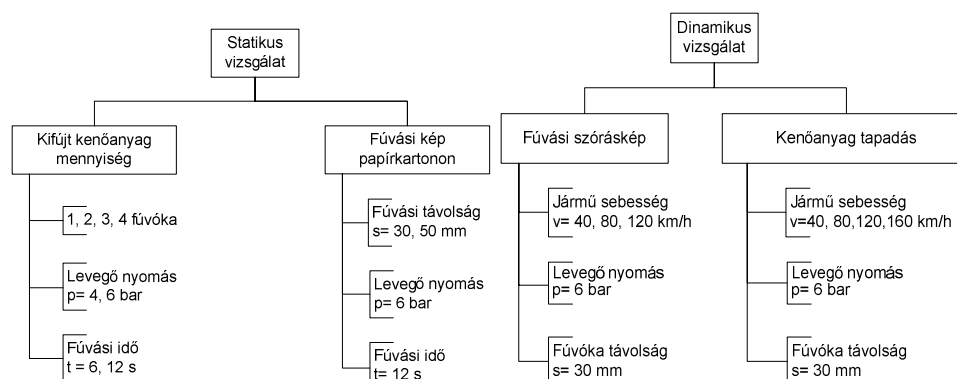
- A kitűzött cél:
  - MÁV üzemi körülményeit figyelembe vevő nyomkarima kenőanyag alkalmasság
  - Kerék- és sínkopások csökkentése
  - Közlekedésbiztonság javítása
  - Üzembiztonság javítása
- Általános követelmények
  - Szilárd anyagokat tartalmazzon: minimum 15 %
  - Fém Al tartalom: minimum 2 %
  - Környezetbarát biológiai lebomló képesség: minimum 90 %
  - Jó kenőképesség:  $\mu \geq 0,05$
- Fizikai tulajdonságok
  - Működési hőmérséklet tartomány:  $-25^{\circ}\text{C} - +75^{\circ}\text{C}$
  - Nyomásállóság:  $p \geq 10 \text{ kN/cm}^2$
  - Vízben oldhatóság maximális értéke: 0,2 g/l
  - Lobbanáspont: minimum  $t_1 \geq 200^{\circ}\text{C}$

- Gyulladás hőmérséklet:  $t_{gy} \geq 250 \text{ }^\circ\text{C}$
- Hőbomlás:  $t_h \geq 300 \text{ }^\circ\text{C}$
- Olaj kiválás 168 óra alatt +75°C-on:  $\leq 2\%$
- Kémiai tulajdonságok
  - Stabilitása (fizikai és kémiai tulajdonságok megtartása): 2 év
- Nyomkarima kenésre alkalmasság
  - jó tapadóképeség (kerék és sín):  $V=160 \text{ km/h}$  sebességnél a teljes kenőanyag mennyisége a nyomkarimán maradjon
  - adott legyen a kerék- és sínkopás csökkentést biztosító kenőanyag mennyisége (üzemi beállítás pl.: 120g/100km)
  - kerékről sínre való átadó képesség
  - kenési (szórt) felület beállítható legyen
  - fúvási szórás kép
  - álló kerékpáron
  - forgó kerékpáron (160 km/h)
  - minimális porfelvétel (homok, féktuskó por)

A korszerű nyomkarimakenő berendezéssel szemben támasztott követelmények az alábbiakban foglalhatók össze:

- legyen alkalmas mindenféle kenőanyag szállítására és a kenendő helyre juttatására
- legyen szabályozható a szállítási mennyiség
- a kenőanyag adagolás ellenőrzése megoldott legyen
- tömör építési mód
- az összes elem elektronikus vezérlésű, a kenés idő- és útfüggésű vezérlésre is alkalmas legyen
- a kenőanyag csak a kenendő helyre jusson
- egyszerű karbantartás célszerszámok nélkül
- a fúvókák be- és utánállítása, ellenőrzése egyszerű kell legyen
- minden berendezésnek öngyógyítóknak kell lennie, azaz a berendezés kiürülése és egy azt követő feltöltés után a rendszernek önműködően ismét üzemelnie kell
- a komplett berendezésnek sorozatértéknek és minden feltétel között működőképesnek kell lennie
- az egységek és a kopásnak kitett alkatrészek karbantartási intervallumának a vasúti járművek karbantartási intervallumával összhangban kell lennie
- kevés és olcsó kopó alkatrész
- a használati időnek nagyobb fenntartási ráfordítás nélkül el kell érnie a jármű élettartamát.

A statikus és dinamikus vizsgálatok áttekintő blokkvázlata - feltüntetve a beállítási paramétereket is – az alábbi ábrán látható.



A statikus és dinamikus vizsgálatok áttekintő blokkvázlata

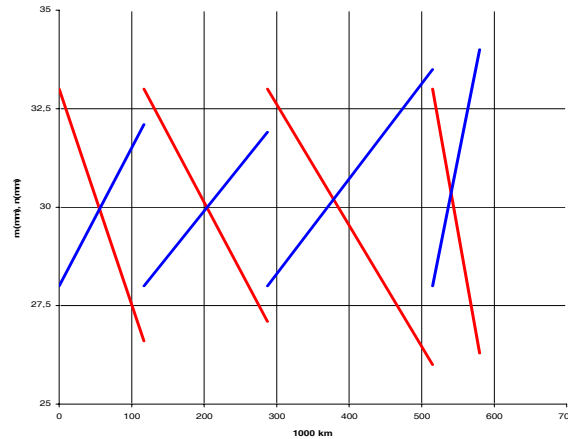
1. ábra



## ÁTLAGOS KERÉKKOPÁSI SEBESSÉG KÉT KERÉKESZTERGÁLYOZÁS KÖZÖTT

A vizsgált mozdonyok közül felrajzoltuk egy mozdonyra vonatkozóan a kerékprofil kopások jellemző értékeit:

- A nyomkarima vastagság átlagos kopási sebességét,
  - A nyomkarima magasság átlagos kopási sebességét
- egy abronccsere ciklusra.



2.ábra  
Kerékkopási sebességek

## JAVASLAT A FLUILUB NYOMKARIMAKENŐ BERENDEZÉSEK ÜZEMI BEÁLLÍTÁSÁRA

A villamos mozdonyokra felszerelt FluiLub nyomkarimakenő készülékek állítható paramétereinek értékeire a laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján a következők javasolhatók.

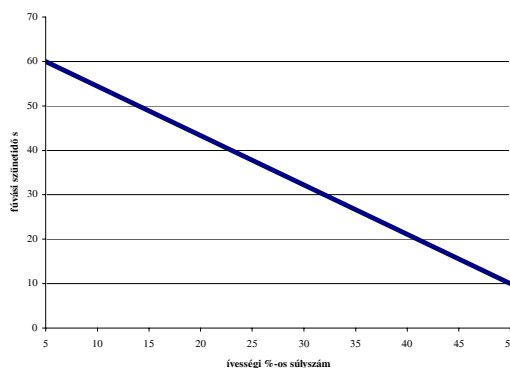
- Fúvókák helyzetének állítása
- A fúvókák beállítására a gyári előírást javasoljuk. Ennek helyességét támasztották alá a laboratóriumi kísérletek is.

- Kifúvási (szórás) idő
- Laboratóriumi mérések alapján 10-12 s kifúvási időt kell beállítani. A 10 s alatti és a 12 s feletti kifúvási idő nem javasolható.

- Fúvási szünetidő
- Adott pályaszakaszon közlekedő jármű nyomkarimakenő berendezésének beállítására célszerűen a pályaszakasz ív viszonyait vettük alapul.
- Az 1.táblázat tartalmazza a négy féle osztályba sorolt vasúti pálya viszonylatokat az ívsugár függvényében, valamint az ívsugár osztályokhoz rendelt súlyszámokat a vonalszakaszon előforduló viszonylatok figyelembevételével.
- A 3. ábra mutatja a két fúvás közötti szünetidő változását a pálya ívességét jellemző egyenértékű %-os súlyszám függvényében, ahol az 5-ös érték az egyenes pályának, az 50-es érték pedig a tisztán  $R < 600$  m íves pályának felel meg.

Súlyszám	Pálya ívsugár m
0,5	$R < 600$
0,3	$600 < R < 1000$
0,15	$R > 1000$
0,05	$\infty$ (egyenes pálya)

1. táblázat  
A pálya ívsugártól függő súlyszámok



3. ábra  
Két fűvás közötti szünetidő változása a pálya ívségére jellemző egyenértékű %-os súlyszám függvényében

A 3. ábra diagramja alapján a pálya ívviszonyainak (egyenértékű %-os súlyszám) függvényében a fűvási szünetidő meghatározható.

A vizsgálatok alapján tehető főbb megállapítások és javaslatok

- A nyomkarimakenés hatásossága, gazdasági előnye egyértelműen kimutatható, elsősorban azon járműsorozatoknál, mely nagy %-ban vagy 100%-ban felszerelt nyomkarimakenő berendezéssel.
- Nyomkarimakenéssel javul a járművek kisiklás elleni biztonsága és optimalizálhatók a kerékkopási sebességek.
- A nyomkarimakenés hatásossága a vontatójárművek kerék kopásai csökkentése mellett a sín és a vontatott járművek esetén is eredményes.
- Javasoljuk, hogy a meghatározó vontatójármű sorozatoknál a nyomkarimakenő berendezéssel való ellátottság legyen 100%.
- Törekedni kell a nyomkarimakenő készülék beszerelésénél a minél kevesebb típusra és főleg minél kevesebb féle (max. 2-3) kenőanyag használatára.

# Fuzzy logikával vezérelt automatikus gyártórendszer

## AUTOMATED PRODUCTION SYSTEM CONTROLLED BY FUZZY LOGIC

Ing.CZIFRA Juraj<sup>1</sup>, Doc.Ing. VINCZE Koloman CSc.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Selye János Egyetem, Informatikai Szolgáltató Központ, igazgató

Roľníckej školy 1519, 945 01 Komárno, Slovakia, czifra.gyorgy@selyeuni.sk

<sup>2</sup> Slovenská Technická Univerzita, Materiálovotechnologická fakulta, pracovisko Komárno, Petőfiho 2,  
945 01 Komárno, Slovakia, kooloman.vincze@stuba.sk

### ABSTRACT

*The technological background for production of pipelines is processed from the 3D mathematical model for pipe systems. The output goes straight to the automated production process. The production process is provided by the flexible production system includes subsystems for manipulation, transport, material preparing, production, testing, sorting, and stocking. All of above-mentioned processes are provided in automatic mode. The system is able to react to the necessary changes of the product assortment. After the change of the control information the system is immediately able to start to produce other assortment of products.*

*We can say, that the flexible production system is an automated production line, where the change of the product assortment is done by change of the controlling programs.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Ez a cikk bemutatja egy, a hajók csővezetékeinek gyártására alkalmas rugalmas gyártósor fuzzy logikára épített vezérlő rendszerének elméleti alapjait. A rugalmas gyártósor felépítésének alapjait az egy évvel ezelőtti konferencia anyagában mutattuk be. A legyártott végtermék minőségének biztosítása céljából elkerülhetetlen a totális minőségirányítási rendszer bevezetése a gyártás minden területén, ahogy ezt a [2] is tartalmazza: „ a végtermék minőségére a legnagyobb befolyással a gyártási eljárás minősége van... ”. Ez az egyik fő oka annak, hogy figyelmünket elsősorban magára a gyártási folyamatra fókuszáljuk.*

**Kulcsszavak:** CAD, 3D, NC, csőrendszer, hajól, rugalmas gyártási rendszer, fuzzy logika

### A RUGALMAS GYÁRTÁSI RENDSZER

#### Jellemzés és leírás

A rugalmas gyártási rendszert a gyártási folyamat, valamint a kiegészítő folyamatok különböző fokú automatizálása jellemzi. A másik fő jellemző a gyártási folyamatok, valamint a kiegészítő folyamatok különböző szintű integrálása, amely magába foglalja a technológiai, ellenőrző, szállító valamint manipulációs rendszereket is. A korszerű ipart a valós idejű gyártás és a globalizáció jellemzi. A megnövekedett gyártási igényeknek csak a lehető legnagyobb mértékben automatizált és extrém módon flexibilis – rugalmas gyártórendszer tud megfelelni.

#### A vezérlő rendszer

A gyártórendszer vezérlését egy rendkívül nagyteljesítményű számítógépes rendszernek kell ellátnia, amely helyi hálózaton keresztül csatlakozik az egyes munkahelyekhez, valamint a szállítóberendezésekhez. A rendelkezésre álló hagyományos vezérlőrendszerek sok lehetőséget biztosítanak, de általában az egyszerűbb elektromechanikus rendszerekben használatosak. A magasabb flexibilitás biztosítására olyan vezérlőrendszert kell alkalmazni, amely képes reagálni olyan nem lineáris és összetett

gyártási folyamat irányítására, mint amiről a csővezetékeket gyártó automatizált rendszer esetében van szó. Esetünkben nem lineáris és nagy bonyolultságú gyártórendszerrel lévén szó, egy tudásbázissal rendelkező irányítási rendszert kívánunk alkalmazni, hogy biztosíthassuk a megkívánt paramétereket. A rendelkezésre álló lehetőségek egyike a fuzzy logikán alapuló vezérlés. A következőkben erről szeretnénk egy rövid összefoglalót adni. [4].

## FUZZY LOGIKA ÉS VEZÉRLÉS

### Bevezetés

A kilencvenes évek elején intenzív kutatómunka folyt a több érzékelővel működő, valós idejű gyártásirányítás integrálása területén. A munka a későbbiek folyamán a modern gyártásirányítási modellekre és stratégiákra fókuszálódott, amelyek már magukban foglalják a mesterséges intelligencia alapjait, mint például a fuzzy logika és a mesterséges intelligenciával rendelkező ideghálózatok.

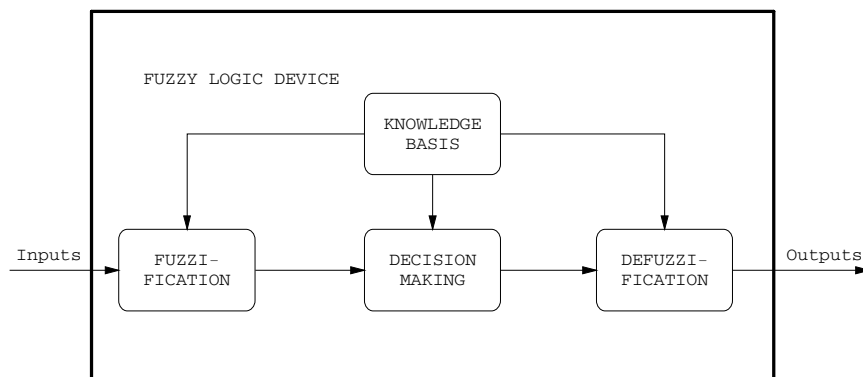
A kutatási eredmények egyértelművé tették, hogy az összetett folyamatok modellezésére és irányítására csak az ismert klasszikus módszerek nem alkalmasak. Bebizonyosodott, hogy az új, tanulási képességgel is rendelkező intelligens rendszer képes megfelelően ellátni e rendkívül összetett feladatot. Az egyik ilyen módszer a fuzzy logika elvén alapszik, ez képes megküzdni az irányított rendszerekben fellépő véletlenszerű hibákkal és problémákkal.

Magát a fuzzy logikát, mint módszert sikerrel alkalmazzák például az automatizált vonatirányítási rendszerekben, felvonók vezérlésében, gőzgenerátorok vezérlőrendszereiben, légtechnikai rendszerek vezérlésében, stb. [4].

### Fuzzy logikai elem FLD

A [4] szerint, a nagyon összetett rendszerek irányításában járható útnak tűnik a fuzzy alapokon működő problémamegoldás, amely az emberi döntéshozatal folyamatát matematikai eszközökkel írja le. Általánosságban elmondható, hogy a fuzzy logikával működő rendszerek az operátorok tapasztalataira épülnek, és a kimeneti – bemeneti adatgyűjtés determinisztikus, időtől független és nem lineáris. Egy fuzzy logikai elem definíciója alapján elmondhatjuk, hogy ez egy olyan elem, amelyben a determinisztikus kimenet a hasonlóan determinisztikus bemenet alapján keletkezik, amelyben lingvisztikus változók vannak egymáshoz és értékekhez rendelve a fuzzy logika szerint. Az alapot az ún. lingvisztikus változók képezik [7]. A lingvisztikus változók egy öt elemből álló tömbbel ( $II$ ,  $T_e(II)$ ,  $D$ ,  $G$ ,  $M$ ) írhatók le, ahol  $II$  jelenti a változó nevét,  $T_e(II)$  jelenti a lingvisztikus változók halmazát – a  $II$  attribútumai,  $D$  a jelenségek univerzuma,  $G$  jelenti a szintaktikai-helyesírási szabályokat a  $II$  megnevezések előállításához,  $M$  jelenti az értelmezési szabályokat, amelyek szerint minden változóhoz a jelentése rendelve van. Egy fuzzy logikai elemnek négy alkotórésze van: *Fuzzifikáló*, *A tudásbázis*, *Döntéshozó*, *Defuzzifikáló*.

Az alábbi ábrán ez látható [4].



1. ábra  
Fuzzy logikai elem

A feltüntetett egységek funkcionális részek, nincsenek elkülönítve sem funkcionálisan, sem fizikailag. A fentiek alapján ez az elem működhet, mint egy automatikus vezérlő, a bemeneti és kimeneti jelektől függően. A fuzzy logikai vezérlő bemenetére a vezérelt rendszer kimeneti jeleit kapcsolva a vezérlő kimenetén megjelenik az irányító jel. Egy fuzzy modell esetében a bemeneti és kimeneti változók a modellezett eljárás kimenetét és bemenetét képezik le. Az ilyen elemet döntéshozó elemként is jellemezhetjük, hiszen a kimeneten megjelenő információ a bemeneten megjelent jelre adott válaszként értelmezhető.

### Statikus jellemzők

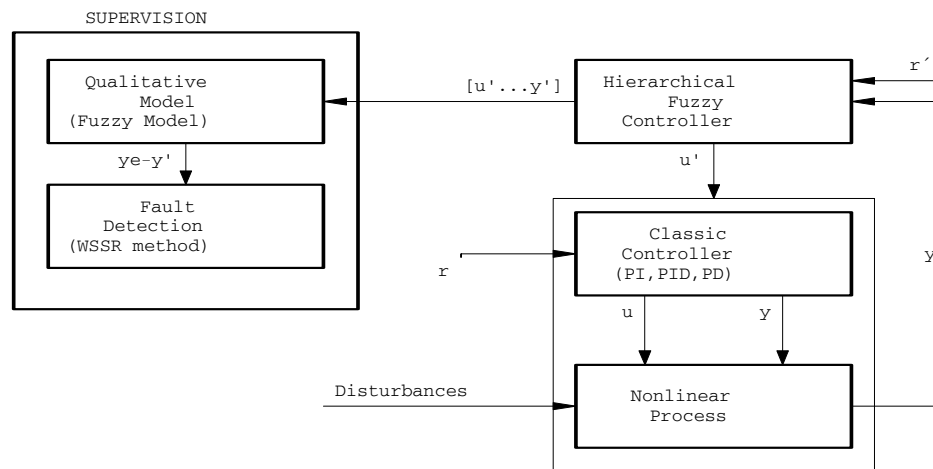
A bemeneten megjelent információknak megfelelően az FLD elem több, nem lineáris bemeneti illetve kimeneti karakterisztikával rendelkezik. Tervezésének meghatározó lépése a fuzzy vezérlő szabályok meghatározása. Három fő lépés szükségeltetik: a *verbalizáció*, *fuzzifikáció*, és *identifikáció*. A *verbalizáció* segítségével történik az eljárás leírása a magasan képzett operátorok, technológusok megfigyelései alapján. A *fuzzifikáció* segítségével történik a fuzzy döntéshozó modell kialakítása viszonylag egyszerű matematikai kifejezések segítségével. Maga az *identifikáció* teszi lehetővé az egymáshoz kapcsolódó leképezések létrehozását a kézi irányítás közben felmért és begyűjtött numerikus adatok alapján. Egy ilyen fuzzy modell segítségével létrehozható akár egy dinamikus rendszer vezérléséhez szükséges utasítások halmaza is.

### Fuzzy logikai vezérlő alapelve

A fuzzy logikai vezérlő alapját a bonyolult problémák megoldásának emberi megközelítése képezi. A tudásbázissal rendelkező vezérlő lingvisztikai változók halmazát tartalmazza. Vegyünk két klasszikus bemeneti jelet: a hibát  $\{e\}$ , a hiba változását  $\{ce\}$ , és egy kimenetet – a vezérlő jelet  $\{u\}$  példaként. Felépíthetjük a fuzzy logikai vezérlőt – 2. ábra, az alábbi lingvisztikai meghatározással:

...  
 $R_i: \{e\} \text{ is } \{E_i\} \text{ and } \{ce\} \text{ is } \{CE_j\} \dots \text{then } \{u\} \text{ is } U_{ij} \dots$   
 ALSO...  
 $R_{i+1}: \{e\} \text{ is } \{E_{i+1}\} \text{ and } \{ce\} \text{ is } \{CE_{j+1}\} \dots \text{then } \{u\} \text{ is } U_{i+1,j+1} \dots$   
 ALSO...

ahol  $\{E_i, CE_j\}$ ,  $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, m$  az  $e$  és  $ce$  fuzzy halmazai, amelyek a megfelelő hozzárendelő függvény segítségével a saját univerzumukhoz  $\{D_E, D_{CE}\}$  vannak rendelve, valamint  $u$  a kimeneti változó a neki megfelelő  $U_{ij}$  fuzzy halmazból. A vezérlő utasítások  $m \times n$  szabályból állnak [4].



2. ábra  
Nem lineáris eljárások vezérlő rendszere

## ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben kísérletet tettünk lefektetni a fuzzy logika alapján működő vezérlő rendszerek néhány alapgondolatát, amely figyelembe veszi a tudásbázissal rendelkező, mesterséges intelligencia közeli megoldások alapvető filozófiáját. A komplex feladatot ellátó gyártási rendszer vezérlésének optimális módja a fuzzy logikával működtetett irányítórendszer. Egy ilyen vezérlés képes megbirkózni az előre nem látható, véletlenszerűen fellépő hibákkal, képes a megfelelő módon korrigálni saját maga tevékenységét a programozott tanulás algoritmusával.

## IRODALOM

1. Ing. Peter Švarc, CSc., Doc.Ing. Koloman Vincze, CSc.: Technológia výroby lodí, *STU Bratislava*, 1991
2. A.Albert: Systémy manažérstva kvality, *MPC Bratislava*, 2006
3. NUPAS-CADSMATIC Ship design and engineering system, Cadmatic OY, 1998
4. Rodolfo E. Haber and col.: Application of knowledge based systems for supervision and control of machining processes, Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering, World Scientific Publishing, 2002.

## Planétázás szárazon és vízen

### PARALLEL PLAIN MOTION „BY LAND AND SEA”

Dr. DÖBRÖCZÖNI Ádám

egyetemi tanár, a műszaki tudomány kandidátusa, Dr. Habil.  
Miskolci Egyetem, Gépelemek Tanszéke,  
3515 Miskolc-Egyetemváros, Tel.: +36/46/327643, Fax: +36/46/327643,  
machda@uni-miskolc.hu

#### ABSTRACT

*The innovation, the pleasure in creation and discovering of similarity of machines operation are prominent parts of the education of mechanical engineers. The parallel plain motion at different machines can be though provoking for every inquirer.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A mérnökök oktatásában nagyon fontos az innovatív szemlélet és az alkotó öröm összetartozása, ezen belül a működési elvek hasonlóságának felismerése. A síkpárhuzamos mozgás megjelenése az egymástól teljesen eltérő rendeltetésű szerkezetekben minden érdeklődő számára gondolatébresztő hatású lehet.*

**Kulcsszavak:** innováció, fogaskerék bolygómű, kábelgép, Falkirk

#### BEVEZETÉS

A gépészmérnöki gyakorlatban egy hosszú mérnöki praxis során, miként a hétköznapi életben is, gyakran előfordul a déjà vu érzés. A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karának Gépelemek Tanszéke 1949 óta számos ipari megbízásnak tett eleget. Ezek között volt földgyalu, kábelipari sodrógép, árvízvédelmi hajó, hajtóművek és tengelykapcsolók sokasága. A Tanszék profiljából adódóan tudományos kutatásaink és szakértő munkáink nagy része a hajtóművekre és azok közül különösen a fogaskerék-bolygóművekre terjed ki.

#### ÓRIÁSKERÉK, BOLYGÓMŰ, KÁBELGÉP, HAJÓEMELŐ

A fogaskerék-bolygóművek mind a gépjárműtervezésben – személy és teherautókban – mind a kábelgépek sokaságában előfordulnak. Az idők során ezren felülire nőtt a gépelemek Tanszékén diplomatervet készítő hallgatók száma és e diplomatervek témáiban visszatükröződnek a tanszék ipari és tudományos munkái. Az utóbbi években ipari feladataink és hallgatóink diplomamunkáinak témái túlnőttek a hagyományos mérnöki kereteken, az általános géptervező szakos hallgatókon kívül termék-mérnöki szakos hallgatókat is képezzük. Az utóbbiak „emberközeli gépek és szerkezetek” sokaságát vizsgálják, vagy tervezik meg. Mindannyiunknak örömet okoz a szabadon szárnyaló tervező fantázia és annak eredményei, amelyek a diplomatervekben megjelennek, de lehet, hogy konstrukcióvá csak később érnek majd be, amikor a diplomatervező kolléga valamilyen vállalatnál önti formába korábbi elképzelését. A mechanika és a gépszerkezettan alapelvei számos konstrukcióban és szerkezetben, játékokban, sporteszközben, orvosi eszközben jelennek meg. Ezek a szokatlan megjelenések mind szélesítik az oktatók és a hallgatók konstrukciós szabadságát, látókörét.

Mindannyiunk előtt ismert, a különféle játékparkok szórakoztató eszközeinek sokasága – óriáskerék, hullámvasút, körhinta, különféle lengő-és fejtetőre-állító szerkezetek. Az óriáskerék, mint mutatvány igen hálás eszköz, míg a ki-és beszállás történik az utasnak alkalma van a panorámában is gyönyörködni utána pedig az emelkedés, s főleg a süllyedés „borzalmait” átélni. A hétköznapi ember

számára természetes az, hogy a fülke vagy a kosár, amelyben utazik, a nehézségi erő hatására és a függésztés jóvoltából mindig függőleges marad, azaz síkpárhuzamos mozgást végez.



1. ábra  
Óriáskerék

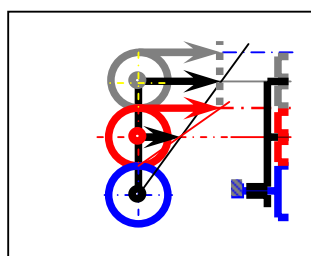


2. ábra  
DSUT-7x63 kábelsodrógép

Hasonló mozgás fordul elő kábelipari sodrógépekben, ahol a felcsévélés és összesodrás műveletét egy funkcióba összevonva adódik az a probléma, amely szerint egy forgó acélkeret által körülölelt térben mindig függőlegesen kell tartani a feltekerülő dobot. A feladat „topológiai” sajátosságaiból adódóan ezt a függőleges tartást csak egy csapágyazott és a forgástengely alatti súlypontú kerettel azaz „járommal” lehet megoldani. Távbeszélő kábelek sodrására szolgál a Diósgyőri Gépgyár DSUT 7x63-as típusjelű sodrógépe, amelyen a leadó dobok összetett mozgásra képesek, saját tengelyük körül is tudnak forogni és a tartószerkezettel együtt osztómozgást végezni, hasonlóan egy forgópisztoly dobjához, miközben a kábeldobok tengelyei mindig vízszintesen maradnak. E gépnél az osztómozgás feladata a dobok cseréjének biztosítása, ezért végeznek az osztómozgás során síkpárhuzamos mozgást. Korábbi kosaras sodrógépek forgó-leadó egységei a sodrómozgást is ezzel a síkpárhuzamos mozgással valósították meg. Ez a mozgás megjelenik - igaz kötöttebb formában – a páternoszter rendszerű személyfelvonóknál, ahol már nem a nehézségi erőre bízzák az állandó függőleges helyzetet, hanem a vonóláncokhoz rögzített kas, mint mechanizmus működik így.



3. ábra  
Falkirk, hajóemelő



4. ábra  
A hajóemelő bolygóműve

A mérnöki alkotó fantázia és az innovációs lelemény egyik szép példája az az emelőberendezés, amelyik Skóciában, Falkirk városka közelében található. Az ipari forradalom idején, a rohamosan növekvő energiaéhséget a széntüzelés elégítette ki, ám a szenet a bányákból a fogyasztóhelyekre kellett szállítani, a vasúti hálózat pedig nem épült még ki, ill. kiépülése igen költséges volt. A Brit szigeteken lévő folyók és csatornák, mint ősi közlekedési utak, maguk kínálták a szállítási lehetőségeket. Igaz a keskeny csatornákon csak keskeny hajókkal, kényelmetlenül lehetett ezeket megoldani, de az idő túlhaladt ezen a szállítási megoldáson, s mára a csatornák turista-látványosságként üzemelnek. Sokan lakóhajókon élnek és közben bejárják a legszebb természeti helyeket. A csatornához hozzátartoztak a zsilipek, amelyek a szintkülönbségek leküzdését szolgálták. A zsilipes hajóemelés régen ismert megoldás, látványosságnak sem közömbös, de elég komor élmény egy vizes aknában 20-25 métert súlylyedni kéznnyújtásnyira lévő betonfalak között.

Falkirk mellett egy zseniális mérnöki megoldással mint egy „kétlövetű forgópisztoly” dobja – készült el egy emelőszerkezet, amelyikben mindig vízszintes „teknők” fogadják magukba a magasabb



szintről érkező hajókat, és cserélik ki az alatt beúszó hajóval, miközben a két teknő síkpárhuzamos mozgást végez. A tömítési nehézségeken kívül az állandóan vízszintes helyzet biztosítása is komoly műszaki feladat, amit a tervező - zseniálisan – fogaskerekes bolygómű segítségével oldott meg, egyszerű mechanikai konstrukcióval. Ez a feladat a mai körülmények között elektronikus vezérléssel is megoldható lett volna, de a szerkezet egyszerűsége kézenfekvő megoldást kívánt.

### **DÉJÀ VU A KONSTRUKCIÓBAN**

Mind a gépészmérnököket oktató tanárok, mind a hallgatók számára az előbb felsorolt szerkezetek szép példáját adják a különböző gépekben megvalósuló azonos műszaki elveknek, egyben az innovatív gondolkodás dícséretére is szolgálnak.

### **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Köszönetet mondok Hajtó Jánosnak, a NAPIER University professzorának, aki felhívta a figyelmemet a Falkirk-i hajóemelőre.

## Kerékabroncs kihasználás optimalizálás

### WHEEL USAGE OPTIMIZATION IN RAILWAY VEHICLES

Dr. DÖME Béla, Dr. BOZÓKY László, Dr. NAGY Vince, ORBÁN Tamás

Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

#### ABSTRACT

*The practical study and analysis of the wheel profile wear in railroad vehicles presents an opportunity for wheel utilization optimization. The main goals of the optimization process are:*

- *To decrease the wearing rate of the wheel, to increase the life-span of the wheel.*
- *To improve the utilization of the wheel while decreasing the cost of wheel reconditioning.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A kerékprofil kopásának gyakorlati elemzése és értékelése lehetőséget nyújt a kerékabroncs kihasználás optimalizálására, amelynek célja:*

- *A kerékabroncs kopási sebességének csökkentése, élettartamának növelése,*
- *A kerékabroncs kihasználásának javítása az abroncs cserénél és megmunkálásoknál jelentkező költségek csökkentése mellett.*

**Kulcsszavak:** kerékabroncs, kopás, megmunkálás.

A kerékabroncs kihasználás optimalizálásának célja a kerékabroncs élettartamának növelése, a kerékabroncs cserénél és megmunkálásoknál jelentkező költségek csökkentése.

Az abroncskihasználás javítására kínálgó főbb lehetőségek:

- a kerékerőmérő kapták pontosságának felülvizsgálatát,
- az esztergálásnál a felületi minőség javítását,
- egy forgóvázon belül (közel) azonos keménységű abroncs anyag alkalmazását,
- a kerékpár fix rögzítését az abroncs megmunkálás alatt,
- gazdaságos abroncs megmunkálási lépcsők alkalmazását, figyelembe véve:
- a kopási sebességet
- egy megmunkálással leválasztandó anyag keresztmetszetét,
- az abroncs vastagságát, teljes kihasználását

#### A KOPÁSI SEBESSÉGET MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK

Az 1. ábra a kerékabroncs kopását meghatározó tényezők bonyolult rendszerét mutatja.

A pálya műszaki állapota gyakorolja a legnagyobb befolyásoló hatást az abroncskopásra.

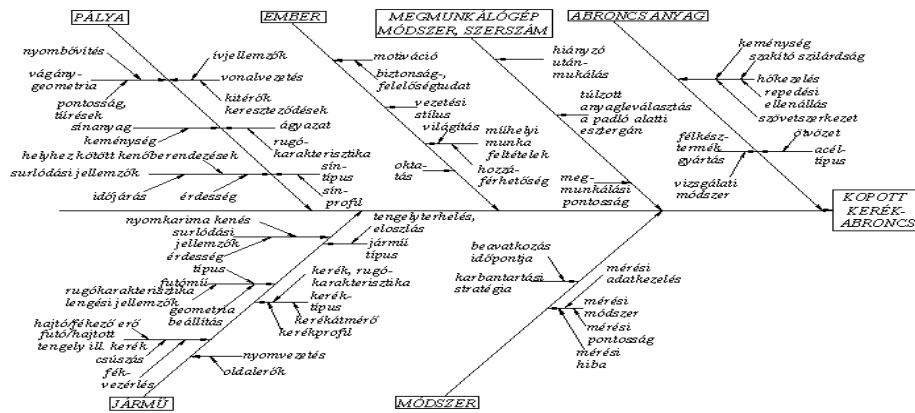
Az emberi tényezők közül ki kell emelni a műhelyi munka feltételeit.

Meghatározó a megmunkáló gép és megmunkálási technológiai hatása az abroncskopásra.

Az abroncs anyagában jelentkező eltérések, eltérő kopási sebességeket eredményeznek.

A jármű műszaki adottságai vonatkozásában kiemelendő a nyomkarima kenés alkalmazása, beállítottsága.

A mérési módszer megválasztásánál az figyelembe kell venni a mérési pontosság és a mérési hiba hatását.



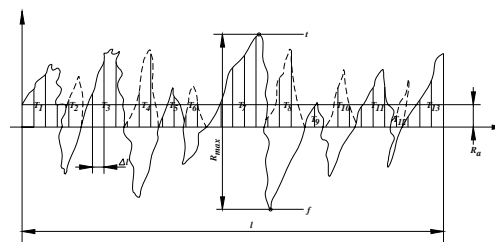
1. ábra  
Kerékabroncs kopást meghatározó tényezők

### ESZTERGÁLÁST KÖVETŐEN AZ ABRONCSPROFIL ÉRDESSÉGÉNAK VIZSGÁLATA

Az abroncsprofil felületi érdessége két érdességi paraméter ( $R_a$  átlagos érdesség és  $R_{max}$  maximális érdesség) együttes vizsgálata alapján minősíthető.

Az ( $R_a$ ) átlagos érdesség az ( $l$ ) alaphosszon belül az egymástól ( $\Delta l$ ) azonos távolságra levő profilordináták átlagtávolsága a középvonaltól. Az átlagos érdesség geometriai értelmezését a 6.2. ábra szemlélteti. Az ábrán bejelöltük:

- az érdességmérővel felvett jelalakat,
- az ( $R_a$ ) átlagos érdességet,
- az ( $l$ ) alaphosszt,
- a középvonalat,
- a ( $t$ ) tetővonalat,
- az ( $f$ ) fenékvonalat,
- az ( $R_{max}$ ) maximális érdességet.



2. ábra  
Átlagos érdesség és a maximális érdesség értelmezése

Az átlagos érdesség értéke a

$$T_1 + T_2 + \dots + T_{13} = R_a \cdot l$$

téglalappal értelmezhető.

A 2. ábrán látható, hogy viszonylag kicsi átlagos érdességhez nagy értékű maximális érdesség tartozhat. A két érdességi paraméter viszonyát a felületi megmunkálás minősége határozza meg. Az abroncsprofil kopási sebességét döntően az ( $R_{max}$ ) határozza meg, ugyanis kopás szempontjából a felületen jelentkező kiemelkedések és bemélyedések a meghatározóak.

A 6.3. ábra a görgözött felületen felvett érdességi profilt az érdességi paramétereket mutatja. A mért értékek:

$$R_a = 10,21 \mu\text{m}$$

$$R_{\text{max}} = 76,4 \mu\text{m}$$

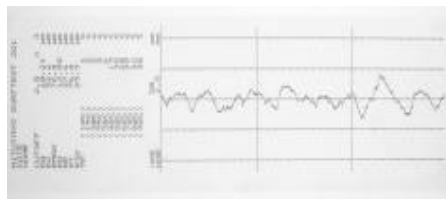
Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a görgözött felületen az esztergálást követő néhány km-es üzem után  $2 \times R_{\text{max}} = 152,8 \mu\text{m} = 0,15 \text{ mm}$  értékű azonnali átmérő csökkenés következik be.

A nem görgözött felületen  $R_{\text{max}} > 200 \mu\text{m}$  mivel a műszer a mérést nem végezte el.

A MÁVSZ 2616:2002 szabvány az  $R_a$  értékére vonatkozó előírása:  $R_a \leq 6,3 \mu\text{m}$ .

Az abroncsfelület érdességére vonatkozó vizsgálataink alapján javasoljuk:

- a simító fogásnál a forgácsoló erőt, az eltolást és a fogásmélységet csökkenteni,
- esetenként, meghatározott gyakorisággal az esztergált abroncsfelület érdességét ellenőrizni,
- az  $R_{\text{max}} \leq 20 \mu\text{m}$  felső határértéket előírni.



3. ábra

A kerékabroncs görgözött felületének érdessége

### A KERÉKPÁR RÖGZÍTÉSE AZ ABRONCS ESZTERGÁLÁSÁNÁL

A megmunkálendő kerékpárt kerekenként két-két görgő támasztja alá és hajtja. Ezek a görgők függőleges vezetéken két hidraulikus henger hatására állandó  $F_1$  és  $F_2$  erővel nyomják vissza a kereket úgy, hogy annak a csapja a felső alkotó (M vonal) mentén állandóan a csapágyhoz szorul. (6.4. ábra). Így a kerékpárt megmunkálás közben a csap felső alkotója mentén a csapágy támasztja meg, ha teljesül az alábbi előírás:

$$F_1 + F_2 + F_3 < Q + \frac{G}{2}$$

Ez azt jelenti, hogy a járműből a csapágyon keresztül a jármű tömegéből átadódó erőhatás ( $Q$ ) és a kerékpár fél tömege ( $G/2$ ) mindig nagyobb, mint az  $F_1$  és  $F_2$  alátámasztó görgők által átadott támasztó erők és az  $F_3$  forgácsoló erők összege. A csapágyat ill. csapágyházat az egyensúly helyreállításához az  $F_4$  alátámasztó erőt szolgáló támaszték tartja rögzített helyzetben. Az egyensúlyi helyzet tehát

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = Q + \frac{G}{2}$$

esetben teljesül azaz, ha a járműterhelés a csapágyat állandóan a támasztékra szorítja.

Ha esztergálásnál az  $F_3$  forgácsoló erő megnövekszik pl. anyag felkeményedés, keréklaposodás, túl nagy forgásmélység, túl nagy eltolás alkalmazása esetén akkor az

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = Q + \frac{G}{2}$$

erőegyensúly megbomlik és

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 > Q + \frac{G}{2}$$

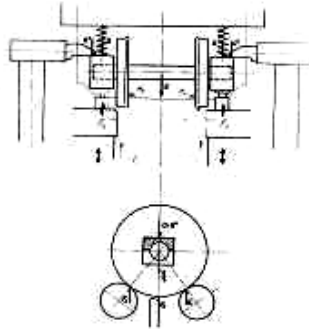
egyensúlytalanság áll elő. Ilyenkor a megnövekedett  $F_3$  forgácsoló erő függőleges és hosszirányú elmozdulásra kényszerítheti a kerékpárt, ami az M legördülési vonal elmozdulását eredményezheti, aminek a következménye a nagyoló fogásnál jelentkező körköröségi hiba. A körköröségi hiba:

$$h = a_b - a_t$$

ahol:  $a_b$  - beállított fogásmélység  
 $a_t$  - tényleges fogásmélység

Ha  $h$  nagy, akkor a körkörösségi hiba nagyobb simító fogással küszöbölhető ki. Megjegyezzük, hogy a jelenleg alkalmazott simító fogásmélység 1,5 – 2,5 mm közötti érték, amely csökkentését javasoljuk. Javasoljuk továbbá a 6.5. ábrán bemutatottak szerint a csapágytok leerősítését, ahol esztergálás alatt  $Q_x$  erő ébred és ezzel az erőegyensúly nagyobb  $F_3$  forgácsoló erő esetén is biztosított.

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = Q + Q^x + \frac{G}{2}$$



4. ábra

*Az esztergálásnál fellépő erő rendszer megnövekedett forgácsoló erőnél*

## A KERÉKABRONCS ANYAGVIZSGÁLATA

Az anyagvizsgálatot célszerű kiterjeszteni a:

- kémiai összetétel meghatározására az anyagminőség azonosítása céljából,
- mikroszkópi vizsgálatra, ill.,
- keménységmérésre a hőkezeltégi állapot megállapítása végett,
- mikrokeménység-mérésre a futófelület alatt,
- mikroszkópi vizsgálatra a futófelület környezetében.

## KERÉKMÉRŐ KAPTÁK PONTOSSÁGÁNAK FELÜLVIZSGÁLATA

A mérésnél jelentkező lehetséges mérési hibák lényegét az alábbiakban összefoglaljuk:

A mérőkapta felhelyezéséből adódó hiba. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a nagy eltérések a nagyon kopott abroncsoknál jelentkeznek, mivel a mérőeszköz felhelyezési hiba lényegesen megnő.

Mérőerő okozta hiba. A mérőeszközön mérőerő határolás nincs, így a mérést végző dönti el az alkalmazott mérőerőt. Túl nagy mérőerőnél a kapta helyzete megváltozhat, túl kicsi mérőerőnél nincs határozott érintkezés.

Hőmérséklet okozta hiba. A mérőeszköz és az abroncs lineáris hőtágulási tényezője eltérő, ezért az előírás, hogy a mérést mindig 20 °C hőmérsékleten kell elvégezni. Ha az abroncs és a mérőeszköz hőmérséklete lényegesen (5-6 °C hőmérséklet különbség) eltér, ez önmagában mérési hibát eredményez.

Leolvasási hiba. Eredhet a tolóka és megvezetésének kopottságából, az osztásvonalak helyzetének helytelen megítéléséből.

Az Abbe-féle mérési elv be nem tartásából adódó hiba. Az elv kimondja, hogy pontos mérés akkor végezhető, ha a mérendő mennyiség a mérce egyenes folytatásában helyezkedik el. Ha a tolóka és megvezetése kopott, az alapelv nem tartható.

## Gépszerkezetek végeelemes szilárdságtani modellezési lehetőségei

### FINITE ELEMENT MODELING OPPORTUNITIES OF MACHINE STRUCTURES

Dr. habil. ÉGERT János<sup>1</sup>, Dr. ÉGERTNÉ Dr. MOLNÁR Éva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi tanár, <sup>2</sup>főiskolai docens

Széchenyi István Egyetem, H-9026 Győr, Egyetem tér 1.  
Tel.: +36-96-503400, e-mail: egert@sze.hu, egertne@sze.hu

#### ABSTRACT

*In the machine design one of the most important question is, if a construction can work normally or fail at a known loading. This question can be answered in a theoretical way by using well founded mechanical models. The article gives a brief summary on the theoretical basis of mechanical modeling of machine parts, i.e. a review of the classical mechanical modeling opportunities for parts. The finite element modeling opportunities will also be demonstrated by some real industrial problems.*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*Gépszerkezetek tervezésének egyik sarkalatos kérdése, hogy az alkatrész egy megadott terhelést képes-e elviselni, vagy tönkremegy. Elméletileg erre a kérdésre jól megválasztott mechanikai modellek alkalmazásával lehet választ adni. A cikk röviden ismerteti gépalkatrészek mechanikai modellezésének elméleti alapjait. Bemutatja a klasszikus és a végeelemes modellezési lehetőségeket is. Ez utóbbiakat néhány ipari alkalmazással demonstrálja.*

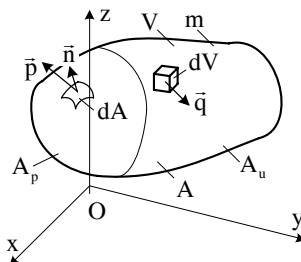
**Kulcsszavak:** Szilárdságtani modellezés, végeelem módszer, ipari alkalmazások

#### 1. BEVEZETÉS

A géptervezés egyik alapkérdése a gépalkatrészek olyan kialakítása, hogy azok megadott terheléseket elviseljenek. A kérdés elméleti úton történő megoldása tönkremeneteli kritériumok alkalmazásával lehetséges. A tönkremeneteli kritériumokhoz azonban ismerni kell a vizsgált alkatrész alakváltozási és/vagy feszültségi állapotát. Ezért a feladat megoldásának első lépése a fenti állapotok (legalább közelítő) meghatározása.

#### 2. A FELADAT MEGOLDÁSÁNAK ELVI ALAPJAI

Normál üzemi körülmények között a gépalkatrészek általában rugalmas állapotban vannak. Ezért az elmozdulási, az alakváltozási és a feszültségi állapot meghatározására a rugalmasságtan alapegyenlet rendszere áll rendelkezésre.



1. ábra: Tetszőleges alakú gépalkatrész

Az alapegyenlet rendszer az alábbi egyenlet csoportokból áll:

$$\text{Egyensúlyi egyenletek:} \quad \mathbf{F} \cdot \nabla + \bar{\mathbf{q}} = \vec{0}, \quad (1)$$

ahol  $\mathbf{F}$  a feszültségi tenzor,  $\nabla$  a Hamilton operátor,  $\bar{\mathbf{q}}$  térfogati erőssűrűség és  $\cdot$  a skaláris szorzás jele.

$$\text{Kinematikai egyenletek:} \quad \mathbf{A} = \frac{1}{2}(\bar{\mathbf{u}} \circ \nabla + \nabla \circ \bar{\mathbf{u}}), \quad (2)$$

ahol  $\mathbf{A}$  az alakváltozási tenzor,  $\bar{\mathbf{u}}$  az elmozdulási vektor és  $\circ$  a diadikus szorzás jele.

$$\text{Anyagtörvény:} \quad \mathbf{F} = \frac{E}{1+\nu} \left( \mathbf{A} + \frac{1}{1-2\nu} A_1 \mathbf{E} \right), \quad (3)$$

ahol  $E$  a rugalmassági modulus,  $\nu$  a Poisson tényező,  $A_1$  az alakváltozási tenzor első skalár invariánsa és  $\mathbf{E}$  az egységtenzor. A (3) Hooke törvény lineárisan rugalmas, izotróp viselkedésű anyagokra érvényes.

$$\text{Kinematikai peremfeltételek az alkatrész } A_u \text{ felületén: } \bar{\mathbf{u}}|_{A_u} = \bar{\mathbf{u}}_0, \quad (4)$$

ahol  $\bar{\mathbf{u}}_0$  ismert elmozdulás.

$$\text{Dinamikai peremfeltételek az alkatrész } A_p \text{ felületén:} \quad \mathbf{F} \cdot \bar{\mathbf{n}}|_{A_p} = \bar{\mathbf{p}}_0, \quad (5)$$

ahol  $\bar{\mathbf{n}}$  az  $A_p$  felület kifelé mutató normális egységvektora és  $\bar{\mathbf{p}}_0$  ismert felületi erőssűrűség.

Az (1)-(5) egyenletek egyértelműen megadnak egy rugalmasságtani peremérték feladatot és megoldásukkal elvileg megkapjuk az ismeretlen  $\bar{\mathbf{u}}$ ,  $\mathbf{A}$  és  $\mathbf{F}$  mezőket. Az (1)-(5) egyenletrendszernek azonban tetszőleges alak, terhelés és megtámasztás esetén nem ismert az egzakt megoldása.

Ezért a valóságos feladatot le kell egyszerűsíteni, azaz olyan közelítő modellt kell alkotnunk, amelynek már elő tudjuk állítani a megoldását.

### 3. KLASSZIKUS SZILÁRDSÁGTANI MODELLEK

A szilárdságtan klasszikus modelljeinél az (1)-(5) egyenletrendszer az alkalmazott geometriai, kinematikai, feszültségi feltételezések és egyszerűsítések következtében olyan mértékben leegyszerűsödik, hogy nem túlzottan bonyolult alakú és terhelésű esetekre klasszikus módszerekkel is jó közelítő megoldások állíthatók elő. A szilárdságtan legfontosabb klasszikus modelljei a következők:

- *Rudak.* A valóságos alkatrész modellje ebben az esetben egy vonal (a súlypont vonal). Ehhez a vonalhoz kötjük hozzá a rúd szilárdságtani viselkedését leíró mennyiséget. A szilárdságtani viselkedést leíró mennyiségeket különböző hajlítási (Bernoulli, Timoshenko, stb.), csavarási, stb. rúdelmélet alapján állítjuk elő.

- *2D modellek: sík alakváltozás, általánosított sík feszültségi állapot, forgásszimmetrikus állapot.* Sík alakváltozásnál (SA) az alakváltozás egy kitétetett síkkal párhuzamos valamennyi síkban azonos. Az általános sík feszültségi állapot (ÁSF) a saját középsíkjába terhelt lemezek esete. A forgásszimmetrikus feladatoknál pedig az alakváltozás a test meridián síkjában történik. Mindhárom esetben a megoldás két elmozdulási alapváltozóval adható meg, amelyek csak két helykoordináta függvényei. Sík alakváltozási és sík feszültségi feladatoknál feszültség függvények felhasználásával állíthatók elő klasszikus megoldások a geometria és a terhelés vonatkozásában egyszerűbb esetekre.

- *Lemezek és héjak.* A lemezknél és héjknál középfelület definiálható. A valóságos alkatrész modellje a középsík/középfelület, amelyhez a szilárdságtani viselkedést leíró mennyiségeket kötjük. Lemezek és héjak kezelésére különböző hajlítási (Kirchhoff-Love, Reissner-Mindlin, stb.) elméletek, valamint a héjak membrán elmélete áll rendelkezésre. Ezeket az elméleteket felhasználva klasszikus megoldások állíthatók elő olyan egyszerűbb esetekre, mint kör és négyszög alakú hajlított lemezek, körhenger héjak, stb.

Valóságos mérnöki problémáknál a klasszikus megoldások a fent említettek miatt csak korlátozott körben alkalmazhatók. A rúdszerkezeteknél már néhány tíz rúdból álló térbeli rúdszerkezet kezelése is meglehetősen nehézkes, amit a gyakran előforduló statikai határozatlansági problémák súlyosbítanak. 2D, valamint lemez és héj feladatoknál már viszonylag egyszerűbb esetekben is meglehetősen bonyolult matematikai apparátus alkalmazására van szükség a megoldás előállításához.

Ez indokolja numerikus eljárások alkalmazását, amelyekkel a mérnöki pontossági igényeket kielégítő közelítő megoldások állíthatók elő.

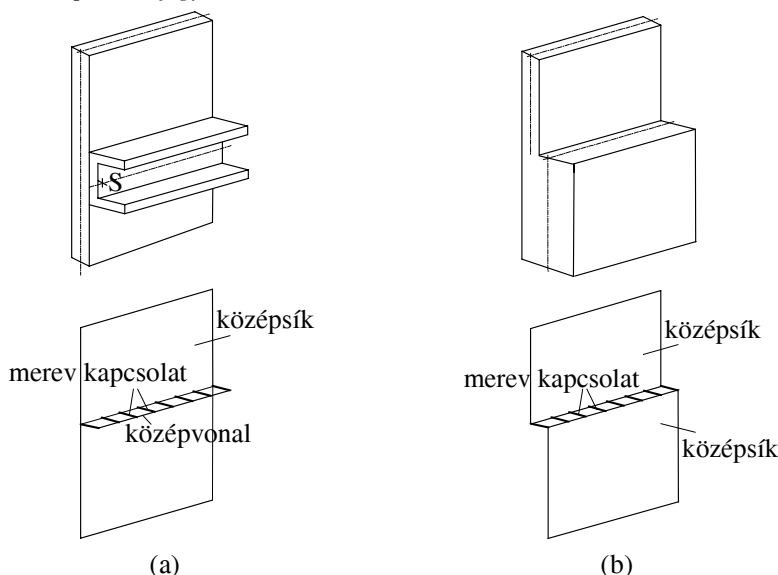
#### 4. VÉGESELEMES MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEK

A végeelem módszer a mérnöki gyakorlatban legjobban elterjedt és leginkább elfogadott numerikus eljárás, amelyre megbízható programrendszerek állnak a felhasználó mérnökök rendelkezésére és amely a klasszikus szilárdságtani modellezést meghaladó modellezési lehetőségeket kínál a mérnöki alkalmazások területén.

A módszer lehetőséget nyújt nagyon bonyolult alkatrészek térbeli modellezésére és valamennyi, az előző pontban tárgyalt klasszikus szilárdságtani modell kezelésére is. A klasszikus modellek alkalmazása a térbeli modellezéshez képest a számítások volumenének csökkenését eredményezi. A végeelem módszernél azonban még további modellezési lehetőségek is rendelkezésre állnak, amelyek a szükséges számítási volument csökkentik, vagy a valóságos viszonyok pontosabb megközelítését teszik lehetővé:

- *Szimmetria „peremfeltételek” (síkbeli esetben szimmetria vonal, térbeli esetben szimmetria sík figyelembe vétele).* Ez azt jelenti, hogy ha a szerkezet/alkatrész geometria és terhelés vonatkozásában is síkra/vonalra szimmetrikus, akkor a fele elhagyható (és csak a fél szerkezetre kell a végeelem számítást elvégezni), mert biztosítani lehet, hogy az alkatrész szimmetria síkba/vonalra eső pontjai az alakváltozás során se lépjenek ki a szimmetria síkból, illetve ne hagyják el a szimmetria vonalat. A síkban, illetve vonalon történő elmozdulások természetesen megengedettek.

- *Excentrikus kapcsolat figyelembevétele.*



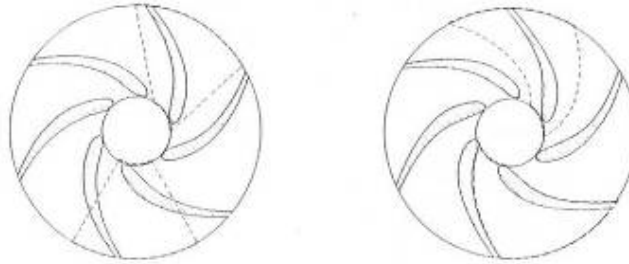
2. ábra: Excentrikus kapcsolattal modellezhető szerkezeti kialakítások

Gépészeti szerkezetekben gyakran előfordul, hogy egy oldalfalat valamilyen szelvény, pl. a 2(a) ábrán látható U szelvényvel merevítünk, vagy a szerkezet falvastagsága hirtelen, esetleg a 2(b) ábrán látható módon ugrásszerűen változik. A 2(a) esetben az U szelvényt modellező középvonal nem esik falat modellező középsíkba, a 2(b) esetben pedig a két különböző vastagságú lemez középsíkja nem esik egybe. A végeelem módszer lehetővé teszi ezeknek az „excentrikusan” elhelyezkedő szerkezeti elemeknek a merev összekapcsolását.

- *Szektorszimmetria figyelembevétele.*

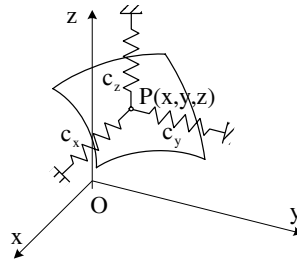
Egy szerkezetet „szektorosan” szimmetrikusnak tekintünk, ha az azonos geometriájú és terhelésű részek ismétlődésével épül fel. Az ismétlődő részeket a szerkezeten általában többféleképpen lehet kijelölni (3. ábra). A végeelem módszer lehetővé teszi, hogy a szerkezetet egyetlen szektorával modellezzük, ugyanis biztosítani lehet, hogy a 3. ábrán szaggatott vonallal jelölt határfelületek deformációja azonos legyen.





3. ábra: Ismétlődő részekből felépített, ún. szektorszimmetrikus szerkezet

- Rugalmas ágyazás.



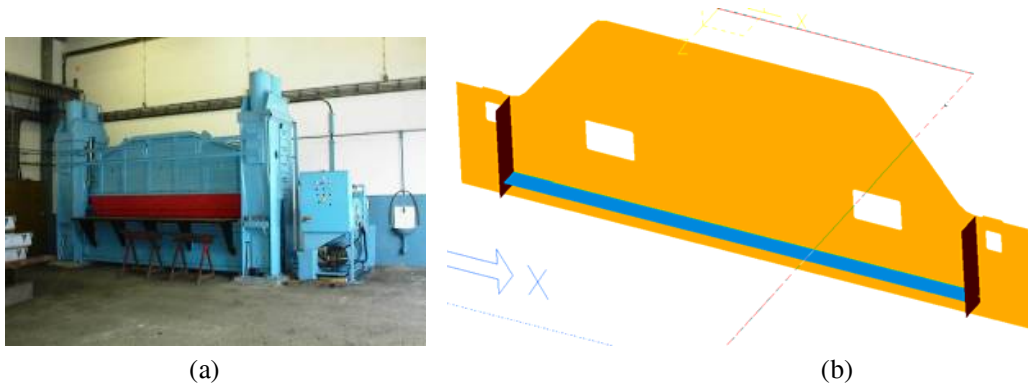
4. ábra: Térbeli rugalmas ágyazás

A gépkatrészek egymással általában felületi érintkezéssel kapcsolódnak. E kapcsolódásnak leggyakrabban előforduló klasszikus modellezése a felület valamiféle megtámasztása (kinematikai peremfeltétel), vagy a felületen ismert erőrendszer működtetése (dinamikai peremfeltétel). A gépszerkezetben az általunk vizsgált rugalmas alkatrész általában más, szintén rugalmas alkatrészekhez kapcsolódik. A végelem módszer lehetőséget nyújt ennek a kapcsolatnak az érintkező felületen megoszló rugalmas ágyazással történő figyelembevételére is. A klasszikus mechanikai modellek közül rudakra és lemezekre ismertek csak rugalmas ágyazást figyelembe vevő megoldások.

## 5. NÉHÁNY IPARI ALKALMAZÁS

### 5.1 Lemez élhajlító gép nyomólapja

Az 5.a ábrán látható lemez élhajlító gép megmunkálás szempontjából kritikus eleme a nyomólap. A nyomólap saját síkjába terhelt lemez (ÁSF), amelyen kivágások és merevítések vannak (5.b ábra). A merevítések miatt a nyomólapot nem lehet egyszerű ÁSF feladatként modellezni. A végelem modell héjelemekből építhető fel és a végelem háló felépítésénél kihasználható a szerkezet egyszeres szimmetriája is.



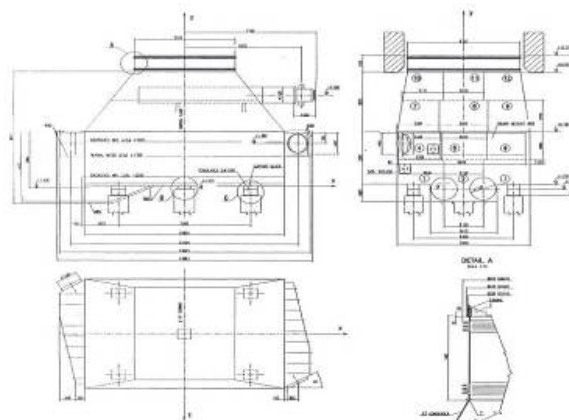
(a)

(b)

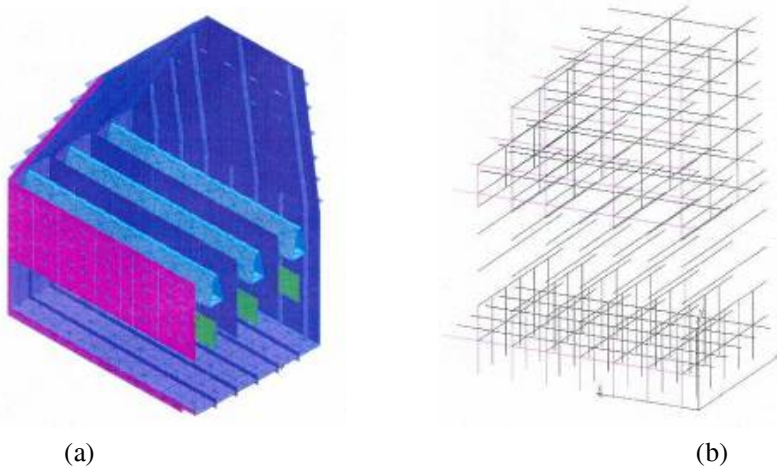
5. ábra: Lemez élhajlító gép és nyomólapjának modellje

### 5.2. Erőművi gőzkondenzátor

A 6. ábrán látható erőművi gőzkondenzátor olyan nagyméretű lemezszerkezet, amelynek oldalfalai bordázattal, a falakra hegesztett L szelvényű rudakkal és a szerkezet belsejében futó zárt lemezcsatornákkal, függőleges lemezekkel és sűrű, három irányú rudazattal merevítettek. A szerkezet bonyolultsága tulajdonképpen 3D modellezést igényelne, ez viszont reménytelenül nagyméretű egyenletrendszert eredményezne. A végelem modell felépítésénél szükség van a klasszikus rúd és héjmodellek alkalmazására, valamint a szerkezet kétszeres síkbeli szimmetriájának, valamint az excentrikus kapcsolódási modell alkalmazására. A 7.a ábra a szerkezet héjelemekkel modellezett részeit mutatja, míg a 7.b ábrán a belső merevítő rudazat modellje látható.



6. ábra: Erőművi gőzkondenzátor



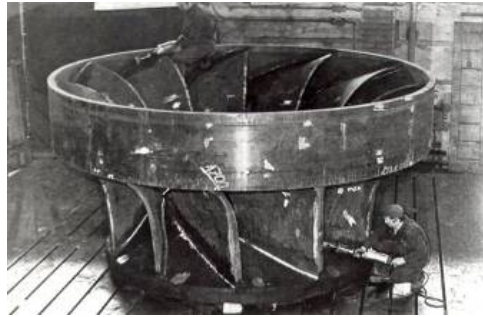
(a)

(b)

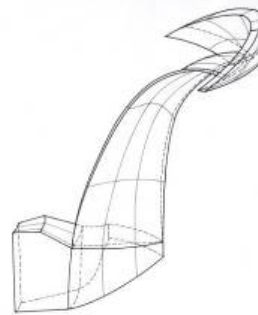
7. ábra: Erőművi gőzkondenzátor végelem modellje

### 5.3. Víz turbina járókerekek

A 8.a ábrán látható Francis és a 9.a ábrán látható Pelton turbina járókerekek geometriailag ismétlődő részekből épülnek fel (szektorszimmetrikusak). Mindkét szerkezet kialakítása olyan bonyolult, hogy a klasszikus szilárdságtani modellek egyike sem alkalmazható, 3D végelem modellezésre van szükség. A Francis járókerék üzemi terhelése is jó közelítéssel lapátonként azonosnak tekinthető, tehát a szerkezet a 8.b ábrán látható szektorszimmetrikus 3D modellel vizsgálható. A szektorszimmetrikus modell terhelése a forgásból származó tömegterhelés és a lapátfelületeken megoszló víznyomás.



(a)

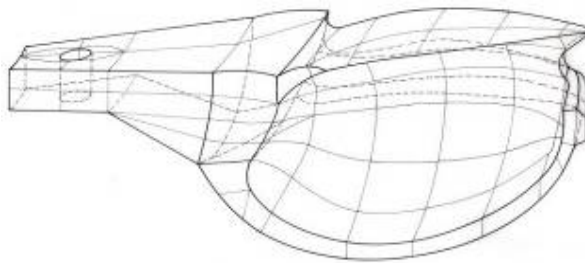


(b)

8. ábra: Francis vízturbina járókerék és végelem modellje



(a)



(b)

9. ábra: Francis vízturbina járókerék és végelem modellje

A Francis járókerék fő terhelését a kerékre rálőtt víz sugarak adják. Ez a terhelés nem szektor-szimmetrikus. Ezért itt a szektorszimmetrikus modellezés mellett a végelem számításokat még egy rugalmasan ágyazott szektor vizsgálatával is ellenőriztük. A szektorszimmetrikus és a rugalmasan ágyazott modellnél is ki lehet használni a járókerék egyszeres síkbeli szimmetriáját is (9.b ábra). A modell terhelése a kanál felületén megoszló víznyomásból és a forgásból származott. A két különböző 3D modellel kapott számítási eredmények csak kis mértékben különböztek egymástól.

## IRODALOM

- [1] Bathe K.J.: Finite Element Procedures, Prentice Hall International Editions, 1996.
- [2] Beer F.P., Johnston E.R.: Mechanics of Materials, Mc Graw-Hill, Inc., 1992.
- [3] Budinas R. G.: Advanced Strength and Applied Stress Analysis, Engineering Mechanisc Series, Mc Graw-Hill International Edition, 1999.
- [4] Égert J., Nándori F., Horváth Á.: Végelelemes programrendszer szilárdságtani számításokra térbeli izoparametrikus elemekkel, NME Közleményei, III. Sor. Gépészet, 31 (1989), 1-3. füzet, 133-164. old.
- [5] Égert J., Molnár-Égert É., Zsenák F.: Finite element analysis of industrial shell beam-truss structures, Publ. of the University of Miskolc, Series C, Mechanical Engineering, Vol. 50., (1999), p. 23.-32.

## Egyszeres teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtóművek elemzése

### ANALYSIS OF SINGLE POWER SPLIT INFINITELY VARIABLE TRANSMISSIONS

FARKAS Zsolt

egyetemi tanársegéd

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezettani Intézet

H-1111, Budapest, Bertalan Lajos u.3

Tel: (+36)-1-463-13-71, Fax: (+36)-1-463-40-81

Farkas.Zsolt@gszi.bme.hu, www.gszi.bme.hu

#### ABSTRACT

*The paper sums up the encasing possibilities of Continuously Variable Transmissions in the drive train. Besides it systematizes the single power split transmission configurations. Furthermore the paper reveals and analyzes the relationship between the power characteristics of the Input Coupled (IC) and Output Coupled (OC) transmission configurations in the different operational stages.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

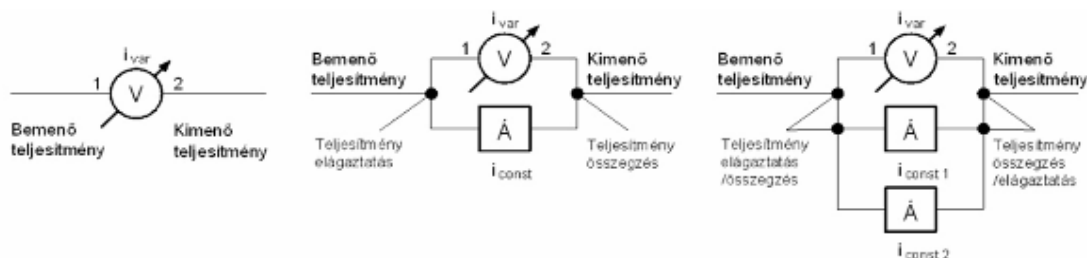
*A cikk összefoglalja a fokozat nélküli váltók hajtásláncba építésének lehetőségeit. Rendszerezi az egyszeres teljesítmény elágazásos hajtóműstruktúrákat. Továbbá különböző üzemi állapotokban feltárja és elemzi az összefüggéseket, a bemeneti és a kimeneti kapcsolású hajtóműstruktúrák teljesítmény karakterisztikái között.*

Kulcsszavak

CVT, Input Coupled, Output Coupled, teljesítmény elágaztatás, teljesítményfolyam

#### 1. FOKOZATMENTES HAJTÓMŰVEK

Egy fokozatmentes hajtóműegységet (Continuously Variable Transmission, CVT) kétféle módon építhetjük egy hajtásláncba. Az egyik mód közvetlenül a teljesítményágába (1.a ábra), a másik mód egy teljesítményelágaztatással létrehozott ágba történő beépítés (1.b, 1.c ábra). Az így létrehozott ún. teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtóműveket további két fő csoportra osztjuk. Az egyik fő csoportot az egyszeres- (1.b ábra), a másikat a többszörös teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtóműveknek (1.c ábra) nevezzük.



a, közvetlen beépítés

c, egyszeres teljesítmény elágazás

d, többszörös teljesítmény elágazás

1. ábra

*A fokozatmentes hajtóműegység (CVT) hajtásláncba történő építésének lehetőségei  
(sematikus ábrák)*

## 2. EGYSZERES TELJESÍTMÉNY ELÁGAZÁSOS FOKOZATMENTES HAJTÓMŰVEK

A teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtóművekkel különböző célokat érhetünk el:

1. összhatásfok javítása,
2. a hajtómű állítási tartományának növelése.

Sajnos ezeket a célokat egyidejűleg nem tudjuk megvalósítani. Ugyanis a hatásfok növelésével az állítási tartomány lecsökken, illetve a fokozatnélküli tag állítási tartományának növelése a hajtómű összhatásfokának csökkenését eredményezi.

Az egyszeres teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtóművek két különböző hajtóműstruktúrába sorolhatók. Az egyik a *2.a ábrán* látható ún. bemeneti kapcsolású (**IC** – Input Coupled), nyomaték elágazású, a másik a *2.b ábrán* látható ún. kimeneti kapcsolású (**OC** – Output Coupled), sebesség elágazású struktúra. **IC** struktúráknál a teljesítmény elágaztatása egy homlokfogaskerék kapcsolaton, a teljesítmény összegzése egy bolygóművön, **OC** struktúráknál fordítva az elágaztatás bolygóművön az összegzés, pedig homlokfogaskerék kapcsolaton keresztül megy végbe.



2. ábra

*Egyszeres teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtóműstruktúrák*

Attól függően, hogy a példánkban szereplő két szabadságfokú ún. **KB** típusú bolygómű [1] három tengelyét a fokozatnélküli, az állandó, vagy a ki- ill. a bemeneti oldalhoz kapcsoljuk, összesen tizenkettő különböző alrendszer tudunk létrehozni. Az alrendszerek száma a kinematikai ekvivalencia miatt hatra redukálható. Bementi kapcsolású **IVT** hajtóműstruktúrák: **IC-SCR, IC-SRC, IC-CRS**, a kimeneti kapcsolásúak: **OC-SCR, OC-SRC, OC-CRS**. A betűk az angol terminológiának megfelelően **S** „Sun gear” – napkerék, **R** „Ring gear” – gyűrűkerék, **C** „Carrier” – kar. Az első betű a fokozatmentes taggal, a második betű az állandó áttételű taggal, a harmadik betű a ki- ill. a bemeneti oldallal való kapcsolatra utal.

A **KB** típusú bolygómű belső áttétele ( $i_b$ ), ami az **S**, **R** és **C** alapelemek fordulatszámaival, – definiációszerűen álló karra vonatkoztatva – meghatározható, ill. kifejezhető az alapelemek fogszámaival (1).

$$i_b = \frac{n_S - n_C}{n_R - n_C} = -\frac{z_R}{z_S} \quad (1)$$

A vizsgálatainkhoz vezessük be egy referencia áttételt ( $i_{ref}$ ), ami a hajtómű azon összetételét jelenti, amikor a bolygómű fokozatnélküli taggal kapcsolódó **S**, **R** vagy **C** alapelemének fordulatszáma zérus (2). A különböző hajtóműstruktúrák esetében az  $i_{ref}$  és az  $i_b$  közötti összefüggéseket bemeneti kapcsolású (**IC**) esetben az 1. táblázat kimeneti kapcsolású (**OC**) esetben a 2. táblázat tartalmazza.

$$i_{ref} = \frac{n_{ki}}{n_{be}}, \text{ ha } n_{var} = 0, \quad \text{ill. } i_{ref} = \frac{n_{ki} - n_{var}}{n_{be} - n_{var}}, \text{ ha } n_{var} \neq 0 \quad (2)$$

A referencia áttétel ( $i_{ref}$ ) meghatározása bemeneti kapcsolású **IC** struktúráknál

1.táblázat

<b>IC</b>					
<b>SRC</b>	<b>RSC</b>	<b>SCR</b>	<b>RCS</b>	<b>CSR</b>	<b>CRS</b>
$i_{ref} = \frac{i_b}{i_b - 1}$	$i_{ref} = \frac{-1}{i_b - 1}$	$i_{ref} = \frac{i_b - 1}{i_b}$	$i_{ref} = 1 - i_b$	$i_{ref} = \frac{1}{i_b}$	$i_{ref} = i_b$

 A referencia áttétel ( $i_{ref}$ ) meghatározása kimeneti kapcsolású **OC** struktúráknál

2.táblázat

<b>OC</b>					
<b>CRS</b>	<b>CSR</b>	<b>RCS</b>	<b>SCR</b>	<b>RSC</b>	<b>SRC</b>
$i_{ref} = \frac{i_b - 1}{i_b}$	$i_{ref} = 1 - i_b$	$i_{ref} = \frac{i_b}{i_b - 1}$	$i_{ref} = \frac{-1}{i_b - 1}$	$i_{ref} = i_b$	$i_{ref} = \frac{1}{i_b}$

A teljesítmény karakterisztika vizsgálata továbbiakban a bemeneti kapcsolású (**IC**) hajtóművek veszteségmentes üzeme esetében kerül részletes bemutatásra. A példaként nézzük meg az **IC-RSC** struktúrájú rendszert (3.a ábra). A bolygóműben fellépő nyomatékokat a nyomatékegyensúlyi egyenlethől [1], [3] meghatározhatjuk (3), (4), (5), (6), illetve a hajtóműre vonatkoztatva kifejezhetjük a referencia áttétellel (7), (8), (9). Tiszta teljesítmény elágazásos esetben az elágazási pontba bevezetett teljesítmény egyenlő az állandó ágra kivezetett és a fokozatmentes ágra kivezetett teljesítmények összegével (10). Mivel ez az elágazási pont állandó fordulatszám viszonyú kapcsolótágot jelent, a bemenő fordulatszám, a napkerék fordulatszáma és – a megfelelő áttétel miatt – a fokozatmentes tag bemenő fordulatszáma megegyezik. Ezen egyszerűsítések és a (8), (9) egyenletek figyelembevételével a hajtóműbe bemenő nyomaték (11) és az összátétel kifejezhető (12). A fokozatmentes tag áttételének (13) felhasználásával meghatározható egységnyi bevezetett teljesítmény esetén a fokozatmentes tagra eső teljesítményhányad (14). Hasonló módon levezethető a kimeneti kapcsolású (**OC**) hajtóművek esetében is ez a teljesítményhányad (15).

$$(1 - i_b) \cdot n_C = n_S - i_b \cdot n_R \quad (3)$$

$$P_{be} = P_A + P_V = P_S + P_1 \quad (10)$$

$$T_S + T_R + T_C = 0 \quad (4)$$

$$T_{be} = T_{ki} \cdot \frac{i_{ref} \cdot i_{var} - i_{ref} + 1}{i_{var}} \quad (11)$$

$$\frac{T_R}{T_S} = -i_b \quad (5)$$

$$I_G = \frac{n_{ki}}{n_{be}} = \frac{T_{be}}{T_{ki}} = \frac{i_{ref} \cdot i_{var} - i_{ref} + 1}{i_{var}} \quad (12)$$

$$T_C = T_S (i_b - 1) \quad (6)$$

$$i_{var} = \frac{1 - i_{ref}}{I_G - i_{ref}} \quad (13)$$

$$T_R = T_2 = T_C \cdot (i_{ref} - 1) \quad (7)$$

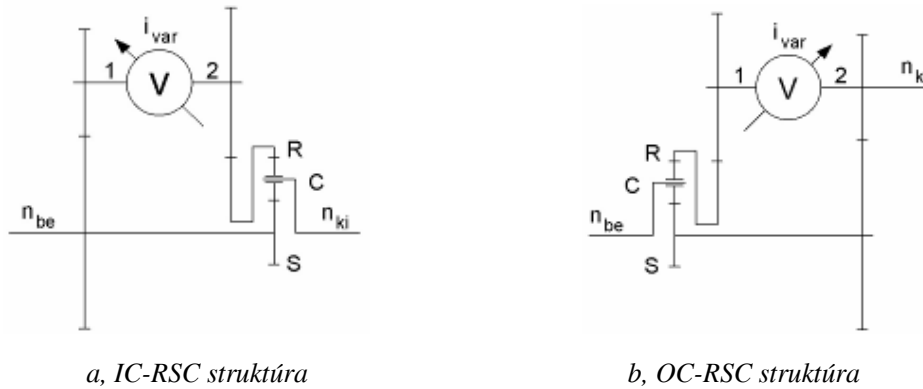
$$p_{V-IC} = \frac{P_V}{P_{be}} = \frac{T_1 \cdot n_1}{T_{be} \cdot n_{be}} = \frac{I_G - i_{ref}}{I_G} \quad (14)$$

$$T_S = -T_C \cdot i_{ref} \quad (8)$$

$$T_1 = \frac{T_C \cdot (i_{ref} - 1)}{i_{var}} \quad (9)$$

$$p_{V-OC} = \frac{I_{ref} - i_G}{I_{ref}} \quad (15)$$

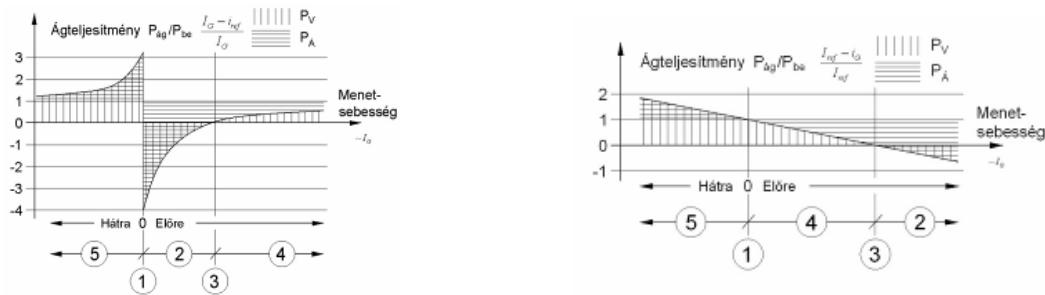
Ezen eredményeink alapján felrajzolhatjuk a bemeneti kapcsolású (**IC**) (4.a ábra) és a kimeneti kapcsolású (**OC**) (4.b ábra) hajtóművek teljesítménykarakterisztikáit egységnyi bevezetett teljesítmény esetére. A függőlegesen vonalkázott rész a változtatható áttételű ágon átfolyó ( $P_V$ ), a vízszintesen vonalkázott rész az állandó áttételű ágon átfolyó ( $P_A$ ) teljesítmények arányát szemlélteti egységnyi ( $P_{be}$ ) bemenő teljesítményre vonatkoztatva.



3. ábra

A vizsgált hajtóművek szerkezeti ábrája

Az 1. pont az álló helyzetet szemlélteti. A 2. esetben és a hátrameneti 5. esetben ún. keringő teljesítmény jön létre. A teljesítmény elágazásos fokozatmentes ágra is tartalmazó hajtóművekben fellépő keringő teljesítménynek két típusát különböztetjük meg. Pozitív keringő teljesítményről beszélünk (5. eset), ha a bemenő tengelyről jövő és a keringő teljesítmény összege a fokozat nélkül állítható áttétellel rendelkező teljesítményágon folyik keresztül. A **CVT** egység méretezésének szempontjából ez a legkritikusabb állapot, továbbá ez az eset adja a legrosszabb hatásfokot. A 2. esetben negatív keringő teljesítményről beszélünk. Ekkor az állandó ágon halad keresztül az összegzett teljesítmény és a **CVT** egységet csak a keringő teljesítmény terheli. A 3. pontban van az  $i_{ref}$  áttétel, ekkor a fokozatmentes taggal kapcsolódó a bolygóműtag, tehát a vizsgált esetben a gyűrűkerék fordulatszámja zérus. A gyűrűkerékre csak statikus nyomaték hat, teljesítmény nem áramlik rajta. Ebben a pontban maximális a hajtómű hatásfoka, ugyanis bemenő teljesítmény teljes egészében az állandó ágon áramlik keresztül. A 4. eset a teljesítmény elágazás esete. A 3. ponthoz közel az állandó ágra, nagyobb sebességeknél, pedig a fokozat nélküli ágra jut nagyobb teljesítményhányad (3. ábra).



a, IC struktúra

b, OC struktúra

4. ábra

Egyszeres teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtóművek teljesítménykarakterisztikái

## IRODALOM

- [1] Terplán, Apró, Antal, Döbröczöni: Fogaskerék- bolygóművek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- [2] Farkas Zsolt – Dr. Kerényi György: Teljesítmény elágazásos fokozatmentes hajtómű modellezése, Gép-tervezők és Termékfejlesztők XXI. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2005. november 10-11
- [3] Förster, H.J.: Automatische Fahrzeuggetriebe – Grundlagen, Bauformen, Eigenschaften, Besonderheiten, Springer-Verlag, 1990

## „Ellentmondásos” eredmények mikrotopográfiai vizsgálatok esetén

### “CONTRADICTION” RESULTS IN CASE OF SURFACE MICROTOPOGRAPHY

FEKETE Gábor<sup>1</sup>, CZIFRA Árpád<sup>2</sup>, Dr. HORVÁTH Sándor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>gépészmérnök hallgató, BME, Gépszerkezettani Intézet,  
H-1111, Budapest, Bertalan Lajos u. 3., fucso01@gmail.com

<sup>2</sup>főiskolai docens, BMF, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,  
H-1081, Budapest, Népszínház u. 8., czifra.arpad@bgk.bmf.hu

#### ABSTRACT

*The paper deals with a special field of surface roughness measurements: distinct results can be observed using different sampling lengths and cut-offs. Different test and analyses were carried out to display the problem in case of different engineering surfaces. The occurrence of deviations were investigated with statistical methods.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk a felületi érdességmérés szűrés- és kiértékelés-technikájának egy speciális problémakörével, az eltérő mérési hosszak és cut-off-ok okozta, a paraméterekben tapasztalható „ellentmondásokkal” foglalkozik, amit különböző alkatrészekon elvégzett vizsgálatok alapján és a mérési eredmények többféle módszer szerinti kiértékelését követően tapasztaltunk. Az eltérések előfordulását reprodukálhatósági és bizonytalansági vizsgálatokkal igyekeztünk alátámasztani.*

**Kulcsszavak:** felületi érdesség, szűrőtechnika, mérési hossz, profil, T-próba

#### 1. BEVEZETÉS

A felületi minőség egy komplex fogalom, amely a felület rendkívül sok tulajdonságát foglalja magába. Komplexitásának következménye, hogy hatást gyakorol a különböző tudományterületek által kutatott folyamatokra. Így elengedhetetlenül fontos a felület ismerete, megbízható és pontos mérése, kiértékelése. Ennek érdekében sok mérési és kiértékelési technikát fejlesztettek ki, amelyek eltérő szempontok szerint képesek vizsgálni a felületeket, és mindegyik másféle információt szolgáltat. [1]

#### 2. AZ ALKALMAZOTT MÉRÉSTECHNIKA

A cikkben bemutatásra kerülő felületi érdességméréseket metszettepintós mérőberendezéssel végeztük el, és a kapott eredményeket többféle kiértékelési technika szerint elemeztük. Ezek közül az ipari körökben leggyakrabban alkalmazott eljárással mutatjuk be az eredmények bizonytalanságát.

A gyakorlatban előszeretettel alkalmazott paraméter alapú kiértékelési technika alapja az érdesség és hullámossága szétválasztása, amely e két fő profilösszetevő hullámhossza alapján történik. A szétválasztás határát a  $\lambda_c$  (Cut-Off) határhullámhossz jelöli. A  $\lambda_c$  megegyezik az  $l_r$  mérési alaphosszal, amelynek segítségével az érdességi paraméterek jelentős részét értelmezhetjük. A teljes kiértékelési szakasz az alaphossz többszöröse (általában:  $l_n = 5 \cdot \lambda_c$ ). Az érdesség és hullámosság szétválasztása úgynevezett szűrt profilt eredményez. Ha a szétválasztás nem történik meg, akkor az érdesség a hullámosságra szuperponálódik, a szűretlen profilt kapjuk eredményként. [2]

A műszerek mérési, illetve kiértékelési alapbeállításait szabványok határozzák meg. Az előírt beállítási értékeket a felület becslt „finomságától” függően az 1. táblázat szerint választjuk ki. A kiválasztás a vizsgált felület várható érdességi értékei alapján történik. Ha a mérések elvégzése után a kapott eredmények nem tartoznak bele a szabványos mérési hosszokhoz tartozó intervallumokba, akkor a mérést egy másik szabványos vizsgálati hosszal meg kell ismételni. Ha az érdességi mérőszámok az adott intervallumokon belül vannak, akkor a mérés megfelelőnek minősíthető.



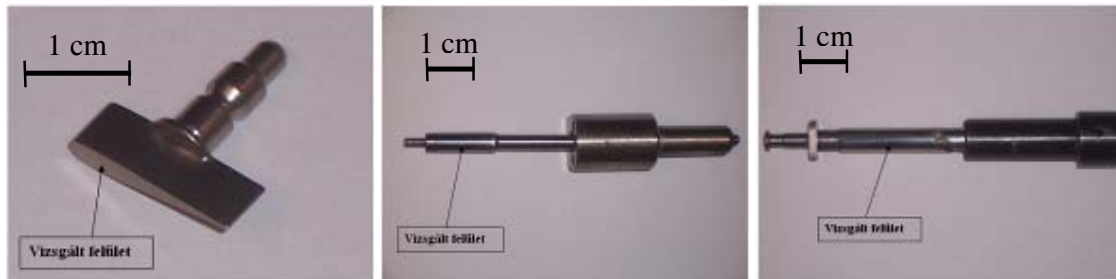
Cut-Off mintavételi távolság az érdességi paraméterek függvényében

1. Táblázat

Cut-Off értékek ISO 4288-1996 szerint				
Periodikus profil	Nem-periodikus profil		Cut-Off	Érdességi alaphossz/ kiértékelési szakasz
Spacing Distance $S_m$ (mm)	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda_c$ (mm)	$l_r/l_n$ (mm)
>0.013 to 0.04	to 0.1	to 0.02	0.08	0.08/0.4
>0.04 to 0.13	>0.1 to 0.5	>0.02 to 0.1	0.25	0.25/1.25
>0.13 to 0.4	>0.5 to 10	>0.1 to 2	0.8	0.8/4
>0.4 to 1.3	>10 to 50	>2 to 10	2.5	2.5/12.5
>1.3 to 4	>50	>10	8	8/40

### 3. ELLENTMONDÁSOS VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A vizsgálatok során három különböző típusú alkatrészen végeztünk felületi érdességméréseket (1.ábra). A méréseknél az alkatrészek működő, a tervezés során előírt felületi érdességgel rendelkező felületeinek analízisekor ellentmondásos eredmények jelentkeztek. [3]



8. ábra: Turbófeltöltő lapát, porlasztó csúcs, üzemanyag adagoló

Azt tapasztaltuk, hogy eltérő szabványos mérési hosszok esetén, más-más érdességi mérőszámok adódtak, amelyek mindegyike a mérési hosszokhoz tartozó, szabványban előírt érték-tartományban van. A vizsgálatoknál a mérési hosszok beállítását követően a mérőtapintóval a felületek ugyanazon részét pásztáztuk végig. Mindegyik munkadarab jellemző felületét többször megmértük ugyanolyan mérési körülmények között és az egyes alkatrészeknél tapasztalt, legmeghatározóbb mérési eredményeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A vizsgálatok során beállított és mért értékek

2. Táblázat

Paraméterek	Turbófeltöltő lapát		Porlasztó csúcs		Üzemanyag adagoló	
Cut-Off (mm)	0,25	0,8	0,08	0,25	0,08	0,25
Mérési hossz (mm)	1,75	5,6	0,56	1,75	0,56	1,75
$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	0,088	0,217	0,013	0,021	0,015	0,022
$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	0,463	1,379	0,088	0,166	0,086	0,151

A mérési eredményeket megvizsgálva szembevető eltéréseket láthatunk a gyakorlatban legtöbbször használt mérőszámok esetén. Az átlagos felületi érdességek és az egyenetlenség magasság értékek ugyanazon munkadaraboknál esetenként nagyságrendi eltéréseket is mutatnak, miközben minden mérés az 1. táblázat alapján szabványos vizsgálatnak tekinthető.

### 4. PROFILPARAMÉTER ALAPÚ KIÉRTÉKELÉS BEMUTATÁSA

A 3. táblázat a szűrt érdességi profil paramétereit, míg a 4. táblázat a szűretlen profil paramétereit tartalmazza a három különböző alkatrész esetén, a következő jelölések szerint:

*Turbófeltöltő lapát*  $\Rightarrow a$  ; *Porlasztó csúcs*  $\Rightarrow b$  ; *Üzemanyag adagoló*  $\Rightarrow c$

A kiértékelés alapjául szolgáló átlagos értékeket a következő képlet szolgáltatta:

$$\text{Paraméter hányados} = \frac{\frac{a_h}{a_r} + \frac{b_h}{b_r} + \frac{c_h}{c_r}}{3} \quad (1)$$

A képletben az indexek a mérési hosszokra utalnak (rövid, hosszú). A kiszámolt dimenziótlan átlagértékek (Paraméter hányados) közül azokat a paramétereket tekinthetjük megfelelő felületjellemzőnek, ahol az érték 1-1,5 között van. Az 1-es érték akkor jelenne meg, ha a mérések azonos eredményt adnának. Az 1-től való eltérések 1,5-ig adódhatnak mérési hibákból, ill. a felületek inhomogenitásából is.

A szűrt profil paramétereit

3. Táblázat

Alkatrész jele	Mérési hossz [mm]	Mérési hossz	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>t</sub> [μm]	R <sub>Sk</sub> [-]	R <sub>Ku</sub> [-]	R <sub>S</sub> [μm]
a	1,75	rövid	0,088	0,579	0,035	2,303	8,254
	5,6	hosszú	0,217	1,908	-0,914	4,634	12,18
b	0,56	rövid	0,013	0,129	-0,3	3,775	4,451
	1,75	hosszú	0,021	0,206	-1,073	5,266	4,141
c	0,56	rövid	0,015	0,106	-0,433	2,989	5,842
	1,75	hosszú	0,022	0,249	-1,25	6,446	6,524
<b>Paraméter hányados [-]</b>			<b>1,85</b>	<b>2,41</b>	<b>6,55</b>	<b>1,85</b>	<b>1,17</b>

A szűretlen profil paramétereit

4. Táblázat

Alkatrész jele	Mérési hossz (mm)	Mérési hossz	P <sub>a</sub> [μm]	P <sub>t</sub> [μm]	P <sub>Sk</sub> [-]	P <sub>Ku</sub> [-]	P <sub>S</sub> [μm]
a	1,75	rövid	0,308	2,266	-1,339	5,306	12,667
	5,6	hosszú	0,327	2,835	-0,925	4,320	14,758
b	0,56	rövid	0,020	0,156	-0,416	3,137	4,357
	1,75	hosszú	0,022	0,252	-1,372	6,833	4,277
c	0,56	rövid	0,018	0,124	-0,607	3,136	6,059
	1,75	hosszú	0,022	0,252	-1,357	7,030	6,599
<b>Paraméter hányados [-]</b>			<b>1,13</b>	<b>1,63</b>	<b>2,07</b>	<b>1,75</b>	<b>1,08</b>

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a szűrt paraméterek eltérő mérési hosszok esetén jelentős különbséget mutatnak, annak ellenére, hogy ugyanarra a felületre vonatkoznak. Az ellentmondásos eredményeket két jelenség is okozhatja. Egyrészt a mérési hosszok különbözősége, másrészt a mérések során alkalmazott eltérő szűrők.

Az érdességi mérőszámok közül a magasság típusú jellemzőknél (R<sub>a</sub>, R<sub>t</sub>) közel kétszeres eltérések adódtak. Még nagyobb különbségek mutatkoztak a torzultsági jellemzők (R<sub>Sk</sub>, R<sub>Ku</sub>) esetén. A mérési eredmények egyedül az R<sub>S</sub> szélességi paraméternél estek az elfogadható tartományba.

Összességében elmondható, hogy a szűrt paraméterek nagyobb bizonytalanságot hordoznak, ezért indokolt a szűretlen paraméterek alkalmazása.

A 4. táblázat mérőszámainál megállapítható, hogy az azonos felülethez tartozó mérések közötti értékbeli különbségek kisebbek, mint a szűrt profilú paramétereknél. Ezek a jellemzők már célzottabban utalnak az azonos vizsgálati felületekre. Az eltérések a különböző észlelt profilokkal magyarázhatók, amiből egyenesen következik, hogy az érdességi mérőszámok többsége érzékenyen viselkedik a beállított szűrőkre.

A szűretlen profil kiértékeléséből származó magasság irányú paraméterek esetén az eltérések a szűrt profilnál tapasztalt különbségeknek legfeljebb a 75%-a. A legkisebb eltérés a kétféle érdességi mérőszám-csoport között a hosszirányú jellemzőknél (R<sub>S</sub>, P<sub>S</sub>) fedezhető fel, amely már mérési hibaként is kiadódhatott.

## 5. AZ EREDMÉNYEK BIZONYTALANSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Az ellentmondásos eredmények kiszűrése érdekében, valamint az esetleges egyedi mérési hibák elkerülése miatt méréssorozatokot készítettünk, és statisztikai kiértékelési módszereket alkalmaztunk. A b jelű alkatrész  $R_a$  átlagos érdességére vonatkozó mérési eredményeket az 5. táblázat tartalmazza.

A porlasztó csúcs átlagos érdességi értékei a méréssorozat esetén 5. Táblázat

Mérések	Rövid mérési hossz esetén [ $\mu\text{m}$ ]	Hosszú mérési hossz esetén [ $\mu\text{m}$ ]
1.	0,012	0,018
2.	0,018	0,016
3.	0,012	0,021
4.	0,016	0,017
5.	0,015	0,018
6.	0,015	0,019
7.	0,016	0,019
8.	0,017	0,021
9.	0,017	0,019
10.	0,013	0,021
Átlag	0,0151	0,0189
Szórás	0,0021	0,0017

A méréssorozat átlagértékei alapján megállapítható, hogy a rövid és hosszú mérési hosszokon elvégzett vizsgálatok különböző felületre utalnak. További bizonytalanságot okoz a hosszú mérési hossz esetén, hogy a szórás figyelembevételével olyan paramétertartományba kerülnek az értékek, amelyek nem tekinthetők szabványos mérésnek, illetve a rövidebb mérési hosszra érvényesek. Ezért a különbözőség biztos megállapításához a mérési adatokon az úgynevezett T-próbát végeztük el. [4] A vizsgálat során kiszámított  $t = 4,38 > t_{0,9} = 3,85$  érték alapján megállapítottuk, hogy a két mérési sorozat biztosan különböző eredményt ad, azaz nem véletlenszerű hibáról van szó.

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK

Az ellentmondásos paraméter értékeket leginkább olyan névleges érdességi értékeknél fordultak elő, amelyek a szűrőtechnikai táblázat valamely tartományának határára, vagy annak közelébe esnek. Tehát célszerű lenne kibővített szabályokat megfogalmazni az ilyen határértékek esetére. E feltételek alapulhatnak a szűrőtlen profil paramétereire, ill. az itt bemutatásra nem kerülő egyéb kiértékelési módszerek mérőszámaira. Az eltérések okának teljes felderítése érdekében mindenképpen újabb vizsgálatok szükségesek.

## 7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen cikk az OTKA-043151 számú téma: „Kapcsolódó felületepárok mikrotopográfiájának statisztikus feldolgozása és kölcsönhatásuk elemzése különböző kopási folyamatokban” keretében készült.

## 8. IRODALOM

- [1] D.J. Whitehouse: Handbook of surface metrology, Inside of Physics Publ., Bristol (1994)
- [2] Stout, Sullivan, Dong, Mainsah, Luo, Mathia, Zahouni: The development of methods for characterisation of roughness in three dimensions, Printing Section, University of Birmingham Edgbaston, Birmingham (1993)
- [3] Fekete G., Horváth S., Czifra Á.: Microgeometry Tests of 'Contradictory' Surfaces with Various Evaluation Techniques, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 4, Iss. 2 (2007)
- [4] Dr. H. J. Orthmann, Dipl.-Ing. H. J. Mair: Die Prüfung thermoplastischer Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, München (1971)

## A fékezés intenzitását kijelző féklámpák emberre gyakorolt hatásainak mérése

### PROCEDURE FOR MEASURING DIFFERENCES BETWEEN STANDARD AND PROPORTIONAL STOP LAMPS

FEKETE Róbert<sup>1</sup>, Dr. ÁBRAHÁM György<sup>2</sup>

<sup>1</sup>doktorandusz, <sup>2</sup>az MTA doktora, tanszékvezető

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mechatronika, Optika é Műszertechnika Tanszék  
Budapest, 1111. Egrý J. u. 1-3 E épület, 313. szoba Tel: 463-2602,  
Fax: 463-3787, Web: www.mom.bme.hu

#### ABSTRACT

*The first part of this article describes a novel proportional stop lamp under development at our department. The stop lamp is capable of signalling braking intensity. The second half of the article details a measurement process and an instrument measuring the difference in the effects of standard stop lamps and the proportional stop lamp on the driver.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikkben bemutatásra kerül a féklámpák egy új generációja, a fékezési intenzitást is kijelző fénysor, összehasonlításra kerül a hagyományos féklámpákkal, a vezetőre gyakorolt hatásaik tekintetében, majd bemutatjuk az említett differenciát vizsgáló mérőállomást, és mérési eljárást is.*

**Kulcsszavak:** proporcionális féklámpa, fékezési intenzitás, LED, reakcióidő, reakciógörbe, mérőállomás, mérési eljárás

#### 1. BEVEZETÉS

Világszerte széleskörű kutatások folynak az intelligens járműirányítási rendszerek fejlesztésével. A gépjárművezetőt segítő fényjelek nagymértékben hozzájárulnak a közlekedési balesetek számának csökkentéséhez. Felmerült tehát az igény, hogy az eddigi kutatások, fejlesztések eredményein túl szélesítsük a fényjelek használatát. Ezen felismerés nagymértékben járult hozzá egy olyan többletinformációt szolgáltató, vizuális elven működő rendszer kidolgozásához, amelynél a tiszta felelősségű helyzet a konstrukcióból adódik, és, ahol az emberi szem jelenti a legfontosabb szenzort. Az alábbiakban bemutatott fékezési intenzitást kijelző kiegészítő féklámpa a vezetőt támogató rendszerek egy új fajtáját igyekszik megvalósítani, a jövőben értékes, eddig ki nem nyert információhoz juttatva a járművezetőket, ezzel jelentősen csökkentve többek között a rosszul értékelt forgalmi helyzetek számát és növelve a közlekedés biztonságát. 2006 végén hosszas kutatás és humán tesztelés után létrehoztunk egy működő, és megbízható adatokat szolgáltató mérési eljárást a hozzá tartozó mobil mérőállomással, amely a fékezési intenzitását is kijelző proporcionális féklámpák létjogosultságát vizsgálja, és amely az alábbiakban szintén bemutatásra kerül.

#### 2. JÁRMŰVEK MOZGÁSÁLLAPOTÁNAK FÉNYJELEK ÚTJÁN TÖRTÉNŐ KÜLSŐ KIJELZÉSE

Az alábbiakban bemutatásra kerül egy olyan fényemittáló diódából kialakított eszköz, amely a járművek mozgásállapotáról a közlekedő társak számára pillanatszerű rátekintéssel becslésre alkalmas vizuális információt szolgáltat.

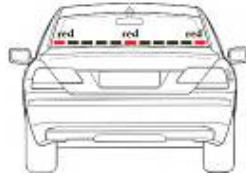
A járművek fékezési intenzitását kijelző proporcionális féklámpa vonalszerűen kerül kialakításra a járművek hátsó szélvédőjének alsó, vagy felső részén, a járművek hosszanti tengelyére merőlegesen úgy, hogy azok fénye csak kívülről látható. Az egy időben világító elemek száma, avagy a világító fénycsík hossza

jelenti a fékezés mértékét. A rövid vonal a gyenge fékezést, a hosszú vonal az erős fékezést. A két végpont között természetesen több fokozat kijelzése lehetséges. A kibocsátott fény színe praktikusán vörös. A fékerő növekedésével szimmetrikusan nő a világító vonal szélvédő közepétől jobbra és balra. Ennek érdekében, hogy a fékerőt a távolságtól függetlenül meg lehessen becsülni, a vonalszerűen kialakított proporcionális féklámpa a jármű hátsó szélvédőjének teljes szélességét igénybe veszi, és két szélső szegmense állandóan világít. Így a fénysor teljes szélességéhez lehet viszonyítani az aktuálisan világító elemek által alkotott világító vonal hosszát, ezáltal a fékezési intenzitás távolság-függetlenül megbecsülhetővé válik.



1. ábra

A proporcionális féklámpa alapállapota



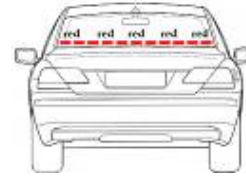
2. ábra

A proporcionális féklámpa enyhe fékezés közben



3. ábra

A proporcionális féklámpa közepes fékezés közben



4. ábra

A proporcionális féklámpa blokkoló fékezéskor

### 3. FÉKLÁMPÁK VEZETŐRE GYAKOROLT HATÁSAINAK KÜLÖNBÉSÉGÉT VIZSGÁLÓ MÉRŐÁLLOMÁS ÉS MÉRÉSI ELJÁRÁS ISMERTETÉSE. A MÉRÉS ESZKÖZEI, CÉLKITŰZÉSE, FOLYAMATA, A MÉRŐPROGRAM, A SZIMULÁCIÓS VIDEÓK, ÉS AZ EREDMÉNYEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK METODIKÁJA

A mérés célja, hogy a tesztalanyoktól reprezentatív humán reakciógörbéket nyerjünk. A reakciógörbék az alanyok reakciójának az idő függvényében vett intenzitását ábrázolják. A különböző vetített közlekedési helyzetekben mérjük, hogy az alanyok a fékpedált milyen mértékben nyomják le, mely adatsorból a reakciógörbe meghatározhatóvá válik. Cél továbbá, hogy kimutassuk a vezetői reakciók közötti különbséget a hagyományos és a proporcionális féklámpával felszerelt járművek mögött haladó járművezetők esetében, különböző fékezési helyzetek vizsgálatán keresztül.

A mérési eljárás kialakítása során elsődleges a valós körülmények minél élethűbb átültetése a szimulációs környezetbe. A mérés során szimulációs videókat vetítünk az alanyoknak, akik az ábrázolt közlekedési helyzetekre egy kormány-pedál szimulátor segítségével reagálnak. Az alanyokat a vetítőtábla előtt olyan távolságban kell elhelyezni, hogy az ábrázolt járművek szimulációsán megvalósított távolságából számolható elméleti látószög, és a megvalósított látószög minél jobban megközelítse egymást.

**A mérés fontos eszköze** egy adatgyűjtő szoftverben készített mérőprogram, továbbá az adatfeldolgozást és kiértékelést elősegítő táblázatkezelő rendszer. A videó anyagok elkészítésére háromdimenziós, animációs szoftvert használtunk.

A mérés, tárgyi eszközeihez tartozik egy erővisszacsatolt szimulációs kormány a hozzá tartozó pedálokkal. A reakciógörbe felvételekor elsősorban a fékpedál jeleit figyeltük, azonban a többi beavatkozó szerv, a kormány és a gázpedál állása is rögzítésre került. A fékpedál mérési tartománya 38 mm. E tartomány 32 767 szakaszra van felosztva, ami igen nagy felbontóképességet eredményez. Egy osztásváltozást 0,001196 mm elmozdulás vált ki. A kormány és a pedálok jelei USB kábelon keresztül jutnak el a regisztráló számítógéphez.

A szimulációs videók vetítése, sötétíthető teremben történt, SVGA 800 x 600-as projektorral, 1955 mm-es vetítő táblára.

**A feladat a vetített közlekedési** helyzetekre való életszerű, arányos reagálás. A szituációk során a megfigyelő járműve előtt egyenletes sebességgel haladó személygépkocsi valamely előre nem ismert hosszúságú idő eltelte után ismeretlen mértékű fékezést hajt végre. A tesztalany feladata, hogy az általa érzékelt fékezési intenzitást, közelséget és veszélyérzetet mérlegelve, a szituációra az általa megítélt szükséges fékezési intenzitásnak megfelelően, a fékpedál különböző erejű lenyomásával reagáljon. A fékpedál lenyomásának ideje, és a lenyomás mindenkor intenzitása regisztrálásra kerül.

A mérés során sor kerül a mérési alany betanítására és a 24 szimulációs videó levetítésére. A mérés menete a következő:

Tesztalany elhelyezése a vetítívászon előtt: Az elméletihez minél közelebbi látószög elérése érdekében a tesztalany a vetítőtábla előtt 3 méterrel foglal helyet. A magassági viszonyok helyes beállítása érdekében a fejmagasságot a szimulációs videók horizontvonalával egy szintbe kell hozni. A kormány és pedál beállítása, személyre igazítása.

A mérési feladat elmagyarázása a mérési alanyak: A feladat tiszta megértése érdekében a mérőprogram, és a levetítendő szimulációs videókhoz hasonló néhány minta videó bemutatásra kerül.

A 24 darab szimulációs videó folyamatos lejátszása a tesztalanyak: A videók lejátszása közben az adatgyűjtés folyamatos. Az egyes közlekedési helyzetekre adott válaszok a videók pontos ismeretében később kiválogathatók a teljes adathalmazból.

**A mérőállomáson alkalmazott** mérőprogramot egy adatgyűjtő szoftverben készítettük el. A program kezelőfelületén egy adatfájl mezőt, egy fék, ill. gázpedál állását jelző mezőt és egy, az azokat mutató grafikont helyeztünk el. A program a mérés elkezdése után egy előre meghatározott fájlban tárolja el a pedálok állását az idő függvényében. A pedál mindenkori értéke az USB joystick portján keresztül kerül leolvasásra.

A videók összeállításakor elsődleges szempont volt, hogy azok valós közlekedési helyzeteket szimuláljanak, és ezekben a helyzetekben lehetővé tegyék a hagyományos és proporcionális féklámpák összehasonlítását. A videókat emiatt úgy készítettük el, hogy az alanyok minden közlekedési szituációban kétszer vesznek részt, egyszer hagyományos féklámpákkal felszerelt, egyszer pedig proporcionális féklámpával is felszerelt járművek mögött autózva. A számos szimulált helyzetet ismeretlen, véletlenszerű sorrendben kell levetíteni a megfigyelőknek.

Az egyszerű közlekedési szituációk forgatókönyve arra az alapesetre épül, amikor egy egyenes úton haladó autót bizonyos távolságban követünk. Az egyes forgatókönyvek három dologban különböznek. Eltér a járművek kezdeti távolsága, a fékezés intenzitása, és emellett egyes videókon proporcionális, más videókon hagyományos féklámpát láthatunk.

Ezen hétköznapi helyzetek vizsgálatára huszonegy különböző szimulációs videó készült.

A vizsgált egyszerű szituációk kiválóan alkalmasak annak bemutatására, hogy az eltérő féklámpák más reakciókat váltanak ki a követő autósban, azonban semmiképpen sem fedik le a közlekedési helyzetek túlnyomó hányadát. Ezen okból kifolyólag sok más helyzet vizsgálata is elengedhetetlen volna, hogy ezekben is bebizonyosodjon a proporcionális lámpák előnye.

A videók megalkotásakor kidolgozott koncepció arra a feltételezésre épül, hogy a követő jármű vezetője az elől haladó mozgását másolja le, valamekkora időkéstelletéssel. A mozgás lemásolásakor az elől haladó megelőző gyorsulás állapotát örökli, ami a sebességállapot és relatív helyzet azonosságát is maga után vonja.

Ez a koncepció számos eltérő változat közül lett kiválasztva. A többi változat azért került elvetésre, mert mindegyik valamilyen formában feltételezte a tesztalany várható reakciójának előzetes ismeretét. Ez a feltételezés a válaszadás befolyásolásának egy formája lett volna, ami a mérés hitelességét rontaná.

Az alapkoncepciónak megfelelő forgatókönyvek kidolgozása egy összetett táblázat alkalmazásával egyszerűsödött le, ami a bemenő paraméterek, mint a gyorsulásadatok, reakcióidő, kezdeti távolságok, stb. megváltoztatásának hatására a mozgástörvények ismeretében a helyzeteket azonnal újraszámolja, azokat megjeleníti, és így a forgatókönyvek életszerűségének megítélését megkönnyíti. A bemenő paraméterek a kezdeti sebességek és helyzetek, a lassítás és gyorsítás legnagyobb értékei, az állandó sebességű mozgásszakaszok időtartama, a reakcióidő és a legkisebb távolság értéke. Ezekből a program kiszámolja a lassító és gyorsító mozgásszakaszok idejét, a mindenkori sebességet, helyzetet és a járművek közötti mindenkori távolságot. A számítások alapját az képezi, hogy a gyorsító és lassító szakaszokon a gyorsulás értéke a kezdeti ugrás után konstans nagyságú, és a lassítás, majd a gyorsítás előtt is beállítható hosszúságú, állandó sebességű szakaszok következnek. Peremfeltételeket a kezdeti és a minimális távolság képeznek. Ezekből az adatokból a sebességek és a helyzetek numerikus integrálással kaphatók meg.

A szimulációs videók egy háromdimenziós modellezőprogrammal készültek. A program lehetővé tette a modelljárművek és a megfigyelő kamera mellett számos más, látványos elem elhelyezését a videókon. Ilyen elemek a háttérben látható házak és egyéb objektumok, illetve az úton közlekedő más járművek. Ezek az objektumok a valós közlekedési helyzetekhez hasonlóan összetett tesztik a helyszínt, hogy a tesztalany figyelmét megosszák.

A helyzet és gyorsulásadatok megfelelő formázás után a táblázatkezelőből a 3d. szoftver számára átadhatóvá válnak. Ezek alapján lehet beállítani a modelljárművek mindenkori helyzetét, illetve a proporcionális és hagyományos féklámpák bekapcsolásának idejét és intenzitását. Az adatok direkt

átadásának köszönhetően a mozgások teljes fizikai hűséggel rendelkeznek. A modellek, a mozgások és a helyszín beállítása után az animációkat, élethűséget növelő effektusokkal, árnyékokkal, fényekkel láttuk el, melyek a helyzetnek és a kívánságoknak megfelelően ki-, és bekapcsolhatóak, változtathatóak. A videók igen jó minőségben, számos órán át, több számítógépen készültek, hogy minőségük a kivetítő nagy mérete ellenére is jól használható maradjon.

A rendelkezésre álló adatfájlokból táblázatkezelőbe importáljuk az adatokat, melyeket feldolgozunk, és grafikonokat készítünk belőlük, ebből szemléletesebben láthatóak a különbségek.

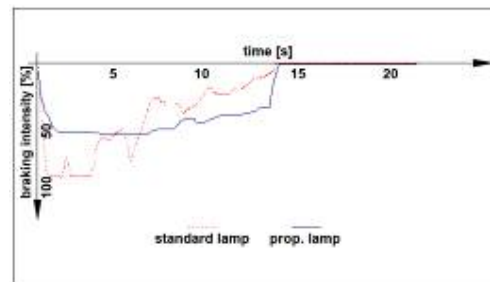
A mérési próbák alatt arra összpontosítottunk, hogy magát a mérési eljárást kifejlesszük, kipróbáljuk és tökéletesítsük. Ehhez a munkához megfelelő számú mérést végeztünk, azonban próbaméréseken kívüli mérések hiányában reprezentatív mintáról természetesen nem beszélhetünk. Meg kell továbbá említeni, hogy a LED-soros rendszer egyik fő előnye, a nyugodtabb vezetési körülmények létrehozása már e kisszámú mintából is tökéletesen látható. Erre az alábbi ábrákból lehet következtetni. Ugyan a statisztikai mintánk nem reprezentatív, ezen eredményt nem hallgathatjuk el.

A grafikonokon látható, hogy a proporcionális féklámpás esetekben a fékezési görbe kiegyenlítettebb. Ez azt sugallja, hogy a járművezetők – tesztalanyok - a LED-es kijelzőn látták az előttük haladó jármű fékezési intenzitását, majd ennek megfelelően fékeztek a hagyományos féklámpás helyzetekkel ellentétben, ahol a vezetők csupán a fékezés tényét látták, intenzitását nem, ezért az észlelet pillanatában ráléptek a fékre nem törődve a szükséges fékerő megválasztásával. A megfelelő fékerő megválasztása csak ez után következett. Sok esetben a vezetők az elől haladó jármű méretváltozásából következtettek a fékezési intenzitásra, majd többszöri fékerő módosítással érték el a kívánt hatást, amit a proporcionális féklámpás esetben szinte azonnal tudtak.



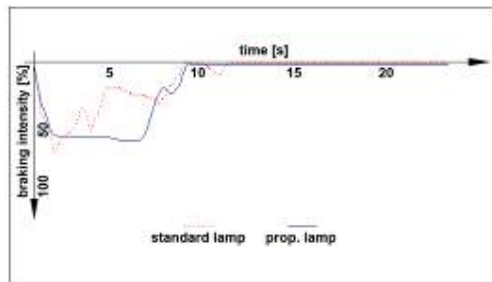
5. ábra

Egy pillanatkép az animációs videó anyagból



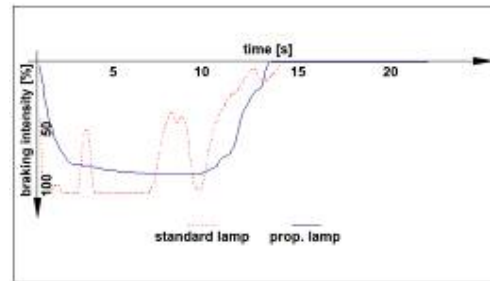
7. ábra

Példák a mért görbékre: közepes távolságon, kis fékerő esetében



6. ábra

Példák a mért görbékre: kis távolságon, közepes fékerő esetében



8. ábra

Példák a mért görbékre: kis távolságon, közepes fékerő esetében

## IRODALOM

- [1.] Dr. Ábrahám György, *Járművek mozgásállapotának fényjelek útján történő külső kijelzése. Oltalmi beadvány*, (1998)
- [2.] Dr. Ábrahám, György - Fekete, Róbert, *Járművek fényjelekkel történő kooperatív irányítása (EJTT)* Budapest University of Technology and Economics, 2006.

## Klórtartalmú véggázok újrahasznosítása (Sztrippelő oszlop optimalása)

### RECYCLING OF END-GASES CONTAINING CHLORINE

FEKETE Tamás József<sup>1</sup>, Dr. HORVÁTH Géza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki Intézet, Kooperációs Kutatási Központ, Egyetem u. 10.  
H-8201 Veszprém, email: fexit@freemail.hu, Hungary

<sup>2</sup> Pannon Egyetem, Vegyipari Műveletek Tanszék, Egyetem u. 10.  
H-8201 Veszprém, Hungary

#### ABSTRACT

*An environmental problem emerged in a Hungarian, PVC pellet producing plant. This article is about the review of reducing the vinyl-chloride emission. In first step we examine the stripping column's work, which makes the main part of the PVC suspension exemption, with an economical usage of steam and energy. For that, we made thermal analysis to studying the particles's pore behavior and the sphere-diffusion. The results lead us to make a mathematical model for further investigation.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Egy már Magyarországon meglévő PVC granulátum előállítására specializált üzemben felmerülő környezetvédelmi probléma megoldásra kerül. Első lépésben a PVC szuszpenzió vinil-klorid mentesítését végezzük sztrippelő optimalásával, majd ezen műveleti egység vízgőz és energia felhasználását a lehető legalacsonyabb üzemeltetési költséggel igyekszünk megvalósítani. Az ehhez szükséges vizsgálatokat termikus módszerrel végezzük, amelynek segítségével a gömbi diffúzió jelenségét és a szemcsék pórusváltozását figyeljük, ami egy matematikai modell megírására ösztönzött.*

**Kulcsszavak:** PVC szuszpenzió, vinil-klorid, sztrippelés, pórusszerkezet, gömbi diffúzió

#### 1. BEVEZETÉS

Tapasztalataink szerint Magyarországon üzemelő PVC üzemek érdekes tanulsággal szolgálnak a megengedett környezetvédelmi vinil-klorid tartalom csökkentése tekintetében.

Napjainkra fokozott érdeklődés tárgya a PVC alapú műanyagok vinil-klorid tartalmának eltávolítására alkalmas technológiák mind tökéletesebb megvalósítása. Ennek köszönhető ezen kutatási terület elméleti és gyakorlati lehetőségeinek a legújabb felismerései.

A PVC alapanyagok egyike a legnagyobb mennyiségben gyártott és felhasznált műanyagoknak. Jóllehet a nagyipari megvalósítás már több évtizedes múltra tekint vissza, a monomer előállítása és a polimerizáció technológiája állandó fejlődést mutat, ahol még rengeteg megoldásra váró feladat található. Mindezek továbbfejlesztését igyekszünk kutatásaink során segíteni.

A végzett kutató munkánkat a PVC gyártás technológiájának megismerésével kezdtük, melyek előállítására a szakirodalmak négy fő, napjainkra kialakult ipari módszert említettek. [1]

Négy polimerizációs módszer:

- Emulziós polimerizáció
- Oldószeres polimerizáció
- Tömbpolimerizáció
- Szuszpenziós polimerizáció



Az ipari gyártás elsősorban a szuszpenziós polimerizációs eljárásra rendezkedett be, mivel a polimerizáció a vízben, mint folytonos fázisban, szuszpendálószerrel diszpergált monomer szemcsékben játszódik le. Az így kapott szemcsenagyság lényegesen nagyobb, mint a többi polimerizációs eljárásnál, a gyártási költség viszonylag alacsony, és a folyamat is jól szabályozható. A VC szennyezés problémáját a PVC szuszpenzióban jelen lévő szennyeződések okozzák, ezért a gyártás során néhány szekcióban szükségszerű a már meglévő készülékek paramétereinek helyes beállítása úgy, hogy a végtermék minősége és a minőségére jellemző értékek ne változzanak számunkra negatív irányba.

Feladat a minőség megtartása céljából kiválasztani egy olyan üzemi szekciót, ahol a nyomás és a hőmérséklet, mint két legfontosabb paraméter változtatásával érhetjük el a PVC por végső minőségét a sztrippelő kolonnák hőmérsékletének helyes kiválasztásával, melyet a betáplált vízgőz mennyiségével tudunk szabályozni. A technológia során az üzemi szinten jelentkező üzemeltetési költségek csökkentése is jelentősen befolyásolható a sztrippelő kolonnákba bevezetett vízgőz mennyiségével és hőmérsékletével. Ezen paraméterek megfelelő kiválasztásával szeretnénk a PVC por maradék vinil-klorid tartalmát minimálisra csökkenteni, miközben a PVC por minőségére jellemző értékek ne változzanak.

A kutatás további lépcsőjeként a PVC üzemből kapott por granulátum mintáinak elemzésével foglalkoztunk. Az elemzett mintákat különböző kódszámokkal jelöltük, amelyeknek az alábbi felhasználási területen van jelentősége.

- 5258: Csőszerelvények és egyéb tárgyak gyártása
- 5064: Keménylemez és csőgyártás
- 5067: Keménycső, különböző profilok és lágyfólia gyártás
- 5070: Keménycső, lemezek, lágyfólia és villamosipari kábelgyártás
- 5167: Különböző lágytermékek, lemezek, profilok gyártása

## 2. A PVC SZUSZPENZIÓK VIZSGÁLATAI

### 2.1. A BC Rt. Polimer II. üzeméből származó PVC por TG-MS vizsgálata

A Termogravimetriával, mint termikus módszerrel vizsgáltuk a minták tömegének változását, majd azt regisztráltuk a hőmérséklet függvényében. Az eredményeket a táblázatkezelőben feldolgozva, a tömegváltozás versus hőmérséklet görbe minőségi és mennyiségi információkat szolgáltatott. A vizsgálatokhoz azért választottuk a termogravimetriát, mert egy olyan mérést kellett produkálni, amely során a víz és a vinil-klorid PVC szuszpenzióból való távozása megfelelően mérhető. Erre megfelelő módszernek tűnt a TG és a vele összekapcsolt (MS) tömegspektrométer, ami már jól használható volt a TG-MS görbék megszerkesztésére, ahol a 62-es tömegszámú vinil-klorid specifikus csúcsa kitűnően láthatóvá vált. [2]

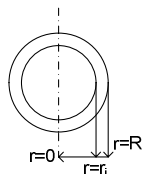
### 2.2. Diffúziós állandó meghatározása gömbi diffúziós modellel

A sztrippelő berendezés modellezéséhez Matlab programot írtunk és táblázatkezelőben (Excel) számításokat végeztünk. A Matlab program segítségével meghatároztuk mintánként a diffúziós állandókat, a VC koncentrációt a hőmérséklet és a tartózkodási idő függvényében továbbá vizsgáltuk a görbék karaszterisztikáját.

A PVC szemcséket szabályos gömbnek feltételezzük, akkor az átadást és a diffúziós állandót a következő egyenlettel tudjuk számolni:

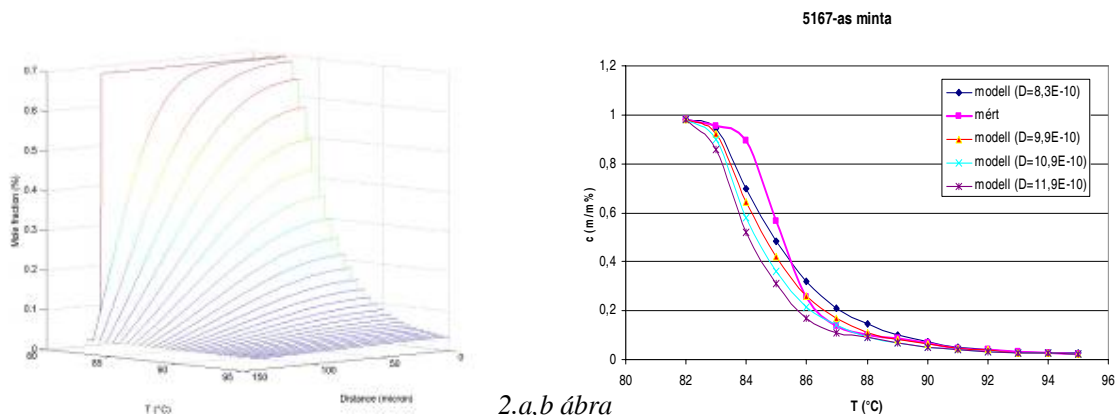
$$J_q(c(r)) = -D \cdot \left. \frac{dc}{dr} \right|_{r=R} \quad (1)$$

Az 1. egyenlet megoldásával megkapjuk szemcse különböző  $r$  sugarú helyein mekkora a VC koncentrációja. A GDM modell az  $r$  – sugarú gömb középpontjából indulva  $r_1, r_2, r_3 \dots r_n, r_R$  sugarú gömb felületén számolja a koncentrációt. Ezt szemlélteti a 1. ábra.



1. ábra

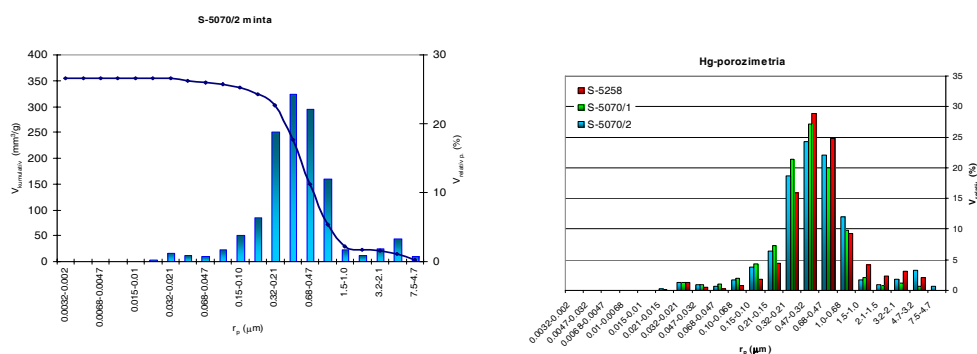
Ennek megoldására Matlab program segítségével készítettünk egy modellt, amely a hely és az idő függvényében számítja a monomer koncentrációját. Mivel a TG-MS mérésekből kiderül, hogy a hőmérséklet is hatással van a VC eltávozására, ezért a diffúzió hőmérsékletfüggését is beépítettük a modellbe. A gömbi diffúziós modellel számolt eredmények a 2.a és 2.b ábrákon láthatóak.



2.a,b ábra

### 2.3. Pórusszerkezet vizsgálat

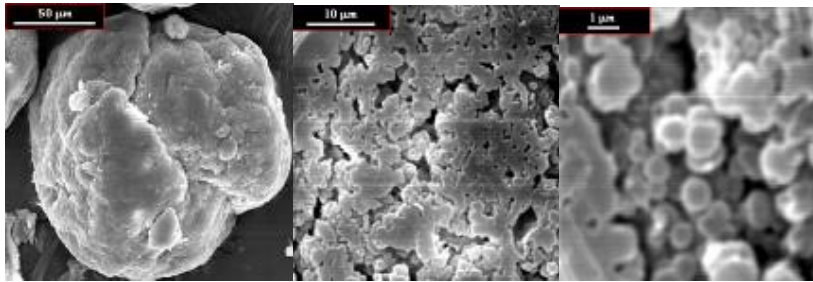
Higany penetrációval sikerült igazolni a feltevéseinket, hogy a PVC szemcsék nem azonos pórusméretekkel rendelkeznek. A 3.a és 3.b ábrákon látható diagramok szemléltetik a pórusméret eloszlást az átlagsugár függvényében. A szemcsék pórusainak sugara túlnyomórészt 29 %-a 0,32-0,47  $\mu\text{m}$  tartományba esik. A pórusok össze vannak épülve és az oszlopdiagramokon is látható, hogy azonos minta esetében 2-3 pórusátmérő a jellemző. Látható a diagramon, hogy a vizsgált minta szűk pórusokkal rendelkezik. E mérés információt nyújt a szemcsében található csatornákról.



3.a,b ábra

### 2.4. Elektronmikroszkópos felvétel

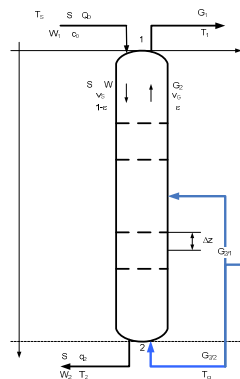
Az 4. ábrán bemutatott felvételek igazolják azt az analógiát, amelyet a 3.a és 3.b ábrán levő diagram mutat. Tehát a pórusméret molekulán belül nem azonos, így más-más kinetika szerint távozik a vinil – klorid a PVC szemcséből.



4. ábra

5070-es PVC minta elektronmikroszkópos felvételei

## 2.4. A sztrippelő gőzfelhasználása



5. ábra

A 5. ábrán látható egy sztrippelő oszlop, amelyben a PVC szuszpenzió ellenáramban halad a 100 °C – os telített gőzzel. Ezzel a gőzmennyiséggel tudják szabályozni az oszlop fejhőmérsékletét. A hőmérsékletprofil első közelítésben lineárisnak tekintettük, ismerve a kolonna tetején és alján a hőmérsékletet. Ez azt jelenti, hogy a kolonna tányérközeiben a hőmérsékletkülönbségeket azonosnak feltételeztük. Ahhoz, hogy az oszlop hosszán pontosan ismerjük a hőmérsékletprofil, további pontokon mértünk hőmérsékletet, amely kivitelezéséhez gépészeti átalakításokat kellett végeznünk az oszlopon. Továbbá a kolonnába bevezetett gőzmennyiséget megosztjuk a 5. ábrán látható módon, így ezzel a hőmérsékletprofil is változtatjuk. Anyag – és hőmérleg szerit a második gőzbevezetést az oszlop közepén vagy a fölötti tányérközeiben kell alkalmazni. Az osztott gőzbevezetéses kolonnával 10 % - al kevesebb gőz elegendő az előírt VC koncentráció eléréséhez, ami éves szinten jelentős mértékben csökkentheti a polimer üzem üzemeltetési költségeit. [3]

## 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A mérési eredmények azt mutatják, hogy a polimer üzemben megvalósított sztrippelés során a VC eltávolítása helyesen megválasztott paraméterekkel és egy megfelelő modell használatával megfelelően kézben tartható. Az eddigi adatok ismeretében kijelenthető, hogy a napjainkra egyre magasabbra kúszó energia árak mellett is tudjuk csökkenteni az üzemeltetési költségeket, miközben a környezetvédelmi előírásokat is sikeresen be tudjuk tartani.

## 4. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Ládi Csaba– Slamovits Tibor – Szikra István (2000) Népszerű technológia, BC Rt. PVC üzletág 3 – 34
- [2] Dr. Kristóf János (2000) Kémiai Analízis II. (Nagyműszeres analízis), Veszprémi Egyetem, oktatási segédlet, 102 – 116
- [3] Fonyó Zsolt – Fábri György (1998, 2004) Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, Vegyipari Művelettani Alapismeretek 542 – 586

## Axiális vízturbina hidraulikai tervezése és a CFD szimulációjának előkészítése

### HYDRAULIC DESIGN OF AXIAL-FLOW WATER TURBINE AND PRE-TREATMENT OF CFD SIMULATION

FODOR Béla<sup>1</sup>, Dr. KALMÁR László<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. hallgató, <sup>2</sup>Ph.D., egyetemi docens

Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke, Miskolci Egyetem, H-3515 Miskolc-Egyetemváros,  
Magyarország, Email: <sup>1</sup>energomen@freemail.hu

#### ABSTRACT

*In the article we are summarizing the substantial steps and conditions of hydraulic design of the axial-flow water turbine, which are needed carrying out and satisfying to get a good conditional solution and a true result appearance for the engineering experience. Some illustration in the article can help to the reader by the conceptions concerning to pre-preparation the geometry of the flow domain needed to CFD simulation. We summarize some purposeful aspects which were taken account by us in preparing the geometry of the flow domain and give some ideas to solve problems on the similar complicity solid modeling to the preparation of different numerical analyses. The article shows as an application example the preparation of the flow domain of the runner of axial-flow Kaplan-turbine for CFD analysis by GAMBIT commercial code.*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*A cikkben összefoglaljuk az axiális vízturbina hidraulikai tervezésének végrehajtása során szükséges numerikus számítások fontosabb lépéseit és ismertetjük azokat a kezdeti megfontolásait, ami a mérnöki gyakorlat számára alkalmas megoldáshoz, majd az eredmények pontos reprezentációjához szükséges. A cikkben néhány illusztráció segíti az olvasót abban, hogy a numerikus szimulációhoz szükséges geometria előkészítésére vonatkozóan mely fontos szempontokat vettünk figyelembe. A cikkben leírtak segítséget nyújthatnak abban, hogy egy hasonló geometriai bonyolultságú testet hogyan modellezhessük a numerikus vizsgálatok előkészítése során. A cikk alkalmazási példaként bemutatja, hogy egy Kaplan turbina forgórésze – a hidraulikai tervezés során meghatározott lapátkoordináták felhasználásával – hogyan használható fel egy későbbi CFD analízis végrehajtásához a GAMBIT program segítségével.*

**Kulcsszavak:** Vízturbina, Hidraulikai tervezés, Testmodellezés, Gambit

#### AXIÁLIS VÍZTURBINA HIDRAULIKAI TERVEZÉSÉNEK FOLYAMATA

A folyékony kontinuumok energiájának átalakítására szolgáló berendezések tervezésére és a turbógépek kialakítására az ipar számos módszert alkalmaz. Korábban ezek a módszerek többnyire gyakorlaton és tapasztalati megfigyelések eredményein alapuló numerikus számítások voltak, azonban a kor szelleméhez illeszkedve – néhány évtizede – a számítógéppel segített tervezési lehetőségek (CAD) alkalmazása került előtérbe. A hidraulikai tervezés fő célja az energiaátalakítás jó hatásfokú megvalósítása, amit turbógépek (szivattyúk, turbinák, stb.) esetében egy forgó lapátsor segítségével végzünk. A turbina lapátózása a gép tengelye körül forog, amely legtöbbször egy generátort hajt. A turbinán nyert hasznos mechanikai – majd a generátoron előállított elektromos – energia átalakítás jó hatásfokának szempontjából a vízturbina lapátózásának kialakításának sikeressége kétségtelenül nagyon fontos tényező. A fentiekben felsoroltak alapján belátható, hogy a vízturbinában kialakuló áramlás numerikus vizsgálata és tervezési folyamatának optimalítása elengedhetetlen fontosságú feladat.

Vizsgálataink során a tervezés alapját szolgáló hidraulikai számításokat az Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszékén készült, egy korábbi oktatási projekt alkalmával kifejlesztett

FORTRAN kód [0] segítségével végeztük, mely az alábbiakban tárgyalásra kerülő vízturbina lapát szabadon választható darabszámú hengermetzete mentén a lapátfelület diszkrét pontjainak – a felhasználó által meghatározott darabszámú – koordinátáit állítja elő Euklideszi térben derékszögű, vagy szükség esetén hengerkoordináta rendszerben a felhasználó kívánsága szerint.

### 1.1 A szimuláció előkészítés koncepciója

Az CFD analízis az áramlásra felírható mérleg- és megmaradási egyenletekből felépülő egyenletrendszer numerikus megoldását jelenti, melyhez az áramlási tér geometriájának jól átgondolt, koncepcionális felépítése feltétlenül szükséges. Minden CFD szimulációt – legyen szó akár a legegyszerűbbekről is – sok esetben az egyenletek komplex szerkezete miatt csak igen bonyolult megoldókkal lehet numerikusan eredményesen kezelni. A széles körben alkalmazható és stabilan működő megoldók kifejlesztésével jelenleg is a matematikusok nagy csoportja foglalkozik, törekedve az alkalmazás során szükséges futási idő és az igényelt tárkapacitás csökkentésének optimalizálására és a számítási pontosság növelésére. Egy CFD szimulációt alkalmazó mérnök feladata az, hogy a rendelkezésre álló, vagy sajátfejlesztésű CFD kód lehetőségeit – ezen belül ezeket a megoldókat – jól össze tudja kapcsolni a vizsgált áramlási tartomány valós fizikai terével és abban lejátszódó bonyolult sztohasztikus áramlási jelenségeivel és ezáltal a kialakuló áramlási viszonyoknak egy a valóságos körülményeket jól megközelítő numerikus megoldását lehessen előállítani.

A numerikus megoldásokat a CFD vizsgálatot végző kutatók sok esetben saját fejlesztésű programkódok segítségével végzik. Azonban az utóbbi években egyre nagyobb számban áll kereskedelemi szoftver a felhasználók rendelkezésére, mely igen bonyolult áramlási tartományok esetén alkalmazhatók. Ezek a CFD kódok az áramlási tartományban kialakított nagyméretű numerikus hálókat esetén is biztosítják kis futási időt és jó paraméterezhetőségük révén komplex numerikus vizsgálatok elvégzését teszik lehetővé. A cikkben már említett áramlási feladat, a vízturbínákban kialakuló áramlás numerikus analízisére a széles körben ismert FLUENT programcsomagot tervezzük felhasználni. A FLUENT kereskedelmi kódhoz tartozik egy ún. GAMBIT elnevezésű grafikai szoftver, amely a CFD vizsgálatokhoz szükséges fontosabb előkészületi munkák elvégzését teszi lehetővé és egyben biztosítja a kapott eredmények kompatibilitását a FLUENT-hez.

### HIDRAULIKAI TERVEZÉS

Az axiális átömlésű vízturbina lapátgeometriájának koordinátáit az ún. hidrodinamikai szingularitások módszer [0] alapján saját kód [0] alkalmazásával számítottuk ki. A vízturbínára rendelkezésre álló tervezési alapadatokainak (H: esés, Q: víznyelés, D: járókerék külső átmérő, n: járókerék fordulatszám) ismeretében a turbina ház és a járókerék egy közötti áramlási teret hengerfelületekkel, mint áramfelületekkel ún. részcsatornákra bontottuk fel és az így adódó csatornák (F) középfelületein – az áramlási jellemzők középfelületre merőlegesen vett átlagolásával – nyert 2D-s áramlásokat számítottuk. Mivel a lapát be- és kilépő élei mentén változik az abszolút és kerületi sebesség komponenseinek a viszonya, ezért azok eloszlását – a tetszőleges hengermetzeten menti számíthatóság biztosítása érdekében – az alábbi közelítő összefüggések szerint határoztuk meg:

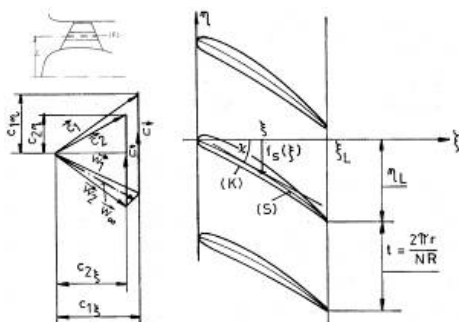
$$\frac{u}{\sqrt{gH}} = \frac{\pi}{60\sqrt{g}} \frac{r}{R} n_1, \quad \frac{c_{im}}{\sqrt{gH}} = A_i + B_i \frac{r}{R}, \quad \frac{c_{iu}}{\sqrt{gH}} = C_i + D_i \frac{r}{R}. \quad (i = 1, 2)$$

Annak érdekében, hogy a hengermetzeten kialakuló áramlást numerikusan kezelni tudjuk, egy ún. konform leképezés alkalmazásával a részcsatorna (F) középső áramfelületén kialakuló kétdimenziós áramlás átranzformálható egy a  $\zeta = \xi + i\eta$  képsíkon végbemenő (ún. egyenes szárnyrács körüli) kétdimenziós áramlásra (1.ábra).

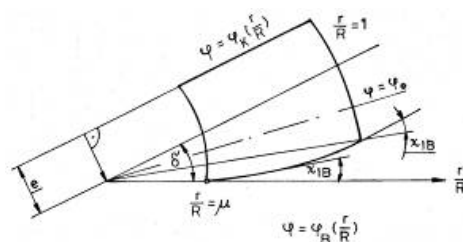
A lapátgeometria kialakításához a lapát elhelyezkedését és alakját befolyásoló további feltételeket is szükséges meghatározni, ilyen a lapát be és kilépő élének leírására alkalmas alábbi függvények:

$$\varphi_B \left( \frac{r}{R} \right) = a \frac{r}{R} + b \ln \left( \frac{r}{R} \right) + c, \quad \varphi_K \left( \frac{r}{R} \right) = \arcsin \left( e \frac{R}{r} \right) + \delta$$

A fenti összefüggésekben szereplő paraméterek értékeit gyakorlati tapasztalatok felhasználásával választottuk meg.



1. ábra

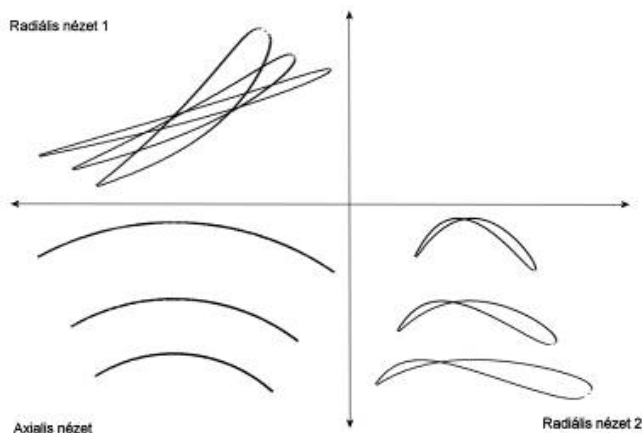


2. ábra

A hidraulikai tervezés numerikus végrehajtása során – az ATHTS.FOR elnevezésű saját kód futtatása révén [0] – előállítottunk hengermetszetenkénti csoportosításban egy a lapátfelület pontjainak koordinátáit tartalmazó „txt file”-t, melyet a GAMBIT előfeldolgozójának segítségével importálhattunk. Az így előálló ponthalmaz további felhasználása az alábbiakban leírtak szerint történt.

### A LAPÁTGEOMETRIA ELŐÁLLÍTÁSA

A 0. fejezetben leírtak alapján előállított koordináta ponthalmaz feldolgozása manuális szerkesztéssel fáradságos és körülményes az egyes hengermetszetek térbeli helyzete és a ponthalmaz nagyszámú volta miatt, ezért a GAMBIT [0] által nyújtott lehetőségeit felhasználva először egy előre paraméterezett „scrip”-et állítottunk elő „journal file” formájában. Ennek végrehajtásához egy rövid saját programkódot is felhasználtunk, mely a hidraulikai tervezést elvégző szoftver által előállított adatállományt input fájlként használta fel. A 3. ábrán a „txt file”-ből beolvasott és a későbbi számítás elvégzéséhez feltétlenül szükséges 20 darab hengermetszetre vonatkozó adatsorból – az ábrán való áttekinthetőség biztosítása érdekében – csak három hengermetszethez tartozó koordináta pontsor képét rajzoltuk fel három nézetben, amely alapján jól látható a hidraulikai tervezés alapján rendelkezésre álló koordináták térbeli helyzete.



3. ábra

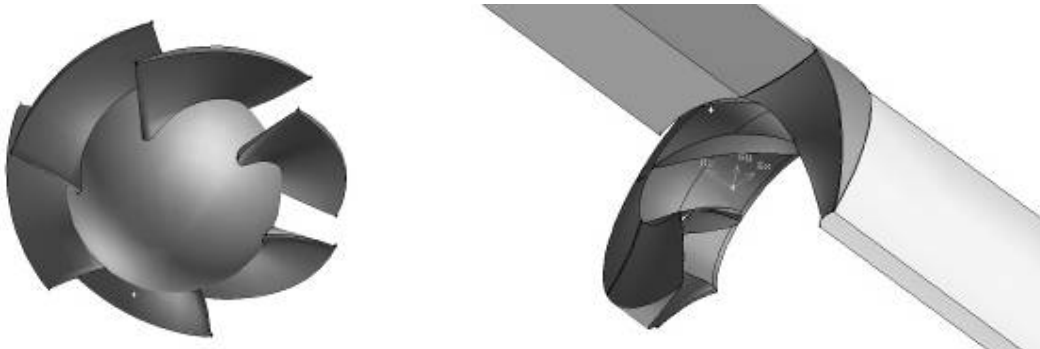
A grafikai szoftvereknek az ábrázoló geometriai minden egyes alapelemét meg kell tudniuk jelezni, mint pl.: a pontok, görbék, felületek tetszőleges kombinációja [0, 0, 0]. Azonban meg kell jegyeznünk, hogy a görbék kezelésének nagy szerepe van a szerkesztés menete során, mivel ezek a számítógépes kódok a diszkrét pontokból kiindulva különféle bonyolultságú görbe-, majd pedig az ezekből előálló felületreprezentációkat alkalmaznak. Az alkalmazott szoftverek a görbéket a diszkrét pontokra illesztett különféle interpolációs „spline”-al közelítik, mely a grafikai megjelenítés és a gyártás számára szükséges méretek meghatározása szempontjából többnyire megfelelő, de azonban ez nem mindig teljesül egy összetett mechanikai rendszerben, ahol a szabadságfokok kötöttsége miatt az érintkező testeknél különösen az érintkezés csúszási felületeit, valamint a CFD számítógépes szimulá-

ció számára tökéletesen záródó és jól definiált geometriát kell előállítani. Ennek hiányában a geometria numerikus hálózása során fogunk szembesülni azokkal a záródási hibákkal, amit egy jól átgondolt szerkesztéssel könnyen áthidalhatunk. Ahhoz, hogy egy megfelelő testet – tehát jól definiált térfogati tartományt – létrehozzunk, ahhoz a trükkhöz kell folyamodnunk, mint a valóságos gyártás során készített alkatrészek esetén a forgácsolás során.

A GAMBIT-hez készített „script” segítségével a diszkrét pontokra NURBS [4] görbéket fektetünk, melyekből ezután elkészíthető a lapátozás szívott és nyomott oldalainak felületei, melyek a hidraulikai számításból adódó ponthalmazból tökéletesen záródtak, így azok felhasználásával a lapáttestet elő lehet belőle állítani.

A CFD szimulációhoz majd a teljes áramlási térre – a folyadékot tartalmazó térrészre – van szükségünk, melyet a járókerék megforgatása során kijelölt térfogat előzetes létrehozásából tudjuk meghatározni az előző lépésben elkészített lapáttest eltávolításával. Ezek végrehajtása után már rendelkezésünkre áll a teljes járókerék belépő- és kilépő keresztmetszete tökéletesen záródva. Természetesen az így létrehozott térrészhez kapcsolódnak még a vízturbina beömlő és kiömlő térfogati tartományai, valamint a járókerék külső turbina ház felé kapcsolódó keskeny csatorna is. A példaként alkalmazott Kaplan turbina járókerék esetében a GAMBIT felhasználásával nyert térbeli képét 4. ábra baloldali részén, a fent említett tartományokkal kiegészített teljes áramlási tér 3d-s képét pedig az ábra jobboldali részén mutatjuk be.

A CFD szimulációhoz történő előkészítés következő és egyben legfontosabb lépése a diszkrétizációhoz szükséges numerikus háló elkészítése. Az elkészített térháló szoros kapcsolatban van a szimulációs futtatások eredményeivel, amelyek minősége döntik el azt, hogy eredményes előkészületi munkákat végeztünk-e, vagy sem. A hálózás minőségének és felépítésének lépéseit következő cikkünkben részletezzük.



4. ábra

## IRODALOM

- [1] CZIBERE, T.: **A hidrodinamikai rácselmélet két főfeladatának potenciáleméleti megoldása**, Akadémiai doktori értekezés, 1965.
- [2] KALMÁR, L.: **Axiális átömlésű vízturbinák járókerékének hidraulikai tervezése**, OKKFTA G/6-V. Oktatási Alprogram, Oktatási segédlet (AMT-OS24), pp.45., Felhasználói leírás (AMT-PR15), pp.27., Miskolc, 1988.
- [3] HORVÁTH, P. – KALMÁR, L.: **Generating the Blade Surface of a Water Turbine by AUTOCAD**, microCAD' 97, Miskolc, 1997.
- [4] FODOR, B.–KALMÁR, L.–TAKÁCS, Gy.: **Schaufelrad von Axialen Turbine Darstellt in CAD-Systemen mit der Anwendung der Hydraulischen Rechnung**, MicroCAD2005. Miskolc 2005.
- [5] **GAMBIT 2.2 Documentation**
- [6] JUHÁSZ, I.: **Számítógépes geometria és grafika**, Miskolci Egyetem, 1993

## A termomechanikus kezelés hatása a szemcsehatárookra

### THE EFFECT OF THERMO-MECHANICAL TREATMENT ON GRAIN BOUNDARIES

GAÁL Zoltán<sup>1,2</sup>, SZABÓ Péter<sup>1,2</sup>, GINSZTLER János<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék  
Budapest, Goldmann György tér 3., Tel: 0036-463-2956, Fax: 0036-463-3250,  
E-mail: gaalzoli@eik.bme.hu, www.mtt.bme.hu

<sup>2</sup>MTA-BME Fémtechnológiai Kutatócsoport  
Budapest, Goldmann György tér 3., Tel: 0036-463-2954, <http://www.mtt.bme.hu/~femtech/>

#### ABSTRACT

*AISI 304 type austenitic stainless steel samples were subjected to different thermo-mechanical treatments. Electron back scattering diffraction investigation were carried out in order to determine the influence of the treatments on the grain boundary characteristic of the samples. The fraction of the special grain boundaries increased significantly, when the deformation was achieved in two cycles, interrupted with a heat treatment process. The effect of the two-cycle deformation was stronger in case of smaller resulted deformation than in case of higher deformation rate.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Különböző termomechanikus kezeléseket hajtottunk végre AISI 304 típusú ausztenites korrózióálló acél mintákon, majd visszaszórt elektrondiffrakciós berendezés segítségével megvizsgáltuk a kezelések hatását a speciális szemcsehatárok arányára. Az eredmények értékelése során megállapítottuk, hogy a két ciklusban, egy hőkezelés közbeiktatásával alakított minta esetében nagyobb a speciális határok aránya, mint az egy lépésben ugyanolyan mértékben alakított mintánál. A kisebb mértékben alakított mintáknál a kétciklusú alakítás előnyös hatása erősebben jelentkezett, mint nagyobb alakváltozás elérésekor.*

**Kulcsszavak:** EBSD, ausztenites acél, CSL, szemcsehatár, termomechanikus kezelés

#### 1. BEVEZETÉS

Az anyagtudomány döntő fontosságú mérnöki szakterületté vált az elmúlt évtizedekben. Az anyagkutatók alapfeladata az anyagok mikroszerkezetének vizsgálata a gyártási folyamatok és a gyártott anyagok tulajdonságainak optimalizálása érdekében. Megnövelt korrózióállóságú fém alkatrészek létrehozása, kiváló kifáradási tulajdonságokkal rendelkező fémek kifejlesztése szintén nagy kihívás a kutatók számára. Speciális anyagtulajdonságokat ki lehet alakítani az ötvözetek összetételének, a szemcseméretnek, a hideg és melegalakítás mértékének, textúrájának, lágysági hőmérsékletnek és időnek tudatos változtatásával. Újabb kutatások azt bizonyították, hogy a speciális tulajdonságok kialakítása lehetséges az anyagban lévő szemcsehatárok szerkezetének tudatos megváltoztatásával is [1]. Ennek során speciális geometriájú szemcsehatárokat hoznak létre az anyagban ill. megnövelik ezek arányát a véletlenszerű szemcsehatárokhoz képest. Ezek a „speciális” szemcsehatárok az anyag egész térfogatában jelen vannak, és speciális tulajdonságaik megjelennek a tömbi anyag tulajdonságaiban is [2].

Az anyagok tulajdonságainak a szemcsehatárok segítségével történő tudatos alakítását Grain Boundary Engineeringnek nevezi az irodalom. A szemcsehatárok tulajdonságainak megváltoztatását általában hőkezelés és hidegalakítás ismételt alkalmazásával, ún. termomechanikus kezelésekkel érik el. Vizsgálataink célja a termomechanikus kezelése során alkalmazott hidegalakításnak az anyag szemcsehatár-szerkezetére gyakorolt hatásának vizsgálata és megértése. Ennek érdekében ausztenites



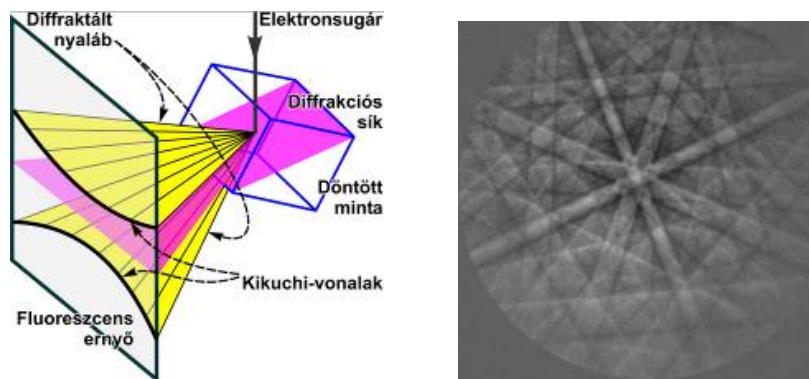
acél mintákat különböző termomechanikus kezelésnek vetettünk alá, majd visszaszórt-elektron diffrakciós (Electron Back Scattering Diffraction - EBSD) készülék segítségével megvizsgáltuk a minták szemcsehatár-szerkezetét, különös tekintettel a speciális szemcsehatárookra.

Több modell ismert a speciális szemcsehatárok jellemzésére, ezek közül a legáltalánosabban használt a Coincident Site Lattice (CSL) – modell. A modell szerint, ha két, egymással szomszédos kristályrácsot képzeletben úgy hosszabbítunk meg, hogy egymásba érjenek, akkor speciális helyzetben lévő szemcsék esetén előfordulhat, hogy egyes atomok mindkét rács részei lesznek. Ha ezeket az atomokat egy új kristályrácsnak tekintjük, akkor az ún. CSL-hez, „egybeeső rács”-hoz jutunk [3]. A két szemcsét ebben az esetben ennek a CSL-nek egy adott kristálytani síkja választja el egymástól. A CSL-eket az ún.  $\Sigma$ -értékkel jellemezhetjük, amely azt mutatja, hogy az eredeti kristályrács atomjainak hányadrésze vesz részt a CSL felépítésében (a  $\Sigma$  mögött álló szám megmutatja, hogy minden hányadik atom illeszkedik mindkét szemcse rácsába).

A kutatási eredmények azt igazolják, hogy a CSL-határok speciális tulajdonságokkal rendelkeznek. Szemi-koherens jellegüknél fogva ellenállóbbak a korróziós folyamatokkal szemben, kúszásállóbbak, és itt a diffúziós folyamatok is lassabbak. Az említett kedvező tulajdonságok miatt növelt hőmérsékleten üzemelő melegszilárd anyagok élettartam-növelésénél a jelenségnek komoly ipari jelentősége van. A CSL-határok felismerése nehézkes feladat, de az automatizált EBSD berendezés megjelenésével jelentősen egyszerűsödött [4] és segítségével statisztikai mennyiségű információt kaphatunk a vizsgált szemcsehatár-szerkezetéről.

## 2. VISSZASZÓRT ELEKTRONDIFFRAKCIÓ

Az EBSD vizsgálat a visszaszórt-elektron diffrakción alapul. Az elektronnaláb útjában elhelyezett mintában a primer elektronok rugalmatlan szóródást szenvednek, majd ezek a rugalmatlanul szórt elektronok az egyes kristálytani síkokon rugalmas, a Bragg-feltételnek megfelelő újabb szóródáson mennek keresztül. Ez utóbbi diffrakció eredményeképpen az elektronok a kristálytani síkról két kúppalást mentén szóródnak (1. ábra), és ennek a kúppalástnak, valamint egy alkalmas helyen elhelyezett felfogó ernyőnek a metszés-síkjában egy jellegzetes vonalas rajzolat, az ún. Kikuchi-ábra alakul ki (1. ábra) [5].



1. ábra

*A Kikuchi-vonalak keletkezése és a létrejövő Kikuchi-ábra*

A Kikuchi-ábrából a szoftver automatikusan meghatározza a vizsgált pont orientációját. A vizsgált terület végigpásztázva így orientációs térkép készíthető. A szemcsehatárokat illetve azok tulajdonságait a visszaszórt-elektron diffrakció segítségével csak közvetett módon lehet vizsgálni. A berendezéshez csatolt számítógépen működő kiértékelő szoftver a szemcsehatárok két oldalán lévő pontok orientációjából ki tudja számítani a szemcsehatárok geometriai tulajdonságait, a speciális CSL-szemcsehatárokat meg tudja jeleníteni és meg tudja határozni az anyagban azok mennyiségét és arányát a véletlenszerű határokhoz képest. A mérés sebességére jellemző, hogy egy mérési pontról a Kikuchi-ábra felvétele, a vonalak azonosítása, majd az orientáció meghatározása (optimálisan előkészített minta esetén) kb. 0,1 másodperc alatt megtörténik.

### 3. VIZSGÁLATOK

AISI 304 típusú ausztenites korrózióálló acél mintákat vizsgáltunk. Négy darab mintát használtunk a vizsgálatokra, ezeket kilágyítottuk az alakítás előtt, az azonos és ismert kiindulási állapot elérése végett: 1050 °C-on 30 percig hõn tartottuk, majd vízben lehûtöttük õket.

1. Táblázat. A vizsgált AISI 304 típusú anyag kémiai összetétele.

AISI 304	õtívözõ	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni	Cu	Fe
	tõmeg %	0,038	0,62	1,48	0,025	0,025	0,087	18,27	0,40	8,68	0,60	bal.

A lágyítás után két csoportra bontottuk a mintákat. Az elsõ csoportban egy mintát 50%-os mértékben, egy másikat 25%-os mértékben hengereltünk hidegen, egy lépésben. Ezután hõkezeltük 1050 °C-on, 30 percig, majd vízben lehûtöttük õket. A másik csoport két mintáját két lépésben alakítottunk, egy hõkezelési ciklust (1050 °C, 30 perc, vízhûtés) a két, egyenlõ vastagságcsõkkenést okozó alakítás közé beiktatva. A teljes alakváltozás mértéke az egyik mintánál 25%, a másiknál 50% volt a kétciklusú alakítás végén. Így a kezelések eredményeként volt egy ciklusban kezelt 25% és 50%-ban alakított, ill. két ciklusban kezelt 25% és 50%-ban alakított mintánk a szemcsehatár-vizsgálatokhoz. 2. Táblázat.

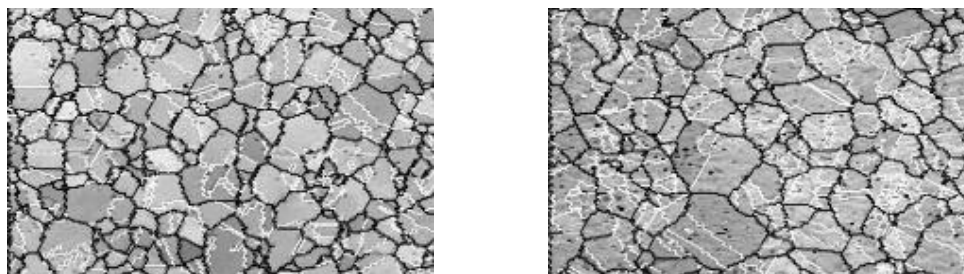
2. Táblázat. A minták jelölése és a rajtuk elvégzett termomechanikus kezelések.

Minta jele	A mintákon elvégzett termomechanikus kezelések
1C25	hengerlés (25%); hõkezelés (1050 °C, 30 perc)
2C25	hengerlés elsõ szakasza; hõkezelés (1050 °C, 30 perc); hengerlés második szakasza; hõkezelés (1050 °C, 30 perc) / teljes alakváltozás: 25%/
1C50	hengerlés (50%); hõkezelés (1050 °C, 30 perc)
2C50	hengerlés elsõ szakasza; hõkezelés (1050 °C, 30 perc); hengerlés második szakasza; hõkezelés (1050 °C, 30 perc) / teljes alakváltozás: 50%/

A mintákat 1200-as finomságú vászonnal történõ csiszolás után perklórsavas elektrolittal elektropolíroztuk. Ezzel eltávolítottuk a Beilby-réteget a vizsgálandó felületrõl [6].

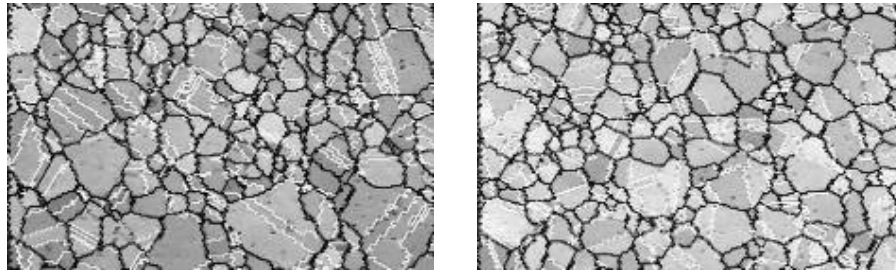
A méréseket egy Philips XL-30 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal végeztük, mely fel van szerelve egy EDAX-TSL típusú EBSD berendezéssel. A mérések során ún. képminõség térképeket készítettünk, amelyekben feltüntettük a szemcsehatárokat is. Meg kell azonban említeni, hogy ezek a szemcsehatárok az EBSD-vizsgálatoknál nem feltétlenül egyeznek meg a metallográfiában ismert szemcsehatárokkal, ugyanis ezeket a szomszédos szemcsék orientációkülönbségébõl indirekt módon határozza meg a szoftver. Természetesen helyes beállítások esetén közel azonosak a metallográfiái szemcsehatárokkal. A vizsgálataink során maximum 5 fokos orientációkülönbséget engedtünk meg a szemcséken belül, a legkisebb szemcseméretet pedig 5 pontra állítottuk. A méréseknél az ún. Brandon-kritériumot használtuk, amely a CSL-határok felismerésénél alkalmazott tûrést szabja meg. [4]

### 4. EREDMÉNYEK



2. ábra

Az 1C25 (balra) és 2C25 (jobbra) jelű minták szemcsehatár-szerkezete a képminőség térképen

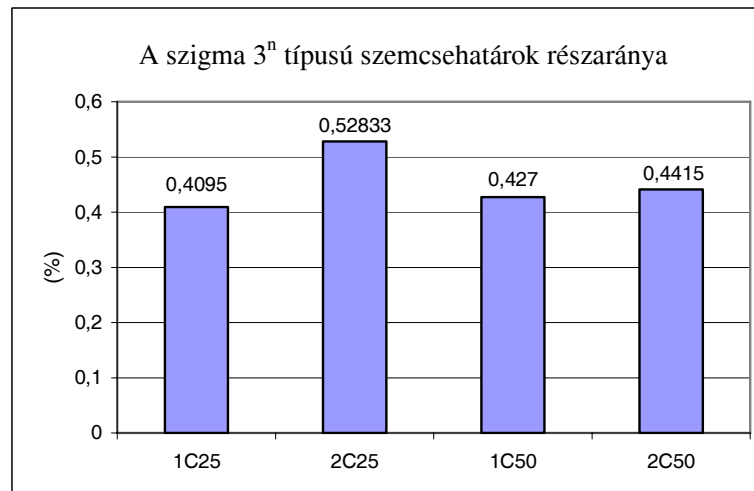


3. ábra.

Az 1C50 (balra) és 2C50 (jobbra) jelű minták szemcsehatár-szerkezete a képminőség térképen

A fentieknek megfelelően a CSL-határokat fehér színnel, a nagyszögű, véletlenszerű határokat feketével jelöltük a mintákról készített képminőség térképeken (2. ábra és 3. ábra).

A mérések elvégzése során a szoftver képes kiszámítani a tetszőlegesen kiválasztott típusú határok arányát az anyagban. Mivel az irodalomban található kutatási eredmények alapján a  $\Sigma 3^n$  típusú CSL-határok bírnak a legnagyobb jelentőséggel a speciális szemcsehatárok között, mi a következő grafikonon  $\Sigma 3^n$  típusú határok arányát tüntettük fel a nagyszögű szemcsehatárokon belül a véletlenszerű határokhöz képest, az alakítás mértékének függvényében (4. ábra).



4. ábra

A speciális  $\Sigma 3^n$  típusú szemcsehatárok arányának változása a különböző termomechanikus kezelések hatására

Az eredmények értékelése során azt találtuk, hogy az anyagban lévő speciális szemcsehatárok, ezen belül a  $\Sigma 3^n$  típusú CSL-határok aránya a véletlenszerű szemcsehatárokhöz képest a kétciklusú alakítást tartalmazó termomechanikus kezelés után nagyobb volt, mint az egyciklusú kezelés után, egyenlő mértékű, 25%-os alakítás esetén. Ha növeltük az alakítás mértékét, az alakítás két ciklusra bontásának hatása sokkal kisebb volt, bár nem jelentős mértékben ebben az esetben is nagyobb volt a két ciklusban kezelt mintában a speciális határok részaránya. Az eredmények alapján látható továbbá, hogy a kétciklusú termomechanikus kezelésnek alávetett minták eredményei alátámasztják a korábbi vizsgálatok során tapasztaltakat [7], miszerint az alakítás mértékének növelésével a speciális szemcsehatárok aránya lecsökkent az AISI 304-es típusú acélban. Az egyciklusú kezelést kapott mintákat tekintve azonban nem csökkent le az alakváltozás növekedésével a CSL-határok aránya, hanem megközelítőleg változatlan maradt.

## 5. KÖVETKEZTETÉS

Az AISI 304 típusú ausztenites acélminták szemcsehatárainak visszaszórt-elektron diffrakciós vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a két ciklusban, egy hőkezelés közbeiktatásával alakított minta esetében nagyobb a speciális határok aránya, mint az egy lépésben, ugyanolyan mértékben alakított mintánál. Ha nagyobb végső alakváltozást okoztunk a hidegalakítással, a kétciklusú és egyciklusú alakítás között nem volt jelentős különbség, tehát a 25%-ban alakított mintáknál észlelt jelenség az 50%-ban alakítottaknál nem volt tapasztalható. Ennek az oka valószínűleg az, hogy a képlékeny alakítás mértékének növelése a korábbi tapasztalataink alapján a speciális szemcsehatárok arányának csökkenéséhez vezet, és az 50%-os alakításnál már olyan erős ez a hatás, hogy elnyomja a termomechanikus kezelésnél alkalmazott ciklikus alakítás kedvező hatását.

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] W. E. Reitz, JOM, 1998 Február, p. 39.
- [2] V. Randle, The Measurement of Grain Boundary Geometry, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1993, p. 2.
- [3] H. K. D. Bhadesia: Worked Examples in the Geometry of Crystals, The Institute of Metals, London, 1987.
- [4] Electron Backscatter Diffraction in Materials Science, ed. A. J. Schwartz, M. Kumar, and B. L. Adams, Kluwer Academic/Plenum Publishers 2000.
- [5] OIM Analysis Manual. TSL-EDAX, 2001.
- [6] Gaál Zoltán, Szabó Péter, Ginsztler János: A minta-előkészítés hatása a visszaszórt elektron-diffrakció képminőségére AISI 304-es acéltípus esetében, Anyagok világa, elfogadva, megjelenés alatt, 2007.
- [7] Gaál Zoltán, Szabó Péter, Ginsztler János: Szemcsehatár-kutatások ausztenites acélokban, OGÉT 2006 XIV. Nemzetközi Gépész Találkozó, Marosvásárhely, 2006, pp. 135-138.

## Gumi próbatestek dinamikus mechanikai analízisének (DMA) hőtani vonatkozásai

### THERMAL ASPECTS OF DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS (DMA) OF RUBBER SPECIMENS

Dr. GODA Tibor<sup>1</sup>, SOÓS Enikő<sup>2</sup>

<sup>1</sup>főiskolai docens,

Budapesti Műszaki Főiskola, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézet, H-1081 Budapest, Népszínház u. 8., Tel.: +36-1-219-64-58, Fax: +36-1-219-64-84, e-mail: goda.tibor@bgk.bmf.hu, honlap: www.banki.hu

<sup>2</sup>egyetemi tanársegéd

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezettani Intézet, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 1-3., Tel.: +36-1-463-13-65, Fax: +36-1-463-35-10  
e-mail: soos.eniko@gszi.bme.hu, honlap: www.gszi.bme.hu

#### ABSTRACT

*The main aim of this contribution is to investigate the internal, hysteretic-type heat generation of rubber specimens subjected to dynamic mechanical analysis (DMA). To achieve this, a transient FE-thermal model has been developed. According to the FE results, the heat generated due to hysteresis is able to warm up the rubber specimen up to 48°C but a longer time period is needed to this. As the DMA analysis usually takes a short time the effect of the hysteresis induced heat generation on the material behavior of the rubber can be neglected.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Jelen tanulmány fő célja a dinamikus mechanikai analízisnek (DMA) kitett gumi próbatestek belső, hiszterézis-típusú hőfejlődésének vizsgálata. A cél elérésének érdekében egy tranziens vége-selemes hőtani modell került kidolgozásra. A vége-selemes eredmények szerint a hiszterézis következtében fejlődő hő kb. 48°C-ig képes felmelegíteni a gumi próbatestet, ehhez azonban hosszabb időre van szükség. Mivel a DMA analízis rendszerint rövid ideig tart a hiszterézis okozta hőfejlődés gumi anyagi viselkedésére gyakorolt hatása elhanyagolható.*

**Kulcsszavak:** gumi, DMA analízis, hiszterézis, hőfejlődés, vége-selem módszer

#### 1. BEVEZETÉS

A DMA vizsgálat széles körben alkalmazott mérési módszer gumi, illetve gumi-szerű anyagok frekvenciafüggő (dinamikus) anyagi viselkedésének meghatározására. A gumi viszkoelasztikus anyagi viselkedésének következtében az időben változó feszültségek/alakváltozások és az ezek hatására kialakuló alakváltozások/feszültségek között fáziseltolódás (időbeli késés) tapasztalható. Például, adott frekvenciájú tiszta szinuszos nyúlásgerjesztés esetén fellépő azonos frekvenciájú tiszta szinuszos feszültségválasz egy adott nagyságú fáziseltolódással jellemezhető késéssel követi a gerjesztés időbeli változását. A feszültségválasz két részre bontható, egy a gerjesztéssel fázisban lévő és egy  $\pi/2$  fáziseltolódással jellemezhető feszültségi összetevőre. A gerjesztéssel fázisban lévő feszültségi összetevő amplitúdóját a gumi rugalmas viselkedését jellemző tárolási vagy dinamikus modulus ( $E'$ ), míg a  $\pi/2$  fáziseltolódással jellemezhető feszültségi összetevő amplitúdóját a gumi viszkózus viselkedését jellemző veszteségi modulus ( $E''$ ) nagysága határozza meg. A gumiból készült alkatrészek dinamikus igénybevétele során tapasztalható hiszterézis a gumi másodlagos, viszkózus anyagi viselkedésének a következménye, így a veszteségi energia nagysága a gumi veszteségi modulusának növekedésével

ugyancsak növekszik. A DMA analízis egy adott, beállított hőmérséklet esetén képes a gumi viszkoe-lasztikus anyagi viselkedésére jellemző frekvenciafüggő tárolási és veszteségi modulusának mérés útján történő meghatározására. A DMA analízis mérési frekvenciatartománya tipikusan 1-100Hz között van. A DMA mérés során alkalmazott szinuszosan változó, ciklikus, adott frekvenciájú terhelés a gumi hiszterézisének következtében hőfejlődéshez vezet. Ezek után felvetődik a kérdés, hogy a DMA berendezés temperálható mérőkamrájában beállított hőmérséklet mellett elvégzett mérés során, a mért anyagjellemzők valójában a beállított hőmérsékletre tartozó anyagi viselkedést, vagy a hiszterézis típusú hőfejlődés következtében kialakult ettől eltérő hőmérsékletű anyagi viselkedést jellemzik-e. Jelen tanulmány fő célkitűzése, ennek megfelelően, a hiszterézis okozta belső hőfejlődés modellezése és a felvetett probléma jelentőségének vizsgálata nyomó típusú DMA vizsgálatnak kitett gumi próbatestek esetén. A DMA vizsgálat során alkalmazott nyomó típusú szinuszosan változó erő-terhelés amplitúdója 50N volt. Továbbá érdekes lehet még annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy a DMA mérés során használt gumi próbatest milyen gyorsan képes átvenni teljes keresztmetszetében a környezeti levegő hőmérsékletét, ha ez utóbbi adott idő alatt adott értékkel növekszik. Ennek a vizsgálatnak akkor van jelentősége, amikor a frekvenciafüggő anyagjellemzőket különböző hőmérsékletek esetén is meg kívánjuk határozni mérésrel. Ilyenkor a mérőkamra hőmérsékletét például 10°C-onként emelik és minden egyes új hőmérséklet esetén kimérik az anyagjellemzők adott hőmérsékletre tartozó frekvenciafüggését a gerjesztési frekvencia változtatásával. Ez esetben fontos, hogy a próbatestnek legyen elegendő ideje teljes keresztmetszetében átmelegednie. A gumi próbatest átmelegedésével kapcsolatosan is készültek végeselemes vizsgálatok, azonban ezek bemutatására helyhiány miatt itt nincs lehetőség.

## 2. SZINUSZOS TERHELÉS SORÁN A GUMI PRÓBATESTEN BELÜL KELETKEZŐ HŐ SZÁMÍTÁSA

Egytengelyű nyomó igénybevételnek kitett 10x10x6.3mm méretű gumi próbatest egységnyi térfogatában egy periódus alatt kialakuló veszteségi munka:

$$W = \sigma_0 \varepsilon_0 \pi \sin(\delta) \quad \left[ \text{N/m}^2 \right]. \quad (1)$$

A vizsgált gumi próbatest keresztmetszete:

$$A = a b = 10 \cdot 10 = 100 \text{ mm}^2. \quad (2)$$

A szinuszosan változó nyomófeszültség amplitúdója:

$$\sigma_0 = \frac{F_{dyn}}{A} = \frac{50 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2} = 0.5 \text{ MPa} \quad (3)$$

A vizsgált gumi  $f=100\text{Hz}$ -en DMA-val meghatározott, szobahőmérsékletű (24°C) tárolási és veszteségi modulusa, valamint veszteségi tényezője ( $\text{tg}(\delta)=E''/E'$ ):

$$\begin{aligned} E' &= 23.3 \text{ MPa}, \\ E'' &= 5.17 \text{ MPa}, \\ |E^*| &= \sqrt{(E')^2 + (E'')^2} = 23.87 \text{ MPa}, \\ \text{tg}(\delta) &= 0.224, \\ \sin(\delta) &= 0.2186. \end{aligned} \quad (4)$$

$E^*$  a gumi komplex rugalmassági modulusát jelöli. A szinuszosan változó nyomó alakváltozás amplitúdója egytengelyű feszültségi állapot feltételezése mellett:

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E^*} = \frac{0.5 \text{ MPa}}{23.87 \text{ MPa}} = 0.0209. \quad (5)$$

Az időegység alatt egységnyi térfogatban kialakuló veszteség teljesítmény a következő összefüggéssel határozható meg:

$$P_{\text{veszt}} = (\sigma_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \pi \cdot \sin(\delta)) \cdot f \quad \left[ \text{W/m}^3 \right] \quad (6)$$

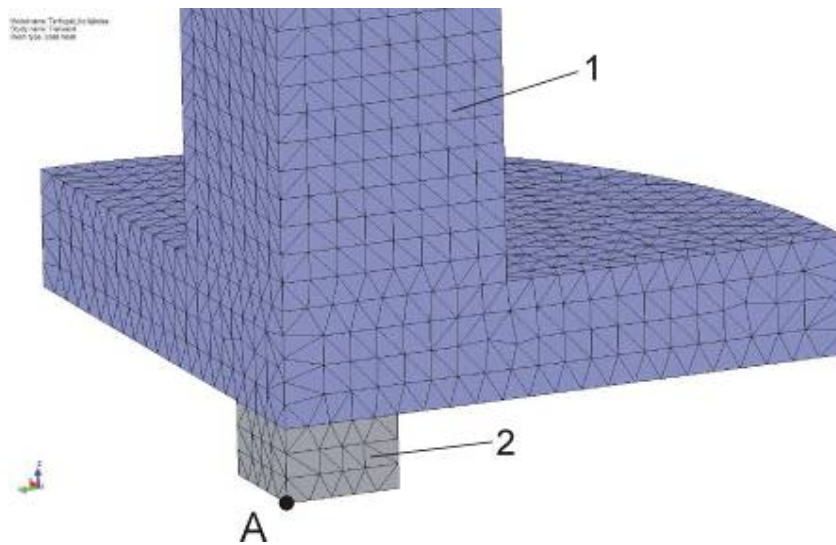
Ezt a veszteség teljesítményt kell működtetni térfogati hőforrásként a gumi próbatest valameny-nyi elemére a hiszterézis típusú hőfejlődés modellezése során.

$$P_{\text{veszt}} = 0.5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 0.0209 \cdot \pi \cdot 0.2186 \cdot 100 \text{ Hz}, \quad (7)$$

$$P_{\text{veszt}} = 717656 \text{ W/m}^3. \quad (8)$$

### 3. VÉGESELEMES MODELL

A feladat három szimmetriásíkja miatt elegendő 1/8 modellt készíteni. A szimmetriásíkokon keresztül a szimmetria feltételnek megfelelően hőátadásra nincs mód. Az 1/8 modellben szereplő gumi próbatest mérete, a három szimmetriásík következtében, 5x5x3.15mm.



1. ábra  
A DMA mérés 1/8 modellje (1-nyomófej, 2-gumi próbatest)

A vizsgált gumi próbatest és az acél nyomófej hőtani anyagjellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

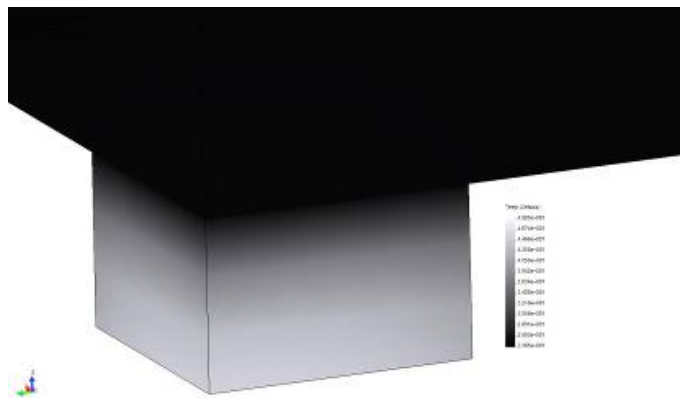
Hőtani anyagjellemzők

1. táblázat

	Anyag	Sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ]	Hővezetési tényező [W/mK]	Fajhő [J/kgK]
Gumi próbatest	Gumi (kemény)	1200	0.15	2000
Nyomófej	Acél	7800	43	440

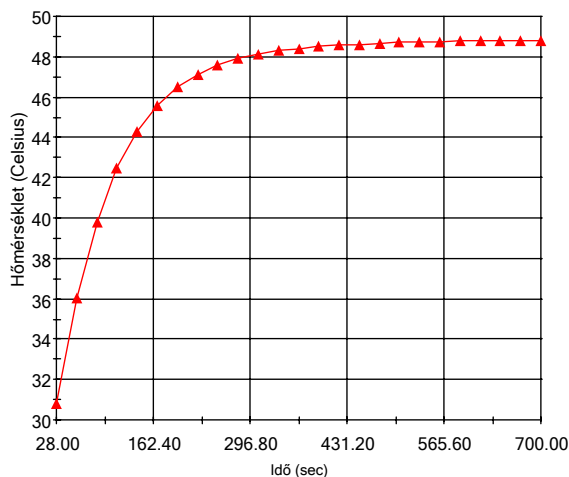
A tranziens hőtani analízis teljes időtartama 700 s. Az időlépés 28s volt. A környezeti hőmérséklet  $24^{\circ}\text{C}$  ( $297^{\circ}\text{K}$ ). A hőtani modellben alkalmazott peremfeltételek a következők voltak: (a) a gumi próbatest valamennyi elemére az (8) egyenlet által meghatározott hőteljesítmény volt működtetve, (b) a gumi próbatest és az acél nyomófej környezeti levegővel érintkező felületeire  $16\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  hőátadási tényezőt írtunk elő (A viszonylag nagy hőátadási tényezőt a mérőkamrába beépített ventilátor indokolja.), (c) a gumi próbatest és az acél nyomófej közötti nem tökéletes hőátadást  $5 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  nagyságú érintkezési felületen egyenletesen megoszló érintkezési hőellenállással vettük figyelembe, (d) a szimmetriasíkok mentén nincs hőátadás, (e) a nyomófej gumi hasábtól 100mm távolságban lévő pontjaiban a hőmérséklet megegyezik a szobahőmérséklettel.

#### 4. EREDMÉNYEK



2. ábra

Hőmérsékleteloszlás  $t=700\text{s}$ -nál ( $T_{\text{max}}=48.8^{\circ}\text{C}$  (világosszürke szín),  $T_{\text{min}}=24^{\circ}\text{C}$  (fekete szín))



3. ábra

Hőmérsékletváltozás az idő függvényében a gumi próbatest közepénél (1. ábra „A” pont)

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ez úton is szeretnék köszönetüket kifejezni Felhős Dávid doktoranduszának (BME, Gépszerkezettani Intézet) a kapcsolódó DMA mérések elvégzéséért.



## Genetikai algoritmus (GA) alkalmazhatósága a felületi hullámosság és érdesség rekonstrukciójában

### USABILITY OF GENETIC ALGORITHM (GA) IN RECONSTRUCTION OF SURFACE WAVINESS AND ROUGHNESS

GYURECZ György

adjunktus, Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest 1081, Népszínház u. 8.  
Telefon: +36 1 666-5357, Fax.: +36 1 666-5484 e-mail: gyurecz.gyorgy@bkg.bmf.hu,  
honlap: www.gbi.bkg.bmf.hu

#### ABSTRACT

*This paper proposes a method for the reconstruction of surface's waviness and roughness. The method's aim is to produce a parametric NURBS surface which has a high reconstruction quality. In achieving this goal, genetic algorithm is proposed.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A műszaki alkotások felületeinek, precíz modellezése egyre nagyobb szerepet kap a gépészeti kutatások különböző területein. Ez a tanulmány arra keresi a választ, hol és hogyan alkalmazható a genetikai algoritmus a felületek érdességének illetve hullámosságának rekonstrukciójában. Ismertetésre kerül egy felület hullámosság rekonstruálásra jól alkalmazható, működő algoritmus.*

**Kulcsszavak:** genetikai algoritmus, felületek, érdesség, hullámosság, NURBS

#### BEVEZETÉS

A műszaki felületek alakja eltér az ideálistól, egyenetlenségeket, felületi hibákat tartalmaz. A valódi alak feltárása, mérések eredményeként kapott felületpontok alapján történik. A pontthalmazt (pontfelhőt) kiértékelve, különböző vizsgálatok alapját képező, további felületek állíthatók elő: alakhiba, hullámosság és érdesség. A felületrekonstrukció fontossága, ezen felületeknek a gépészmérnöki tudomány különböző területein folyó kutatásokban történő felhasználásából adódik. Az érintkezési, adhéziós, hőtani, kenési problémák modellezésénél elengedhetetlen a valóságghű geometriai modell alkalmazása [4].

A számítógépes rekonstrukció két fő módon lehetséges: háromszöghálókval és paraméteres felülettel [3]. A paraméteres felületreprezentáció a fent említett kutatási területek által igényelt minden információval rendelkezik, ezen kívül megfelelő paraméterek alkalmazásával háromszöghálóból degradálható. Az olyan komplex felületek leírására mint a mikrogeometria a NURBS felület bizonyult legalkalmasabbnak.

#### CÉLKITŰZÉS

Adott pontokra való felületillesztés a pontok számának függvényében komplex feladat lehet. Célunk megvizsgálni hogyan lehetséges a GA-t olyan komplex felületek leírásában, mint a hullámosság és az érdesség felhasználni. Milyen NURBS felület használható, mely paramétereit kell feltétlenül megváltoztatni és hogyan.

## NURBS FELÜLETEK LEÍRÁSA

A NURBS felületek NURBS görbék tenzor szorzatai, amelyek az  $(u, v)^T \in R^2$  vektort az  $(x, y, z) \in R^3$ -be képezik le. Egy  $(p, q)$  rendű NURBS felület a következő összetevőkből áll[3]  
 -  $n \times m$  számú elemből álló vezérlőpont háló

$$P = \{P_{i,j} \in R^3, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m\} \quad (1)$$

-  $U$  és  $V$  csomóvektor, ahol

$$U = (\underbrace{0, \dots, 0}_{p+1}, u_{p+1}, \dots, u_{r-p-1}, 1, \dots, 1)^T \quad V = (\underbrace{0, \dots, 0}_{q+1}, v_{q+1}, \dots, v_{s-q-1}, 1, \dots, 1)^T \quad (2)$$

Az  $u_i$  és  $v_j$  értékei növekvő sorrendűek és:  $r = n + p + 1$  és  $s = m + q + 1$ .

-  $W$  súlyvektor

$$W = \{w_{i,j} \in R^+, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m\} \quad (3)$$

A parametrikus felület az  $(u, v) \in [0, 1] \times [0, 1]$  tartományban van értelmezve, és a következőképpen fejezhető ki:

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j} P_{i,j}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j}} \quad (4)$$

Ahol  $N_{i,p}(u)$  a felület bázisfüggvényei[3]

## GENETIKAI ALGORITMUS FOGALMA

A genetikai algoritmusok a biológiai evolúció módszereit utánozó iteratív eljárások [1]. A GA legtöbbször meghatározott számú egyed (megoldás-változat) populációján dolgozik. Az egyedek, az adott keresési térből a populációba elhelyezett egyes potenciális megoldások. Az első populációt legtöbbször véletlenszerűen hozzák létre. Minden egyes evolúciós lépésben, (generációban) az egyedeket értékelik valamilyen előre meghatározott kritérium (rátermettség) - alapján. Az új populáció (következő generáció) egyedeit a rátermettségük alapján választják ki. Új egyedek a populációba, genetikai operátorok révén jutnak be. A legtöbbször alkalmazott operátorok a kiválasztás, keresztezés és a mutáció. A keresztezés célja új egyed (utód) létrehozása két egyed (szülők) között létrejövő reprezentáció rész csere révén. A Mutáció operátor alkalmazásának célja a lokális optimumhoz való konvergálás megakadályozása egyedek véletlenszerű változtatásával. Megállási feltételként általában egy elfogadható rátermettségi értéket vagy maximált generációs számot adnak meg.

## AZ AJÁNLOTT ALGORITMUS ISMERTETÉSE

A vizsgált felületek marással, köszörüléssel, illetve leppeléssel készültek és  $100 \times 100 \mu\text{m}$  méretűek, a digitalizált pontok közötti távolság  $2 \mu\text{m}$ . Anyaguk normalizált állapotú C25R acél, az átlagos felületi érdesség  $R_a = 0,31 - 0,58$  között váltakozott.

### Kezdeti populáció létrehozása

Az első közelítő felület vezérlőpontjai egybeesnek a digitalizált pontok koordinátaival, a csomóvektor kiosztása egyenletes. Ez megfelelő kiindulópont az első felületpopuláció létrehozásához. Hasonlóan jó kiindulópont lehet a vezérlőpontok  $z$  koordinátáját konstansnak, például  $P_{iz} = z_{\max} / 2$ -nek vagy  $P_{iz} = 0$ -nak választani. A felületpopuláció kezdeti varianciájának megteremtése a vezérlőpont koordiná-

ták véletlenszerű módosításával történik, ami koordinátáirányonként eltérő. Az  $x$  és  $y$  irányokban a legnagyobb eltérés a digitalizálási lépésköz egyötöde. A  $z$  irányú véletlen módosítás értéke:

$$\Delta P_{iz} = \pm Rnd \left( z_{\max} - \sqrt{\frac{N \sum z_i^2 - (\sum z_i)^2}{N \cdot (N-1)}} \right) \quad (5)$$

Ahol  $z_{\max}$  a legnagyobb és a legkisebb  $z$  érték közti különbség.  $N$  - a vezérlőpontok száma.

Az  $Rnd$  függvény egyenletes véletlen számot generál 0 és 1 között. Mivel a felületi mikrogeometria, különösképp a hullámosság a véletlen felületi hibáktól eltekintve aránylag sík, a felület fokszáma mindkét paraméter irányban megegyező. A kísérletek során bebizonyosodott hogy a B-spline bázisfüggvény fokszámát  $k = 3$ -nál nagyobbra nem indokolt választani.

### Rátermettségfüggvény

A rátermettségfüggvény pontsoronként érvényes részfüggvényei a következőkből állnak:

$$f_{1j} = \sum_{i=1}^n (Q_{iz} - A_{iz})^2 \quad (6)$$

Ahol  $A_{iz}$  a digitalizált,  $Q_{iz}$  a NURBS felületen lévő pont. Az  $f_1$  az illesztés  $z$  irányú pontatlanságát veszi figyelembe.

$$f_{2j} = \sum_{i=1}^n k_i \quad (7)$$

$f_2$  azt veszi figyelembe, hogy a felület mindenhol közel legyen az eredeti felülethez.

$$k = 0 \text{ ha } \Delta z \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta z - \overline{\Delta z}| + \overline{\Delta z} \quad (8)$$

$k = \Delta z - \overline{\Delta z}$  különben

Ahol  $\Delta z = Q_{iz} - A_{iz}$ .

A felületre érvényes rátermettségfüggvény:

$$F = \sum_{j=1}^m (f_{1j} + f_{2j}) \quad (9)$$

### Rekombináció

A rekombináció a vezérlőpontok  $x$ ,  $y$  és  $z$  koordinátáin vannak végrehajtva. Típusa aritmetikai,  $BLX - \alpha$  [2]. Egy utód jön létre:  $H = (h_1, \dots, h_i, \dots, h_n)$  ahol  $h_i$  véletlenül választott szám a  $[c_{\min} - I \cdot \alpha, c_{\max} + I \cdot \alpha]$  intervallumból. Ahol:

$$c_{\max} = \max(c_i^1, c_i^2), c_{\min} = \min(c_i^1, c_i^2) ; I = c_{\max} - c_{\min}$$

Ahol  $c_i^1, c_i^2$  az  $i$ -edik vezérlőponthoz tartozó első és második szülő. Az  $\alpha = 0,2$  érték használata hozta a legjobb eredményt. A populáció variancia közepesen magas értéke mellett a generációk konvergenciája is fenntartható.

**Mutáció**

A mutációk közül a nem uniform [2], a mutáció értékét a keresés előrehaladtával fokozatosan csökkentő módszer hozta a legjobb eredményeket. Az alkalmazott mutációs arány: 0,12. Működése a következő: Ha a generáció száma  $h$  és  $g_{\max}$  a generációk maximális száma akkor

$$\begin{aligned} \dot{c}_i &= c_i + \Delta(t, b_i - c_i) \text{ ha } \gamma = 0 \\ \dot{c}_i &= c_i - \Delta(t, c_i - a_i) \text{ ha } \gamma = 1 \end{aligned} \quad (10)$$

Ahol  $\gamma$  0 és 1 közül véletlenül választott szám

$$\Delta(t, y) = y \left( 1 - r \left( 1 - \frac{t}{g_{\max}} \right)^b \right) \quad (11)$$

Ahol  $r$  véletlen szám a  $[0,1]$  intervallumból,  $b$  általam választott szám, értéke  $b = 0,1$ . Hasonlóan jó használható a Mühlenbein [2] típusú mutáció is.

**Skálázás**

A kiválasztás rulett kerék típusú [1]. A rulett kerékre a rátermettségértékek lineáris skálázás után kerülnek rá. A tapasztalatom az, hogy a lineáris skálázás a keresés későbbi szakaszaiban hatékonyan képes elősegíteni a jobbak közül is legjobbak továbbjutását.

$$f(r) = p - \frac{2(r-1)(p-1)}{N-1} \quad (12)$$

**ÖSSZEFOGLALÁS**

Az alkalmazott valós kódolású genetikai algoritmus a 10.000 vezérlőpont állandó értéken tartása mellett, a felállított tőrésmező függvényében  $0,01\mu\text{m}$  esetén 700, míg  $0,1\mu\text{m}$  esetén 300 generáció körüli átlagértékek jöttek ki. A populáció mérete szintén állandó értéken, 150-en lett tartva. A módszer gyenge pontja a lassúsága. A hullámosság rekonstruálásánál a sík felületszakaszok miatt lehetséges pontok előfeldolgozása, azaz a redundáns  $u$  vagy  $v$  görbék eltávolítása. Ez a módszer az érdesség modellezésénél rendszerint nem lehetséges. Az eredeti, nem szűrt felület rekonstrukció gyorsítását a megmunkálásra jellemző alakrajátosság foltok alkalmazása jelentheti, ami a jelenlegi kutatásaink tárgya. Az illesztést a NURBS felület paraméterei közül a súlyozást és a csomó kiosztást érintetlenül hagyva, csak a vezérlőpontok módosításával értük el.

**IRODALOM**

- [1] Goldberg, D.E.: Genetic Algorithms in Search Addison-Wesley, 1989.
- [2] F. Herrera, M. Lozano, J.L. Verdegay: Tackling Real-Coded genetic Algorithms: Operators and tools for behavioral analysis. Department of Computer Science and AI University of Granada, Spain 1998.
- [3] Horváth I. Juhász I.: Számítógéppel segített gépészeti tervezés 1. Műszaki Könyvkiadó Kft 1996. ISBN: 9631610519
- [4] Horváth S, Czifra Á: Műszaki felületek tervezése, a felületi hullámosság jelentősége, OGÉT XIV. Nemzetközi Gépész Találkozó 2006 Marosvásárhely, ISBN 973-7840-10-0, pp. 170-174.
- [5] L. Piegl, W. Tiller : The NURBS Book Springer, Berlin 1997 ISBN 3540615458
- [6] J. Raja, B. Muralikrishnan, Shengyu Fu: Recent advances in separation of roughness, waviness and form. Precision Engineering, Volume 26, Issue 2, 222-235, April 2002
- [7] K. Váradi, Z. Néder, K. Friedrich and J. Flöck.: The real contact area between composite and steel surfaces in sliding contact. Composites Science and Technology, Volume 61, Issue 13, 1853-1862, October 2001.

# Golyósorsós finompozícionáló asztal digitális PI szabályzása

## DIGITAL PI CONTROL OF A BALL-SCREWED FINE POSITIONING SYSTEM

HALAS J., VALENTA L., CZMERK A., KUCSER I., FEHÉR G., BACSÓ I.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,  
Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék  
H-1111, Budapest, Egrý J. u.1. III/13. T: +36-1-463-2602; F: +36-1-463-3787  
www.mom.bme.hu; halas@mom.bme.hu

### ABSTRACT

*The following paper describes an application of a digital PI control for a ball-screwed positioning table. At the solution a microcontroller was implemented. The microcontroller gets the operating parameters and the required position from a personal computer. When the required position is known by the controller it can automatically control the positioning table to reach the position.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Az alábbi cikkben egy golyósorsós mozgatású finompozícionáló asztal digitális szabályozásának megvalósítása kerül bemutatásra. A szabályzás megvalósításához mikrovezérlőt alkalmaztunk. A mikrovezérlő egy számítógép segítségével kapja meg a működési paramétereket, illetve a kívánt célpozíciót. A célpozíció ismeretében a mikrokontroller már önállóan hajtja végre a pozícióba állást, tehermentesítve ezzel a számítógépet.*

**Kulcsszavak:** PI-szabályzó, dinamikai modellezés, digitális szabályzás, struktúragráf, golyósorsós pozícionáló

### 1. A RENDSZER FELÉPÍTÉSE

A teljes pozícionáló rendszer az alábbi elemekből áll:

- asztali számítógép (a LabView programmal),
- saját fejlesztésű vezérlő elektronika erősítő fokozattal
- Maxon 2332.966-51.216-000 típusú motor
- Maxon 2932.703-0100.0-000 típusú hajtómű
- membrános tengelykapcsoló
- golyósorsós mozgás-átalakító
- MITUTOYO AT115 típusú mérőléc
- 2 darab 18148 típusú tápegység



1. ábra

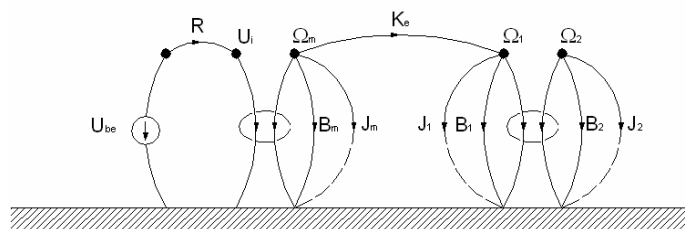
## 2. A FINOMPOZÍCIONÁLÓ RENDSZER MODELLEZÉSE [1]

A szabályozás elkészítéséhez szükségünk van olyan egyenletekre, amelyek leírják a rendszer viselkedését. Ehhez szükségünk van a rendszer átviteli függvényére.

A megfelelő mechanikai modell alapján lerajzolhatjuk a rendszer gráfját. A gráf alapján már viszonylag egyszerűen előállíthatjuk azokat az egyenleteket, amelyekből végül meghatározható a rendszer átviteli függvénye.

### 2.1 Motor és hajtómű

A motor és a hajtómű nem kezelhető külön rendszerként, a két tag egy egységet alkot, így az összevont átviteli függvényükre van szükség, amely nem a két függvény egyszerű sorba kötése ad ki. Az összevont rendszer struktúra-gráfja a 2. ábrán látható.



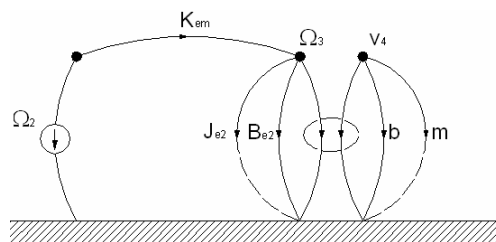
2. ábra

A gráf alapján a meghajtó rendszer összevont átviteli függvénye:

$$Y_{m+h} = \frac{\frac{K_m \cdot i_h}{R}}{\frac{J_e \cdot R}{B_e \cdot R + K_m^2 \cdot i_h^2} \cdot s + 1} \quad (1)$$

### 2.2 Hajtott rendszer modellezése

A hajtott oldal magában foglalja az asztal mechanizmusát és a tengelykapcsolót is. Ezért a modellbe már belevettük a tengelykapcsolót is. Az egyszerűsített gráf látható a 3. ábrán.



3. ábra

A gráf alapján a hajtott, mechanikai rendszer végleges átviteli függvénye:

$$Y_{mech} = \frac{\frac{h}{2\pi}}{\frac{J_{e2} + m \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}{K_{em}} \cdot s^2 + \frac{B_{e2} + b \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}{K_{em}} \cdot s + 1} \quad (2)$$

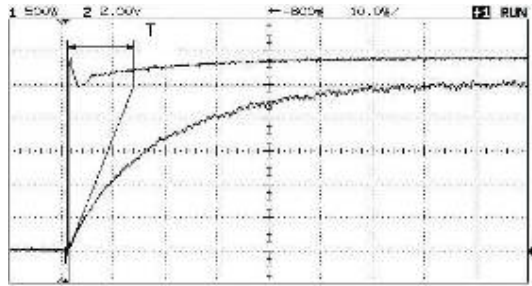
### 2.3 A teljes rendszer átviteli függvénye

Amint azt már említettem, a hajtómű áttétele nagyságrendekkel nagyobb 1-nél. Emiatt a szabályozandó rendszer szétválasztható. Tehát a szakasz átviteli függvénye a hajtó és a hajtott rendszer átviteli függvényeinek szorzata.

$$Y_{sz} = Y_{m+h} \cdot Y_{mech} \quad (3)$$

### 2.4 Szabályozott rendszer mérése

A mérés során egy oszcilloszkóp segítségével mértük az úgynevezett felfutási görbéket. A motorra ráépített tachogenerátor pólusait kapcsoltuk az oszcilloszkópra. A mérés menete szerint terheletlen állapotban indítottuk a rendszer mérését, aztán egy egységugrás bemenettel terheltek.



4. ábra

Az alsó görbe mutatja a motor felfutását. A bejelölt érintő segítségével ebből meghatározható a motorra jellemző időállandó. A mérés alapján  $T_m=13 \text{ ms}$ . Természetesen a mérés rendelkezik hibával, hiszen a katalógus szerint  $T_m=14,6 \text{ ms}$ .

### 2.5 Átviteli függvények pontos meghatározása

Ahhoz, hogy a rendszer átviteli függvényét számszerűleg be lehessen helyettesíteni, szükség van az azokban szereplő összes paraméterre. Ezek egy része rendelkezésre állt katalógusból, azonban valamelyiket ki kellett számolni az ismert adatokból, illetve a mérések eredményeiből.

## 3. SZABÁLYZÓ VÁLASZTÁSA [2]

A szabályzó megvalósítása a korszerű követelmények szerint digitális formában történik. A szabályzó kiválasztását az irányítani kívánt szakasz határozza meg. A rendszer vizsgálata során döntjük el, hogy a megvalósítani kívánt követelmények teljesítéséhez milyen összeállítású szabályzóra van szükségünk. Az adott rendszer, ahogyan az szemléletesen látszott a 4. ábrán is, igen „kemény”, nem hajlamos instabilitásra, ezért PI szabályzót választottunk. A folytonos működésű PI szabályozó egyenlete [2]:

$$X(t) = K \left( R(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t R(t) dt \right) \quad (4)$$

ahol:

- X: kimenő jel
- K: szabályozó erősítési tényezője (állandó)
- $T_I$ : szabályozó integrálási időállandója
- R: szabályozási folyamat rendelkező jele

Mintavételes működésű PI szabályozó egyenlete ( $t_n=nT_0$ ):

$$X_n = K \left( R_n + \frac{T_0}{T_1} \sum_{i=1}^n r_i \right) \quad (5)$$

A szabályozó program elkészítése szempontjából legkedvezőbb alakra hozás:

$$X_n = X_{n-1} + K(R_n - R_{n-1}) + K \left( \frac{T_0}{T_1} R_n \right) \quad (6)$$

A mikrokontrollerben ez az algoritmus lett megvalósítva.

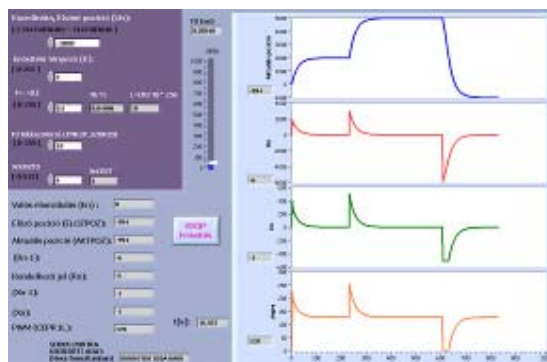
#### 4. A FOLYAMATIRÁNYÍTÓ SZOFTVER

A mikrokontroller használatának egyik legfőbb előnye, hogy lényegében a rendszer működése során nincs szükség PC alkalmazás folyamatos igénybevételére, azaz a szabályozási művelet nem terheli a számítógép (PC) processzorának működését.

A működés során PC használata csupán a kontrollerbe írt szabályozó program paramétereinek megadására szolgál. További fejlesztés esetén, mikrokontrollerhez megfelelő kezelőfelület illesztésével, teljes mértékben kiküszöbölhető PC számítógép felhasználása.

A szabályozási paramétereket szolgáltató alkalmazás elkészítéséhez a LabVIEW szoftver adta lehetőségek bizonyultak a legmegfelelőbbnek.

Folyamatirányító program elő panel (kezelőfelülete) :



5. ábra

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben egy mikrokontrollerrel megvalósított digitális PI szabályzás lett bemutatva. A teljes szabályozókör, illetve vezérlőáramkör elkészült, jelenleg a működés közbeni tesztlések folynak.

#### IRODALMI HIVATKOZÁSOK:

- [1] Dr. Petrik Olivér, Dr. Huba Antal, Dr. Szász Gábor: Rendszertechnika, Budapest, 1986.
- [2] Dr. Lipovszki György: Számítógépes irányítások elmélete, Budapest, 2004



## Többváltozós optimalizálás korlátozó feltétellel a Pro Engineer szoftver felhasználásával

### MULTIVARIATE OPTIMIZATION PROBLEM WITH A CONSTRAINT SING THE PRO ENGINEER SOFTWARE

Dr. HALBRITTER Ernő

egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem,  
Anyagismereti és Járműgyártási Tanszék,  
H-9026 Győr, Egyetem tér 1,  
Tel.: +36 96 / 503 400, halbritt@sze.hu, <http://www.sze.hu>

#### ABSTRACT

*The article shows the result of an optimization problem using the Pro Engineer software including 3 independent geometrical variables and a designer constraint. The task is to determine the optimal geometry for creating a dish with flat bottom, cylindrical symmetry and the largest possible volume starting from a circular sheet with given diameter, and applying the conservation of the surface area as a constraint.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk egy olyan optimalizálási feladat megoldását mutatja be a Pro Engineer szoftver alkalmazásával, ahol 3 független geometriai változó és egy tervezői korlát szerepel. Az optimalizálási feladatnál azt kell meghatározni, hogy egy adott átmérőjű körlepből milyen geometriai adatokkal lehet megvalósítani a legnagyobb térfogatú, laposfenekű, tengelyszimmetrikus edényt a felületállandóság feltételezése mellett.*

**Kulcsszavak:** Optimalizálás, maximális térfogat, Pro Engineer, Maple, mélyhúzás.

#### BEVEZETÉS

A korszerű számítógépes geometriai modellezés nagymértékben felgyorsítja a megoldásváltozatok kidolgozását. Tervezéskor a végső alak eléréséhez általában a kezdetben elképzelt alakot többször kell módosítani valamilyen jól meghatározható cél érdekében. A cél eléréséhez esetenként matematikai módszert / pl. optimalizálást / kell alkalmazni. Az optimalizálás alkalmazható a korszerű CAD szoftvereknél is. Ennek ismerete, elemzése növeli a szoftverhasználat hatékonyságát.

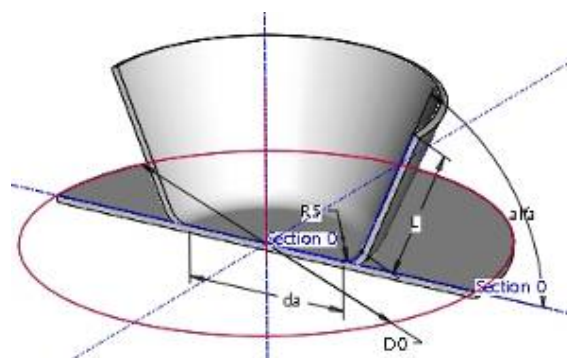
#### OPTIMALIZÁLÁS

Matematikai értelemben az optimalizálás egy szélsőérték nagyságának, és/vagy helyének meghatározását jelenti. A szélsőérték meghatározásánál kell egy függvény, aminek szélsőérték minimuma, vagy maximuma van. A függvény lehet egy- vagy többváltozós.

Egyváltozós függvénynél az  $y - t$  az  $x$  független változó függvényének nevezzük, ha  $x$  értéke egyértelműen meghatározza  $y - t$ . Az  $x$  és  $y$  kapcsolatát hozzárendeléssel hozzuk létre. A hozzárendelés lehetséges számítási, illetve mérési eljárással [1.]. A Pro Engineer szoftvernél mindkettő alkalmazható. Ez többváltozós függvénynél hasonlóképpen lehetséges.

#### ALKALMAZÁSI PÉLDA

Egy  $D_0 = 100$  mm átmérőjű körlepből falgyengítés nélkül a lehető legnagyobb térfogatú laposfenekű edényt készítenek / 1. ábra /. Határozzuk meg az edény geometriai adatait!

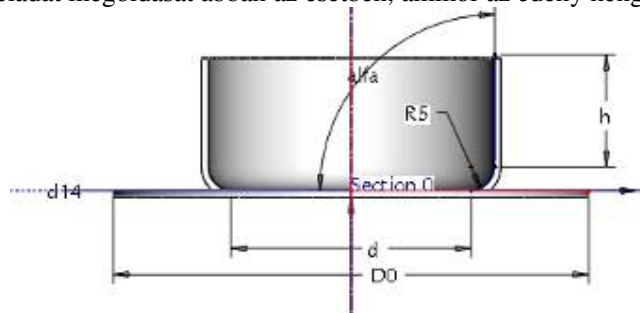


1. ábra  
Kúpos, laposfenekű edény

Legyen ismert az edény lekerekítési sugara /  $R5$  /. A feladatmegoldásnál feltételezzük a felületállandóságot. Az anyag legyen izotróp, azaz a munkadarab az alakítás során ne fűlesedjen. Ilyen feltételezések mellett az edény térfogatát a  $da$  átmérő és az  $\alpha$  szög határozza meg, az  $L$  hosszúságú palástrész a felületállandóság alapján már kiadódik.

## A FELADAT MEGOLDÁSA

Nézzük először a feladat megoldását abban az esetben, amikor az edény hengeres.



2. ábra  
A hengeres edény mérethálózata

Ha elhanyagoljuk az edény lekerekítési sugarát, akkor optimális esetben az edény magassága az átmérő felével egyenlő. Ha nem hanyagoljuk el az  $R$  rádiust, akkor az edény térfogata:

$$V = \frac{d^2 \pi R}{4} + \frac{\pi^2 R^2 d}{4} + \frac{2 \pi R^3}{3} + \frac{(d + 2R)^2 \pi h}{4}. \quad (1)$$

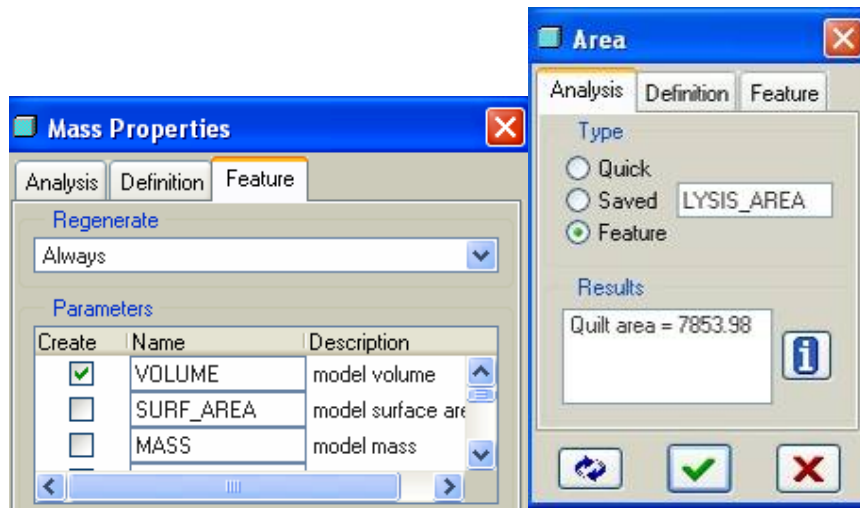
A  $h$  palástmagasság a felületállandóság alapján kiszámítható:

$$h = \frac{(D_0^2 - d^2 - 2 R d \pi - 8 R^2)}{4(d + 2R)}. \quad (2)$$

Az (1, 2) összefüggések alapján egy állandó  $R$  rádiusz mellett szélsőérték-számítással meghatározható a legkedvezőbb  $d$  átmérő, a  $h$  magasság, illetve az elérhető térfogat /  $D_0 = 100$  mm,  $R = 5$  mm esetén  $d = 50,46$  mm,  $h = 23,44$  mm és  $V = 80666$  mm<sup>3</sup> /.

Az (1, 2) tervezési összefüggésként felhasználható a Pro Engineer szoftvernél is, a függvények vizsgálata is elvégezhető / Tools ► Family Table /, de tanulságosabb a függvényeket mérési eljárással előállítani és a Pro Engineer szoftver optimalizáló modulját alkalmazni. A geometriai modell min-

denkori állapotában mérhető a térfogat / Analysis ► Model ► Mass Properties /, illetve a munkadarab felületének egy része / Analysis ► Measure ► Area /.



3. ábra  
A térfogat és a felület mérése

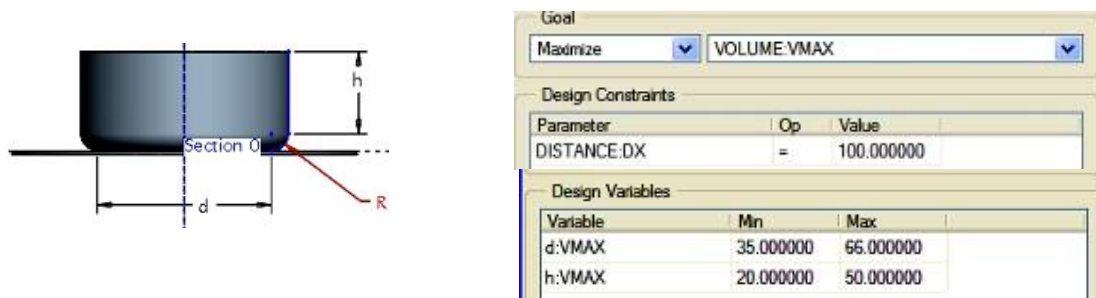
A palástfelület h méretét számítási eljárás helyett részben méréssel is meghatározhatjuk. Az elkészített geometriai modellnél külön építőelemként lehet mérni a térfogatot, illetve az A1 részfelületet. Az A1 ismeretében, a felületállandóság alapján a palástfelület h magassága már meghatározható / 4. ábra /.

Testmodell	Felületmodell	Felületmodell	Kiadódó felület
			$h = \frac{A_p}{(d + 2R)\pi}$
V- térfogat	A - teljes felület $A = \frac{D0^2 \pi}{4}$	A1 – az alsó rész felülete	A <sub>p</sub> – palást felülete A <sub>p</sub> = A – A1 A <sub>p</sub> = (d + 2R)πh

4. ábra  
A palástfelület h magassága a mérési eredmények alapján

A mért értékeket / V, A1 / a Pro Engineer szoftver egy építőelem paramétereként tárolja. Az optimalizálás célfüggvénye csak mért értékkel fogalmazható meg. Az adott feladatnál a cél: a térfogat maximalizálása / Goal ► VOLUME ► Maximize /. A célfüggvény független változója a hengeres munkadarabnál legyen a d méret. Az optimalizálásnál a szoftver megkeresi a d azon értékét, melynél a 100 mm átmérőjű körlepből a felületállandóság feltételezésével a legnagyobb térfogat adódik.

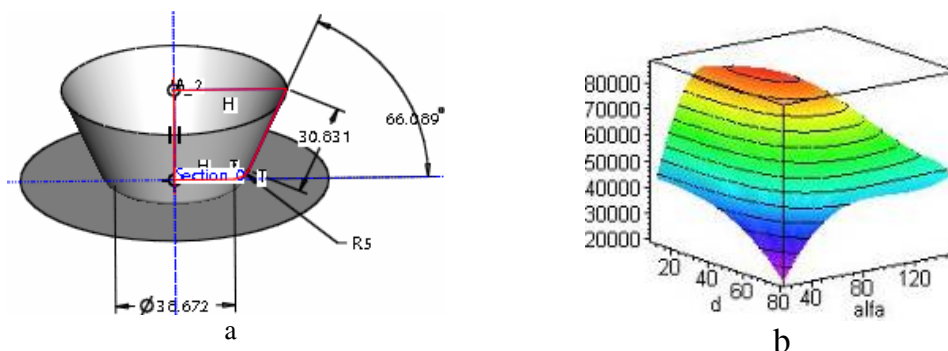
Az optimalizálás elvégezhető korlátozó feltétellel is. Ennél a módszernél a teljes / A / felületet mérjük, majd a felületi modell alá felvesszünk egy kört. A kör területe feleljen meg az edény felületének / terítékének / és a kör átmérője legyen 100 mm. Ahhoz, hogy ezt korlátozó feltételként írassuk elő az átmérő mérésével egy újabb mérés építőelemet kell létrehozni. A megoldásnál a szoftver addig keresi a maximális térfogatot, amíg közben a felületből számított átmérő el nem éri a korlátozó feltételként megadott átmérőt. Az eredmény többszöri futtatással pontosítható.



5. ábra

A palástfelület  $h$  magassága a mérési eredmények alapján

Az 1. ábrához kapcsolódó feladat mindkét módszerrel megoldható. A korlátozó feltétel alkalmazása egyszerűbb, de az eredmény valamivel pontatlanabb. A feladatot megoldottuk a Maple matematikai szoftverrel is / 6. - b ábra / kétváltozós optimalizálással. A Pro Engineer szoftvernél a korlátozó feltétel mellett 3 független geometriai változót –  $d$  átmérőt,  $\alpha$  szöget és a palástrész  $L$  hosszúságát – kellett használni. Az eredmények gyakorlatilag megegyeztek.



6. ábra

A kúp, laposfenekű edény optimális alakja  $V = 87215 \text{ mm}^3$  /

## IRODALOM

- [1.] Kalmár László: Bevezetés a matematikai analízisbe I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1982.
- [2.] Györi Péter: Terítékmeghatározási és optimalizálási feladatok megoldása egyes mélyhúzott munkadaraboknál a Pro Engineer szoftver felhasználásával, TMDK Konferencia, Győr Széchenyi István Egyetem, 2005. november 23.
- [3.] Molnárka et al.: A Maple V és alkalmazásai, Spriger Hungarica 1996.

# A rudak összhosszának minimalizálási lehetősége a négycsuklós mechanizmus tervezésénél a Pro Engineer felhasználásával

## MINIMIZATION POSSIBILITIES OF THE TOTAL LENGTH OF BARS IN FOUR-JOINTED MECHANISM PLANNING BY USING THE PRO ENGINEER SOFTWARE

Dr. HALBRITTER Ernő PHD<sup>1</sup>, KOZMA István<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi docens, <sup>2</sup>tanszéki mérnök  
Széchenyi István Egyetem, H-906 Győr, Egyetem tér 1,  
Tel.: + 36 96/503 492, Fax.: +36 96/503 491 halbritt@sze.hu, http://www.sze.hu,

### ABSTRACT

*The article introduces the planning of four-jointed mechanisms by using the Pro Engineer software. It deals with the preparation of linear models, minimization of the total length of bars as well as the determination of blind spot situations by taking into consideration different marginal conditions.”*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk a négycsuklós mechanizmusok koncepcionális tervezését mutatja be a Pro Engineer szoftver felhasználásával. Különböző peremfeltételek mellett foglalkozik a vonalas modell elkészítésével, a rudak összhosszának minimalizálásával, a holtponyi helyzetek meghatározásával.*

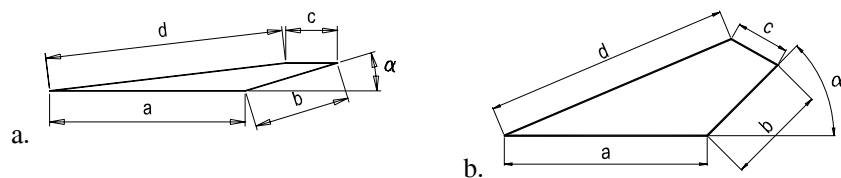
**Kulcsszavak:** négycsuklós mechanizmus, koncepcionális tervezés, Pro Engineer, optimalizálás

### 1. BEVEZETÉS

A munkadarab-befogó készülékek között szép számmal fordulnak elő csuklós mechanizmusok [1]. A tervezési munka minden esetben az ún. koncepcionális tervezéssel indul [2]. A koncepcionális tervezés eredménye egy elvi vonalas modell, amely lehetővé teszi a leegyszerűsített virtuális prototípus elkészítését, annak módosíthatóságát, a mechanizmus működésének szemléltetését egy animáció segítségével. A korszerű CAD szoftverek közül az általunk felhasznált Pro/Engineer szoftver különösen hatékonyan támogatja a koncepcionális tervezést.

### 2. A VONALAS MODELL ELKÉSZÍTÉSE

Itt a modellezés célja, a megfelelő peremfeltételekkel megadott mechanizmus elvi megtervezése, a viselkedésére vonatkozó számítások elvégzése [3]. A tervezés kezdeti szakaszában a mechanizmust vázlatosan ábrázoljuk, a lényeges dolgokat kiemeljük, a lényegtelen dolgokat elhanyagoljuk. A mechanizmus egy-egy rúdját egy-egy egyenes szakasszal helyettesítjük, az egyenes szakaszok csatlakozási pontjai a csuklópontoknak felelnek meg. A számítógépes vázlat nemcsak egyszerűsítést jelent, hanem minőségi változást is, ugyanis a vázlat életre kelthető, mozgatható. Ez úgy érhető el a parametrikus CAD szoftvereknél, hogy a vázlatot ellátjuk megfelelő geometriai és méretkényszerekkel, majd az egyik méretkényszert / pl. az 1. ábrán a **b** jelű tag  $\alpha$  szögállását / utólag módosítjuk.



1. ábra

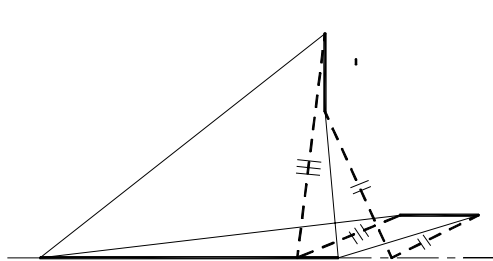
A módosítás után a mechanizmus rúdjaiknak megfelelő **b**, **c**, **d** egyenes szakaszok felveszik a beállított szögnek megfelelő új helyzetet.

A számítógépes környezetben a mechanizmus vázlat a hasonlóan viselkedik, mint maga a mechanizmus, így a megfelelő kényszerekkel ellátott vonalas vázlat a mechanizmus modelljeként kezelhető.

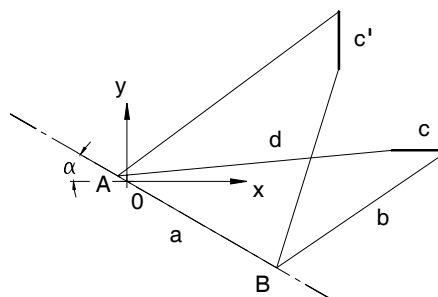
Természetesen a vonalas modell csak megfelelő geometriai adatokkal működik helyesen. A geometriai adatokat, a rúd hosszakat az előírt feltételek / továbbiakban peremfeltételek / figyelembevételével kell meghatározni. Az eltérő peremfeltételek befolyásolhatják a feladatmegoldás menetét, a rudak összhosszának minimalizálási lehetőségét is.

### 3. PEREMFELTÉTELEK ÉS MEGOLDÁSOK

A tervezés során gyakran ismert a négycsuklós mechanizmus középső, **c** jelű tagjának hossza és két előírt helyzete /**c**,**c'**/. Ilyen peremfeltételek mellett végtelen sok megoldás létezik [4]. Ha az **a** jelű rúd helyzetével kapcsolatosan valamilyen ismerettel rendelkezünk, akkor a lehetséges megoldások száma csökkenthető. Például ismervé azt az egyenest, amelyiken az **a** jelű rúd végpontjai, azaz a rögzített csuklópontok elhelyezkedhetnek, a parametrikus szoftvereknél a megoldás roppant egyszerűvé válik. Az egyenesen felvesszük az  $A^I$  és  $B^I$  pontokat, majd ezeket összekötjük a két helyzetben adott **c** jelű tag megfelelő végpontjaival a 3.-a ábra szerint, és végül a kapott szakaszokra páronként előírjuk az egyenlőség kényszerét.



2. ábra



3. ábra

Az egyenlőségi kényszer érvényesülésekor megkapjuk a keresett A és B pontok helyét, illetve az A, B pontokhoz kapcsolódó **a**, **b**, **d** szakaszok hosszát. Az **a**, **b**, **d** szakaszok - rudak - hossza kiadódó méret. Ezeknek a méreteknak az értékét a Pro/Engineer szoftvernél csak referenciaméretként adhatjuk meg.

A 2.-a ábra úgy kezelhető, mint egy adott peremfeltételekkel megfogalmazott feleletet megoldó automata. A **c** jelű rúd hosszát, helyzetét változtatva a 2.-a ábra a modell frissítése után az új méreteknak megfelelően változik, azaz újból meghatározza az A, B csuklópontok helyét, és ezzel együtt a mechanizmus **a**, **b**, **d** rudjainak hosszát is.

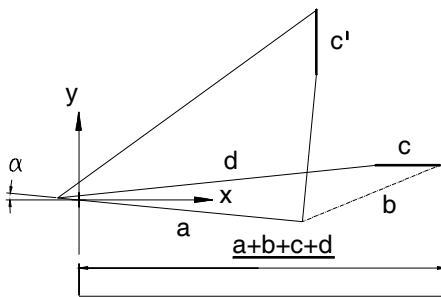
A 2.-b ábra egy olyan tervezési esetet szemléltet, amikor ismert a négycsuklós mechanizmus középső, **c** jelű tagjának hossza és két előírt helyzete, valamint a rögzített csuklópontokat tartalmazó egyenesről tudjuk, hogy az átmegy egy adott ponton, és a koordináta-rendszer X tengelyével  $\alpha$  szöget

zár be. Az  $\alpha$  szög értéke egy megengedett intervallumon belül változhat. Feladatként fogalmazható meg, hogy keressük azt a megoldást, amikor a rudak összhossza minimális.

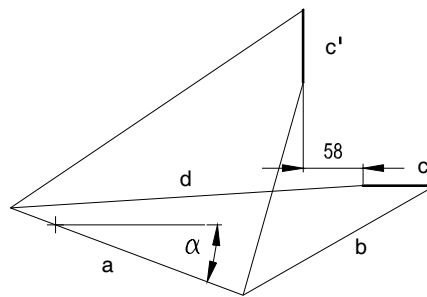
A megoldást első lépésben vezessük vissza a 2.-a ábrán szemléltetett esetre. Ennek érdekében válasszuk meg az  $\alpha$  szög értékét, azaz vegyünk fel egy valamilyen szögben hajló egyenest az adott ponton át. Alkalmazva a korábban ismertetett megoldást, az **a**, **b**, **d** rudak hosszát adjuk meg referenciaméretként. Ezt követően a vonalas modelltől függetlenül vegyünk fel egy egyenes szakaszt. A szakasz hosszát tervezési összefüggéssel adjuk meg. Az előírt tervezői összefüggés / reláció / szerint a szakasz hossza legyen egyenlő a rudak összhosszával.

Mint ismeretes a Pro/Engineer szoftvernél a méreteknek / a referenciaméreteknek is / egy-egy kód felel meg. A kódokkal az összefüggés a következőképpen néz ki:  $d9=d0+d6+d7+d8$ , ahol  $d9$  a felvett egyenes szakasz méretkódja, a  $d0$  a **c** jelű rúd hosszának megfelelő kód, a  $d6$ ,  $d7$  és a  $d8$  pedig az **a**, **b**, **d** jelű rudak referenciaméreteinek kódjai. A következő lépésben az egyenes szakasz hosszáról mérés építőelemet hozunk létre / Analysis > Measure > Curve Length > Add Feature /. Az így elkészített építőelem megalapozza az optimalizálás lehetőségét, illetve meghatározza, hogy az adott esetben a rudak összhosszát kell optimalizálni / minimalizálni / / Analysis > Feasibility/Optimization /.

Az optimalizálás végrehajtásánál ki kell jelölni a változóként szereplő méretet és meg kell adni annak minimálisan és maximálisan megengedhető értékét. Változóként jelöljük ki az  $\alpha$  szöveget. Az optimalizálás végrehajtásakor a szoftver megkeresi, majd beállítja azt az  $\alpha$  szögállást, amelynél a rudak összhossza minimális.



4. ábra



5. ábra

A 6. ábrán a rudak összhosszának aláhúzásával kívánjuk jelezni, hogy az ábrán az **a+b+c+d** mérete a jobb láthatóság kedvéért aránytalan.

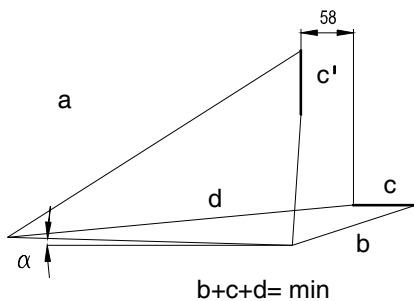
Matematikai értelemben optimális megoldásról csak akkor beszélhetünk, ha a célfüggvénynek van szélsőérték minimuma. Esetenként a relatív szélsőérték megkeresése is hasznos lehet.

Az optimalizálást külön építőelemként is felvehetjük. Az optimalizáló építőelem a kiinduló méretek változtatása esetén automatikusan meghatározza az  $\alpha$  szög új optimális értékét, és a megoldásnak megfelelően módosítja az **a**, **b**, **d** referenciaméreteket.

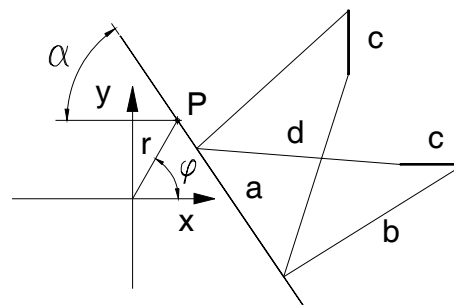
Például a 7. ábrán a 6. ábrához képest a **c** jelű rúd két helyzete egymáshoz közelebb került, az eredeti 65 mm –es távolságot 58 mm – re csökkentettük. Az ábrákon jól látható a optimális szögértékek közötti különbség.

A valóságban a rögzített csuklókat nem mindig köti össze külön az **a** jelű rúd. Ilyenkor a rudak összhosszát előíró tervezői összefüggésnél az **a** jelű rúd méretét nem kell figyelembe venni. Ilyen esetet szemléltet a 8. ábra. A 8. ábra egyéb adatai megegyeznek a 7. ábra adataival.

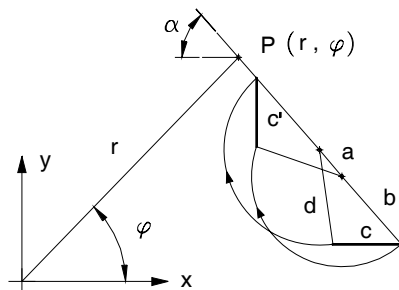
A 4–8. ábráknál szereplő adott pont helyett felvehetünk egy futópontot is. A **P** futópont koordinátái legyenek  $(r, \varphi)$ . A futópont koordinátái közül a  $\varphi$  szöveget vegyük fel állandó értékkel, és a rudak összhosszát előíró célfüggvény változói legyenek az **r** rádiusz és az  $\alpha$  szög. Elvégezve a kétváltozós optimalizálást, azt a logikus eredményt kapjuk, hogy a rögzített csuklópontok a két helyzetében adott **c** jelű rúd egy-egy végpontját összekötő egyenenre esnek. Természetesen az eddiektől eltérő peremfeltételek mellett is minimalizálható a rudak összhossza [5].



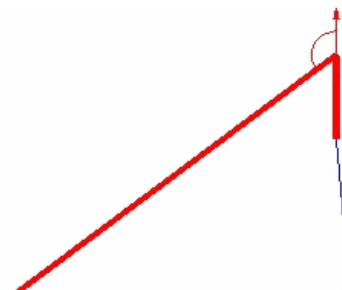
6. ábra



7. ábra



8. ábra



9. ábra

#### 4. HOLTPONTOK MEGHATÁROZÁSA

A méretmeghatározásra használt vonalas modellt már könnyen átalakíthatjuk az 1 és 2. ábrának megfelelően. Mint már ismeretes ezek az ábrák követik az  $\alpha$  szög változását. Az  $\alpha$  szög megengedett mérettartományát holtpontok korlátozhatják. Működés szempontjából fontos, hogy a kívánt mozgási tartományon belül holtpont ne forduljon elő. A 11. ábra a 2. ábrán látható vonalas modellt egy lehetséges állását szemlélteti. A vastag vonalak által bezárt szögről egy mérés építőelemet készíthetünk.

A két kijelölt rúd határesetekben egy egyenesre esik. Ilyenkor a bejelölt szög értéke  $180^\circ$ , vagy  $0^\circ$ . Ez a két határeset a mechanizmusnál holtpontot jelent [4].

A holtpontokban a bejelölt szögnek szélsőérték maximuma, illetve minimuma van. Természetesen a mechanizmus vizsgálatánál az a kérdés, hogy a holtpontok a forgattyú milyen szögállásához tartoznak. Ezt egy külön optimalizáló építőelemmel határozhatjuk meg

#### Irodalomjegyzék

- [1]. Hiram E. Grant: Munkadarabefogó készü-lécek Példatár, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970
- [2]. Horváth Imre - Juhász Imre: Számítógéppel segített gépészeti tervezés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1996
- [3]. M. Csizmadia B. -- Nándori E.(szerk.): Mechanika mérnököknek Modellalkotás, egyetemi tankönyvben, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003.
- [4]. Ifj. Dr. Sályi István: Mechanizmusok tervezésének elmei, Tankönyvkiadó, 1963.
- [5]. Halbritter Ernő – Jezsó Károly: Egy négycsuklós mechanizmus tervezésének lehetséges módja a Pro/Engineer felhasználásával. XII. Nemzetközi Gépész Találkozó, Csiksolyó, 2004 április, pp.: 113-116.
- [6]. Dr. Jezsó Károly: Mechanizmusok, Egyetemi jegyzet, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1999.
- [7]. Gyimesi Péter: Négycsuklós mechanizmus animálása. Pro/E oktatási segédlet, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2004.



# Hengeres és tárcsás légréstekercses egyenáramú mikromotorok összehasonlítása

## COMPARISON OF CYLINDRICAL AND DISC TYPE DC MICROMOTORS

Dr. HALMAI Attila<sup>1</sup>, LUKÁCS Attila<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi tanár, <sup>2</sup>doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Műszertechika Tanszék  
H-1111 Budapest, Egry J. u.1. Tel: (1) 463 2603, e-mail: halmal@mom.bme.hu

### ABSTRACT

*The DC ironless motors come in useful as an actuator in mechatronics systems. They have fundamentally two types: the disc- and the cylindrical-type motors. The cylindrical types are well known and they have a radial flux. The disc types are relative new and they have an axial flux. The disc motors have widespread some years in front of the up to now only used radial flux motors. The reason of this transfer is that the properties of the radial flux motors in a short differ from the properties of the axial flux motors. In this paper is introduced the sameness and the difference of the both types.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A mechatronikai rendszerekben működtető elemként, azaz aktuátorként előszeretettel használják a légréstekercses konstrukciójú egyenáramú szervomotorokat. Ezeknek két alapvető fajtája van, a hengeres és a tárcsás típus. Előbbiek régebben ismeretesek, és radiális fluxussal rendelkeznek, utóbbiak viszonylag újabbak, és axiális fluxussal rendelkeznek. Az axiális fluxusú törpemotorok az utóbbi néhány évben kezdenek teret nyerni az eddig szinte kizárólagosan használt radiális fluxusú törpemotorokkal szemben. Ennek az egyik oka, hogy a radiális és az axiális fluxusú törpemotorok tulajdonságai valamelyest eltérnek egymástól. Az azonosságokról és a különbözőségekről szól ez a cikk.*

**Kulcsszavak:** mechatronika, aktuátorok, egyenáramú törpemotorok

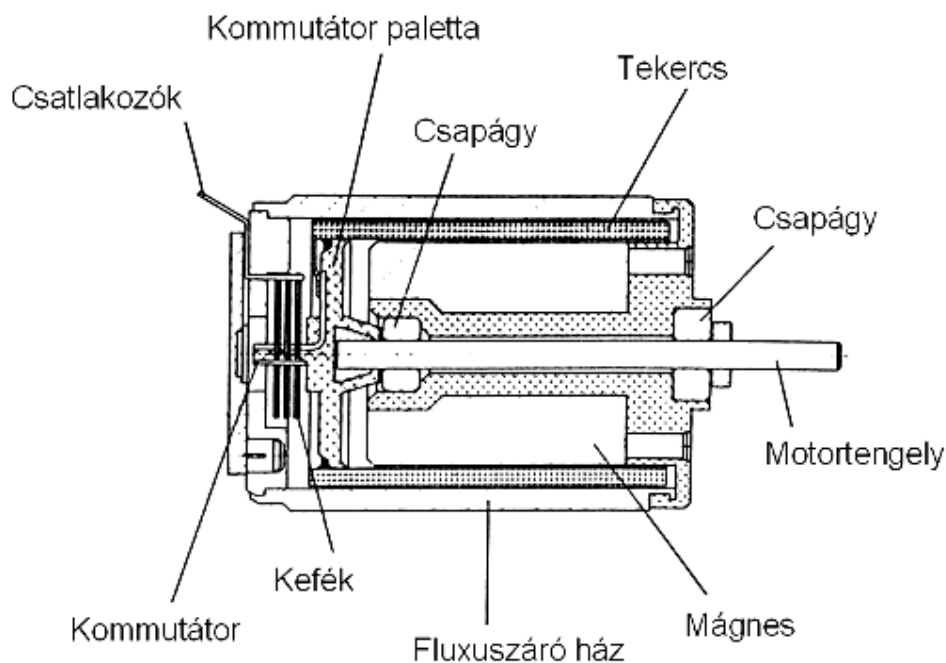
## 1. A LÉGRÉSTEKERCSSES KONSTRUKCIÓ ELŐNYEI

A hagyományos vasmagos építési mód a nagy teljesítményű egyenáramú villamos gépek alapján fejlődött ki. Ezért ezek a törpemotorok a nagyobb gépek szinte kicsinyített megjelenési formái. A modern kemény mágneses anyagok kifejlesztésével azonban lehetővé vált egy olyan konstrukció megvalósítása, amely az automatikai rendszerekben kedvezőbben alkalmazható volt. Ezek a légréstekercses motorok, amelyeknél a forgórész nem egy tekercselt vasmag, hanem a forgórész nem is tartalmaz vasmagot, a vasmag áll, és csak a tekercs forog, mégpedig a motor légrésében. Ezért is nevezik ezeket a motorokat légréstekercses motoroknak. A légrés — összehasonlítva a vasmagos motorokkal — kétszeres, plusz még a tekercs vastagsága, amit a ritka földfém anyagú mágnesanyagokkal aránylag problémamentesen meg lehet valósítani.

Általánosságban kijelenthető, hogy a hagyományos hengeres és az újabb tárcsás motorok alapvető tulajdonságaikban nagyon hasonlóak. Mindkét kiviteli forma légréstekercses konstrukció, mindkettőre jellemző a kiváló hatásfok, a kis veszteségek, és a kis tehetetlenségi nyomaték miatt a dinamikus működésre való alkalmasság.

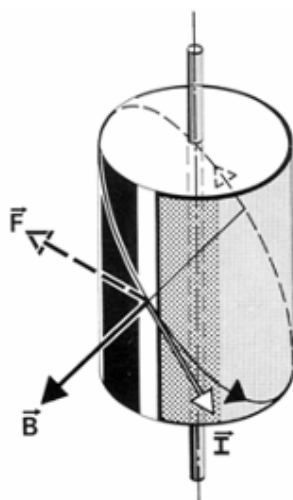
## 2. A HENGERES KONSTRUKCIÓ

Ezeket a motorokat az jellemzi, hogy relatíve hosszúak az átmérőjükhöz viszonyítva, tehát a hossz/átmérő arány egynél nagyobb. A hengeres konstrukció radiálisan mágnesezett állórész tartalmaz, a legtöbb esetben a mágnes belül helyezkedik el (1. ábra). A motor külső háza a mágneskör részét képezi, itt történik az állandó mágnes által gerjesztett fluxus visszavezetése. A légrésben helyezkedik el a forgórész tekercse, amely szerelhetőségi okokból serleg alakú. A legrégebben alkalmazott ún. Faulhaber-konstrukciót a 2. ábra mutatja.



1. ábra

A hengeres légréstekercses konstrukció



2. ábra

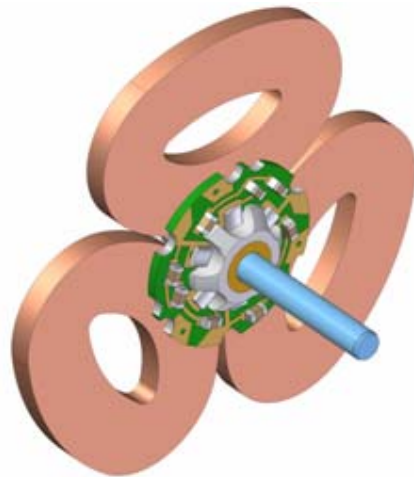
A Faulhaber-motorok serleg alakú forgórésze

Mint az ábrából is látható, a tekercselést alkotó menetek nem axiális irányúak, hanem ferdén helyezkednek el. Ennek az elrendezésnek három következménye van: egy hátrányos, mert axiális irányú erők is keletkeznek, amelyek veszendőbe mennek. Az axiális erők kifelé nem jelentkeznek, mert for-

górészen belül kiegyenlítik egymást. A második következmény, hogy nincsenek tekercsfejek, a harmadik, hogy a keresztben elhelyezett vezetékek rendkívül merev önhordó szerkezetet eredményeznek, amire természetesen nagy szükség is van. Nem szabad elfelejteni, hogy a motor legmelegebb része éppen a tekercs, hiszen az ebben folyó áram nemcsak nyomatékot hoz létre, hanem Joule-hőt is termel.

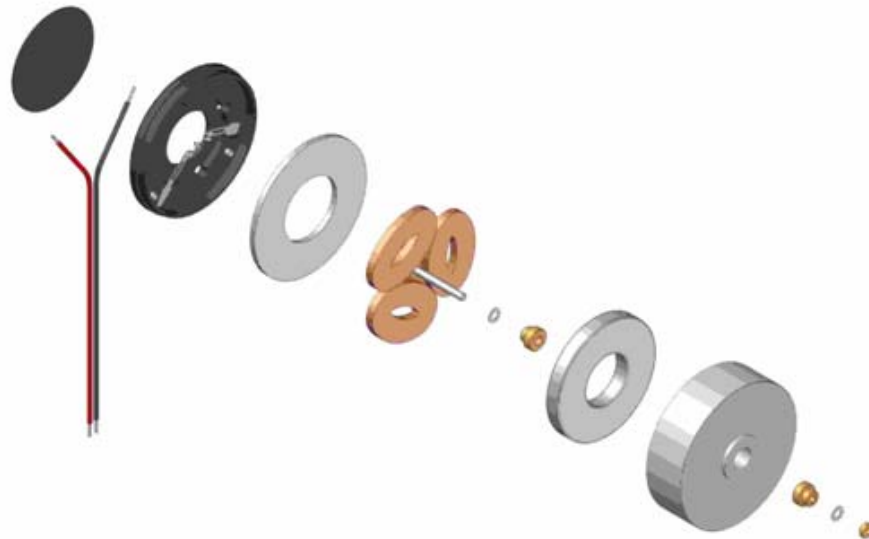
### 3. A TÁRCSÁS KONSTRUKCIÓ

A tárcsás konstrukció mágnesköre axiálisan mágnesezett tárcsa alakú állandó mágnezt tartalmaz, következésképpen a légrésben axiális irányú fluxus jön létre. A forgórész is tárcsa alakú, sík tekercsekkel, mint ahogyan az a 3. ábrán látható.



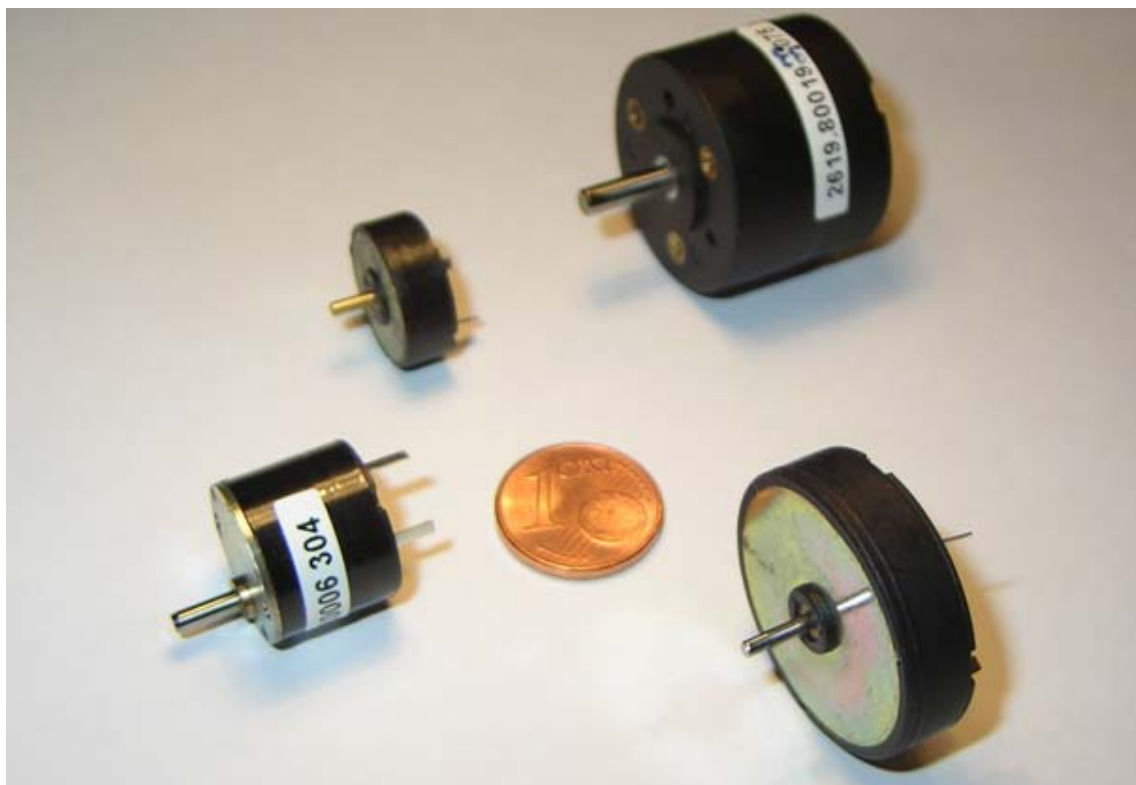
3. ábra  
*Tárcsás forgórész képe*

A tárcsás motoroknak van néhány előnyös tulajdonságuk a hengeres konstrukciókkal szemben, de emellett természetesen a hátrányos tulajdonságok is megjelennek.



4. ábra  
*A tárcsás konstrukció*

#### 4. A TÁRCSÁS MOTOROK ÚJABB FEJLESZTÉSI IRÁNYAI



5. ábra

*A legújabb fejlesztésű tárcsás motor-hajtómű egységek*

A 5. ábrán két új tárcsás motor, és két motorral egybeépített hajtóműves konstrukció látható. A méretek összehasonlításának érdekében egy eurocent is látható a képen. Jól látható, hogy az újabb fejlesztések az integráció, a kompakt kivitel irányába mutatnak.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

A hengeres és tárcsás motorkonstrukciók a felhasználó szempontjából gyakorlatilag ugyanolyan elektromechanikus tulajdonságokkal rendelkeznek, jelleggörbéik is hasonlóak. A tárcsás konstrukciónak azonban van néhány előnyös tulajdonsága a hagyományos hengeres konstrukciókhoz képest. Mindebből következik, hogy a tárcsás konstrukciók viszonylagos térhódítása várható a következő években, tehát a jövő mechatronikai berendezéseiben aktuátorként alkalmazva valószínűleg több tárcsás motorkonstrukcióval fogunk találkozni.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dr. Halmi Attila, Ördög Tamás: Neuheiten bei den eisenlosen Flachläufer Motoren der Faulhaber Gruppe. Kleinmaschinenkolloquium, 2006 márc. 9-10., TU Ilmenau
- [2] Dr. Halmi Attila: Új konstrukciójú elektromágneses aktuátorok a mechatronikában: a tárcsás forgórészű egyenáramú törpemotorok. Habilitációs értekezés, BME Budapest, 1998.
- [3] A. Halmi: Die Vorteile der Axial-Magnetfeld Gleichstrom Kleinstmotoren. 43. IWK, 21-24 September 1998. TU Ilmenau.
- [4] H. Stölting – E. Kallenbach: Handbuch Elektrische Kleinantriebe, Hanser Verlag 2001.

# Az alkohol mint energiaforrás

## ALCOHOL AS AN ENERGY SOURCE

HANDKI Andrea<sup>1</sup>, Dr. LAKATOS Károly Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> egyetemi hallgató, <sup>2</sup> egyetemi docens  
Miskolci Egyetem Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke  
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, tel: 36-46-565154, fax: 36-46-565471,  
email: aramlk@uni-miskolc.hu és handky@freemail.hu  
<http://www.uni-miskolc.hu/~wwwaram/>

### ABSTRACT

*Researches have been done on replacing oil for a long time. In traffic, several solutions have come into world to substitute traditional sources of energy for example: fuel cell, electric motor, but the good old internal-combustion engine still keeps the leader position. Better and better spread some alternative fuels, which can reduce the dependency. One of them is bioethanol. The ethanol is a colourless, flammable fluid with typical smell and taste, chemically belongs to the alcohols. In this essay we examine the energetic characteristics and production of the alcohol, and set the subsequent tasks of the detailed energetic assessment.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Már régóta folynak kutatások a kőolaj kiváltására. A közlekedésben a hagyományos erőforrások helyettesítésére is születtek megoldások pl.: hidrogénhajtás, elektromos hajtás, de a hagyományos belsőégésű dugattyús motor még mindig tartja vezető helyét. Egyre jobban terjed azonban néhány alternatív üzemanyag, melyek megoldást jelenthetnek a függőség csökkentésére. Az egyik ilyen a bioetanol. E dolgozatban az alkohol energetikai jellemzőit és előállításának folyamatát tekintjük át, továbbá kitűzzük a részletes energetikai értékelés későbbi feladatait.*

**Kulcsszavak:** motorhajtóanyag, bioetanol, fűtőérték, biomassa, szén-dioxid

### 1. BEVEZETÉS

Magyarországon több mint 2 millió autó van, és a számuk folyamatosan nő. E járművek döntő többsége kőolajból készült üzemanyaggal, benzinnel vagy dízelolajjal működik. A világ napi kőolajfogyasztása már több mint 80 millió hordó és a legnagyobb fogyasztó a közlekedés [1].

Míg a kőolaj hosszú évmilliók alatt alakult ki a föld mélyében, addig kitermelésük röpké évtizedek alatt nagy méreteket öltött, ezért a készletek fogyóban vannak. A világ kőolajmezőivel csak néhány kiváltságos ország rendelkezik, így a többiek függőségi viszonyba kerültek, köztük hazánk is.

Már régóta folynak kutatások a kőolaj kiváltására. A közlekedésben a hagyományos erőforrások helyettesítésére is születtek megoldások pl.: hidrogénhajtás, elektromos hajtás, de a régi jó belsőégésű dugattyús motor még mindig tartja vezető helyét. Egyre jobban terjed azonban néhány alternatív üzemanyag, melyek megoldást jelenthetnek a függőség csökkentésére. Az egyik ilyen a bioetanol. E dolgozatban az alkohol energetikai jellemzőit és előállításának folyamatát tekintjük át, továbbá kitűzzük a részletes energetikai értékelés későbbi feladatait.

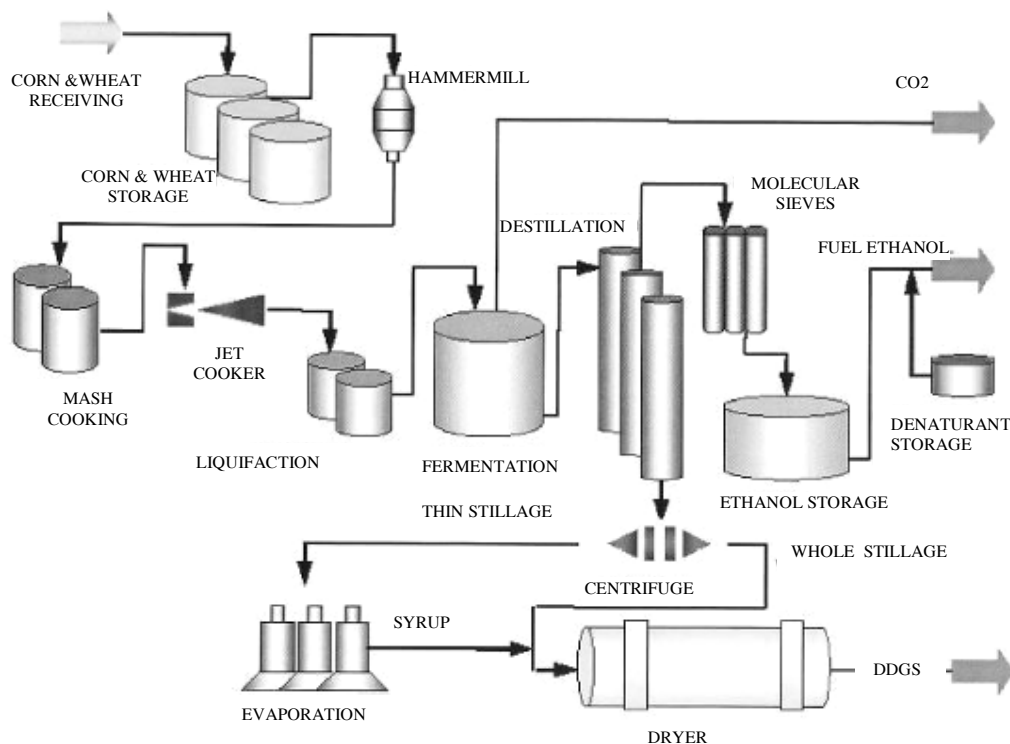
### 2. AZ ALKOHOL ELŐÁLLÍTÁSA

Alkoholok előállítására többféle eljárás is létezik. Metánból vagy etánból a vegyipar aránylag egyszerűen tud metilalkoholt vagy etilalkoholt előállítani, azonban ezek nem tekinthetők alternatív motorhajtóanyagnak, hiszen eredendően fosszilis energiaforrásból származnak. Más a helyzet azonban a cukor-, keményítő-, vagy cellulóz alapú alkoholt, bioetanol technológiákkal [2], [3]. Hazánkban,

egyáltalán Európában az etanolgyártás alapanyaga lehet cukorrépa, burgonya, búza, kukorica, vagy tulajdonképpen bármilyen biomassza. Bár többfajta technológia is létezik, a folyamat és a végeredmény lényegében ugyanaz. A gyártás alapanyagát a mezőgazdaság éves ciklusonként termeli meg, ebből ipari módszerekkel etilalkoholt, pontosabban bioetanolt állítanak elő, mely alkalmas üzemanyagként benzin helyett vagy mellett.

Bioetanolt, mint alternatív üzemanyagot a világon már számos országban, Magyarországon is állítanak elő. Az egyik legnagyobb termelő Brazília, ahol cukornádból készítik és a hazai üzemanyag szükséglet nagy részét ebből fedezik. A másik pedig az Egyesült Államok, ahol az alapanyag a kukorica. Ha az Európai Uniót nézzük, itt az élen Németország, Franciaország és Spanyolország áll. Ám az etanol felhasználás legnagyobb támogatója ma Svédország, mely a kőolajfüggségének teljes felszámolására törekszik.

Magyarország kőolajban szegény, ezért az igények kielégítését zömmel importból fedezi. A bioetanol gyártás azonban nagy lehetőséget kínál, hiszen az ország éghajlata és területi adottságai jó feltételeket biztosítanak a mezőgazdaságnak. A két legfontosabb gabonanövény a búza és a kukorica, melyet az ország minden táján termesztnek. Etanol gyártás szempontjából azonban a kukorica áll rendelkezésre nagyobb mennyiségben. A kukoricakeményítőtől történő alkoholerjesztés folyamatát az 1. ábra mutatja be. A technológia energiaigényes, ennek elemzése az egyik célunk a jövőben.



1. ábra

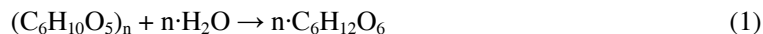
A bioetanol gyártásának folyamata [4]

A magyar mezőgazdaság terméseredményei jók: búzából és kukoricából évente annyi terem, hogy a hazai igények kielégítése mellett is jelentős készletek maradnak meg, melyet az ország uniós felvásárlásra kínál. 2006 őszén a magyar intervenciós készlet 5,616 millió tonna volt, melyből 744 ezer tonna búza, 4 millió 797 ezer tonna kukorica [5]. Még nem teljesen világos, hogy egyéb, a talaj iránt kevésbé igényes, ennek ellenére igen jó energiaelőállító növényekkel lehet-e számolnunk. Ilyen a cukorcirok, a csicsóka [6]. Az alapanyagtermelés energiaigényének pontos feltárása is célunk a jövőben.

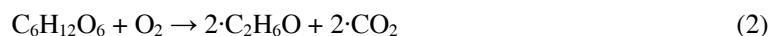
Az etanolgyártásra már a gabonatermesztők is reagáltak, hiszen olyan kukorica hibrideket fejlesztettek ki, melyek kimagaslóan fermentálhatóak, ezáltal nő a kukoricából kinyerhető alkohol mennyisége.

A kukorica- vagy a búzákeményítő etanollá alakításának vegyi folyamata a következő [7], [8]. A  $(C_6H_{10}O_5)_n$  összegképlettel jellemezhető keményítő tulajdonképpen polimer, amelynek  $n$  polimer-

izációs foka amilóz esetén 1000, amilopektin esetében 5000 körüli. A két vegyület között élettani és kémiai különbség van, de energetikailag nem érdemes külön választani őket. A keményítőt az élelmiszeriparban ismert hidrolízis segítségével glükózzá, tehát szőlőcukorra lehet alakítani a pörkölés útján keletkező malátában lévő amiláz enzimek segítségével vagy híg savas közegben való melegítés útján:



Az így keletkezett  $n$  molekula  $C_6H_{12}O_6$  szőlőcukor közvetlenül erjeszhető a levegőben lévő oxigén és valamilyen élesztőgomba segítségével alkohollá, eközben széndioxid keletkezik:



Elméletileg tehát  $6 \cdot 12 \text{ kg C} + 10 \cdot 1 \text{ kg H} + 5 \cdot 16 \text{ kg O} = 162 \text{ kg}$  keményítőhöz  $1 \cdot 2 \text{ kg H} + 16 \cdot 1 \text{ kg O} = 18 \text{ kg}$  víz hozzáadásával történik a hidrolizáció és így keletkezik  $6 \cdot 12 \text{ kg C} + 1 \cdot 12 \text{ kg H} + 16 \cdot 6 \text{ kg O} = 180 \text{ kg}$  szőlőcukor, amelynek fermentációja útján  $2 \cdot (12 \cdot 2 \text{ kg C} + 1 \cdot 6 \text{ kg H} + 16 \cdot 1 \text{ kg O}) = 92 \text{ kg}$  bioetanol és  $2 \cdot (12 \cdot 1 \text{ kg C} + 16 \cdot 2 \text{ kg O}) = 88 \text{ kg}$  szén-dioxid keletkezik. Keményítő kinyerhetőség szempontjából az optimum 90% körül van [8]. A gabonafélék és a kukorica keményítőtartalma átlagosan 65%, 1 tonna terményből ezek szerint

$$\frac{1000}{162} \cdot 82,8 \cdot 0,65 = 332 \text{ kg} \quad (3)$$

etanol állítható elő.

### 3. AZ ETANOL ENERGETIKAI FELHASZNÁLÁSÁNAK MÉRLEGE

A világ összes energiaszükségletének közel 40 %-át, ezen belül a közlekedés energiafelhasználásának több mint 70 %-át a kőolaj fedezi [9]. A fosszilis energiaforrások kitermelése és felhasználása környezeti hatásokkal jár. Az üzemanyag-minősítés javítása révén a lokális kén- vagy -ólomszennyezés a világ jelentős részén lecsökkent. A legtöbb gondot az éghajlatváltozást okozó túlzott mértékű szén-dioxid kibocsátás jelenti. A légkörbe jutó szén-dioxid felhalmozódása a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának mérséklésével, vagy a felhalmozódás szempontjából semleges megújuló tüzelőanyagok növekvő arányú alkalmazásával csökkenthető. A növényi összetevők felhasználásával előállított üzemanyagok, mint a bioetanol térnyerése éppen ezért kulcsfontosságú.

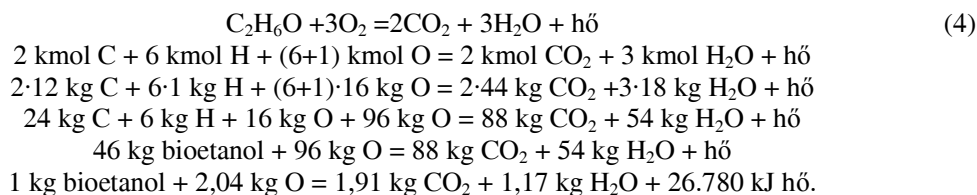
Az etanol motorikus felhasználására két lehetőség van. Az egyik, hogy közvetlenül hozzá lehet adni a benzinhoz, de az Otto-motorok maximum 20 %-os etanol-benzin arányt viselnek el károsodás nélkül, efelett a motor átalakítására van szükség [10]. Ezt a problémát azonban az autógyártók már orvosolják, hiszen kaphatók olyan bonyolultabb vezérlésű autók melyekbe bármilyen arányú etanol (E85)-benzin üzemanyag tankolható. Ezek a járművek képesek az etanol felismerésére és elégetésére, valamint beépített szerkezeti anyagaik révén tűrik annak erősen korrozív hatását.

A másik lehetőség pedig az, hogy az etanolból kifejezetten az oktánszámot növelő adalékanyagot - ETBE-t /etil-tercier-butil-éter/ állítanak elő, melyet a benzinhoz kevernek [11]. Ennek alapja az, hogy a bioetanol oktánszáma a hagyományos definíció szerinti 100-as érték felett van, ami magasabb a legjobb adalékmentes benzinénél. A magasabb oktánszámú üzemanyaggal a motor kompresszióviszonya növelhető, ezáltal az jobb hatásfokúvá válik.

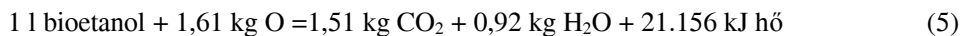
Az etanol égése környezetvédelmi szempontból kedvezőbb a benzinénél. A motorbenzin, amelynek fűtőértéke 43000 kJ/kg, kémiailag oktán és heptán keveréke,  $C_7H_{16} + C_8H_{18}$ , eszerint a szén tömegaránya 85%, a hidrogéné 15%. Az etanol fűtőértéke 26.780 kJ/kg, kémiailag  $C_2H_6O$ , benne a szén tömegaránya csak 52%, a hidrogéné 13%.

Az alkohol a benzinnel szemben tisztábban ég, kevésbé káros a környezetre [12]. Nem tartalmaz sem ként, sem nehézfémeket, így elégetésekor nem keletkezik a savas esők kialakulásáért felelős kén-dioxid, illetve nehézfém tartalmú vegyületek sem jutnak a levegőbe. A bioetanol az üvegházhatás erősödéséhez sem járul hozzá, mert az elégetésekor annyi szén-dioxid kerül a levegőben mint amennyit a növény - melyből előállították - élete során megkötött.

Az etanol tökéletes égésének tömeg- és energiamérlege a következő:



Literre vonatkoztatva:



Az égés azonban nem tökéletes és az etanol sem tisztán kerül motorba mint üzemanyag, hanem a benzinhez keverten bizonyos százalékokban.

Az etanol kedvelt oxigenát, mert fokozza az oxidációt mely az üzemanyag tökéletesebb és tisztább égését segíti elő [13]. Előnyösebb égési tulajdonságai a benzinhez keverve is érvényesülnek, kedvezőbb a CO<sub>2</sub> mérleg, alacsonyabb CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> kibocsátás [12]. A jövőben tervezzük az égés részletes elemzését.

A bioetanol alkalmazásának hátránya a benzinhez képest az alacsonyabb energiatartalom, ezért az autó fogyasztása etanol esetén nagyobb mint hagyományos üzemanyaggal.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Hosszú távon a benzin árának emelkedése várható ezért az alternatív üzemanyagok egyre fontosabbá válnak. A bioetanol gyártás egy komplex feladat, mellyel Magyarország számos előnyre tehet szert. Csökkentheti az üvegházhatást, serkentheti a hazai mezőgazdaságot, számos új munkahelyet teremthet, csökkentheti a kőolajfüggőséget, mert az etanol gyártásával saját és a környezetet kevésbé terhelő üzemanyaghoz juthat.

#### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] <http://www.mol.hu>
- [2] Emőd, I., Füle, M., Zöldy, M.: A bioetanol magyarországi bevezetésének műszaki, gazdasági és környezetvédelmi feltételei, Magyar Tudomány, 2005/3, 278.-283 old.
- [3] IKR Rt. Gabona szeszgyártás Győrben, <http://www.ikr.hu/cikkek/cikk3375.htm>
- [4] [http://www.vaperma.com/industrial\\_applications/ethanol.php?lang=en](http://www.vaperma.com/industrial_applications/ethanol.php?lang=en)
- [5] [www.fvm.hu](http://www.fvm.hu)
- [6] Bai, A: A biomassza eredetű hajtóanyag előállítás helyzete az észak-alföldi régióban MSZET kiadványai, Debrecen, No.2. 53-58.old.
- [7] ELTE Szerves Kémiai Tanszék, Kémiai Technológia Oktatása [http://www.kemtech.net/ktlabor\\_vegyesz/ktlabor\\_vegyesz.htm](http://www.kemtech.net/ktlabor_vegyesz/ktlabor_vegyesz.htm)
- [8] Kurdon J., Simonyi, M.: Szesz- és takarmányélesztő gyártás, Mezőgazdasági Kiadó Budapest, 1986
- [9] Bioüzemanyagok, a MOL csoport kiadványa, <http://www.mol.hu/repository/256475.pdf> /mol kiadvány bioüzemanyagokról/
- [10] Saab BioPower: útban egy zöldebb jövő felé, <http://www.bioetanol.hu>
- [11] <http://www.keenergia.hu>
- [12] <http://www.etanol.info.hu>
- [13] A „zöld” etanol előnyös környezetvédelmi hatásai, <http://www.zoldbiotech.hu/cikk/10.4-cikk.pdf>



# Excenteres prés gép meghibásodásának vizsgálata

## EXAMINATION OF FAILURE OF THE ECCENTRIC PRESS

Dr. N. H. HOANG<sup>1</sup>, A. VARGA<sup>2</sup>

Assistant Professor, Institute of Machine Design,  
Technical University of Budapest,  
H-1111. Budapest, Műegyetem rkp. 3.

<sup>1</sup>Tel: (36-1) 463 2267, e-mail: hoang@gszi.bme.hu

<sup>2</sup>Tel: (36-1) 463 2279, e-mail: vargaa@eik.bme.hu

### ABSTRACT

*The eccentric presses are used in many field of industry for plate-punching, deep-drawing, burring of casting, and all kind of pressing. Some components of the examined, electropneumatic eccentric press have broken unexpectedly so far. The aim of our examination was to determine the causes of the extraordinary failure of the press.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Excenteres présgépeket az ipar számos területén alkalmazzák lemezkivágásra, mélyhúzásra, öntvény sorjázására, illetve különféle sajtoló munkákra. A vizsgált elektro-pneumatikus, excenteres prés gép egyes alkatrészei gyakran váratlanul tönkrementek. Vizsgálatunk célja a nem szokványos meghibásodások okainak feltárása volt.*

**Kulcsszavak:** Prés gép, csapágó, gömbcsésze, törőtárcsa, szögeltérés, kopás.

### 1. ELŐZMÉNYEK

Az excenteres prés gép (1. ábra) egy pontos prés, beállítható medve-lökettel. A meghajtást egy fő villanymotor végzi, ékszíjjakkal, egy beépített tengelykapcsolóval és fékkel ellátott lendkeréken keresztül. A tengelykapcsoló és a fék elektro-pneumatikus úton működik, lehetőség van egyes-lököt és tartós lököt beállítására. A névleges nyomóerő 10 tonna. Az új berendezés 2 éves üzemeltetése során sorozatosan történtek különböző meghibásodások.



1. ábra

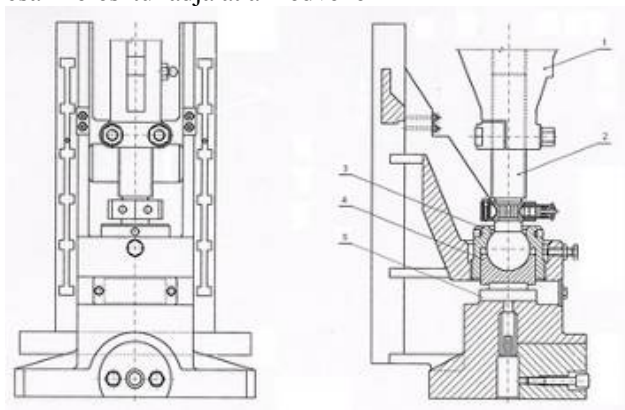
*A prés gép előlnézete, valamint a nyomókar gömbcsapja és a medve a szorítóhüvely kiszerezése után*

Leggyakrabban a törőtárcsa törött el, több mint 20 alkalommal. A főtengely baloldali beálló, hengergörgős csapágya is tönkrement 1 év alatt. A csapágy porvédő tárcsáján, külső- ill. belsőgyűrűjén, valamint egyik kosarán erős kopás tapasztalható. A gépen eddig kétszer volt cserélve a főtengely, valamint a főtengely csapágjai. A gömbcsap befogadására szolgáló gömbcsésze is eltörött, amelynek fészek felületén kb. 2,5 mm-es kopást észleltek. Legutóbb a törött csésze cseréje után két héttel újra eltörött a törőtárcsa és az új gömbcsészeből is letört egy darab.

A berendezést tartós lökettel működtetik, a beállított lökete 44 mm. A gépet 3-5000 löketenként állítják le. A gép működése közben is jól látható volt előlnézetenben a nyomókar ferdesége, ami azt jelenti, hogy a nyomókar és a medve közép síkjai nem esnek egybe. Az eltérést a szorítóhüvely kiszerelése után a felső holtponti állásban (1. ábra) mértük, amelynek értéke közel 5 mm volt.

## 2. AZ ALKATRÉSZEK TÖNKREMENTELÉNEK VIZGÁLATA

A berendezés felépítésének egy részét mutatja a 2. ábra. Látható, hogy a nyomóerőt a nyomókar gömbcsészén és törőtárcsán keresztül adja át a medvének.



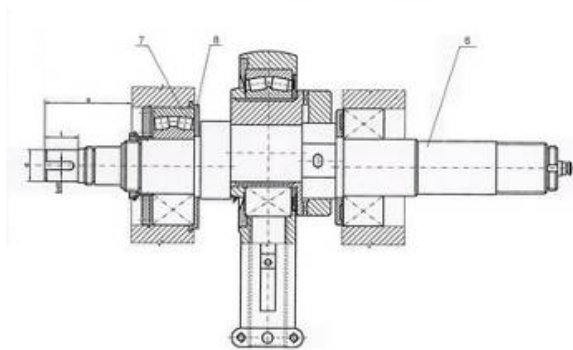
2. ábra

A nyomókar és medve összekötése

1. nyomókar, 2. gömbvégződésű menetes nyomóorsó, 3. menetes szorítóhüvely, 4. gömbcsésze, 5. törőtárcsa.

### 2.1. A főtengely baloldali csapágya

A vizsgált présgép főtengelye 2 db azonos méretű, beálló görgőscsapággal van ágyazva (3. ábra). Mivel a mért tengelyirányú eltérés közel 5 mm, a nyomókar hosszmérete ismeretében a szögeltérés kb.  $\alpha = 1^\circ$ -ra adódik. A szögeltérés miatt járulékos axiális erő hat a főtengelyre, amely terheli a főtengely csapágjait.



3. ábra

A főtengely és a nyomókar csapágázása

6. excenteres főtengely, 7. beálló görgőscsapágy, 8. porvédő tárcsa.

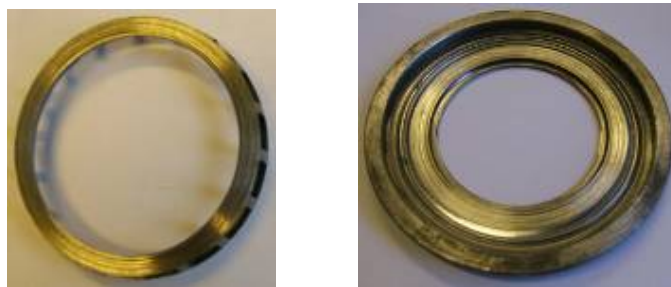
A tönkrement csapágy a présgép előlnézetében a főtengely bal oldalán helyezkedik. Ez a csapágy beépítése szerint vezetőcsapágy, és egyedül veszi fel a fellépő, balról jobbra ható axiális erőt. A névleges nyomóerőt (10 t) alapul véve, különböző terhelési módokat vizsgálva megállapítható, hogy azonos üzemi körülmények esetén a járulékos axiális terhelés miatt a csapágy várható élettartama nagymértékben, kb. 27 %-al csökken.

A 3. ábrán látható – a gyártó cég által közölt – összeállítás alapján megállapítható, hogy a porvédő tárcsa egyben a csapágy külső gyűrűjének axiális megtámasztását is szolgálja. Végül soron ez a tárcsa veszi fel a szögeltérésből adódó járulékos axiális terhelést. A csapágy teherhordozó felületek kopásának növekedésével a radiális csapágyhézag is nő. Ezáltal a belső gyűrűje a főtengellyel együtt axiálisan elmozdul. A dinamikus axiális erőhatások, valamint a tengely és a csapágyfészek középvonala közötti esetleges szögeltérés eredményezheti a csapágy jobboldali kosarának érintkezését az álló, porvédő tárcsával, amely meggátolja a kosár, s ez által a gördülőelemek mozgását. Ettől kezdve a csapágy tönkremenetele rendkívüli mértékben felgyorsul. A 4. ábra a csapágygyűrűk terhelt zónájában, ill. a gördülő elemeken kialakult kopás és ütés nyomait mutatja.



4. ábra

*A tönkrement belső, külső gyűrű és gördülő elemek*



5. ábra

*A tönkrement jobboldali kosár és porvédő tárcsa.*

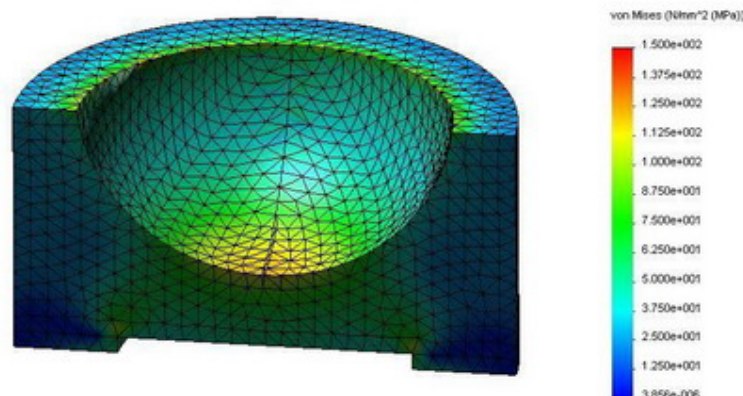
A tönkremenetel végső stádiumát mutatja az 5. ábra, amelyen megfigyelhető a jobboldali kosár palástfelületének elvékonyodása erős kopás következtében, valamint a porvédő tárcsán kialakult körkörös kopás mély nyomai. Bár a csapágyházon megtalálható a zsírzó gomb, a beépített csapágy külső gyűrűje nem rendelkezik körbefutó horonnyal és kenőfurattal. Ez a tény nagymértékben megnehezítette a kenőzsír futófelületek közé való bejuttatását, ami tovább fokozta a csapágy alkatrészeinek kopását.

## 2.2. Gömbcsésze

### 2.2.1. Numerikus vizsgálat

A gömbcsésze tönkremenetelének vizsgálatához véges elemes vizsgálatokat végeztünk, melyben figyelembe vettük a szögeltérésből adódó járulékos terhelés hatását is. A modellezés a gömbcsésze, gömbcsap és a szorítóhüvely kapcsolatára terjedt ki. A terhelés hatására a gömbcsészében kialakuló HMH egyenértékű feszültség eloszlását mutatja a 6. ábra. Számításaink szerint – statikus terhelési esetben – a csészében kialakuló maximális redukált feszültség kb. 125 MPa. Mivel a csésze anyagá-

nak szakítószilárdsága – a gyártó cég adatszolgáltatása alapján –  $R_m=610$  MPa, ezért a kialakuló feszültség önmagában nem magyarázza a csésze tönkremenetelét.



6. ábra  
A gömbcsésze feszültség eloszlása.

### 2.2.2. Kopás vizsgálat

A nyomókar és a medve egymáshoz való rögzítése szokásos módon gömbcsuklóval van megoldva, a nyomókarba becsavarozott nyomóorsó gömbvége a gömbcsészébe ágyazva billenő mozgást végez. A billenés során csúszó mozgás jön létre, amely vegyes súrlódási állapotot idéz elő [1][2]. Normális működéshez gömbcsuklót szabadon, elbillenthetően, de kotyogásmentesen kell be állítani a szorítóhüvely elfordításával. A szerkezeti konstrukcióból kifolyólag a gömbcsésze igen nagy nyomóigénybevételnek, valamint a nyomóorsónak a csészében történő billenő-mozgása miatt nagy kopásnak van kitéve.

A gömbcsésze tönkremenetelének megértéséhez a 2 alábbi esetet különböztetjük meg:

a). A *présgép előlnézetében nincs szögeltérés a nyomókar és a medve középsíkja között:*

Ez a normális üzemi körülmény, a nyomókar és a medve középsíkja közötti szögeltérés csak a főtengelyre merőleges síkban (oldalnézetben) létezik, amelynek a maximális értéke kb.  $\beta=5^\circ$ . Ebben az esetben *fáradásos kopásról* beszélhetünk, amely a gömbfelületek között lép fel. A fáradásos kopás, ill. kigödrösödés (másképpen „pittingek” képződése) gyakran a normális üzemi körülmények között működő súrlódó felületeken fordul elő, azonban gyors tönkremenetelt nem idéz elő.

b). *A présgép előlnézetében  $1^\circ$ -os szögeltérés van a nyomókar és a medve középsíkja között:*

A normális üzemi körülmények között fellépő csúszó mozgás mellett az  $1^\circ$ -os szögeltérés és a nyomókar csapágyának beálló jellegű működése miatt még egy járulékos (a billenő mozgás irányára merőlegesen) relatív elmozdulás keletkezik a gömbcsap és gömbfészkek érintkező felületén. Ez a kis relatív mozgás okozza az ún. *súrlódásos kopást*. A súrlódásos vagy oxidációs kopás (másképpen súrlódási korrózió vagy „fretting”) lényegében olyan kopásforma, amely a súrlódó felületek kis amplitúdójú (20-400  $\mu\text{m}$ ) váltakozó irányú csúszó mozgása hatására alakul ki, és gyakran a felületek durva megsérüléséhez vezet. A kis amplitúdójú mozgás következtében kis mennyiségű anyag válik le a súrlódó felületről, de a lekopott anyag ott marad a felületek között és hozzájárul a további károsodáshoz, amelynek hatására olyan feszültséggyűjtő helyek jönnek létre, amelyek jelentős mértékben lecsökkentik a gömbcsésze kifáradási szilárdságát.

A fentiek alapján kijelenthető, hogy azonos üzemeltetési körülmények mellett a jelenleg vizsgált présgépnél jóval nagyobb kopás alakul ki a gömbfészken, mint normál esetben, mivel itt a fáradásos kopás a súrlódásos kopással párosul, ennek következtében a teljes kopás is sokkal intenzívebb. Ez magyarázza a jelentős kopás nyomát a gömbfészkek felületén, amint az a 7. ábrán látható.

A gömbfelületek kopása következtében játék jön létre a gömbcsap és a gömbfészkek között, amely lehetővé teszi a gömbcsésze oldalirányú elmozdulást. Az oldalirányú erő hatására a gömbcsésze minden löket végén ütőszerűen csapódik a szorítóhüvely belső falának (8. ábra). Ezt alátámasztják a gömbcsészének a palástfelületén levő ütőnyomai, valamint a kopás előrehaladása végén bekövetkezett törése (7. ábra).



7. ábra

*A tönkrement gömbcsésze fészek- ill. palástfelületének kopása és törése.*



8. ábra

*A csészétől származó ütés nyomok a szorítóhüvely belső falán és a törött törőtárcsa*

### 2.3. Törőtárcsa

Törőtárcsára nézve a súrlódásos kopás miatt növekvő csapágyjáték következménye kettős:

- Egyrészt a törőtárcsa minden löket végén a fölötte levő gömbcsészén keresztül ütősszerű terhelést kap a gömbcsaptól.
- Másrészt a rá ható, nyomókar felől jövő terhelés iránya egyre jobban eltér a függőleges iránytól, emiatt a terheléseloszlás a törőtárcsán nem egyenletes, aszimmetrikus.

A vizsgált berendezésnél a leírt körülmények eredményezték a törőtárcsa gyakoribb tönkremenetelét. A 8. ábrán a tönkrement törőtárcsa képe látható.

## 3. KÖVETKEZTETÉSEK

A helyszíni szemlén tapasztaltak, a meghibásodott alkatrészek vizsgálata és az elvégzett számítások, ill. elemzések alapján megállapítható, hogy a vizsgált présgép gyakori meghibásodása egy összetett folyamat következménye, amelynek legfőbb kiváltó oka a medve és a nyomókar előlnézeti középsíkjának eltérése, illetve az ebből adódó szögeltérése.

A meghibásodási folyamat "öngerjesztő": a meglévő szögeltérés miatt kialakul az intenzívebb kopás, és a kopás okozta játék még nagyobb szögeltérést eredményez.

Az említett eltérés lehetséges okai:

- főtengely mérete hibás, alak-, vagy helyzetűrése nem megengedett,
- a medve pozíciójának eltérése a névleges helyzettől,
- a főtengely csapágyak fészkeinek egytengelyűségi hibája.

Ahhoz, hogy a nyomókar és medve középsíkjai eltérésének okát pontosan meg lehessen állapítani, a berendezés teljes geometriai felülvizsgálatára van szükség.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Kragelszkij, Mihin: Gépszerkezetek súrlódás- és kopásszámítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1987.  
 [2] Dr. Kozma Mihály: Tribológia. Kézirat. Tankönyvkiadó, Budapest 1991.

## JIT elv szerint beszállítandó alkatrészek megválasztására szolgáló módszer mechatronikai szerelő rendszerek esetében

### PRODUCT SELECTION METHOD FOR JIT SUPPLY OF MECHATRONICAL PRODUCT ASSEMBLY SYSTEMS

HORVÁTH Attila<sup>1</sup>, Dr. KOVÁCS László<sup>2</sup>, Dr. Prof. Em. CSELÉNYI József<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD. hallgató, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz., 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399, e-mail: ati.horvath@gmail.com, honlap: www.uni-miskolc.hu

<sup>2</sup>egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz.,  
3515 Miskolc-Egyetemváros

tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399, e-mail: kovacs@snowwhite.alt.uni-miskolc.hu,  
honlap: www.uni-miskolc.hu

<sup>3</sup>egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz., 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399, e-mail: cselenyi@snowwhite.alt.uni-miskolc.hu,  
honlap: www.uni-miskolc.hu

## 1. BEVEZETÉS

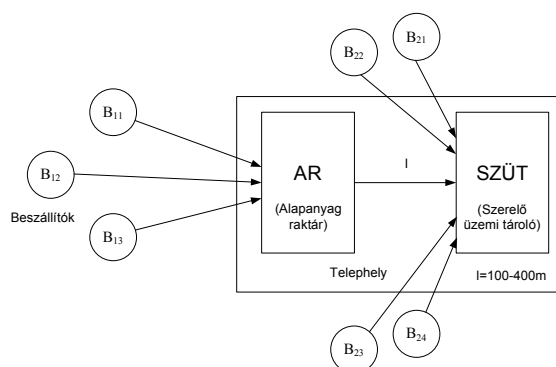
A beszállító rendszernél egy kiemelt feladat annak az eldöntése, hogy alkatrészeknél milyen esetben lehet JIT elvű beszállítás.

Az előző dolgozatban (Doktoranduszok Fóruma [4], III. MeAKKK Szeminárium [5]) bemutatuk a szerelő rendszerek lehetséges beszállítási változatait és feltártuk a JIT elvű beszállítás sajátosságait, feltételeit.

Ezen dolgozatban a beszállítói változatok közül egy gyakran előforduló rendszerre – a közvetlen és közvetett beszállítás vegyes rendszerére – mutat be egy olyan optimalizálási módszert, amely megadja az adott feltételi és célfüggvény rendszerrel a JIT elvű beszállításra a legmegfelelőbb alkatrészeket.

## 2. A KÖZVETLEN ÉS KÖZVETETT BESZÁLLÍTÁS VEGYES RENDSZERRE (1. ÁBRA)

A vegyes beszállítónál az alkatrészek egy része közvetlenül bekerülhet a szerelő üzem tárolójára (SZÜT), vagyis ezeknél érvényesülhet a JIT elvű beszállítás. Az alkatrészek másik része, illetve általában a csomagolóanyag az alapanyag raktárba kerülnek, és onnan közvetlen kerülnek be a szerelő üzembe, illetve a csomagoló egységhez.



1. ábra Vegyes közvetlen és közvetett beszállítói rendszer



### 3. VEGYES BESZÁLLÍTÓ RENDSZERNÉL A JIT ELVŰ KÖZVETLEN BESZÁLLÍTÁS OPTIMÁLIS ALKATRÉSZEINEK A MEGVÁLASZTÁSA

Könnyen belátható, hogy az alkatrész sorrendje ebben az esetben csaknem megfelel az értékek csökkenő sorrendjének is.

A vegyes beszállításnál (1. ábra) gyakran adódnak olyan esetek, amikor több lehetőség adódik közvetlen beszállításra, mint amennyit a szerelőüzemi tárolókapacitás korláta lehetővé tenné. Ezért kidolgoztunk egy olyan módszert, amely sorrendbe sorolja az alkatrészeket a JIT elvű közvetlen beszállítási készség szempontjából.

A módszer kidolgozásánál a következő feltételekből indultunk ki:

- valamennyi közvetlen JIT elvű beszállításra alkalmas beszállítónál – közeli beszállító – a szállítási költségek közel azonosak,
- rendelkezésre állnak egy meghatározott hosszú  $T_0$  időszakra az alkatrészellátáshoz kapcsolódó historikus adatok

Első lépésben azt az alkatrész rangsorolást használhatjuk fel a közvetlen beszállító kiválasztására, ha egy beszállító egy alkatrészt szállít be. Ha a vizsgált beszállító több alkatrészfajtát is beszállít, akkor azt is figyelembe kell venni, hogy egy- egy beszállító vagy csak közvetett vagy csak közvetlen beszállító lehet.

A továbbiakban csak az alkatrészek rangsorolásával foglalkozunk. Ennek az a célja, hogy adott szerelőüzemi tárolókapacitások illetve egyéb korlátozások esetén, rangsor szerint döntenek arról, hogy melyik alkatrészt lehet közvetlenül beszállítani.

Rangsorolásnál az alkatrészek azon tulajdonságait vizsgáljuk, amely a JIT elvű beszállítás hatékonysága szerint jelentősek.

Ha közvetlen és a közvetett beszállításokat hasonlítjuk össze, akkor megállapítható, hogy a közvetlen beszállítás következő előnyökkel rendelkezik:

- csökkenti az alapanyagraktár tárolókapacitás szükségletét, illetve a beszállított alkatrészeknél a forgóeszköz lekötöttséget,
- elmaradhat az alapanyagraktár és a szerelőüzem közötti szállítási munka,
- csökken a rakodási munkaszükséglet, mert elmarad az alapanyagraktárnál jelentkező lerakodás és felrakodás.

Mindezeket figyelembe véve az alkatrészek rangsorolásánál következő célfüggvény-szempontokat lehet figyelembe venni, számításba véve azt is, hogy a számítógépes adatbázisból milyen adatokhoz tudunk könnyen hozzájutni:

- az egyszerű beszállításnál a beszállított alkatrészek:
  - értékben ( $\omega_1$ ),
  - egységgrakományban mérve ( $\omega_2$ ).
- egy – egy beszállítási periódus alatt beépülő alkatrészek:
  - értékben ( $\omega_3$ ),
  - egységgrakományban mérve ( $\omega_4$ ).
- az anyagáramlási munka az AR és SZÜT között ER - okban mérve ( $\omega_5$ ).
- művelet közti alkatrész készlet:
  - értékben ( $\omega_6$ ),
  - egységgrakományban mérve ( $\omega_7$ ).

Ha megnézzük a célfüggvény komponenseket, nem szerepel közöttük az alapanyagraktárnál jelentkező le és felrakodási munka. Erre azért nincs szükség, mert ez arányos az egy-egy beszállítás ütemben beérkező egységgrakomány darabszámával.

Ha végig gondoljuk a célfüggvény komponenseket, akkor könnyen belátható, hogy annál fontosabb, hogy egy adott alkatrész közvetlenül kerüljön beszállításra, minél nagyobb értéket vesznek fel a célfüggvény komponensek. Vagyis egy olyan többcélú programozási feladat rajzolódik, amelynek minden komponense maximalizálandó.

A többcélú (partetó) programozásra többféle módszer adódik, jelen esetben a legegyszerűbb, és a célnak megfelelő, az egyes célfüggvény komponensek súlyozott normalizált komponenséből adódó eredő célfüggvényt maximalizáljuk.

$$z_j = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{\omega}_{ij}}{\omega_{i\max}} \mu_i \rightarrow \max \quad (1)$$

ahol  $\bar{\omega}_{ij}$ : a  $i$ -edik célfüggvény a  $j$  alkatrésznek  $T$  időszak alatti beszállítási ütemekre kapott értékeknek a várható értéke

Vagyis a  $T$  időszak alatt  $j$ -edik alkatrésznél a  $p_j$  beszállítási ütemek száma:

$$p_j = \frac{T}{t_{bj}^k} \quad (2)$$

ahol:  $t_{bj}^k$  a  $j$ -edik alkatrész beszállításoknál a követési idő

Az  $i$ -edik célfüggvény komponensnek a várható értéke:

$$\bar{\omega}_{ij} = \frac{1}{p_j} \sum_{j=1}^n \omega_{ij} p_j \quad (3)$$

továbbá:

$$\bar{\omega}_{i\max} = \max_j \{ \omega_{ij} \} \quad (4)$$

$\mu_i$  a célfüggvények súlyozó tényezője, amelyre fennáll:

$$0 \leq \mu_i \leq 1 \text{ és } \sum_{i=1}^7 \mu_i = 1 \quad (5)$$

A JIT-be bevonható alkatrészek fontossági sorrendjére jellemző

$$z_1^* > z_2^* > \dots > z_v^* \quad (6)$$

ahol  $z_v^*$  a  $v$  alkatrész súlyozott normalizált célfüggvény érték.

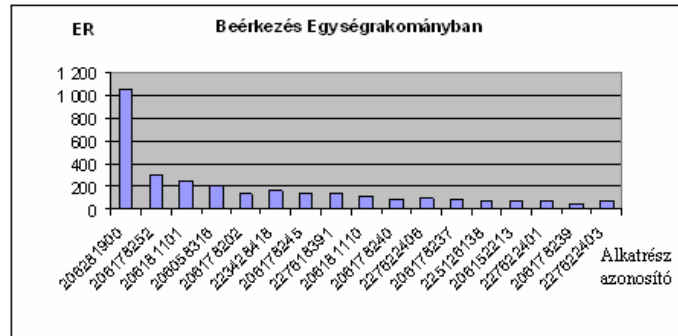
A súlyozási tényezőkkel kapcsolatosan a következő megjegyzéseket tesszük:

- a súlyozási tényezők változása jelentősen változtatja az alkatrészek sorrendjét,
- a súlyozási tényezők megválasztásánál alapvetően az adott szerelő üzem sajátosságait kell figyelembe venni,
- a beérkező alkatrészek egységgrakományokban mért mennyiségek az erre vonatkozó súlyozási tényező megválasztásánál azt is figyelembe kell venni, hogy ezen jellemző nem csak a tároló készlet-szintjét, hanem a rakodási munkát is befolyásolja,
- ha a  $t_{bj}^k$  beszállítási ütemeket változtatjuk, akkor a célfüggvény komponensek értékei is változnak.

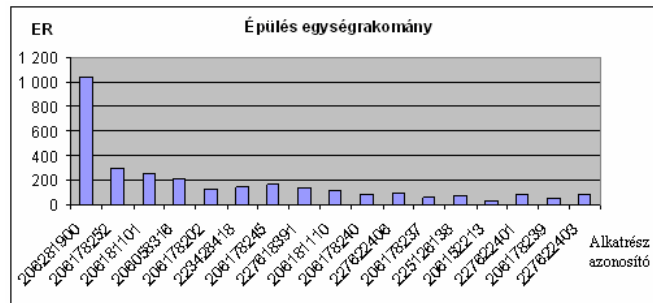
A következőkben bemutatjuk az előzőekben leírt célfüggvényre vonatkozó hisztorikus adatokat, amit fél év időszakra dolgoztunk fel, tizenhét alkatrésze vonatkozóan.

A 2. ábra a beérkező alkatrészek egységgrakományok számát (ER) mutatja az alkatrész azonosítókhöz hozzárendelve. Megállapítható, hogy az első helyen ugyanaz az alkatrész található, mint a 2. ábránál, azzal a különbséggel, hogy a második helyen lévő alkatrészből kevesebb mint 1/4 ER érkezett be, 14 alkatrészből beérkező ER szám kevesebb, mint az 1/5 –e, az utolsó 8 alkatrésznél nem éri el az első alkatrész 1/10 –et a beérkező ER –ok száma. A 3. ábra a szerelés során a vizsgált időintervallumban az egyes alkatrészekből beépült mennyiségét mutatja egységgrakományban mérve.





2. ábra A beérkezett alkatrészeknek ER számának alakulása



3. ábra A beépülő alkatrészek egységgramományban mérve

A 2. és 3. ábra menetét vizsgálva egyértelműen megállapítható, hogy a beérkező alkatrészekhez hasonló tendenciát mutat.

Ha például az egységgramomány értékeket vizsgáljuk és kiszámítjuk a két legnagyobb és a két legkisebb mennyiségeknél a beépülő és a beérkező alkatrészek hányadát,

$$\frac{\omega_{31}}{\omega_{21}} = 1; \frac{\omega_{32}}{\omega_{22}} = 1; \frac{\omega_{37}}{\omega_{27}} = 0,78; \frac{\omega_{314}}{\omega_{214}} = 1,73; \frac{\omega_{317}}{\omega_{217}} = 0,87; \quad (7)$$

vagyis a beépülés arányos a beszállítással az első hat helyen lévő alkatrész azonosító esetében a többi esetben igen magas vagy kevés hányadot jelent. A JIT beszállítás szempontjából azok az alkatrészek a kedvezők, melyek arányossági tényezője egy vagy ahhoz nagyon közeli érték.

A 4. ábra az alkatrészek szerelőben megtett anyagáramlási munkáját adja meg. Az  $\varepsilon$ -edik alkatrésznél az anyagmozgatási munka:

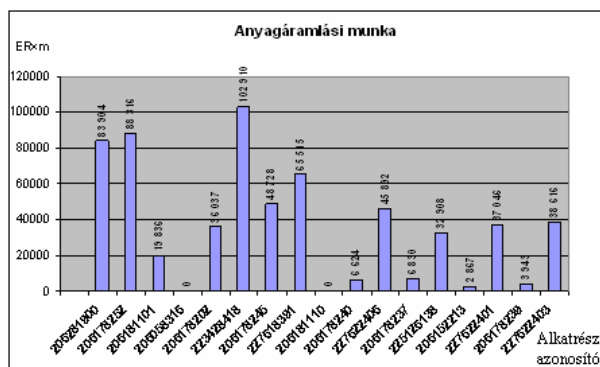
$$W_\varepsilon = \sum_{j \in \Theta_\varepsilon} q_{\varepsilon v j}^b l_{\varepsilon j} \quad (8)$$

Ahol:

- $q_{\varepsilon v j}^b$  : a vizsgált időszakban  $v$ -edik beszállítási feladatnál  $\varepsilon$ -edik alkatrészből szállított ER-ban mért anyagáram mennyiség,
- $l_{\varepsilon j}$  : az  $\varepsilon$ -edik alkatrésznél a  $j$ -edik beszállítási feladatnál az úthossz,
- $\Theta_\varepsilon$  : az  $\varepsilon$ -edik alkatrésznél a vizsgált időszakban jelentkező feladatok halmaza.

Felírható a vizsgált időszakban beszállított  $\varepsilon$ -edik alkatrész mennyisége:

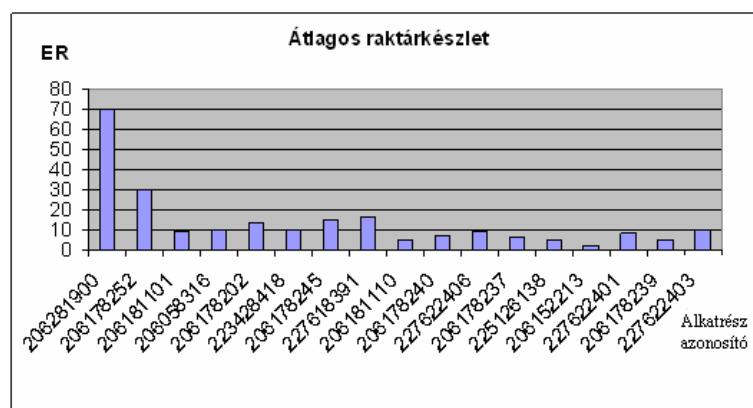
$$Q_{\varepsilon} = \sum_{j \in \Theta_{\varepsilon}} q_{\varepsilon j} \quad (9)$$



4. ábra A beszállítások során végzett anyagmozgatási munka alkatrészenkénti alakulása

A 6. ábrát elemezve, könnyen felismerhető, hogy teljesen más tendenciákat mutatnak, mint a 2.-5. ábrák. A legnagyobb anyagmozgatási munka a 223428418 alkatrésznél adódik, amely a hatodik alkatrész azonosítójának felel meg. Az első és második helyen álló alkatrész azonosítóval rendelkezők a hatodik helyen állónak 83% illetve 88%-át teszik ki. Hat alkatrésznél az anyagmozgatási munka túllépi a legnagyobb érték 40%-át, hat alkatrész pedig nem éri el a legnagyobb anyagmozgatási munka 7%-át. Nem érvényesül, hogy az anyagmozgatási munka az alkatrész azonosítók sorrendjében csökkenő tendenciát mutat.

Az 5. ábra az egyes alkatrészeknél a vizsgált időszak átlagos készletét mutatja értékben illetve egységgrakományban.



5. ábra Egységgrakományban mért átlagos raktárkészlet alakulása

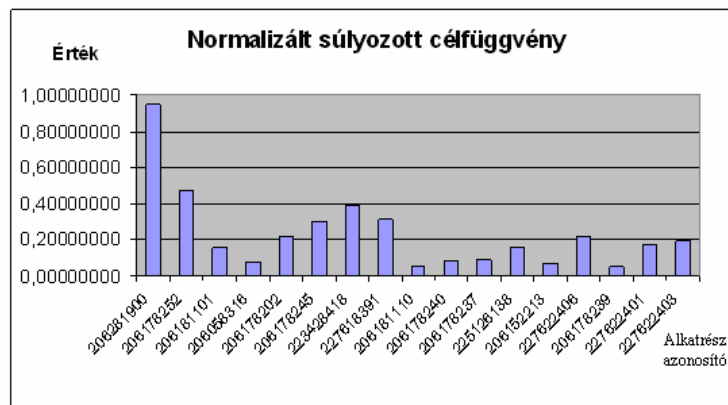
Az 5. ábrát elemezve látható, hogy az első helyen lévő azonosítóval ellátott alkatrész megegyezik a beszállításnál és beépülésnél kialakult sorrend első alkatrészével. Jól látható, hogy az értékek alakulása nem követi egyik előző diagramok tendenciáját. A második helyen lévő termék átlagos raktárkészlete az első 40%-át teszi ki, 10 alkatrész átlagos készlete az első alkatrész átlagos készletének 10%-ánál több, 6 alkatrész pedig 10%-át sem éri el.

Ha elvégezzük az (1) normalizált és súlyozott célfüggvény várható értékének kiszámítását, akkor alkatrészenként meg lehet adni az eredő célfüggvény értéket (1. táblázat).

## 1. Táblázat

Sorszám	Azonosító	Megnevezés	Súlyozott normalizált összeg célfüggvény érték
1	206281900	TETOK.ROUNDED SZERELT TT''R	0,98153200
2	206178252	TET\$KERET TAMP.	0,36490653
3	206178245	TET\$KERET TAMP.86470	0,23606787
4	223428418	TET\$ NEUTRÁL	0,20976316
5	227618391	TET\$ NEUTRÁL AEG/ELUX	0,20424410
6	206178202	TETOKERET TAMP.	0,17591171
7	206181101	TETOKERET TAMP.	0,15808935
8	227622406	TET\$ SZER.TAMP.PRIVILEG	0,11822760
9	227622403	TET\$ SZER.TAMP.FAR	0,11500743
10	225126138	SZER.TAMP. TET\$	0,10753773
11	227622401	TET\$ SZER.TAMP.CLIMAT	0,10208147
12	206058316	TET\$KERET TAMP.86424	0,10037693
13	206178237	TETOKERET TAMP.	0,09331987
14	206178240	TET\$KER.TAMP.86433A,B	0,08853992
15	206152213	TETOKERET TAMP.	0,07077378
16	206181110	TETOKERET TAMP.	0,06808882
17	206178239	TET\$KER.TAMP.86432A,B	0,05263995

Az 1. táblázatban a normalizált súlyozott összeg célfüggvény értékek csökkenő sorrendben lett összefoglalva.



6. ábra Az eredő célfüggvény értékek alakulása az eredeti alkatrész azonosító sorrendben

A 6. ábra alapján látható, hogy a kialakult rangsor tendenciája több mint 50%-ban eltér az eredetiétől, tehát könnyen belátható, hogy a fent bemutatott vegyes beszállítói rendszer esetén a bemutatott módszer alkalmas a JIT elvű beszállításra legalkalmasabb alkatrészek rangsorolására. Az eredő célfüggvény értékek csökkenő sorrendbe állíthatók (1. táblázat), és végeredményként a JIT elvű beszállításra alkalmas alkatrészek bevonási sorrendjét adja több szempont figyelembe vételével, parametrizált súlyozási tényezők alkalmazásával.

A kötött terjedelem miatt a módszerhez tartozó érzékenységi vizsgálat, költségcsökkentési lehetőségek, és a módszert megvalósító számítógépes alkalmazás bemutatására az előadás keretén belül kerül sor.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kidolgozott módszer a gyakorlatban használható, alkalmazható. A módszer a vegyes beszállítói modellre lett kidolgozva, a többi modell esetén a módszer változtatására van szükség. Az alkalmazás hatékonyan megvalósítja a kidolgozott matematikai elvet, koncepciót. Az inputok változtathatók, az eredmények számíthatók menthetők, a költségmegtakarítási lehetőségek képezhetők. Bármikor használható, és mindig a JIT beszállításra alkatrészek „optimális” sorát adja eredményül.

Jelen kutatómunka a K63591 számú OTKA projekt támogatásával készült.

## 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Dr. Cselényi József, Dr. Illés Béla:** *Logisztikai rendszerek I.*, Miskolci Egyetemi Kiadó 2004, Egyetemi Tankönyv
- [2] **Dr. Cselényi József, Dr. Illés Béla:** *Anyagáramlási rendszerek tervezése és irányítása I.*, Egyetemi Kiadó 2006, ISBN 963 661 672 8
- [3] **Dr. Prezenszki József:** *Logisztika II. (Módszerek, eljárások)*, Logisztikai Fejlesztési Központ, Budapest, 1999.
- [4] **Horváth Attila, Dr. Kovács László, Prof. Emeritus Dr. Cselényi József:** *A beszállítói rendszerek strukturálódása, különös tekintettel a JIT elvű beszállításra*, Doktoranduszok Fóruma, 2006. november 14., Miskolc, (megjelenés alatt)
- [5] **Horváth Attila, Dr. Kovács László, Prof. Emeritus Dr. Cselényi József:** *Mechatronikai rendszerek-nél JIT elvű beszállításának különböző modelljei, és egy módszer a JIT elvű alkatrész beszállítás kiválasztásához*, III. MeAKKK Szeminárium, 2007. február 15.-16., Miskolc

## A magyar íj mechanikája III.

### THE MECHANICS OF TRADITIONAL HUNGARIAN COMPOSITE REFLEX BOWS III.

Dr. HORVÁTH Sándor<sup>1</sup>, KÖRTVÉLYESI Géza<sup>2</sup>  
Dr. LEGEZA László<sup>3</sup>, Dr. SZŐLLŐSY Gábor<sup>4</sup>

1főiskolai docens, dékán h.,<sup>2</sup>főiskolai docens,<sup>3</sup>főiskolai docens  
Budapesti Műszaki Főiskola  
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar  
1081 Budapest, Népszínház u. 8.  
Tel.: +36-1-666-5461, fax: +36-1-666-5484,  
horvath.sandor@bgk.bmf.hu, www.bmf.hu  
<sup>4</sup> muzeológus  
Magyar Mezőgazdasági Múzeum

#### ABSTRACT

*The purpose of the research is the mechanical analysis of arrows in historical bows. The subject of the analysis is the velocity and flight of arrows, their dynamical modelling as well as the determination of each dynamical characteristic. The atmospheric resistance of the arrow has been measured with different types of arrows in a ventilation shaft.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A kutatás célja a történelmi íj nyílvevőjének mechanikai vizsgálata. A vizsgálat tárgya a nyílvevők gyorsulásának és valóságos röppályájának elemzése, a dinamikai modellalkotás, és az egyes dinamikai jellemzők kimérése. A nyílvevő légellenállási tényezőjének mérése légcsonnában történt, különböző nyílvevőtípusok mellett.*

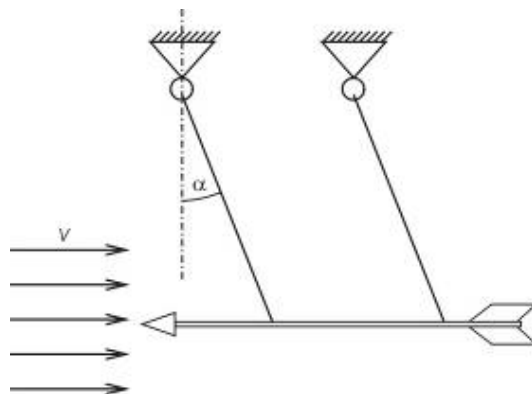
**Kulcsszavak:** magyar íj, nyílvevő, mechanikai modell, dinamika, történelem.

#### 1. BEVEZETÉS

A szerzők a 2005-ben megjelent, *A magyar íj mechanikája I. és II.* című dolgozataik folytatásaként a történelmi magyar nyílvevő röppályájának elemzését tűzték ki célul. Vizsgálatuk tárgya a nyílvevő mozgása a lövés pillanatától a becsapódásig. A dinamikai elemzés magába foglalja a mozgások leírását (kinematika) és annak kapcsolatát a változásokat létrehozó légellenállással (kinetika).

#### 2. A NYÍLVEVŐ LÉGELLENÁLLÁSÁNAK MÉRÉSE

A nyílvevő légellenállásának meghatározása céljából a nyílvevőt két fonál segítségével szélcsatornában függesztettük fel, majd mértük az eredetileg függőleges fonál  $\alpha$  szögeltérését, melyet az áramló levegő okozott (1. ábra).



1. ábra

A Bernoulli-egyenletből kiindulva a nyílvesszőkre eső  $\Delta p$  nyomásesés:

$$\Delta p = \xi \frac{\rho}{2} v^2 \quad (1.)$$

ahol  $\xi$  a légellenállási tényező,  
 $\rho$  a levegő sűrűsége,  
 $v$  a levegő sebessége.

Az állandósult, egyensúlyi állapotban a szögeltérésből számolható légellenállási tényező:

$$\xi = \frac{2 \cdot m g \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\rho \cdot A \cdot v^2} \quad (2.)$$

illetve

$$\eta = \xi \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \quad (3.)$$

ahol  $A$  a nyílvessző szárának keresztmetszete,  
 $m$  a nyílvessző tömege.

Mérési eredmények:

Nyílvessző típusa	tömege	$\xi$	$\eta$
	g	–	g/m
1.	25	5,852	0,1432
2.	37	5,636	0,2031
3.	39	7,172	0,2757

### 3. A NYÍLVESSZŐ MOZGÁSA AZ ÍJ ELHAGYÁSA UTÁN

Az íjat a nyílvessző  $v_0$  kezdősebességgel hagyja el, és sebességvektora a vízszintessel  $\alpha$  szöget zár be. A lövés közben vízszintesen megtett út a lőtávolság ( $L$ ). Ha a légellenállást nem vesszük figyelembe, a lőtávolság az alábbi egyenlettel számolható:

$$L = 2 \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin(2\alpha). \quad (4.)$$

Az egyenlet szerint a légellenállás nélküli maximális lőtáv  $\alpha = 45^\circ$  mellett lesz.

A nyílvevő vízszintes mozgása állandó sebességgel történne, ha nem lenne légellenállás. A valóságban e mozgást gátolja a légellenállás ereje, mely a sebesség négyzetével arányos:

$$F_e = -\eta \cdot v_x^2. \quad (5.)$$

A nyílvevő mozgására felírható Newton-törvény:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\eta \cdot v_x^2, \quad \text{azaz} \quad \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} = -\frac{\eta}{m} \cdot v_x^2 \quad (6.)$$

A differenciálegyenlet megoldása adja a nyílvevő-sebesség vízszintes összetevőjét:

$$v_x = \frac{v_{0x}}{1 + \frac{\eta \cdot v_{0x}}{m} \cdot t}. \quad (7.)$$

A nyílvevő függőleges mozgásának vizsgálatakor meg kell különböztetni a felfele és a lefele haladást. Mindkét mozgást akadályozza a légellenállás, ugyanakkor a gravitáció a felfele mozgást gátolja, a lefele mozgást pedig segíti. A légellenállás most is a sebesség négyzetével arányos:

$$F_e = -\eta \cdot v_y^2. \quad (8.)$$

A nyílvevő felfele mozgására felírható Newton-törvény:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -m \cdot g - \eta \cdot v_y^2, \quad (9.)$$

Vezessük be az  $A$  tényezőt:

$$A = \sqrt{\frac{\eta}{mg}}; \quad (10.)$$

A  $t$  időpillanathoz tartozó nyílvevő-sebesség felfele irányuló összetevője:

$$v_y = \frac{1}{A} \cdot \operatorname{tg}[\operatorname{arctg}(A v_{0y}) - A \cdot g \cdot t]. \quad (11.)$$

A nyílvevő mindaddig tud felfelé repülni, amíg függőleges sebessége zérus nem lesz. A felfele repülés  $t_{\max}$  ideje:

$$t_{\max} = \frac{1}{A \cdot g} \cdot \operatorname{arctg}(A v_{0y}). \quad (12.)$$

A nyílvevő lefele mozgására felírható Newton-törvény:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = m \cdot g - \eta \cdot v_y^2, \quad (13.)$$

A  $\delta$  tényezőt bevezetve:

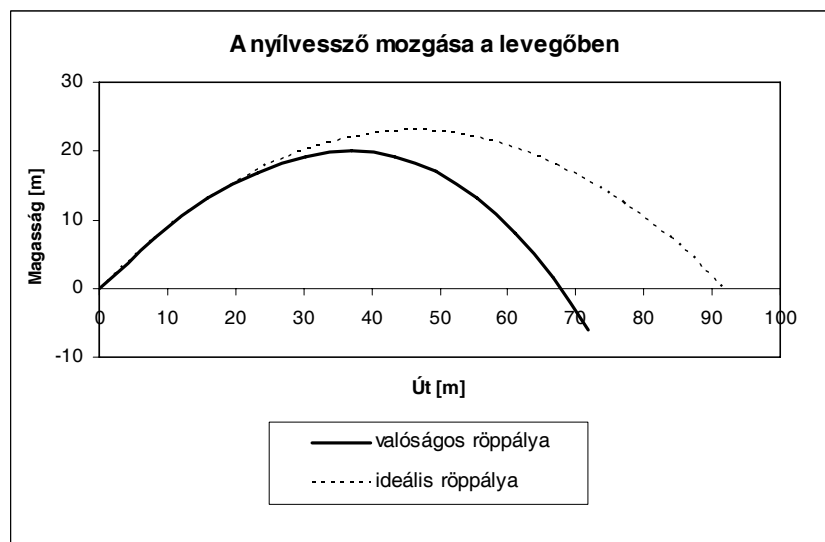
$$\delta = e^{2 \cdot A \cdot g \cdot t}, \quad (14.)$$

a  $t$  időpillanathoz tartozó nyílvessző-sebesség lefele irányuló összetevője:

$$v_y = \frac{\delta - 1}{A \cdot (\delta + 1)}. \quad (15.)$$

A változó sebesség mellett megtett út meghatározása a sebesség idő szerinti integrálásával történik. A légellenállás mellett értelmezett sebességek számítására bár zárt matematikai formulákat kaptunk, ezek integrálása meglehetősen bonyolult, ezért a feladatot numerikus integrálással oldottuk meg.

A következő ábra  $m = 30$  g tömegű nyílvessző mellett mutatja a numerikus integrálás eredményét,  $45^\circ$ -ban felfelé történő lövés,  $v_0 = 30$  m/s kezdősebesség és  $\eta = 0,2$  g/m légellenállás tényező esetén:



2. ábra

#### 4. IRODALOM

- [1] Fábián Gyula: Archaeologia experimentalis. Honfoglaláskori magyar íj rekonstruálása. Természettudományi Közlöny 9. (1967.) 98–101.
- [2] M. Csizmadia Béla – Nándori Ernő: Mechanika mérnököknek. Mozcástan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
- [3] Szöllősy Gábor: Különböző íjtípusok mechanikai jellemzőinek kísérleti vizsgálata. Doktori értekezés. Kézirat. Budapest, 1995.



# Golyósorsós mozgás-átalakító dinamikai modellje

## DYNAMIC MODELLING OF BALL SCREW MOTION TRANSFORMER

Dr. HUBA Antal

egyetemi docens

BME Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék

H-1111 Budapest, Egry J. u. 1. Tel.:+36 1 463 3795; Fax: +36 1 463 3787; huba@mom.bme.hu

### ABSTRACT

*The ball screw is one of the most frequently used motion transformers in the mechatronics. The right dynamic model and the correct worth of the resulting screw stiffness are demanded for the calculation of the control system. The paper show practical method for this.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A golyósorsó a mechatronikai rendszerek egyik leggyakrabban alkalmazott mozgás-átalakító rendszere. A katalógusokban található merevségi számítások gyakran nem a szabályozás dinamikai tervezéséhez fontos információkat közlik, ezért fontos a körültekintő modellezés.*

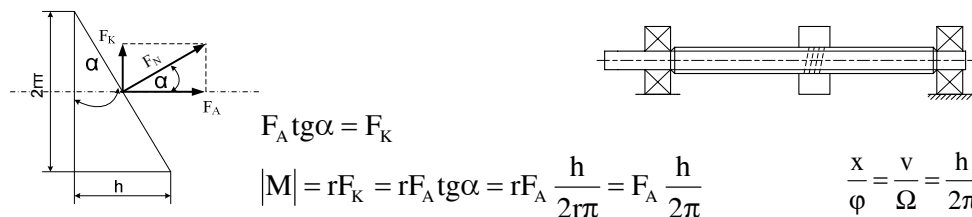
**Kulcsszavak:** Mechatronikai mozgás-átalakító, golyósorsó, dinamikai modell, eredő rugómerevség.

### 1. BEVEZETÉS

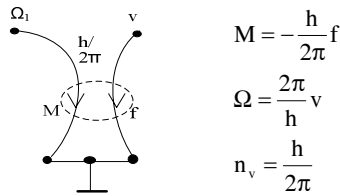
A szerkezet a rendszertechnikai besorolása szerint energia-átalakító, mert eltérő típusú fizikai rendszereket köt össze úgy, hogy azonos típusú változók között teremt lineáris kapcsolatot. Ez a rendszer fontos építőegység, akárcsak a többi energia-átalakító is, de természetesen csak ideálisan veszteségmentes. A valóságban a disszipatív elemek mellett több energiatárolót is tartalmaz, és a dinamikai viselkedését leíró matematikai modell rendszáma a konstrukciós adottságoktól függ. Az átalakító konstansának meghatározása a menetes orsó geometriai jellemzőinek felhasználásával történik. Az eszköz jellemző hatásfoka nagyobb, mint 94 %, köszönhetően a gördülő súrlódásnak.

#### 1.1. A váltó konstansának meghatározása

A katalógus adatokat szemlélve az lehet feltűnő, hogy az orsó kerületi sebessége és az anya elmozdulása között nem az orsó sugara, hanem más jellemző teremt kapcsolatot. Ezt, valamint a forgatónyomaték és az anyára ható tolóerő közötti kapcsolatra érvényes állandót a geometriai adottság felvázolásával lehet meghatározni, amint az 1. ábrán látható.



1. ábra A golyósorsó konstansának meghatározása a geometriából



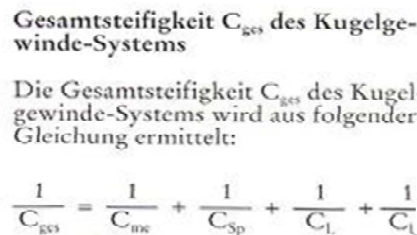
2. ábra. A mozgás-átalakító gráfja állandója és az előjel definíciók

**1. 2. Egy jellemző katalógus adatsor**

A dinamikai modell ismerete elengedhetetlen a szabályozott pozicionáló rendszerek célorientált és hatékony tervezésének, beleértve a szimulációkat is, különös tekintettel a nemlineáris rendszerekre.

A katalógusokban szerepeltetett számító képletek azonban nem minden esetben használhatóak egy adott mechatronikai, vagy szabályozási feladat megoldásához. Ki kell hangsúlyozni, hogy a rendszertechnikai szemlélet és a hálózatszámítási módszerek éppen azért nyújtanak hathatós segítséget, mert nem konkrét struktúrák alkalmazása esetén behelyettesítendő képletekkel és sémákkal operálnak, hanem általánosan érvényes szabályokat alkalmaznak. Az adott struktúra működési modelljének megalkotása után a struktúra gráffal, vagy az impedancia hálózattal az analizált szerkezet minden releváns részlete vizsgálható.

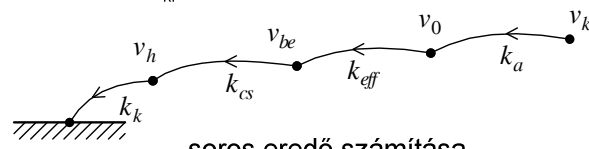
Az egyik, itt név szerint nem jelölt, közismert gyártó katalógusában például az eredő rugómerősség meghatározására a következő képlet olvasható. Célszerűségi ok miatt a katalógus kritikus részét beszkeneltük.



3. ábra. Egy jellemző katalógus-képlet az eredő rugómerősség számításához

A katalógus képletében a rugómerősség jelölése  $C_i$ , és a dimenziók alapján látszik, hogy csak rugómerősségekről lehet szó, amelyek sorosan vannak kapcsolva. A képlet alapján a gyártó által feltételezett struktúra modellje „vissza” állítható. A rugómerősség automatikában szokásos jelölése „k”, ezért a továbbiakban ezt alkalmazzuk.

Eredő rugómerősség  $v_{ki}$  felől nézve :



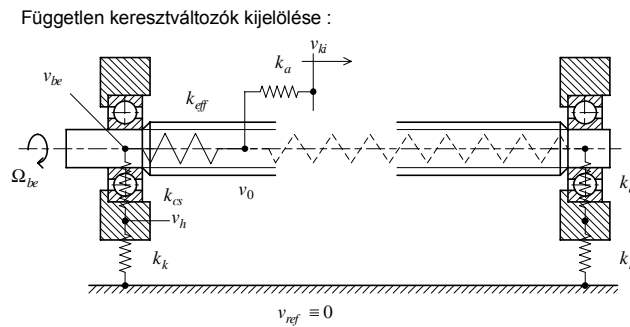
soros eredő számítása

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_a} + \frac{1}{k_{eff}} + \frac{1}{k_{cs}} + \frac{1}{k_k} \quad \rightsquigarrow k_{\min} \text{ domináns}$$

4. ábra. Az eredő rugómerősség értelmezése a katalógus alapján

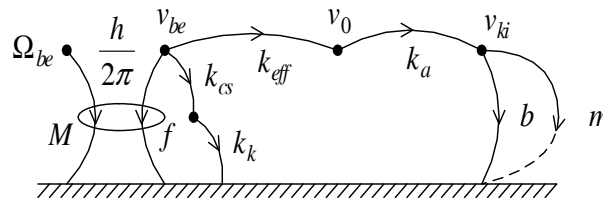
## 2. A MODELLALKOTÁS LÉPÉSEI

A 4. ábrán látható modell akkor helyes, ha az eredő merevséget az asztalhoz kapcsolt anya felől nézve, a keretszerkezet irányában kívánjuk meghatározni. Lehetséges ilyen jellegű kérdésfelvetés is, ha a mechanikai rendszert önmagában kívánjuk elemezni, de a pozicionálás szabályozó körének megtervezéséhez ez a modell nem alkalmazható. A golyósorsó hosszabbik tengelycsonkjára egy szög-és tengelyhiba kiegyenlítő tengelykapcsolón keresztül az esetek többségében DC szervomotorral egybeépített hajtómű adja a keresztváltozó jellegű bemenő jelet (szögsebesség). A DC motor más néven aktuátor a mechatronikában, amelyhez a hajtómű, mint transzformátor jellegű energia-átalakító kapcsolódik. A valós rendszerekben alkalmazott tengelykapcsolók torziós rugómerevsége az orsó saját rugómerevségéhez képest kisebb, ezért a modellezésben nem célszerű figyelmen kívül hagyni. Más kérdés, hogy ez a rendszer struktúrája miatt nem jelent újabb energiatárolót, hiszen a levezetésből jól látható módon, a két rugómerevség egymáshoz redukálható.



5. ábra. A golyósorsós mozgás-átalakító négy legfontosabb merevsége a behajtás felől

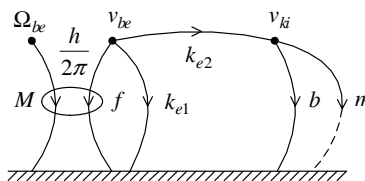
Eredő rugómerevség számítása dinamikai modellben,  
ha translációs rendszerben számolunk :



6. ábra. A translációs elemekkel felépített gráf

$$\frac{1}{k_{e1}} = \frac{1}{k_{cs}} + \frac{1}{k_k} \rightarrow k_{e1} = \frac{k_{cs} \cdot k_k}{k_{cs} + k_k} \quad k_k > k_{cs}$$

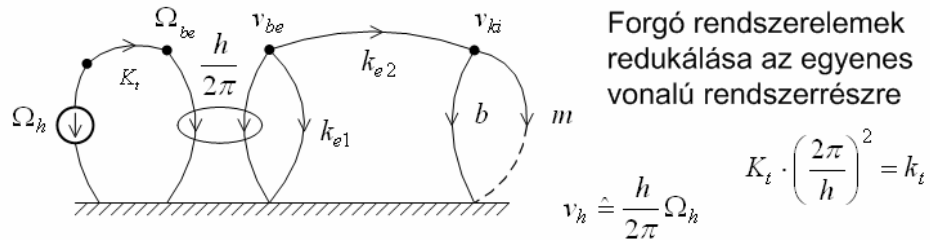
$$\frac{1}{k_{e2}} = \frac{1}{k_a} + \frac{1}{k_{eff}} \rightarrow k_{e2} = \frac{k_a \cdot k_{eff}}{k_a + k_{eff}} \quad k_{eff} > k_a$$



7. ábra. Az eredő merevség meghatározása

A motor és hajtómű együttes vagy szög-és tengelyhibát kiegyenlítő, vagy merev, esetenként csúszó tengelykapcsolóval van összekötve a golyósorsóval. A 8. ábrán látható, egyszerűsített gráfot ki lehet egészíteni a tengelykapcsoló rugómerevségével.

Ha a hajtómű kimenete a forrás, és a tengelykapcsoló torziós rugómerevségét is modellezzük :



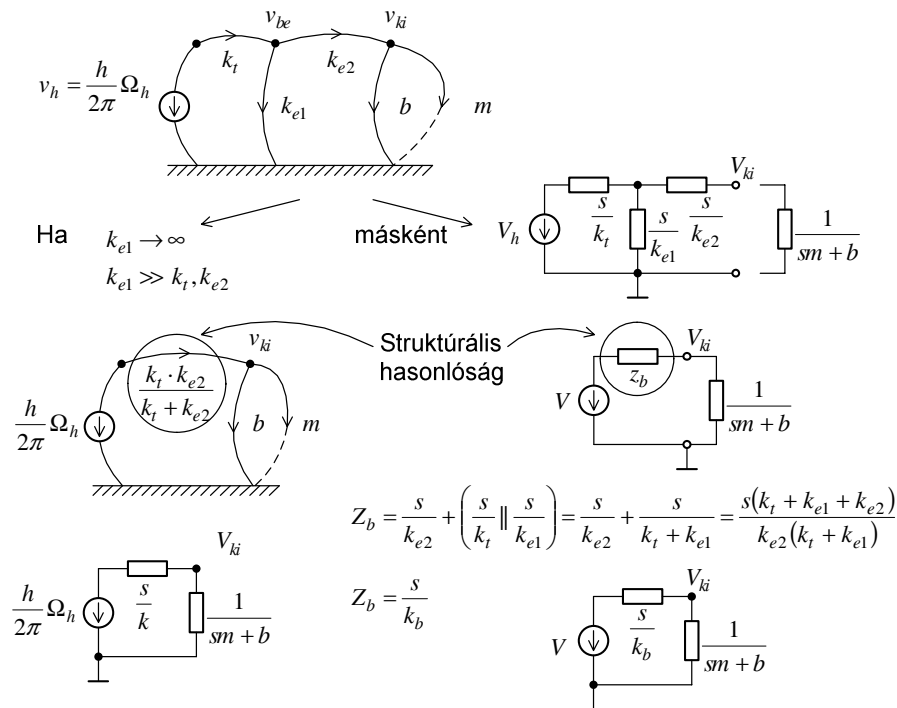
8. ábra. A szabályozástechnikai szempontból korrekt gráf

A két eltérő fizikai rendszer impedanciái (admittanciái) egymásba átszámíthatóak. Az átszámításhoz csupán az átalakító két fizikai egyenletére van szükség, amint azt a négypólus ábrán láthatjuk (2.ábra). Ha az egyenleteket az itt bemutatott módon írjuk fel, az átszámítás logikája azonnal látható:

$$Z_{transzl} = \frac{V(s)}{F(s)} = \frac{h/2\pi \Omega(s)}{|2\pi/h| M(s)} = \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 Z_{rot}$$

A forrás átszámítása is hasonló módon, a váltó fizikai egyenletének felhasználásával történik:

$$V_h(s) = \frac{h}{2\pi} \Omega_h$$



9. ábra. Az átviteli függvény meghatározása impedancia módszerrel

Az ábra jobboldali részén látható az a számítás, ami a valós tengelykapcsoló rugómerevségét is figyelembe veszi az eredő meghatározásánál. A baloldalon az orsóhoz képest merevnek tekinthető tengelykapcsoló eredő rugómerevségének számítását látjuk.

Látható, hogy mind teljesen merev, mind rugalmas tengelykapcsoló esetében struktúráját tekintve azonos dinamikai modellt kapunk. A „k” és „k<sub>b</sub>” rugómerevségek természetesen teljesen eltérő értékűek. A modellben a teljes golyósorsós rendszer, valamint a tengelykapcsoló eredő transzlációs rugómerevségét „k<sub>e</sub>”-vel jelöljük. Ez átszámítható torziós rugómerevséggé is, és így az esetleg nagyobb tehetetlenségi nyomatékú orsót is modellezni tudjuk. A mozgás-átalakító lineáris matematikai modellje a 8. ábrán látható keresztváltozó osztó felhasználásával írható fel a legegyszerűbben:

$$\frac{V_{ki}}{V_{be}}(s) = \frac{V_{ki}}{\Omega_h \frac{h}{2\pi}} = \frac{\frac{1}{sm+b}}{\frac{s}{k} + \frac{1}{sm+b}} = \frac{k}{s^2m+sb+k} = \frac{1}{s^2 \frac{m}{k} + s \frac{b}{k} + 1}$$

Az eredeti bemenőjelre felírva:

$$\frac{V_{ki}}{\Omega_h} = \frac{\frac{h}{2\pi}}{s^2 \frac{m}{k} + s \frac{b}{k} + 1} = \frac{\frac{h}{2\pi}}{s^2 T^2 + s 2\xi T + 1}$$

Az átviteli függvényben „T” az időállandó, „ξ” a csillapítási fok, és „h” a menetemelkedés. A paraméterek tartalmazzák a mozdított asztal jellemzőit is. A mechatronikai rendszerek mechanikai részegységeinek modellezése során, közismerten a csillapítások értékeinek meghatározása okozza a legtöbb problémát. Ha a rendszer nem építhető meg, és nem végezhető ellenőrző mérések, akkor a tervezés során a hasonló szerkezetek ismert paramétereivel kell becslést végezni.

Abban az esetben, ha a csillapítás nem linearizálható, és a sebességtől való függését a szabályozás pontossága érdekében figyelembe kell venni, át kell térni az állapotter modellre. A számításokat, szimulációkat ebben az esetben az időtartományban kell elvégezni. Ugyancsak ez a módszer, ha a rugómerevségek szintén nem állandó értékek, bár a deformációk mértéke oly csekély, hogy ez a szabályozás pontosságát nem tudja befolyásolni.

## IRODALOM

- [1] Szabó I. (szerk.): Gépészeti rendszertechnika, Műszaki Könyvkiadó, 1987.
- [2] Dr. A. Huba – L. Valenta - D. Paveljeva: *Dynamische Modellierung im mechatronischen Entwurfsprozess 50. Internat. Wissenschaftliches Koll., TU Ilmenau, 2005.*
- [3] Isermann: *Mechatronische Systeme*, Teubner Verl. Stuttgart 2001.

## A Robert Bosch Mechatronikai Tanszék bemutatása

### INTRODUCING THE ROBERT BOSCH DEPARTMENT OF MECHATRONICS

Dr. JAKAB Endre<sup>1</sup>, SZILÁGYI Attila<sup>2</sup>, TATÁR Sándor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>egyetemi docens, <sup>2</sup>egyetemi adjunktus, <sup>1</sup>tanszéki mérnök

<sup>1</sup> Miskolci Egyetem, Robert Bosch Mechatronikai Tanszék, <sup>2</sup>Szerszámgépek Tanszéke  
3515 Miskolc-Egyetemváros, Tel.: +36/46/565-166, Fax: +36/46/565-167  
gkmb@uni-miskolc.hu,

#### ABSTRACT

*This paper is to give a short overview about a venture-type department established in 2005 within the faculty of Mechanical Engineering and Informatics of MU in cooperation with the Bosch companies settled in the North-East region of Hungary. The activities of this department can serve as a good example for the cooperation between industrial companies and a university.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk az ipar és az egyetemek együttműködésének egy mintapéldáját, a Magyarország északkeleti régiójában megtelepült Bosch cégek támogatásával a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karán 2005-ben létrehozott, vállalkozástípusú tanszék működését, tevékenységének súlypontjait és jövőbeli terveit ismerteti.*

**Kulcsszavak:** Bosch, mechatronika

#### BEVEZETÉS

A Robert Bosch Mechatronikai Tanszék 2005. július 1-én kezdte meg működését a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karán. A tanszék létrehozásának gondolata a Bosch konzorcium és a Miskolci Egyetem magas szintű vezetőinek találkozásai nyomán alakult ki. A konkrét megvalósítás, a támogatás rendszerének kialakításában és a névhasználat kérdésében körültekintő szakmai és jogi előkészületek történtek.

*A Bosch cégcsoport és a Miskolci Egyetem közötti együttműködés célja a műszaki és tudományos ismeretek alkalmazása és bővítése a mechatronika kutatásának, oktatásának és széleskörű alkalmazásának területén, a gyakorlatorientált képzés biztosítása és a gyárak mérnökök iránti igényeinek kielégítése.*

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kara örömmel adott helyet egyetemünk campusán ennek a tanszéknek, amely a II. világháború óta az első, vállalatok által finanszírozott tanszék Magyarországon. A tanszék, a laboratóriumok létrehozását és berendezését, továbbá három éves működését nagyobb részben a régióbeli Robert Bosch Elektronika Gyártó Kft., Hatvan, Robert Bosch Power Tool Elektromos Szerszámgyártó Kft., Miskolc, Robert Bosch Energy and Body Systems Gépjárműelektromossági Alkatrész Gyártó és Forgalmazó Kft., Miskolc, Bosch Rexroth Pneumatika Gyártó és Kereskedelmi Kft., Eger, kisebb részben a Német Alapítványi Szövetség fedezi. Utána a Miskolci Egyetem veszi át a tanszék működtetését, de a szoros szakmai együttműködésre, valamint a szakképzési és innovációs keretből való támogatásra továbbra is lehetőség lesz.

## 1. A TANSZÉK TEVÉKENYSÉGÉNEK FŐ TERÜLETEI

### 1.1. Oktatás, oktatásszervezés, hallgatói kapcsolatok

#### 1.1.1. Mechatronikai mérnök képzés

A tanszék tevékenységében kiemelt feladatként szerepel a mechatronikai mérnökképzés létrehozása egy önálló szak keretein belül, amely nem előzmények nélküli. A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karán 1995-ben kidolgozott új tantervek szerinti képzésekben egyetemi és főiskolai szinten megjelent a mechatronikai szakirányú képzés, amelynek felelőse a Szerszámgépek Tanszéke lett. E képzések indításának hátterét, tapasztalatait a korábbi „szerszámgépek automatizálása” szakirányú képzés adta.

A Mechatronikai mérnök (BSc) alapképzési szak tantervét, a szak indítását a Magyar Akkreditációs Bizottság (MAB) 2006. szeptember 29-ei ülésén támogatta, a képzést 2007/2008 tanévben indítjuk. A képzésben szorosan együttműködünk a kar tanszékeivel kiemelten az Automatizálási és az Elektrotechnikai-Elektronikai tanszékkel. A mechatronikai mérnök képzésért a Robert Bosch Mechatronikai Tanszék és a Szerszámgépek Tanszéke a felelős. A tanterv a szakalapításban foglalt irányelveket követi és alapjaiban hasonló más intézmények tanterveihez. A mechatronikai mérnök (BSc) alapszak létesítési anyagának, az egységes elvek és tananyag arányok kialakításában a területen érintett felsőoktatási intézmények képviselői, így mi is, részt vettünk. A tanterv a helyi, regionális szakmai sajátosságokat is figyelembe veszi a gépészeti mechatronika szakirányú képzésben.

Az új rendszerű kétszintű képzések, benne a mechatronikai mérnök képzés megindítását a 2004-ben elnyert HEFOP -3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 sz. projekt is támogatja, amelyet főkezdvezményezettként a Győri Széchenyi István Egyetem és kedvezményezettként a Miskolci Egyetem közösen nyert el. A projekt keretében számos elektronikus tananyag kidolgozására is sor került, továbbiak kidolgozása jelenleg is folyik. A jegyzeteket a két egyetem hallgatói kölcsönösen használhatják.

A képzés számára jelentősek azok a színvonalasak tananyagok, amelyeket a Duisburg-Essen Egyetem Mechatronika Tanszék professzorai adnak át, akik a végzős és PhD hallgatóinknak előadás-sorozatot tartanak. Részképzés keretében hallgatóink az ottani kutatásokba is bekapcsolódhatnak. Ugyancsak igen értékesek a Bosch laboratóriumokkal együtt kapott elektronikus és papíralapú ismeretanyagok és azoknak szakemberekkel történt elméleti és gyakorlati feldolgozása.

#### 1.1.2 Laboratóriumi rendszer

A Miskolci Egyetem újabb korszerű laboratóriumokkal gyarapodott az északkelet-magyarországi Bosch cégek szakképzési támogatásából, amelyek a gyakorlatorientált képzést támogatják. A Robert Bosch Mechatronikai Tanszék gondozásában lévő laboratóriumok (1. ábra) feladata:

- a graduális és posztgraduális és hétvégi fakultatív képzések támogatása,
- ipari továbbképzési igények kiszolgálása.

Az egyes laboratóriumok:

- Pneumatika-hidraulika: Bosch Rexroth gyakorlóegységekkel rendelkezik.
- LD-Didactic hajtástechnika.
- Bosch-Rexroth PLC: az L40 PLC-ket 24 mintafeladatot tartalmazó szimulátor egészíti ki.
- Bosch készletek Pepperl+Fuchs szenzorokkal.
- Bosch „Doboz szerelő” mechatronikai rendszer.

Az eszközök a németországi Bosch Rexroth AG Training § Didactic-től érkeztek, a beszerzést a Bosch Rexroth Kft. végezte, amely további oktatási anyagokat adott át hidraulikából és pneumatikából.

A laboratóriumokat széleskörűen bevontuk az oktatásba, minden, a tanszékcsoporthoz tartozó oktatónak tárgyait hallgató diák már megismerhette a laboratóriumi eszközöket és azokhoz tartozó lehetőségeket.

#### 1.1.3 Hallgatói kapcsolatok

A tanszék a hagyományos képzésben ráháruló feladatok mellett készül a 2007/2008. évi szakindításra. A tanszék profiljához kapcsolódóan Bosch témájú tervezési feladatokat, szakdolgozatokat és diplomaterveket, tudományos diákköri munkát irányítunk. Segítjük a hallgatók szakmai gyakorlatainak szervezését, elhelyezkedését a Bosch cégnél.



Hidraulika-pneumatika



Hajtástechnika



PLC



Szenzortechnika



Mechatronikai rendszer

1. ábra  
Bosch laboratóriumok

## 2. KUTATÁS, FEJLESZTÉS (K+F)

A tanszék létezésének alapja 3 évig a kutatási és fejlesztési (K+F) munkák végzése elsősorban a régióbeli Bosch cégek számára, amelyet a cégek az innovációs alpból finanszíroznak. A kezdetben kisebb volumenű és gyakorlatias munkákat mindinkább felváltják a hosszabb időtartamú és innovációs megoldások kidolgozását igénylő feladatok, amelyek kidolgozásában a Gépészmérnöki és Informatikai Kar más tanszékeinek munkatársai, és a hallgatók is közreműködnek. A Bosch cégek témáin három PhD hallgató dolgozik, kettő közülük tanszéki mérnöki beosztásban. Az eredményes K+F munkák végzése teremtheti meg azt az alapot, hogy majdan az állami keretek közé visszatérő tanszék azután is megbízásokat kaphasson. A kutatási témák a gyárak profiljához kapcsolódnak, pl. rezgésdiagnosztikai vizsgálatok, karbantartás és gépdiaosztika, indítómotor fejlesztés, elektromos kéziszerszámgépek aktuátorai és energiamenedzsmentje.

## 3. TOVÁBBI FELADATOK

A Robert Bosch Mechatronikai Tanszék a megalapításától eltelt időszakban teljesítette azokat az elvárásokat, amelyeket az alapító dokumentumokban fogalmaztak meg. A tanszéképítő tevékenységet folytatjuk, az időarányos teljesítés mellett sok feladat megoldása várat még magára. A kutatásban az innovációs megoldások részarányának növelése, további munkák megalapozása, stabil munkacsoportok létrehozása és egyre több hallgató bevonása a cél. Fontos, hogy PhD hallgatók kutatása egybeessen az ipari feladatokkal. A laboratóriumok számítástechnikai eszközeit tovább kell fejlesztenünk. A laboratóriumokból hiányzó egyes építőmodulok beszerzése napirenden van. A laboratóriumi képzések tematikus körét és a képzések számát fokozatosan bővítjük és ajánljuk az ipari szakembereknek.

Az okleveles mechatronikai mérnök képzés tanterveinek kidolgozását megkezdtük és szeretnénk elérni a 2007. évi akkreditációt.

A régióbeli Bosch cégekkel való együttműködés jó példa arra, hogy az ipari támogatás hogyan segíti egy új diszciplína széleskörű meghonosítását, a számukra szükséges szakemberképzést, a végzett mérnökök ipari, termelési feladatokba való gyors bekapcsolódását, a kutatási-fejlesztési háttér megerteremtését, a kapacitások kiszélesítését.

Ezúton mondunk köszönetet mindenkinek, akik a projekt létrejöttét segítették és támogatták, továbbá azoknak a kollégáknak, akik a megvalósításban részt vesznek.



## Gázelszívó rendszer számítógéppel segített tervezése optimálási eljárások alkalmazásával

### CAD OF GAS-EXHAUSTING PIPE-LINE SYSTEM USING OPTIMIZATION METHODS

Dr. KALMÁR László<sup>1</sup>, Dr. JANIGA Gábor<sup>2</sup>, Dr. SZABÓ Szilárd<sup>3</sup>

<sup>1</sup>egyetemi docens, <sup>2</sup>PhD, <sup>3</sup>professzor

<sup>1,3</sup> Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke,  
3515 Miskolc-Egyetemváros, Tel.: +36/46/565154, Fax: +36/46/565471,  
aramka@uni-miskolc.hu, aram2xsz@uni-miskolc.hu,

<sup>2</sup> "Otto-von-Guericke" Universität Magdeburg, Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik,  
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Tel.: +49/391/ 67-18 196, Fax: +49/391/ 67-12 840,  
gabor.janiga@vst.uni-magdeburg.de

#### ABSTRACT

*This paper describes the numerical procedure to analyze the gas flow in a quasi one-dimensional gas-exhausting pipe-line system. Using this solution procedure two different optimization methods, the paper shows the feasibility of using mathematical optimization methods to determine the optimal geometrical data of the exhausting pipe-line system which satisfies the condition of the minimal energy utilization. The applied optimization methods are: Dynamic-Q and Genetic Algorithm. The calculated results based on these two optimization procedures are also compared in this paper.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Jelen cikkben egy numerikus eljárást mutatunk be, amely egy kvázi egydimenziós gázelszívó csőrendszerben kialakuló gázáramlás leírására szolgál. Két különböző optimálási eljárásba beépítve a módszert, bemutatásra kerül, hogy hogyan lehet matematikai optimálási módszerrel meghatározni egy elszívó csővezetékrendszer minimális energiafelhasználást biztosító optimális geometriai adatait. Az alkalmazott optimálási eljárások a Dynamic-Q és a genetikus algoritmus. A cikkben összehasonlításra kerülnek a két módszerrel meghatározott számítási eredmények.*

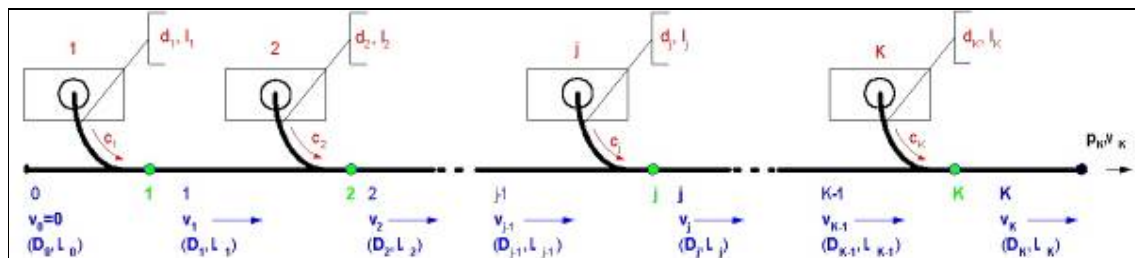
**Kulcsszavak:** optimálás, gázelszívó rendszer, Dynamic-Q módszer, genetikus algoritmus

#### BEVEZETÉS

Por és gázelszívó rendszerek tervezésekor több, részben egymásnak ellentmondó feltételnek kell megfelelni. Az alapkérdés a keletkezett szennyezőanyag elszívása. Az viszont, hogy ezt milyen költségek (beruházási és üzemeltetési) árán, az áramlástan szempontból járulékos kérdés. A beruházás szempontjából minél kisebb csőhosszak és átmérők a kedvezőek. Ugyanezen irányba hat az a kíváncsóság, hogy lehetőleg kellően nagy sebességek legyenek a csövekben, hogy a lerakódást elkerüljük. Ellentétes szempont viszont, hogy a csőátmérő csökkenésével rohamosan nő a vezeték hidraulikai ellenállása, s így a kellő elszíváshoz tartozó üzemeltetési költség is. A különböző feltételek és szempontok közötti eligazodást támogatják az optimálási eljárások. Ezeket beillesztve az elszívóvezeték tervezési folyamatába segítik a tervezőt a legoptimálisabb paraméterkombináció kiválasztásában. Jelen esetben célunk ezért az volt, hogy egy elszívórendszer gyűjtővezetékének az átmérőit meghatározzuk úgy, hogy biztonságos üzemvitel mellett a rendszer működtetéséhez a lehető legkisebb hidraulikai teljesítményigény jelentkezzen.

## 1. AZ ELSZÍVÓ RENDSZER FELÉPÍTÉSE

A szóban forgó elszívórendszer vázlatát az 1. ábrán tüntettük fel. Ez egy soros elszívó-rendszer, ahol  $K$  darab azonos kialakítású munkahelyen keletkező (pl.: por, füstgáz, stb.) szennyeződés elszívása egy vízszintes elrendezésű úgynevezett gyűjtővezetékén át úgy történik, hogy a munkahelyek felett elhelyezett elszívó ernyőt követően az elszívott gáz az elszívó vezeték segítségével kerül a gyűjtővezetékbe. Számításaink során feltételezzük, hogy az elszívó vezeték gyűjtővezetékhez történő  $\alpha$  becsatlakozási szöge azonos és a munkahelyeken uralkodó  $p_0$  környezeti nyomás értéke sem különböző. Az elszívó vezeték hidraulikai veszteségeit egy egyenértékű csőhossz segítségével vesszük figyelembe. Feltételezzük továbbá, hogy a legelső (nullás indexű) gyűjtővezeték szakasz zárt.



1. ábra

Az elszívórendszer felépítése

Az elszívó rendszert és annak üzemét jellemző geometriai jellemzők az alábbiak:

$K$  : a munkahelyek darabszáma,

$\alpha$  : az elszívó vezeték becsatlakozás szöge,

$d_j$  : az elszívó vezeték átmérője ( $j = 1, \dots, K$ ),

$l_{je}$  : az elszívó vezeték egyenértékű csőhossza ( $j = 1, \dots, K$ ),

$D_j$  : a gyűjtő vezeték átmérője ( $j = 0, \dots, K$ ),

$L_j$  : a gyűjtő csővezeték szakasz hossza ( $j = 0, \dots, K$ ),

$k$  : a rendszerben alkalmazott csövek érdességi mérőszáma.

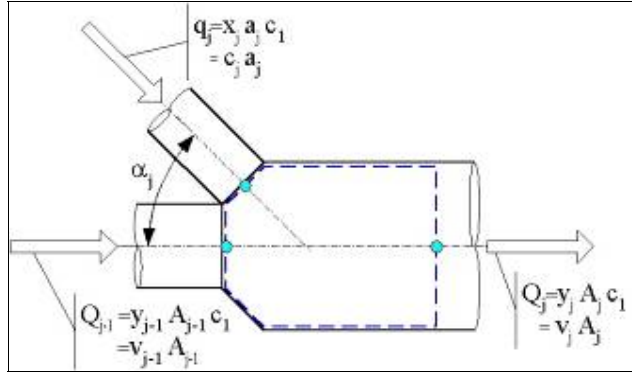
## 2. A SZÁMÍTÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEK ELŐÁLLÍTÁSA

Az elszívó rendszer geometriai és áramlási paramétereinek közötti összefüggések meghatározása szükséges az optimálási eljárások működtetéséhez. Ezért itt összefoglaljuk a szükséges képleteket. Az összefüggések részletes előállítását a [9] közleményben megtalálhatjuk.

### 2.1. A keveredés hidraulikai veszteségének meghatározása

A 2. ábra az előzőekben vázolt elszívó rendszer  $j$ -ik sorszámú csatlakozását vázolja a számítás során alkalmazott jelölések megadásával.

Itt  $q_j$  és  $Q_{j-1}$  a térfogatáramokat,  $c_j$  és  $v_{j-1}$  az átlagsebességeket,  $a_j$  és  $A_{j-1}$  pedig keresztmetszetek értékeit jelölik a belépő keresztmetszetekben,  $Q_j$ ,  $v_j$  és  $A_j$  pedig sorban ugyanezeket a jellemzőket a kilépő keresztmetszetre vonatkozóan adja meg. A számítások során a két belépő keresztmetszetben kialakuló statikus nyomás értékét közelítőleg azonosnak vesszük és  $p_e$ -vel, a kilépő keresztmetszetben kialakuló nyomást pedig  $p_j$ -vel jelöljük.



2. ábra

Az elszívórendszer csomópontjainak adatai

A főági és az oldalági belépésre felírva a Bernoulli egyenletet, valamint az elágazásra az impulzus tételt és a kontinuitási törvényt is felírva a veszteségtényezők számítására az alábbi kifejezések adódnak:

- o oldalági belépésre:

$$\zeta_{j_o} = 1 + \left[ \left( \frac{A_j}{a_j} \right)^2 - 2 \frac{A_j}{a_j} \cos \alpha_j \right] \pi_j^2 - 2 \frac{A_j}{A_{j-1}} (1 - \pi_j)^2, \quad (2.1)$$

- o főági belépésre:

$$\zeta_{j_f} = 1 + \left[ \left( \frac{A_j}{A_{j-1}} \right)^2 - 2 \frac{A_j}{A_{j-1}} \right] (1 - \pi_j)^2 - 2 \frac{A_j}{a_j} \cos \alpha_j \pi_j^2, \quad (2.2)$$

ahol  $\pi_j = \frac{q_j}{Q_j} = \frac{c_j a_j}{v_j A_j}$  az oldalági belépő, valamint a gyűjtővezetéken kilépő térfogatáramok aránya.

## 2.2. A számítási összefüggések összefoglalása

Vezessük be az oldalági, illetve gyűjtővezetékekben kialakuló  $x_j = \frac{c_j}{c_1}$  és  $y_j = \frac{v_j}{c_1}$  dimenziótlan sebességeket, valamint az alábbi jelöléseket:

$$\alpha_j = \Lambda_{j_o} + (\zeta_{j_o} - \zeta_{j_f}) \left( \frac{a_j}{A_j} \right)^2, \quad (2.3)$$

$$\beta_j = (\zeta_{j_o} - \zeta_{j_f}) \frac{a_j}{A_j} \frac{A_{j-1}}{A_j} y_{j-1}, \quad (2.4)$$

$$\gamma_j = \left[ \zeta_{j-1_o} + \Lambda_{j-1_f} - (\zeta_{j_o} - \zeta_{j_f}) \left( \frac{A_{j-1}}{A_j} \right)^2 \right] y_{j-1}^2 + \Lambda_{j-1_o} x_{j-1}^2, \quad (2.5)$$

$$\Lambda_{j_o} = \lambda_j \frac{l_{j_o}}{d_j}, \quad \Lambda_{j_f} = \lambda_j \frac{l_{j_f}}{D_j}. \quad (2.6)$$

A csősúrlódást a (2.6) jelölésben szereplő  $\lambda$  csősúrlódási tényezővel vesszük figyelembe, mely érdes cső esetén a  $k$  érdességi szám függvénye. A fenti jelölések felhasználásával az alapösszefüggés – amely a csővezeték megfelelő szakaszaira felírható súrlódásos Bernoulli egyenletek és a kontinuitási törvények felhasználásával állítható elő – az alábbi [9]:

$$\alpha_j x_j^2 + 2 \beta_j x_j - \gamma_j = 0. \quad (2.7)$$

A (2.7) egyenlet a  $x_{j-1}$  és  $y_{j-1}$  dimenziótlan sebességek, valamint a  $\Lambda_{j_0}$ ,  $\zeta_{j_0}$ ,  $\zeta_{j_j}$ ,  $a_j$ ,  $A_j$ ,  $A_{j-1}$ ,  $\Lambda_{j-1_j}$ ,  $\Lambda_{j-1_0}$  és  $\zeta_{j-1_0}$  jellemzők ismeretében a  $x_j$  dimenziótlan sebességre nézve egy másodfokú algebrai egyenletet jelent.

Az  $x_j$  és  $y_j$  dimenziótlan sebességekre vonatkozó fent bevezetett összefüggéseket és a kontinuitást felhasználva az

$$y_j = \frac{A_{j-1}}{A_j} y_{j-1} + \frac{a_j}{A_j} x_j, \quad (2.8)$$

dimenziótlan sebesség az  $x_j$  és  $y_{j-1}$  ismeretében számítható. A dimenziótlan sebességek felhasználásával a nyomástényező is meghatározható:

$$\bar{p}_j = \frac{p_o - p_j}{\rho \frac{c_1^2}{2}} = (1 + \zeta_{j_0}) y_j^2 + \Lambda_{j_0} x_j^2. \quad (2.9)$$

A teljes elszívó csővezeték rendszer jelleggörbéjének  $K_Q$  együtthatója – a számítás végrehajtása során már meghatározott jellemzők felhasználásával – a

$$K_Q = \frac{\rho}{2} \frac{\bar{p}_K}{y_K^2 A_K^2} \quad (2.10)$$

összefüggéssel számítható. Ezzel előállítottuk a számítás numerikus végrehajtásához szükséges összes kifejezést. A  $j$ -ik csomópontoz tartozó  $x_j$ ,  $y_j$  és  $\bar{p}_j$  áramlási jellemzők a  $(j-1)$ -ik csomópontban érvényes értékek ismeretében sorban a (2.7), (2.1), (2.2), (2.8) és (2.9) kifejezések alapján számíthatók.

A fentiekben túlmenően nagyon fontos meghatározni az elszívó rendszer működtetéséhez szükséges teljesítmény értékét. A ventilátor hasznos teljesítménye a szállított gáz térfogatárama és a kialakuló depresszió ismeretében a  $P_h = Q \Delta p$  összefüggés szerint határozható meg, amely a vizsgált elszívó rendszerre fentiekben leírtak szerint rendelkezésre álló jellemzők felhasználásával is előállítható:

$$P = \frac{\rho}{2} c_1^3 y_K A_K \bar{p}_K. \quad (2.11)$$

### 3. A CSŐÁTMÉRŐK OPTIMÁLÁSA

A 2. pontban leírt összefüggések felhasználásával egy példán keresztül mutatjuk be az optimálási módszerek alkalmazásának lehetőségét az elszívóvezetékek tervezésekor. A példában az 1. ábrának megfelelő elszívó rendszert vizsgálunk. Az elszívóernyők, és így az elszívóvezetékek száma  $K = 7$ , és teljesen azonos kialakításúak, de átmérőik az áramlás irányában rendre némileg kisebbek, a bennük szereplő szerelvények veszteségeit is figyelembe vevő egyenértékű csőhosszaik viszont azonosak. A gyűjtővezetékek átmérője az áramlás irányában a szokásos módon folyamatosan nőnek.

A geometriai adatokat az 1. táblázatban foglaltuk össze. Feladatunk a  $D_j$  átmérők ( $j = 2 \div K = 7$ ) értékének korrigálása (az 1. táblázatban kövér betűkkel kiemelve) úgy, hogy minimális (2.11) kifejezés szerinti teljesítmény kelljen az elszívás létrehozásához, miközben az elszívás egyéb feltételeit is figyelembe vesszük. E kiegészítő feltételek:

- Az első gyűjtőcső-szakasz átmérője adott és egyenlő az első elszívócsőjével, azaz:  $D_1 = d_1 = 0.290m$ .

- Az első csőben előírjuk a biztonságos elszíváshoz tartozó légsebességet, azaz  $c_1 = 18m/s$ -ot.
- A gyűjtővezeték hossza mentén az áramlás irányában az átmérőcsökkenést és a sebességcsökkenést nem engedjük meg a lerakódások elkerülésére, azaz a mellékfeltételek:

$$D_{j+1} \geq D_j, v_{j+1} \geq v_j, j = 1 \div K - 1.$$

Az optimalálás kiinduló adatrendszere

1. táblázat

$j$	$l_{j_c} [m]$	$d_j [m]$	$L_j [m]$	$D_j [m]$
1	30.6	0.290	5.4	0.29
2	30.6	0.285	7	<b>0.40</b>
3	30.6	0.280	7	<b>0.45</b>
4	30.6	0.275	7	<b>0.50</b>
5	30.6	0.270	7	<b>0.55</b>
6	30.6	0.265	7	<b>0.60</b>
7	30.6	0.260	13.5	<b>0.65</b>

A továbbiakban két eltérő optimáló módszert mutatunk be a gyűjtővezeték átmérők korrigálására.

### 3.1. Megoldás a Dynamic-Q optimáló módszerrel

Az egyik alkalmazott módszer a *Dynamic-Q* optimáló módszer [1,2,3]. E módszer fő jellegzetességei:

- ◆ A Dynamic-Q algoritmus az SQSD algoritmus mellékfeltételi előírásokkal kibővített változata.
- ◆ A módszer lényege, hogy mind a célfüggvényt, mind pedig a mellékfeltételi függvényeket másodfokú, helyi közelítésekkel helyettesíti.
- ◆ A mellékfeltételi előírásokat úgynevezett büntetőparaméteres technikával kezeli.
- ◆ Az LFOPC algoritmust alkalmazza az összetett büntetőfüggvény minimalizálására.
- ◆ Az első deriváltak (gradiensek) közelítése elsőrendű, előrelépő differencia módszer segítségével történik, a függvényértékek felhasználásával.

A módszert korábban sikeresen alkalmaztuk csarnokszellőztetési probléma megoldására [4].

Az optimáló módszernek az adott feladatra való illesztésekor az alábbi összefüggéseket alkalmaztuk:

- A változók száma  $N = 6$ .
- A változók a korrigálandó átmérők, azaz:  $x_i = D_{i+1}$ ,  $(i = 1 \div N)$ .
- A célfüggvény, aminek a minimumát keressük, az a működtetéshez szükséges teljesítmény:

$$f(x_i) \approx P = \frac{\rho}{2} c_1^3 y_K A_K \bar{p}_K, (i = 1 \div N). \quad (3.1)$$

- Az átmérőkre és a sebességekre vonatkozó egyenlőtlenségi feltételek:

$$g_n(x_i) \leq 0, n = 1 \div 2N, \quad (3.2)$$

ahol:

$$g_1 = D_1 - x_1; g_n = x_{n-1} - x_n, (n = 2 \div N); g_n = v_{n-N} - v_{n+1-N}, (n = N + 1 \div 2N). \quad (3.3)$$

- A Dynamic-Q eljárásban szereplő büntetőfüggvény így:

$$p(x_i) = f(x_i) + \sum_{n=1}^m \alpha_n g_n^2(x_i), \quad (3.4)$$

ahol:

$$\alpha_n = \begin{cases} 0, & \text{ha } g_n(x_i) \leq 0 \\ \rho_n = \text{minden } n \text{ esetén egy kellően nagy szám, ha } g_n(x_i) > 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

Az itt ismertetett eljárással kapott átmérőket és a célfüggvény értékeit a másik módszerrel kapott adatokkal közösen a 3. táblázat tartalmazza. A táblázatban feltüntettük a változtatás előtti rendszeradatokat is.

### 3.2. Megoldás genetikus algoritmussal

A genetikus módszerek a darwin-i evolúciós elmélettel rokon módon próbálják az optimális megoldást megtalálni. A módszer egy iterációja során a döntési változókat vagy más néven géneket különféle műveletekkel módosítjuk az új egyedek létrehozásához [5].

A módszert az OPAL (*OPTimization ALgorithms*) [6] programcsomag részeként alkalmaztuk a csővezetékrendszer megfelelő átmérőinek megtalálásához. Az itt alkalmazott eljárás a Fonseca and Fleming [7] által javasolt lebegőpontos elven alapszik.

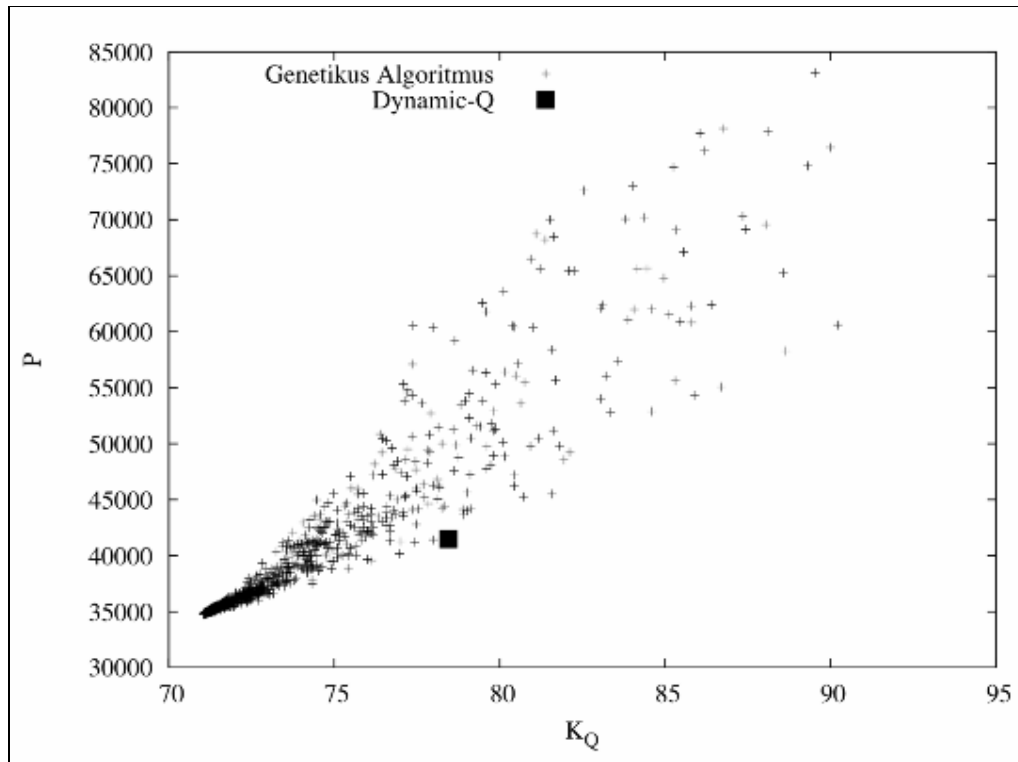
Az előző szakaszban egy célfüggvényt alkalmaztunk, azonban a gyakorlatban gyakorta több célfüggvényt kell egyidejűleg szem előtt tartani. Az evolúciós módszerek közül a genetikus módszer alkalmas a probléma több célfüggvénnyel történő vizsgálatára is. Ezért a (2.11) összefüggés szerinti  $P$  teljesítményen kívül a (2.10) kifejezés szerinti  $K_Q$  csővezeték ellenállástényezőt is minimalizálni kívántuk, azaz a csővezeték ellenállásának minimumára törekedtünk. A 6 bemenő paraméter, a csővezeték szakaszok átmérője több vizsgálatot követően a  $0.3 \div 0.5m$ ,  $0.4 \div 0.6m$ ,  $0.45 \div 0.65m$ ,  $0.5 \div 0.7m$ ,  $0.55 \div 0.8m$  és  $0.6 \div 0.9m$  tartományban került rögzítésre. A számításoknál alkalmazott paramétereket a 2. táblázat tartalmazza. A módszer részletes leírása a [8] közleményben található.

Az alkalmazott genetikus módszer paraméterei 2. táblázat

Paraméter	Érték
Populáció mérete	100
Generációk száma	100
Túlélési valószínűség	20 %
Átlagolás valószínűsége	40 %
Keresztezés valószínűsége	40 %
Mutáció valószínűsége	100 %
Mutáció nagysága	99 %*

\* A fenti értéket minden iterációban 0.95-tel szorozzuk, ezzel csökkentve a mutáció kiterjedését a populáció stabilitásának érdekében.

A 9000 számítási eredmény közül 1056 felelt meg a (3.2, 3.3) 12 darab egyenlőtlenségi feltételnek. A genetikus algoritmussal kapott megoldásokat a két célfüggvény koordináta-rendszerében a 3. ábra mutatja. Az ábrán jól látszik, hogy a lehetséges megoldások a generációk számának növekedésével egy minimum értékhez, a megoldásfelhő „hegyéhez” sűrűsödnek. A teljesítményminimumhoz tartozó átmérőket, a célfüggvény értékeit a 3. táblázatban foglaltuk össze.



3. ábra

A genetikus algoritmussal kapott megoldások a két célfüggvény koordináta-rendszerében

### 3.3. Az optimáló módszerekkel nyert eredmények összehasonlítása

A két optimáló eljárással kapott átmérőket és célfüggvényeket a 3. táblázatban foglaltuk össze. A 3. ábrába bejelöltük a Dynamic-Q eljárással kapott eredményt is. Az eredmények elemzése alapján megállapítható, hogy a jelenlegi rendszer 47265W -os működtetési teljesítményigényéhez képest a Dynamic-Q módszerrel kapott megtakarítás 12.3%, míg a genetikus algoritmussal 26.5%. A két módszerrel nyert adatrendszert részletesen elemezve megállapítható, hogy a Dynamic-Q eljárással adódó megoldás esetén a gyűjtővezetékben az áramlás egyenletesebb, mint a genetikus algoritmussal kapott geometria esetén, tehát a lerakódásveszély kisebb. Így mindkét megoldás hordoz olyan előnyöket, amelyet a másik nem, de mindkettő lényegesen jobb, mint az eredeti kiinduló állapot. Az optimáló eljárásokat tehát eredményesen lehet alkalmazni csővezetékrendszer optimális kialakításához.

A számítások eredményei

3. táblázat

	Jellemzők	Optimálás előtti adatok	Optimálással kapott értékek	
			Dynamic-Q	Genetikus algoritmus
változók	$x_1 = D_2 [m]$	0.40	0.405	0.406
	$x_2 = D_3 [m]$	0.45	0.480	0.496
	$x_3 = D_4 [m]$	0.50	0.530	0.572
	$x_4 = D_5 [m]$	0.55	0.552	0.637
	$x_5 = D_6 [m]$	0.60	0.630	0.695
	$x_6 = D_7 [m]$	0.65	0.680	0.745
célfüggvények	$P [W]$	47265	41473	34749
	$K_Q [Pa/(m^3/s)^2]$	82.94	(78.45)	71.05
teljesítményigény csökkenése [%]		-	12.3	26.5

**KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:**

A szerzők köszönetet mondanak az OTKA-nak (T 42781) a kutatás támogatásáért. A nemzetközi együttműködést a DAAD-MÖB 2005-2006/34 Német-magyar kutatócsere program támogatta. G. Janiga köszönetet mond Dr. R. Baronnak az OPAL program rendelkezésre bocsátásáért és szakmai segítségéért.

**HIVATKOZÁSOK**

- [1] Snyman, J. A., 2005: **Practical Mathematical Optimization: An introduction to basic optimization theory and classical and new gradient-based algorithms**, Springer, Berlin / Heidelberg.
- [2] Snyman, J. A., Hay, A. M., 2002: **The Dynamic-Q optimization method: An alternative to SQP?** Computers & Mathematics with Applications, Vol. 44, pp. 1589-1598.
- [3] Snyman, J. A., 1982: **A new dynamic method for unconstrained minimization**, Applied Mathematical Modelling, Vol. 6, pp. 449-462.
- [4] Gyulai, L., Szabó, Sz., De Kock, D.J., Snyman, J. A., 2006: **Optimal adjustment of the number of air changes of a smelter pot room by using mathematical optimization**, Journal for Structural and Multidisciplinary Optimization Vol. 32, pp. 409-421.
- [5] Michalewicz, Z., 1996: **Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs**, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [6] Baron, R., 2002: **Calcul et Optimisation de Brûleurs Laminaires Industriels**, PhD Thesis, École Centrale Paris, France, 2002-37.
- [7] Fonseca, C. M., Fleming, P. J., 1993: **Genetic algorithms for multiobjective optimization: Formulation, discussion and generalization**, Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms, San Mateo, CA, pp. 416-423.
- [8] Hilbert, R., Janiga, G., Baron, R., Thévenin, D., 2006: **Multiobjective shape optimization of a heat exchanger using parallel genetic algorithms**, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 49, pp. 2567-2577.
- [9] Kalmár, L., Janiga, G., Szabó, Sz., 2007: **Optimization of iso-thermal flows in gas-exhausting pipeline systems**, Proc. MicroCAD International Computer Science Conference, 2007, No. Section E, pp. 81-94.



# Funkciómegoldások fejlődési lehetőségei a mozgásleképezésben

## EVOLUTION POSSIBILITIES OF FUNCTION-SOLUTIONS IN MOVEMENT-IMAGE

Dr. KAMONDI László PhD.

egyetemi docens  
Miskolci Egyetem, Gépelemek Tanszéke,  
H-3515 Miskolc-Egyetemváros, machkl@uni-miskolc.hu

### ABSTRACT

*The recognised functions and those that are taking part in the realisation process are mainly the representation of different movements, while developing dynamic technical products. According to these movements the energy transport can be realised. The components of the transmission (movement, different stresses) determine the activity-element and transformation that can be described as a function. The aim of this paper is to describe the functional basic of the linear- and revolving movements –or even the combination of these movements–, how the evolutional possibilities can be ensured.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A dinamikus műszaki termékek fejlesztésénél a felismert és a megvalósításban résztvevő funkciók egy jelentős része a mozgásleképezések megvalósítását jelenti. A mozgások révén valósul meg a rendszeren belül az energiatranszport. Az átvitel komponensei (mozgás- és terhelésformák) határozzák meg a funkcióban bevalósítandó tevékenységelemet és transzformációt. A tanulmány arra kíván rámutatni, hogy a lineáris- és forgó vagy akár ezek kombinációja milyen funkció-megoldási alapokról indulhat ki, ezek hogyan írhatók le azzal a céllal, hogy biztosítható legyen megoldások fejlődési lehetősége.*

**Kulcsszavak:** Funkció, struktúra, megoldás-variáció, mozgásformák, mozgás-átalakítás

### 1. MŰSZAKI TERMÉKEK, MINT RENDSZEREK

A társadalmi fejlődés juttatta a termékvilág elemeit arra a szintre, hogy reális igényeket tudjanak kielégíteni. Az igényeket a kulturális fejlődés és az élő természet, benne az alkotó emberek együttesének kölcsönhatása motiválja. A termékvilágnak, a tárgyakban, az épített környezetben realizált gondolati képét jelentős szegmensként a műszaki termékek jelentik, melyek egyrészt az emberek mindennapi életét meghatározzák, mint emberközeli termékek, másrészt, mint technológiákat megvalósító gyártó- és megmunkáló gépek vannak jelen.

Az igény elvárta termék az emberi alkotó (konstrukciós) tevékenység által válik reális valósággá. A realitás ebben az értelemben azt jelentheti, hogy az igény által generált első fogalmi reprodukció, majd az azt követő pontosítások tárgyiasult terméket eredményeznek.

Az első felismerések az elhatárolható rendszeren belül komponenseket tételeznek fel, melyek a belső kölcsönhatásaik révén a termékben megvalósítandó funkciókat generálják. E funkciók az irányultságuk alapján, hatáselvekre épülve válnak valóságossá.

A műszaki termékek valós elvekre épülve teljesítik funkcióikat. A funkciók egy dinamikus rendszerben az energia transzport jelenlétét tételezik fel, mely mindig a komponensei révén nyilvánul meg, vagy elemezhető valójában.

### 1.1. A rendszer működési elvének előállítása

A műszaki termékek fejlesztési folyamatának a klasszikus módszerek szerint egy szekvenciális lépéssorozatot kell követnie, melybe jellemző csomópontok (döntési pontok) épülnek be. A csomópontok valamilyen kritérium-rendszer szerinti szelektálást jelentenek az éppen aktuális szegmensben generált megoldási lehetőségek között [1].

A szekvenciális fejlesztési (alkotási) folyamatnak is van azonban olyan tevékenységkör hármasa, mely független az alkalmazott módszertantól, azok sajátosságaitól. A tevékenységkörre (1. ábra) jellemző, hogy tartalmazza:

- A létrehozandó termék felismerését, a létrehozásra irányuló feladat megfogalmazását, a versenyelőnyök és az érvényesítendő szabályrendszer rögzítését.
- A megoldásra irányuló elvi megoldást, működési elvet, mely figyelembe vette a feladat megfogalmazását és a szabályrendszert a versenyelőnyök érvényesítésével.
- A termék reprodukálásához szükséges dokumentáció kidolgozását.



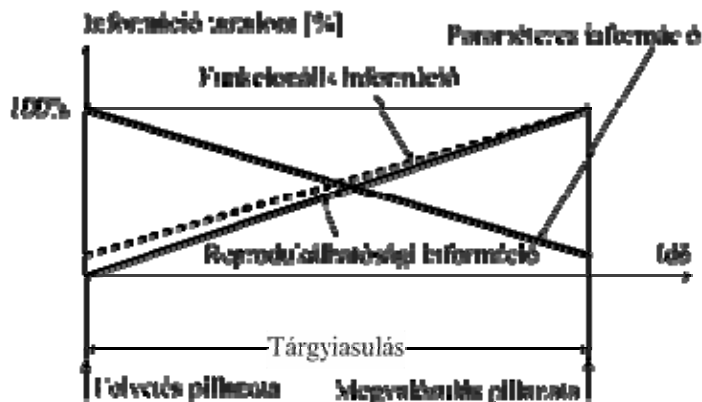
1. ábra

A termék alkotási folyamatának tevékenység-hármasa

### 1.2. Az információtartalom változása a tárgyiasult termék létrehozásáig

A termék a fejlesztési folyamatban folyamatosan fejlődik, információ tartalma változik. Az információtartalom a rendszerre jellemző szabad paraméterek mennyiségét, az értelmezett és alkalmazott funkciók számát, a reprodukálhatóság mértékét jelöli [2, 3].

A termékre vonatkozó elképzelés felmerülésekor, az elképzelés első intuíción pillanatában (1. ábra) az emberi elme megalkotja az első képi lenyomatot. Ez az elképzelés a lehetséges rendszer elemek egy megközelítő szerveződését mutatja, mely rendelkezik reális funkcióval, ill. funkciókkal (2. ábra).



2. ábra

Információtartalom mértéke a megoldáskeresés folyamatában

Az elemek, a belőlük leképezhető komponensek sajátosságokkal rendelkeznek. A sajátosságok mögött paraméterek húzódnak meg, melyeknek száma komponensbe szerveződés esetén csökken. A komponenseket az elemek egy meghatározott kapcsolatrendszere határozza meg, melyben az elemek elvesztik paramétereiket. Az elemek kapcsolatrendszere a lehetséges funkciókat definiálja.

Az induló 0 - rendszer rendelkezik felismert funkciókkal. A funkciók száma a tárgyasulás irányába haladva nő (eltűnik, szaporodik). A szabad paraméterek száma csökken.

A tárgyasulási folyamat kezdetén (a felvetés pillanata) a terméknek még nincs meg az a képessége, hogy reprodukálható legyen. Abban a pillanatban, amikor a funkciók versenyében (az ismérvszámot ezt egyértelműen leképezi) a szabályrendszer szerint, az elemek és komponensek közötti kapcsolat rögzítődik, a termék eléri a reprodukálhatósági szintjének maximumát.

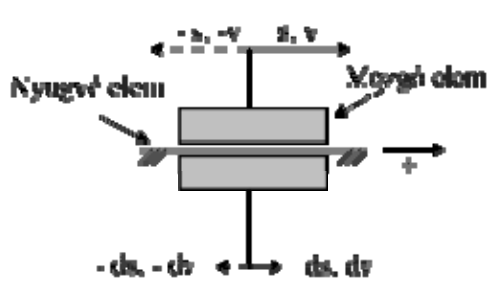
A szabályrendszer megváltozása érinti a reprodukálhatósági szintet. Ilyen esetben a funkciók újraszerveződését, vagy erősség elvű érvényesülését kell figyelni. (Pl. forgó mozgás lineárisba történő leképezésénél erősebb funkcionális ismérvszám az egyszerű leképezés mellett a holtjáték-mentesség, vagy tovább menve, pluszként a visszaállási pontosság.

## 2. Mozcásleképezés általánosítása

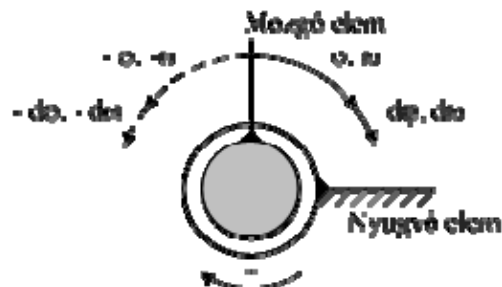
A mőszaki rendszerek komponenselvő felépőlésekor megfigyelhető, hogy vannak olyan alkomponensek, melyek a rendszer elemiből felépíthetők és adott funkcióként definiálhatók. Az energiaátvitellel rendelkező rendszerekben az elemek egy kombinációk együttállása speciális mozgás leképezést is eredményezhet. A mozgás leképezések lehetséges esetei az alapmozgásokat alapul véve

- lineárisból forgó,
- forgóból lineáris,
- forgóból forgó,
- lineárisból lineáris lehet.

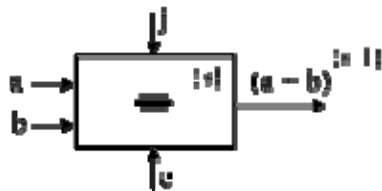
Az egyes mozgásformák időbeni változását, ill. kombinációkat itt nem vesszük figyelembe. Az alapmozgások paraméterrendszerét a 3. és 4. ábra szemlélteti, figyelembe véve a szabadságfokok által meghatározott lehetőségeket.



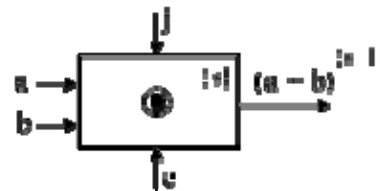
3. ábra  
Lineáris mozgás



4. ábra  
Forgó mozgás



a)



b)

5. ábra

Mozgásformákat meghatározó komponensek

Az alapmozgások értelmezése szerint a rendszer építőelemeiből egy nyugvó és egy álló elemet kiválasztva, azokat egymáshoz kapcsolva olyan komponens képezhető, mely 1 szabadságfokkal rendelkezik. A szabad szabadságfok eddig ismeretlen elem-együttessel (új komponens) lekőthető. Ez a lekötés a mozgás energiaigényét elégíti ki. Ez egy formalizmussal is leírható (5. ábra). A bemeneti elemek paraméterrendszerét, melyek egymással kapcsolódásba lépnek,  $(a, b)$  írja le. A rendszer energia bevétel  $(e)$  révén kerül mozgási állapotba  $(j)$  jel hatására. A kimenet egymáshoz kapcsolt  $(a+b)$  elemeket jelez 1 szabadságfokkal, melyet a bevitt energia köt le. Az értelmezett funkciók leírhatók az

(1) függvénykapcsolattal. A változók az elemek és elemkapcsolatok paraméterrendszerét, így a funkció általános transzformációját írják le [4, 5,].

$$(\mathbf{a} + \mathbf{b})^{(s)} = \mathbf{f}(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{e}, \mathbf{j}; \hat{\mathbf{f}}_{(a,b)}, \hat{\mathbf{f}}_e, \hat{\mathbf{f}}_j) \quad (1)$$

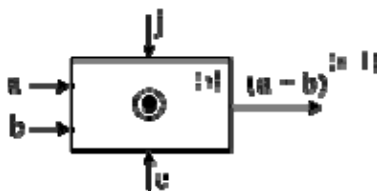
A termék első megvalósítási elképzelésére vonatkozó kép egy általános főfunkcióra vonatkozó megfogalmazásból építkezik. A főfunkcióra vonatkozó elem-együttes (elemek és komponensek) nem fejezi ki világosan az összes lehetséges a megoldásba bevonható elemet és az általuk képezhető komponenseket.

A megoldás útja a komponensek spontán felépülésének lehetősége, mely mindig az érvényes szabályrendszer mentén lehetséges, és az erősség alapján emel be, vagy iktat ki komponenseket, ill. elemeket a megoldás fele haladó folyamatban.

### 3. KOMPONENSEK ÉS ÉPÍTŐELEMELMEK

A termék konkretizálása adott építőelem halmazból kiindulva lehetséges. A halmaz nagysága ismeretfüggő. Ez azt jelenti, hogy fejlesztésben résztvevő alkotó emberi eleme és segítőként a rendelkezésre álló archivált tudás megalkotja az első, 0 – ik rendszernek is tekinthető megoldást. A megoldás elemeket, komponensbe foglalt elemeket von be a megoldásba. Ez egy funkció kapcsolat rendszert, és reprodukálhatósági szintet jelent. A termék fejlődése a bevont elemek számának, kapcsolatrendszerének (komponens változatok) a változtatásával vihető előre a teljes reprodukálhatóságig.

A rendszeren belül az elemek rendeződése, a komponensek létrejötte a három alapparaméter köré csoportosítható, nevezetesen energia, anyag, és vezérlő jel (információ).



6. ábra  
Energia transzformáció

#### 3.1. Energia komponens és elemei

Az energia komponens a rendszerben megváltoztatáson megy át, a bemenet és a kimenet közötti transzformációt a (2, 3) írja le. A (2) csak energia átalakítást, a (3) mechanikai energiát képez le energiakomponens megjelöléssel. A transzformáció eredménye közvetlen energia átalakítás (pl.: villamos-mechanikai, fény-mechanikai stb.) vagy energia komponens átalakítás, ill. megváltoztatás (pl. mozgásforma megváltoztatása, elmozdulás-, erőnövelés vagy csökkentés stb.).

$$\mathbf{e}_2 = \mathbf{e}_1 \hat{\mathbf{f}}_e \quad (2)$$

$$\mathbf{e}_{2m} = \mathbf{e}_2 \hat{\mathbf{f}}_{em} \quad (3)$$

$$\text{ahol: } \mathbf{e}_1 = [\mathbf{e}_{1i}] \quad \mathbf{e}_{1i} = \begin{cases} 0 & \text{ha a } i \text{ – edik energiaforrás nem létezik} \\ 1 & \text{ha a } i \text{ – edik energiaforrás létezik} \end{cases} \quad (4)$$

$$\mathbf{e}_2 = [\mathbf{e}_{2k}] \quad \mathbf{e}_{2k} = \begin{cases} 0 & \text{ha a } k \text{ – adik energiakimenet nem létezik} \\ 1 & \text{ha a } k \text{ – adik nem létezik} \end{cases} \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{f}} = [\mathbf{f}_j] \quad \mathbf{f}_j = \begin{cases} 0 & \text{ha a } j \text{ – edik funkció nem működik} \\ 1 & \text{ha a } j \text{ – edik funkció működik} \end{cases} \quad (6)$$

### 3.2. Anyag komponens és elemei

A komponensek elemei egymással kapcsolatba léphetnek (7. ábra a) részlet), melyeket kötés létrehozásaként kezelünk, de elemek szét is választhatók (7. ábra b) részlet). A be- és kimenet közötti transzformációt a (7) írja le.



7. ábra

Anyaggal rendelkező elemekre irányuló funkciók

$$\mathbf{b} = \mathbf{a} \hat{\mathbf{f}}_a \quad b_j = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ elemeket egybekapcsol} \\ \text{vagy elemet változatlanul hagy,} \\ N \text{ elemeket szétválaszt} \end{array} \right\} \quad (7)$$

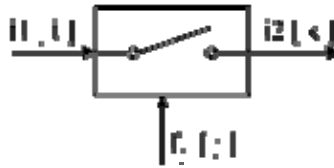
ahol:  $\mathbf{a} = [\mathbf{a}_i]$   $a_i = \{N, 1, 1\} \quad i = 1, 2, 3$  (8)

$\mathbf{b} = [\mathbf{b}_k]$   $b_k = \{1, N, 1\} \quad k = 1, 2, 3$  (9)

$\hat{\mathbf{f}}_a = [\mathbf{f}_j]$   $f_j = \{N^{-1}, N, 1\} \quad j = 1, 2, 3$  (10)

### 3.3. Információ komponens és elemei

Az információ komponens az energiát transzport folytonosságát vagy megszakítását, ill. nyomon követését, azonosítását biztosítja. Kapcsolóként való működését (8. ábra) a (11) írja le



8. ábra

Folyamatkapcsoló funkció

$$\mathbf{i}_2 = \mathbf{i}_1 \hat{\mathbf{f}}_j \quad (11)$$

ahol:  $\hat{\mathbf{f}}_j = [\mathbf{f}_j]$  jel állapotot meghatározó, (12)

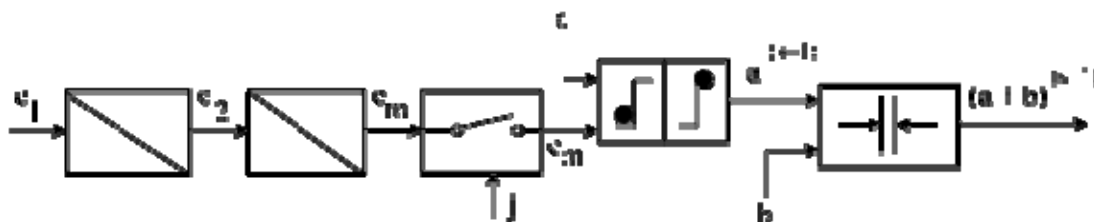
$$\mathbf{i}_1 = [\mathbf{i}_{1i}], \quad \mathbf{i}_2 = [\mathbf{i}_{2i}] \quad \text{be- és kimeneti állapotokat meghatározó} \quad (12)$$

## 4. MOZGÁSLEKÉPEZÉS ELEMEL

A mozgásleképezést a rendszerhatáron belül felismert és aktivált elemek és komponensek határozzák meg, ill. valósítják meg. Az egyes elemek és komponensek a feladat kidolgozása során erősödhetnek, ill. gyengülhetnek vagy el is tűnhetnek.

Egy meghatározott mozgásforma létrehozásához, pl. egy elem egy másik elemen lineáris kényszer mozgást végezzen, energiaforrás, energiaátalakítás (villamos- mechanikus (forgás paraméterű), moz-

gás átalakítás (forgó-lineáris), energiakötés elemhez, továbbá elem-elem kötés a rendszer zárásához, mint komponens, ill. elem aktiválása szükséges (8. ábra).



8. ábra

Elemek közötti lineáris- vagy forgó mozgást leképező rendszer strukturális felépítése

## 6. ÖSSZEGZÉS

A műszaki termékek fejlesztési folyamatának elvi megoldást generáló szakaszában meghatározóan az emberi elme alkotó tevékenységére van szükség. A megoldás első leképezése olyan kiindulási alapot jelent, melyet a bevonható létező építőelemek és komponensek által hordozott megoldásokkal a mindenkori szabályrendszer érvényesítésével elérhető az a megoldás, mely paraméter információiban ki és bemenetre minimalizálja magát, funkcionális információszintje maximális (alapfunkciókra és kombinációjukra letisztult), a reprodukálhatósági információi kiszélesedtek, a termék letisztult.

A megoldások fejlesztésének ezen elvi megfontolásai nem igénylik a folyamat tagolását, az emberi alkotóképességet célirányosan orientálja, de feltételezi a segítő szabályrendszer meglétét és folyamatos változtathatóságát.

Az alkotómunka ilyen megközelítése elősegíti egy rendszerhez történő kapcsolódásnál az elemek, és komponensek ismérvszisztemmel való ellátását és kódolhatóságát, mely mindig hordozza a bekapcsolódás erősségét vagy gyengeségét.

## IRODALOM

- [1] Pahl, G. - Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 1977.
- [2] Csányi, V.: General Theory of Evolution. Publ. House Hung. Acad. Sci., Budapest pp.123.
- [3] Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. (Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. 3. v. n. u. e. Auflage. Springer-Verlag. 1994.
- [4] Kamondi, L.- Takács, Á.: Objektum semleges géptervezés. Szakmérnöki jegyzet. Miskolc, 2006. Készült: a „A felsőoktatás szerkezeti és tartalmi fejlesztése” CAD/CAM/FEM kompetencia kurzusok projekt keretében (HEFOP).
- [5] Kamondi, L.-Takács, Á.: Computer adaptierte Konstruktionsmethode für die konzeptionelle Konstruktion einer Läufermühle. 3. Gemeinsamen Kolloquium Konstruktionstechnik 2005. Otto-von Guericke-Universität Magdeburg. 16.06.-17.06.-2005.

## Műanyagalapú lemezalakító szerszámok kopásvizsgálata

### WEAR-TEST OF SHEET-METAL FORMING DIES OF POLYMER COMPOSITES

Dr. habil. KARDOS Károly, KIRCHFELD Mária PhD

Széchenyi István Egyetem, Anyagismeret és Járműgyártási Tanszék  
H-9026 Győr, Egyetem tér1, tel: +36 96 503-400/3285; Fax: kirchfem@sze.hu; http://www.sze.hu;

#### ABSTRACT

*The paper presents the investigation of plastic sheet forming tools at Széchenyi István University. It describes the experimental procedures, the measuring and the evaluating methods. Finally, the paper summarizes the results.*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*A cikk a Széchenyi István Egyetemen végzett műanyagalapú lemezalakító szerszámanyagok vizsgálatáról számol be. Ismerteti a kísérletek körülményeit, részletesen tárgyalja a mérés és a kiértékelés módszerét, összegzi az eredményeket.*

**Kulcsszavak:** műanyag lemezalakító szerszám, kopásvizsgálat

#### 1. BEVEZETÉS

A lemezalakító technológiák jelentősége napjainkban egyre nagyobb. A háztartási fehérárúk, az elektronikai termékek barnaáru elemei, valamint a számos járműipari alkatrész finomlemeztermék. A finomlemeztermékek kis súlya kiváló mechanikai tulajdonságokkal párosul. Nagyszériában, automatizált technológiával rendkívül gazdaságosan gyárthatók.

A lemeztermékek előállítási költségének túlnyomó részét a mai napig a szerszámköltségek teszik ki. A lemezalakító szerszámok többnyire forgácsolt, acél- vagy szürkeöntvény. Beüzemelésük a mai napig igényes kézimunka. A hagyományos képlékeny lemezalakító szerszámok, a számítógéppel segített tervezés és gyártás ellenére még mindig nagyon drágák, előállításuk időigényes.

Ugyanakkor a felgyorsult világ piaci feltételei között a termékek élettartama, így a gyártmányfejlesztés és a gyártásbevezetés ideje egyre rövidebb. A piac diktálta követelményekhez igazodva a gyártók, különösen a járműipar egyre nagyobb hangsúlyt fektet a közép- és kisszériás, továbbá az egyéni luxusigényeket kielégítő egyedi gyártmányokra.

A közép- és kisszériás lemezalkatrészek gazdaságos előállítása:

- kedvező árú szerszámanyagokkal,
- a szerszám gyártásidő lerövidítésével, és
- a szerszámmodosítás gyors lehetőségével oldható meg.

A fenti követelményeknek a műanyagalapú lemezalakító szerszámok eleget tesznek. [1] A műanyag lemezalakító szerszámok igénybevételtől függő élettartamára, a szerszámokkal gyártott lemezalkatrészek minőségére (alakhűség, felületi minőség) vonatkozó irodalom azonban nagyon kevés és hiányos.

A Széchenyi István Egyetem Anyagismeret és Járműgyártási Tanszéke a Stuttgarteri Egyetem Képlékenyalakítási Intézetével az Európai Unió által támogatott REGINS program keretében, a műanyagalapú képlékeny lemezalakító szerszámanyagok alkalmazhatóságát elemezte különös tekintettel a járműipari finomlemezekre.

A közös kutatási munka fő témái:

- a kísérleti szerszám, az alakítási folyamatok szimulációja, valamint

- az alakítási kísérletek elvégzése, a szerszámok élettartam vizsgálata volt.

A cikkben a Széchenyi István Egyetemen Anyagismeret és Járműgyártási Osztályán végzett vizsgálatokról és a eredményekről kívánunk beszámolni.

## 1. A VIZSGÁLAT ISMERTETÉSE

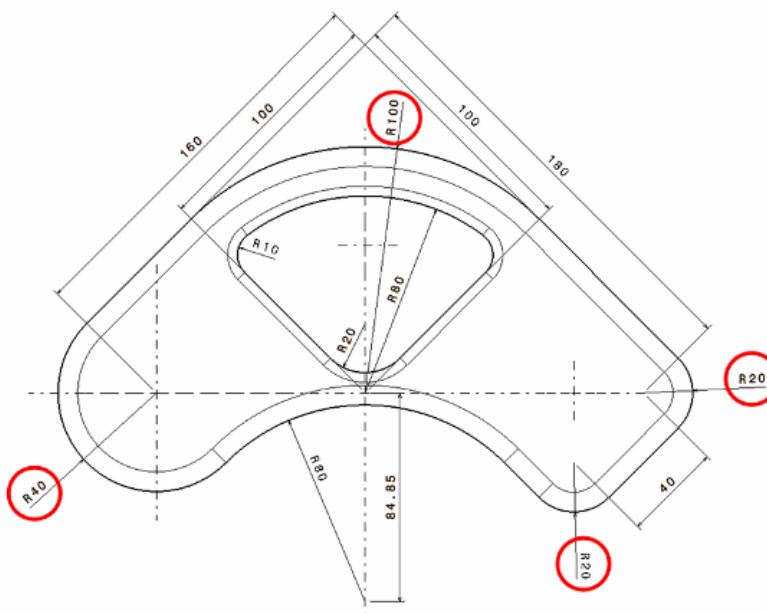
### 1.1 A vizsgálati szerszám

A lemezalakító szerszámok fő egységei a bélyeg, a matrica és a ránc tartó. Kialakításuk az alkatrész geometria, a technológia továbbá a legyártandó darabszám függvénye. A szerszámokkal az alakadás, a lemezanyagban fellépő feszültségi viszonyoktól függően, mélyhúzással, falvékonyító mélyhúzással (nyújtva-húzás), vagy hajlítással, komplex alkatrész-geometria esetén ezek kombinációjával történik.[4] A szerszámok élettartama,

- az alakított alkatrész-geometria:
- a szerszám anyag,
- az alakított lemezanyag minőség, vastagság és felületminőség, valamint
- az alakítási során kialakuló tribológiai viszonyok

függvénye.

A vizsgálati szerszám kialakításánál a fő szempont az volt, hogy a szerszámmal végzett kísérletek alapján lehetőség nyíljon mind az alakítás módjának, mind az alakítás mértékének szerszámkopásra gyakorolt hatására következtetni. (1. ábra)



1. ábra

A kísérleti szerszám matricája

A szerszám  $r=20,0$  (R21,1);  $r=40,0$  (R41,2);  $r=100,0$  (R101,2) mm-es névleges lekerekítési sugarú szegmenseiben a lemez képlékeny alakítása mélyhúzással történik. Az alakváltozás, érintő irányú nyomó-, és sugár irányú húzófeszültségek hatására jön létre. A lekerekítési sugár csökkenésével az alakváltozás mértéke, értelemszerűen a lokálisan ható nyomófeszültségek és a szerszám igénybevétel is nő. Az  $r=20,0$  mm ill.  $r=40$  mm és az  $r=100,0$  mm-es ívtartományokat összekötő egyenes szakaszon a matricába befutó lemez az 5,0 mm-es húzó-élen meghajlik. A  $r=80,0$  (R78,8) mm-es rádiuszú



íves részen a lemezanyagra érintő és sugárirányban egyaránt húzófeszültségek hatnak. Az alakítás ezen a részen nyújtva-húzás (falvékonyító mélyhúzás).

Az elvégzett vizsgálatok kizárólag a kereskedelmi forgalomban kapható műanyag alapú szerszámanyagokra korlátozódtak.

A vizsgált szerszám anyagok

1. táblázat

	DEVCON WR	DEVCON B	PENTAGROUP SiC	ebaltaW
Cég	Devcon (USA)	Devcon (USA)	Pentagroup (Magyarország)	NSZK
Technológia	öntött	öntött	öntött	forgácsolt
Műanyag mátrix	epoxigyanta	epoxigyanta	epoxigyanta	PUR
Töltőanyag	ZrO <sub>2</sub> +MoS <sub>2</sub>	Fe-por	SiC	Al-por
Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ]	1,99	2,11	1,90	1,76
Nyomószilárdság [MPa]	67	70	-	100
E-modulus	2144	1101	2150	7800

Az epoxi-öntőgyanta alapú szerszámokat a VARINEX KFT öntötte saját fejlesztésű technológiával. A szerszámfelületek a 1. táblázatban feltüntetett jó minőségű öntőgyantából, a szerszámtest pedig minden esetben olcsó kvarchomok-epoxigyanta keverékből készült.



1. A minta és segédabszolonok elkészítése



2. Az öntött szilikon matricaforma



3. Felületréteg öntése



4. Felületréteg kialakítás



5. Megszilárdult felületkéreg



6. A szerszámtest öntése

1. fénykép: Az epoxigyantaalapú szerszámok öntése VARINEX KFT

A PUR szerszámok CAD dokumentáció alapján a SZE Megmunkáló Laboratóriumában a PowerMill software vezérelte 5D-s CNC megmunkáló gépen gyártottuk le.

## 1.2 A kopásvizsgálathoz használt lemezanyagok

A szerszámanyagok alkalmazhatósági tartományát a járműiparban használatos:

- a kiválóan mélyhúzzható, tűzi horganyzott (galvannealed) lágyacél DX56+ZF100,
- a nagyszilárdságú TRIP700,

- és az X2CrNi18 10 korrózióálló lemezanyag minőségekkel vizsgáltuk.

A vizsgálathoz használt lemezanyag minőségek 2. táblázat

	DX56+ZF	TRIP700	X2CrNi18 10
Vastagság [mm]	0,8	1,0	1,0
Folyáshatár [MPa]	205	458	795
Szakítószilárdság	312	750	1020
Keményedési kitevő n	0,25	0,22	1,9
Anizotrópia $r_0$	1,838	0,880	0,666
$r_{45}$	1,813	0,746	0,726
$r_{90}$	2,391	1,149	0,911
Szakadási nyúlás [%]	42,0	29,0	23,5

### 1.3 A vizsgálat

A kopásvizsgálatokat a Széchenyi István Egyetem Technológia Laboratóriumának 2000 kN-os hidraulikus prés gépén végeztük. Az ideális teríték geometriát a PLANE szimulációs programmal határoztuk meg. A terítékeket vízugaras vágóberendezésen daraboltuk, a lemezfelületet acetonnal tisztítottuk. Kenőanyagot nem használtunk.

A vizsgálat technológiai paraméterei

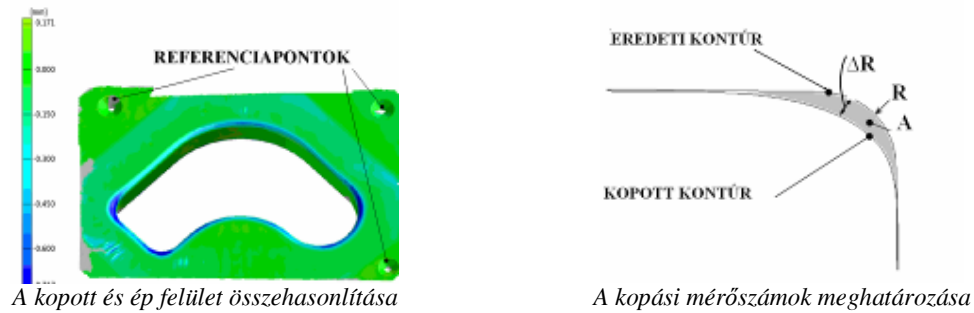
3. táblázat

	DX56+ZF100	TRIP700	X2Cr18Ni10
Húzási sebesség [mm/sec]	30	30	30
Ránc tartóerő [MPa]	3	8	8

A ránc tartó erőt közvetlen a sajtolón, az alakító bélyegerőt, pedig a szerszám bélyeg alatt elhelyezett nyúlásmérő bélyeges erőmérőcellával az alakítás során folyamatosan mértük. A sajtoló központi adattáregységében gyűjtött értéket, az alakítási ciklus végén számítógépre töltöttük le. A mért adatokat a továbbiakban, Excel programban kezeltük és jelenítettük meg. A vizsgálati húzások számát a szerszámoknál a legnagyobb igénybevételelű húzóél tartomány R1 ( $R=21,2$  mm ívsugár, mélyhúzás) „ $\Delta R1$ ”=1,5 mm-es rádiusz növekményével határoztuk be.

A vizsgálatoknál a szerszámgeometria változásának méréséhez, valamint a lehúzott darabok alakhűségének ellenőrzéséhez SZE Felületdigitalizáló Laboratóriumának ATOS berendezését használtuk. A mérőrendszer adott felületről digitális felvételt készít. A felületen elhelyezett referenciapontok segítségével a leképezett felület 3D-s pontalmazát referencia koordináta rendszerben helyezi el, a leképezett felületpontokhoz hálót generál. A mérőrendszer kiértékelő programjával, az azonosító koordináta rendszerben generált felületről metszetek készíthetők. Az egymás utáni állapotot rögzítő felületképek, illetve a felületekről készített metszetek kontúrjai egymáshoz illeszthetők. Az egyes állapotok közötti geometriai eltérések a kiértékelő programmal számszerűen meghatározhatók. A kopásvizsgálatoknál a rendszernek ezt a lehetőségét használtuk ki. [2]

A prés gép univerzális szerszámházába beépített szerszámról a vizsgálatot megelőző állapotban, ill. előre meghatározott számú (a kopás kezdeti szakaszában, 10-10 illetve 25, állandósult szakaszában pedig 100-100) húzás után felvételt készítettünk. A műanyag szerszámok az alakítás során a hagyományos acélszerszámok rugalmassági modulusához képest kis E- tényezőjük miatt deformálódnak. Ennek következtében a húzóél ívkontúr nem írható le egzakt módon kör alakzattal. A „húzóélsugár” növekedését, így a húzóélsugár növekménnyel  $\Delta R$ , illetve adott metszetben a húzóél kontúrhoz rendelt, egységnyi hosszra vonatkoztatott terület csökkenéssel  $\Delta T$  jellemeztük. A alkatrészek alakhűségét hasonló módon, a kimért felületek összehasonlításával ellenőriztük.



2. ábra A kopásmérés elve

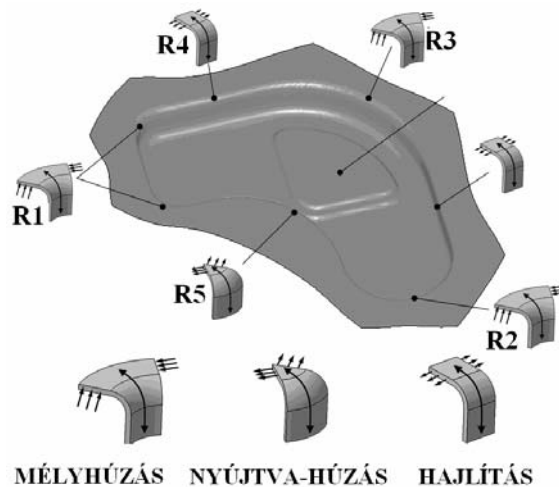
## 2. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYE

A vizsgálatot valamennyi szerszám- lemezanyag kombinációval elvégeztük. A DX56+ZF100 anyagból lehúzott darabok minden esetben jó minőségűek, hibátlanok voltak. A nagy szilárdságú TRIP700 finomlemezről, csak a nagyobb nyomószilárdságú és E-tényezőjű ebalta W szerszámmal volt sikeres az alakítás. Az X2CrNi1810, szintén a járműiparban használt, 795[MPa] folyáshatárú, korrozíóálló acélból egyik szerszámmal sem sikerült ép darabot sajtolni. Kopásgörbéket értelemszerűen a DX56+ZF100 lemezminőséggel valamennyi szerszámanyagra, illetve értelemszerűen a TRIP700-ebaltaW kombinációra vettünk fel. A 4.táblázat az egyes szerszámanyagokra a kísérletnél használt lemezanyagokkal lehúzható darabszámot mutatja.

A kopásvizsgálat összesítése 4.táblázat

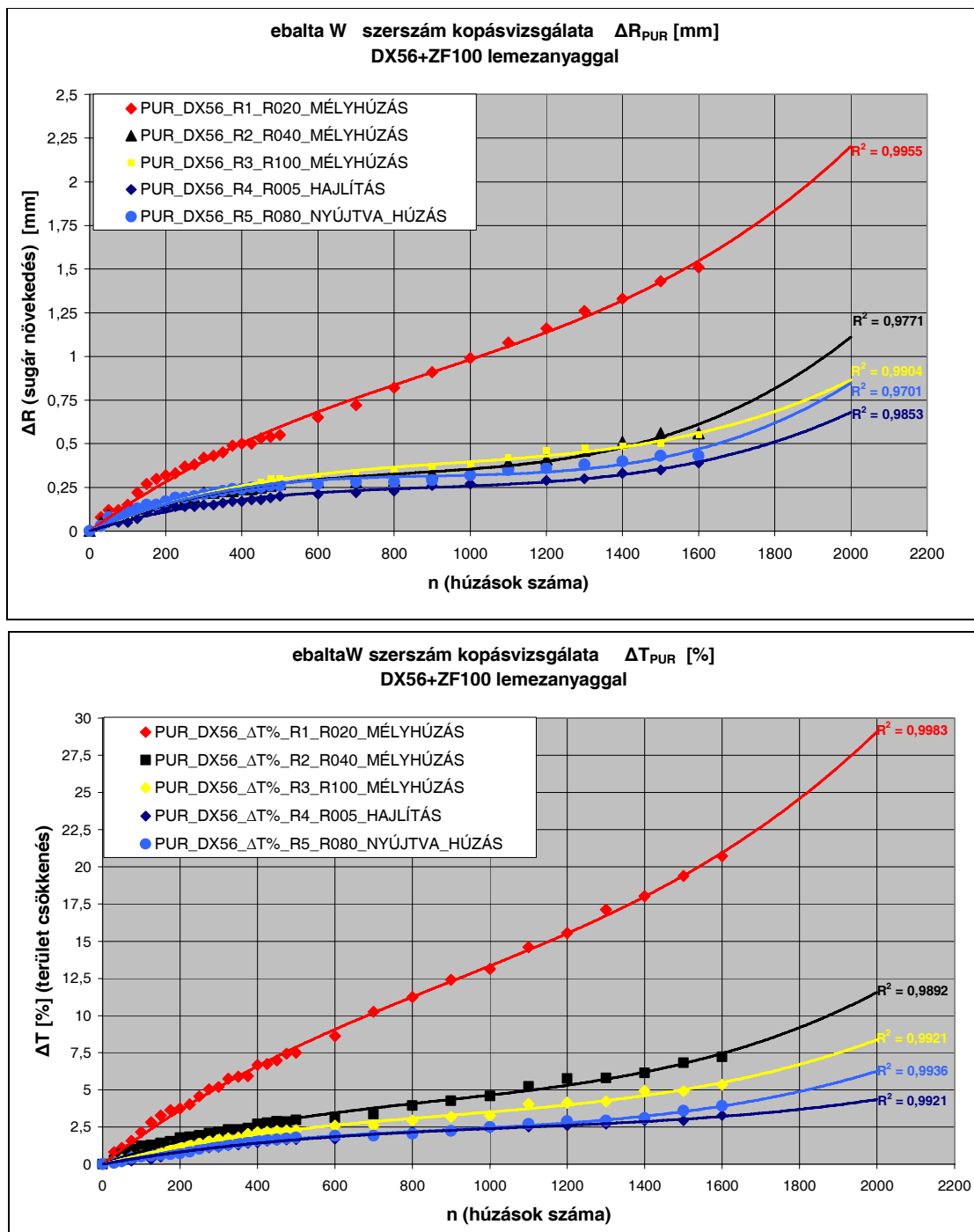
	DEVCON WR	DEVCON B	PENTAGROUP SiC	ebaltaW
DX56+ZF100	5000	5300	4900	1600
TRIP700	-	-	-	275
X2Cr18Ni10	-	-	-	-

A szerszámokon a húzóélkontúr változását az egyes alakadó szerszámszegmensek legnagyobb igénybevételi helyein mértük. Ezek az alakított darabok mélyhúzással, nyújtva-húzással, hajlítással kialakított tartományainak a legnagyobb mértékben alakváltozott részeivel estek egybe.



3. ábra  
A mérési helyek

Kopási mérőszámokat ( $\Delta R$ [mm], $\Delta T$ [%]) a húzások számának függvényében ábrázoltuk. A kopásgörbék jól illeszkedtek a mérési pontokra regressziójuk általában 99% fölött van. A 4. ábra az ebalta W poliuretán alapú szerszámmal, lágyacélra felvett kopásgörbéket mutatja. A kopás mértéke a nagyobb rugalmassági modulusú kevésbé deformálódó szerszámmal kevesebb deformálódással csökkenthető.



4. ábra

Az ebalta W szerszám DX56+ZF100 lemezanyaggal felvett kopásgörbéi

A görbék jól mutatják a kopási folyamatokat mechanizmusát leíró három kopási szakaszt.(4.ábra)

A vártak megfelelően a legintenzívebben igénybevett szerszámszegmens húzóél (R1) kopása a legnagyobb mértékű. A mélyhúzott tartományok kopása a görbületív rádiuszának (R2, R3) növekedésével csökkent. A szerszámkopás mértéke a hajlítással és nyújtva-húzással alakító szegmensekben volt legkisebb (R4, R5). A húzóél kontúrhoz rendelt területcsökkenés, mint mérőszám valamennyi szerszámszegmensben, tehát a különböző alakító technológiákkal alakadó tartományokban és mindhárom szerszám esetében ugyanazt a tendenciát mutatta, tehát a kopás mértékére általános érvényű megállapításokat tesz lehetővé.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatok egyértelműen azt mutatták, hogy a műanyag lemezalakító szerszámokkal legyártható darabszám az alkatrész geometria, továbbá a lemezanyag felületi minőségének függvénye. A

A elvégzett kísérletek alapján megállapítható, hogy az alacsony rugalmassági tényezője műanyagok kiválóan alkalmasak lágyacél, alumínium alkatrészek kisszériás (több mint 5000 darab) gyártására, amennyiben a sajtolt alkatrészeknél nagyobb tűrések megengedettek.

A nagyobb nyomószilárdságú és E-modulusú műanyag szerszámanyagok nagyszilárdságú lemezalkatrészek prototípus gyártására is alkalmasak.

### IRODALOM

- [1] Deiler,G.: Untersuchungen zum Eignungsprofil polymerer Werkzeugwerkstoffe für das Tiefziehen von Feinblechen, Disszertáció Universität Hannover,2005
- [2] Luhman T.: Nachbereichsphotogrammetrie, 2.Auflage, Herbert Wichman Verlag Heidelberg

## A kombinatorikus kinetostatika alapösszefüggései

### BASIC CORRELATIONS OF COMBINATORICAL KINETOSTATICS

Dr. KARSAI Géza

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezettani Intézet  
1111 Budapest Műegyetem rkp. 3-5. Kmf 79/7  
Tel.: 36 1 463 2054, Fax.: 36 1 463 3510. E-mail: kargez@eik.bme.hu

#### ABSTRACT

*The study examines kinetostatic systems, e.g. rigid body systems through group and network theory methods. From the loop law of kinematics and the nodal law of statics it traces the whole range of degree of freedom and constraint formulas -which are logically belong together- namely the basic relations of combinatorial kinetostatics on homogeneous systems. The kinematic and static features are dual and their relations define the possible homogeneous structures.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A tanulmány diszkrét kinetostatikai rendszereket, pl. merevtest-rendszereket vizsgál csoport-, és hálózatelméleti módszerekkel. A kinematika hurok-, és a statika csomóponti törvényéből homogén rendszerekre levezeti a szabadságfok és kötöttségfok formulák logikailag teljes együttesét, vagyis a kombinatorikus kinetostatika alapösszefüggéseit. A kinematikai és statikai jellemzők duálisak, és összefüggéseik meghatározzák a lehetséges homogén struktúrákat.*

#### 1. BEVEZETÉS

A merev testek és rendszerek mechanikája, speciálisan kinematikája és statikája, vagy egyetlen szóval kinetostatikája, a fizika és a mérnöki tudományok egyik legrégebbi fejezete. A diszkrét kinetostatikai rendszerek prototípusának a merevtest-rendszerek, vagyis a mobilis mechanizmusok és a stabilis tartószerkezetek tekinthetők. A mechanizmusok és a tartószerkezetek elmélete mai formájában lényegében különálló és önmagában is differenciálódott mérnöki tudomány. E tanulmány kísérletet tesz egységes tárgyalásukra anélkül, hogy szigorúan a merevtest-rendszerekre szorítkozna. Kimutatja, hogy a két diszciplína fogalmi és összefüggései kölcsönösen egyértelműen megfelelnek egymásnak. Pl., a kinematikai változóknak páronként megfelelnek a szabaderők, a geometriai állandóknak pedig a kényszererők, vagy a kinematikai szabadságfok megegyezik a statikai kötöttségfokkal és megfordítva, a kinematikai kötöttségfok azonos a statikai szabadságfokkal. A fogalmak és kapcsolataik efféle dualitása alapvető sajátossága a kinetostatikának. A két diszciplína szerves összetartozását misem bizonyítja jobban, minthogy a kinematika és a statika külön-külön is ugyanazokat a struktúrákat értelmezi. Mivel e struktúrák felsorolása, azonosítása és osztályozása kombinatorikai feladat, a szerző a mechanika ezen, szerkezeti analízissel és szintézissel foglalkozó fejezetére a kombinatorikus kinetostatika elnevezést javasolja.

A mechanizmusok elméletében a kinematikai szabadságfok képleteket jelölik meg a témakör alapösszefüggéseként. Bár, pl. *Gogu* [4] több tucat szabadságfok formulát közöl, lényegében csak két alapváltozatuk létezik: a *Csebisev-Grübler-Kutzbach*-, és a *Hochman*-képlet. Közöttük *Euler* egyik tétele teremt kapcsolatot. Az elmélet és alkalmazásai megtalálhatók pl. *Tsai* [11] és *Mruthyunjaya* [8] összefoglaló tanulmányában és a téma bőséges irodalmában. A tartórendszerek valójában speciális, mozgásképtelen mechanizmusok. Kombinatorikus alapösszefüggésük a statikailag határozott rúdszerkezetekre érvényes *Maxwell*-szabály [2, 3, 5]. A formula és minden általánosítása a kinematikai szabadságfok képletek speciális esete. A statikailag határozott tartószerkezetek elmélete voltaképpen alkalmazott statika, a határozatlanoké pedig statika és elemi szilárdságtan. A teljes ismeretanyag felkelhető a statikát és a szerkezetek mechanikáját tárgyaló tan-, és szakkönyvekben (pl. [9, 10]).

A statika és a kinematika egységes elméletének gondolata bizonyosan régi. Itt a szövevényes történelmi előzmények említése nélkül, a szerző megkísérli a kinetostatika alapösszefüggéseit sziszte-

matikusan és általánosan kifejtteni. Szándékához és tárgyához valószínűleg *Aublin* és szerzőtársai [1] könyvének első fejezete áll a legközelebb. Ám velem, és másokkal ellentétben tudatosan kerül a mozgás és az egyensúly, a kinetostatikai rendszer és struktúra fogalmának speciális értelmezését és a matematikai reprezentációk konkretizálását. Egyfelől, azért mert az eredményeknek a hagyományos kinetostatikán kívüleső alkalmazásai is elképzelhetők, másfelől, mert a matematikai részletek technikai jellegűek, csupán a tárgyalást bonyolítanák.

## 2. KINEMATIKAI RENDSZEREK

A diszkrét kinetostatikai rendszer egymással kinematikai és statikai kapcsolatban lévő véges, vagy megszámlálhatóan sok elem együttese. A rendszer matematikai értelemben hálózatnak, azaz járulékos tulajdonságokkal ellátott gráfnak tekinthető. A rendszer struktúráját egy összefüggő gráf képviseli, a gráf csomópontjaihoz az elemek, az éleikhez a kapcsolatok vannak hozzárendelve mozgások és erőhatások formájában. A mozgások egy  $G_K$  kinematikai, az erőhatások egy  $G_S$  statikai csoport elemei. Mindkét csoport jellegzetesen folytonos és  $D$  dimenziószáma azonos. A vizsgált rendszer tehát folytonos csoportok diszkrét részrendszere.

Vizsgáljuk előbb a kinematikai rendszereket [6,7]. Modellként a mechanizmusok szolgálhatnak. Tagnak nevezett elemeik merevnek tekinthető geometriai testek, párnak mondott kapcsolataik a tagok szabad mozgását korlátozó kényszerek. Legyen a tagok száma  $T$ , a pároké  $P$ . A merev testek kinematikai csoportja az  $SE_3$ ,  $D=\dim(SE_3)=6$  speciális euklideszi csoport, melynek  $T_{ij}(p_{ji})$  elemei természetes reprezentációban *Denavit–Hartenberg* transzformációk. A  $p_{ji}$  paraméterek hosszúságok és szögek. A párok által képviselt kényszermozgások tetszőleges  $G_K$  csoportban a  $T_{ij}(p_{ji})$ ,  $i, j \in 1, 2, \dots, T$  transzformációkkal írhatók le. A  $p_{ji}=(\xi_1, \dots, \xi_j, \alpha_1, \dots, \alpha_k)_{ji}$  paraméterek közül  $f$ -számú  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_f$  kinematikai változó és  $k$ -számú  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  geometriai állandó. A változók, vagyis a független mozgáslehetőségek  $f$  száma a mozgás, illetve a pár *szabadságfoka*, az állandók  $k=D-f$  száma pedig a kinematikai *kötöttségfoka*. Jelölje a  $p$ -edik pár szabadságfokát  $f_p$ , kötöttségfokát  $k_p$ . A rendszer paramétereinek teljes száma a kinematikai változók  $F_P$  és a geometriai állandók  $K_P$  számának összege:

$$F_\Sigma = F_P + K_P = \sum f_p + \sum k_p = DP, \quad p = 1, 2, \dots, P. \quad (1)$$

A nyitott rendszerek paramétereik függetlenek, szabadságfokuk  $F_P$ , és kötöttségfokuk  $K_P$ . A zárt, ciklikus részrendszerek paramétereik ellenben nem függetlenek. Közöttük a *kinematika huroktörvénye* teremt kapcsolatot: *a hálózat bármely zárt lánc, ciklusa, hurokja mentén a mozgásoknak megfelelően transzformációk eredője a relatív mozdulatlaniságot kifejező 1 egységtranszformáció*. A rendszer kényszer egyenlete a hurokegyenletek valamely  $H$ -elemű független együttese:

$$\prod_h T_{ji} = I, \quad i(h), j(h) \in 1, 2, \dots, T, h = 1, 2, \dots, H = P - T_M. \quad (2)$$

A  $H$  hurokszám kifejezhető a párok és a tagok számával:  $H=P-T-1=P-T_M$ . A hálózat gráfja ugyanis összefüggő, így  $H$ -számú hurokél elhagyásával fagráffá alakítható, melyre az állítás triviális.  $T_M=T-1$  a potenciálisan mozgó tagok számát jelenti egy referenciához képest. Mivel a csoport minden hurokegyenlete  $D$  számú független skaláris egyenletet képvisel, a független egyenletek teljes száma, vagyis a *hurkok*  $K_H$  *kötöttségfoka*:

$$K_H = D H. \quad (3)$$

A független paraméterek száma tehát:

$$F_H = F_\Sigma - K_H = D(P - H) = D T_M. \quad (4)$$

A rendszer  $F_H$  teljes kinematikai szabadságfoka a szabad rendszer szabadságfokával egyenlő.

Itt csupán a *geometriailag homogén* rendszerek vizsgálatára van mód. Ezek összes geometriai paramétere független, így geometriai szabadságfokuk azonos a párjaik kötöttségfokával:  $F_G=K_P$ . A homogén rendszerek  $F_{K_{\text{Hom}}}$  kinematikai szabadságfoka a kinematikai változók és a független egyenletek számának, vagyis a párok  $F_P$  szabadságfokának és a hurkok  $K_H$  kötöttségfokának a különbsége:

$$F_K = F_{K_{\text{Hom}}} = F_P - K_H = \sum f_p - DH. \quad (5)$$

Ebből azonos átalakításokkal egy ismertebb összefüggés adódik. Az  $F_{K_{\text{Hom}}}$  a mozgó tagok  $F_H$  teljes szabadságfokának és a párok  $K_P$  kötöttségfokának a különbsége:

$$F_K = F_{K_{\text{Hom}}} = F_H - K_P = D T_M - \sum k_p. \quad (6)$$

Az (5) a Hochman, (6) a Csebisev–Grübler–Kutzbach-formula  $G_K$ -beli homogén rendszerekre. Inhomogén, geometriailag  $K_G$ -szeresen túlhatározott rendszerekre  $F_K$  és  $F_{KHom}$  különböző:  $F_K = F_{KHom} + K_G$ .

Az  $F_K = 0$  rendszer mozgásképtelen, önmagában kinematikailag határozott. Az  $F_K > 0$  rendszer mozgásképes, külső kapcsolatok nélkül kinematikailag határozatlan. Az  $F_G$  számú geometriai állandó független, belső, vagy bemenő adat. Alkalmos,  $F_K > 0$  számú független kinematikai változó értéke, vagy időfüggvénye külső, bemenő adat. A  $K_H > 0$  számú függő, kimenő kinematikai változó értéke a hurokegyenletekből határozható meg a függetlenek függvényében. Továbbra is feltételezzük, hogy a hurokegyenleteknek létezik valós megoldása. Különben a rendszer ciklikusan realizálhatatlan.

### 3. KINETOSZTATIKA RENDSZEREK

A fizikai terek pontrendszerek, közegek, kontinuumok mozgásának színterei és egyben fizikai mezők, erőterek, kölcsönhatások hordozói. A statikai kölcsönhatások is transzformációkkal írhatók le. A  $G_S$  statikai csoport tulajdonságai általában a  $G_K$  kinematikai csoportéból következnek. Pl. a merevtestek  $SE_3$  mozgáscsoportjához tartozó  $SP_3$  Poinsot-féle statikai csoport elemei a  $Q_{ji}$  erőcsavarok ugyanúgy transzformálódnak, mint a  $V_{ji}$  sebességcsavarok. Az  $SP_3$  csoport itt is csak modellként szolgál.

A kinematikai párok egyben statikai párok is. Képviselje az  $i$ -edik tag közvetlen hatását a  $j$ -edikre a  $q_{ji}$  általános erő és annak transzformáltját a tagok koordináta-rendszerébe  $Q_{ji}$ . A  $Q_{ji}$  a  $q_{ji}$  statikai és a  $p_{ji}$  kinematikai paraméterek függvénye:  $Q_{ji}(p_{ji}, q_{ji})$ ,  $i, j \in 1, 2, \dots, T$ . A  $p_{ji}$  és  $q_{ji} = (\eta_1, \dots, \eta_f, \beta_1, \dots, \beta_k)_{ji}$ , paramétervektor skaláris koordinátái sorrendben megfelelnek egymásnak. Minden egyes  $\xi$  kinematikai változóhoz egy  $\eta$  külső, vagyis szabaderő tartozik, és minden  $\alpha$  geometriai állandóhoz egy  $\beta$  belső, azaz kényszererő. A szabaderők száma tehát a pár  $f$  kinematikai szabadságfokával, a kényszererőké pedig a  $k$  kötöttségével azonos. Következésképpen a  $G_K$  és a  $G_S$  csoport közös jellemzője az  $f+k=D=\dim(G_K)=\dim(G_S)$  dimenziószám. Így (1) érvényes a statikai paraméterek darabszámára is.

A statikai paraméterek nyílt rendszerek körében sem függetlenek egymástól. A statika csomóponti törvénye szerint a rendszer bármely tagjára ható  $Q_{ji}$  erők eredője az egyensúlyt kifejező zérus. A rendszer egyensúlyi egyenlete a csomóponti egyenletek bármelyik  $T_M$ -elemű független együttese:

$$\sum_j Q_{ji} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, T_M = T - 1, \quad i(j) \in 1, 2, \dots, T. \quad (7)$$

A független egyenletek száma a  $Q_{ji} = -Q_{ji}$  hatás-ellenhatás törvényből következik. Pl.  $T_M$  számú tag egyensúlyából a  $T$ -ediké kiadódik. Mivel a  $G_S$  csoportban minden csomóponti egyenlet a  $q_{ji}$  statikai változókra  $D$  számú független skaláris egyenletet képvisel, a független egyenletek teljes száma:

$$K_S = D T_M. \quad (8)$$

A  $K_S$  a rendszer statikai kötöttségfoka. Értéke a teljes kinematikai szabadságfokkal azonos:  $K_S = F_H$ .

Itt is csak a homogén rendszereket vizsgáljuk. Ezekben a független statikai változók száma, vagyis az  $F_{SHom}$  statikai szabadságfok a paraméterek  $F_\Sigma = DP$  számának és a  $K_S$  kötöttségfoknak a különbsége:

$$F_S = F_{SHom} = F_\Sigma - K_S = D(P - T_M) = DH. \quad (9)$$

Az  $F_S$  értéke a hurkok  $K_H$  kinematikai kötöttségével azonos. Így hurokmentes, nyílt rendszerekre  $F_S = 0$ . Különben alkalmas,  $F_S$ -számú szabaderő ismeretében a többi  $K_S$ -számú erőkomponens meghatározható a csomóponti egyenletekből. A homogén rendszerek tehát statikailag határozottak.

A  $K_S$ -számú ismeretlen erőkomponensből  $K_H$ -számú kényszererő, a többi szabaderő. Az ismeretlen szabaderők száma, azaz a szabaderők statikai kötöttségfoka:

$$K_{SS} = F_P - F_S = F_P - K_H = F_K. \quad (10)$$

A szabaderők kötöttsége az  $F_K$  kinematikai szabadságfokkal egyenlő. Az ismeretlen kényszererők száma, vagyis a kényszererők statikai kötöttségfoka:

$$K_{SK} = K_P - K_H = F_G. \quad (11)$$

A  $K_{SK}$  az  $F_G$  geometriai szabadságfokkal egyenlő. Az eredményeket az alábbi táblázat foglalja össze.



A kombinatorikus kinetostatika fogalmai és összefüggései homogén rendszerekre 1. táblázat

A kinematikai és a statikai paraméterek száma: $F_{\Sigma} = F_P + K_P = DP$		
Kinematikai változók, szabaderők száma: $F_P$		Geometriai állandók, kényszererők száma: $K_P$
Statikai szabadságfok, szabaderők szab. foka, közvetett kinematikai kötöttségfok:  $F_S = K_K$ $= K_H = DH$	Kinematikai szabadságfok, szabaderők kötöttségfoka:  $F_K = K_{SS}$ $= F_P - K_H = F_H - K_P$	Geometriai szabadságfok, kényszererők kötöttségfoka közvetlen kinematikai kötöttségfok:  $F_G = K_{SK} = K_P$
Teljes kinematikai szabadságfok, statikai kötöttségfok: $F_H = K_S = DT_M$		

A kinematika és a statika fogalmai és kombinatorikus összefüggései láthatóan kölcsönösen egyértelműen megfelelnek egymásnak. Így a két diszciplína nyilvánvalóan ugyanazokat a struktúrákat értelmezi, csak más fogalmakkal. A megfeleltetést érdemes a paraméterek számával is megfogalmazni. A szimmetrikus relációk maguktól értetődők, itt csupán az aszimmetrikusakat soroljuk fel.

- A független kinematikai-geometriai és a függő statikai paraméterek száma egyenlő:  $F_H = K_S$ .
- A független kinematikai változók és a függő szabaderők száma egyenlő:  $F_K = K_{SS}$ .
- A független szabaderők és a függő kinematikai változók száma egyenlő:  $F_S = K_K$ .
- A független geometriai állandók és a függő kényszererők száma egyenlő:  $F_G = K_{SK}$ .

A független kinematikai és statikai változók külön-külön, általában többféleképpen is kijelölhetők, de csak a hurok és a csomóponti törvénnyel összeférő kombinációk lehetségesek.

Az összefüggések megfogalmazhatók inhomogén, vagyis geometriailag túlhatározott, és statikailag ugyanolyan mértékben határozatlan, rendszerekre is. Ezek statikai egyensúlyát azonban végső soron fizikai összefüggések, a kinematikai és statikai változókat összekapcsoló erőtvények határozzák meg (pl. a Hooke-törvény a szerkezetek statikájában). Mivel az inhomogén rendszerek nem írhatók le maradéktalanul a statika keretében, a kinetostatika szigorúan véve, csak homogén rendszerekre érvényes. Ez a fő alkalmazási területe a kombinatorikus összefüggéseknek is. Ezekkel a merevtest-rendszerek, és tetszőleges diszkrét kinetostatikai rendszerek lényegében a metrikus jellemzőiktől függetlenül vizsgálhatók. Felhasználhatók pl. a tartószerkezetek, a mechanizmusok és gépek szerkezeti analízisére, és az összes lehetséges, vagy előírt célra megfelelő szerkezet, vagy szerkezeti összesség megkeresésére, szintézisére. Ebben az értelemben a megismert összefüggések alapvető szerkezeti törvényeknek, kvalitatív konstrukciós szabályoknak nevezhetők.

## IRODALOM

- [ 1 ] Aublin, M. et coll.: Systèmes mécaniques. Chap. 1. Dunod, Paris, 1998
- [ 2 ] Calladine, C.R.: Buckminster Fuller's "Tensegrity" structures and Clerk Maxwell's rules for the construction of stiff frames. Int. J. of Solids and Structures 14 (2) (1978) 161-172.
- [ 3 ] Fowler, P.W. , Guest, S.D.: A symmetry extension of Maxwell's rule for rigidity of frames. Int. J. of Solids and Structures 37 (12) (2000) 1793-1804.
- [ 4 ] Gogu, G.: Mobility of mechanisms: a critical review. Mech. Mach. Theory 40 (9) (2005) 1068-1097.
- [ 5 ] Guest S.D., Fowler: A symmetry-extended mobility rule. Mech. Mach. Theory 40 (9) (2005) 1002-1014
- [ 6 ] Karsai G.: Kinematikai struktúrák. Gép, LII. (10-11) (2001) 49-52.
- [ 7 ] Karsai G.: A kombinatorikus kinematika alapösszefüggései. OGÉT, Marosvásárhely, 2007
- [ 8 ] Mruthyunjaya, T.S.: Kinematic structure of mechanisms . Mech. Mach. Theory 38 (4) (2003) 279-320.
- [ 9 ] Szabó J., Roller B.: Rúdszerkezetek elmélete és számítása. Műszaki K. Budapest, 1971
- [10] Timoshenko, S.P., Young, D.H.: Theory of Structures. McGraw-Hill Co., 1965
- [11] Tsai, L.V.: Enumeration of Kinematic Structures According to Function. CRC Press, Boca Raton 2001

## CE megfelelési jelölés – mint Európai Közösségi követelmény

### CE LABELING – AS EUROPEAN COMMUNITY REQUIREMENT

Dr. ing. KERÉKES László, Ing. ORBAN Sándor

CONSACT Consulting – Minőségfejlesztési és vezetési tanácsadó iroda  
400174 Kolozsvár, Horea utca, 5 szám, 7 ap., Tel./Fax: 40-264-432158

#### ABSTRACT

*This paper propose to present the Romanian legislation and the aplicable certification procedure's of conformity related to technical specifications for products. The presented case study is the result of our experience accumulated during cunsultancy activity in several romanian companies.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A dolgozat célja a terméktanúsítás illetve a termék megfeleléség iagazolásával kapcsolatos romániai jogszabályi keret és eljárások ismertetése. A bemutatott eset tanusitmány a romániai cégeknél végzett tanácsadói tevékenységünk eredményeként született meg.*

**Kulcsszavak:** termék tanúsítás, CE jelölés, megfelelési bizonylat, megfeleléség iazolása

### 1. CE MGFEELELŐSÉGI JELŐLÉS. EC MEGFELELŐSÉGI NYILATKOZAT

#### 1.1. Az egységes piac

A jól működő egységes európai piac előfeltétele, hogy a kereskedelmi korlátok megszűnjenek. Az áruk Európai Unión belüli szabad áramlása sérülhet, ha a nemzeti szabályozások és a vizsgálati, tanúsítási és felügyeleti eljárások különböznek.

Az Európai Unió belső piacán csak azok a termékek hozhatók forgalomba, amelyek a rájuk vonatkozó termékbiztonsági követelményeknek és irányelveknek maradéktalanul megfelelnek.

A CE jelölés feltüntetése a terméken azt jelenti, hogy az maradéktalanul megfelel a fent említett irányelveknek, tehát biztonságos, s erről az előírt módon meg is győződtek. A CE jelöléssel ellátott termék az Európai Unióban bárhol szabadon forgalomba hozható. Románia Európai Unió integrációjának folyamata magába foglalja olyan új elvek és módszerek asszimilálását melyek a nemzetközi követelményekhez való felzárkozást hivatotak szolgálni. E tekintetben a fő hangsúly a termékek, a munkaerő, a tőke szabad áramlását korlátozó minden féle akadály elhárítása kell, hogy jelentse, a szabad áramlás biztosítása az unió határain belül, úgy ahogy ez egyebkent az unió megalakulása előtt csak a nemzeti piacok esetében állt fenn.

Az egységes únios piac határain belüli szabad termékáramlás, melyet a kölcsönös elismerésre, szabványosításra illetve műszaki egységesítésre alapuló kereskedelem tesz lehetővé, valós versenyhelyzetet hoz létre. Az egységes piac serkentése érdekében az únios országok az „Noua Abordare” nak nevezett stratégiához folyamodtak, mely egy sor, az únios piacon először piacra dobott (vagy uzembe helyezett), különbö termékre vonatkozó direktívát jelent.

#### 1.2. Szabályozott termékcsoportok

Romániában 2001-ben látott napvilágot a termékek megfeleléségére vonatkozó 608-as tötvény, mely az európai törvénykezésből fakadt, és amely a termékek megfeleléségére vonatkozó műszaki szabályozások (európai Direktívák) kidolgozásának, a megfeleléség értékelésének és a szabályozott terermékcsoportok piacának felügyeletére vonatkozó jogszabályi keretét határozza meg.

A szabályozott termékcsoporthoz tartozó termékek csak akkor hozhatók forgalomba illetve használhatók ha nem veszélyeztetik az emberek, háziállatok és az ingó illetve ingatlan javak biztonságát, amikor is rendeltetés szerűen és az utasításoknak megfelelően helyezik azokat üzembe, üzemeltetik illetve tartják őket karban. Kifejezetten tilos forgalomba hozni olyan termékeket melyek a alapvető biztonsági előírásoknak nem felelnek meg [1].

## 2. CE JELÖLÉSRE KÖTELEZETT TERMÉKEK

A CE jelölés a francia Communauté Européenne (Európai Közösség) rövidítése, és az Európai Unió országaiban forgalomba hozott ipari termékekre érvényes. Azért hozták létre, hogy a fogyasztó egészségét és testi épségét védje. A CE jelölés használata mára már Romániában is kötelezővé vált, tehát az egyes ipari termékeket gyártó cégeknek fel kell tüntetniük saját termékeiken ezt a két betűt. A 608-as törvény szerinti szabályozott termékcsoporthoz tartozó termékek forgalomba hozása illetve üzembe helyezése csak akkor megengedett, ha azok a lényeges követelményeket kielégíti, a megfelelőségüket az előírt illetve vonatkozó eljárásokna megfelelően értékelték és ha a vonatkozó műszaki szabályozásoknak megfelelően CE megfelelőségi jelöléssel vannak ellátva.

A szabályozott termékcsalád 28 termékcsaládot foglal magába. Minden termékcsaládot egy európai Direktiva szabályoz, melyet a romániai jogszabály tartalmaz technikai szabályozás formájában. A szabályozott termékcsaládok a következők: gyenge áramú készülékek, nyomás alatti tartályok, építő ipari termékek, ipari berendezések, egyedi munkavédelmi eszközök, nem automat mérőberendezések, orvosi eszközök, gáz égők, melegviz kazánok, felvonók, hűto berendezések, távközlési berendezések, mérő eszközök [1, 4].

Csak azok a termékek forgalmazhatók vagy helyezhetők üzembe, amelyek eleget tesznek az alapvető követelményeknek. A technikai részleteket az összehangolt szabványok szabályozzák, amelyeknek alkalmazása ugyanakkor önkéntes marad.

## 3. TERMÉK TANUSÍTÁS

A CE jelölés megszerzése a terméktől és az azt szabályozó irányelv(ek)től függően igen változatos lehet, terjedhet a belső gyártói nyilatkozattól egészen a külső fél által tanúsított, teljes minőségbiztosítási rendszerig. Amennyiben tanúsító vállalat bevonása szükséges, a CE nyilatkozaton a tanúsítószervezet adatait is fel kell tüntetni.

*Mielőtt egy gyártó a szabályozott termék családba tartozó termékeit az európai egységes piacon értékesíteni akarja, a termékeit a vonatkozó előírások szerinti megfelelőségi vizsgálatnak kell alávetnie, hogy a EC jelzéssel termékeit elláthassa és az EC megfelelőségi bizonylatot kiállíthassa. Az EC jelölés azt jelenti, hogy a terméket bevizsgálták és megfelel a vonatkozó direktívák alapvető előírásainak és a termék megfelelőségét valamilyen eljárásnak megfelelően bevizsgálták.*

A megfelelési vizsgálati eljárások nyolc alapmodulra épülnek. Ahhoz, hogy az Egységes Piac koncepciója megvalósulhasson, a megfelelési vizsgálatot a termék gyártójának kell elvégeznie, illetve néhány esetben harmadik fél bevonásával kell történnie.

A modulok, melyeket a gyártók a megfelelés érdekében választhatnak vagy kombinálhatnak, részben a termék típusától, a termék területétől, és a gyártási módszerektől függ. Az önálló modulok bemutatása előtt ezért azt a rendelkezést kell beiktatni, hogy a gyártó választási joga csak olyan mértékű lehet, amelyet a vonatkozó irányelv megenged. Az egyes modulokat teljes eljárássá lehet kombinálni. Egy irányelven belül több modul létezhet egyazon feladatra - ilyen esetben az eredményeknek egy bizonyos szintű egyezőséget kell mutatniuk.

A szabályozott termékcsaládokba tartozó termékek megfelelőségét az alábbi modulok egyike vagy azok kombinációja szerint történik:

- A Modul – Gyártás belső ellenőrzése
- B Modul – EC típusvizsgálat
- C Modul – Típus megfelelés
- D Modul – Gyártás minőségbiztosítása
- E Modul – Termék minőségbiztosítása
- F Modul - Terméktanúsítás

- G Modul – Egység tanúsítása
- H Modul – Teljes minőségbiztosítás

A területenkénti irányelvek a termékgyártók számára minden terméktípusra többféle szabványosított eljárást kínálnak. Ha a választásra felkínált eljárásokat alkalmazzák, fontos, hogy a termékek eleget tegyenek az irányelvben foglalt alapkövetelményeknek. A megfelelési vizsgálati eljárások alapelve, hogy a megfelelési vizsgálatra legalkalmasabb eljárás kiválasztása, amennyire csak lehetséges, a gyártó előjoga legyen. A választást korlátozhatja a termék kockázati szintje és a vonatkozó EU-irányelv rendelkezései. A Globális Megközelítés elfogadása óta megfogalmazott EU-irányelvek megjelölik azokat az eljárásokat, amelyeket a gyártó alkalmazhat a Globális Megközelítéssel összhangban. Ez a fejezet nem vonatkozik az építőipari termékekre vonatkozó irányelvre, amely szerint a Bizottság határozza meg egy adott termék vagy termékcsalád megfelelési vizsgálati Eljárását.

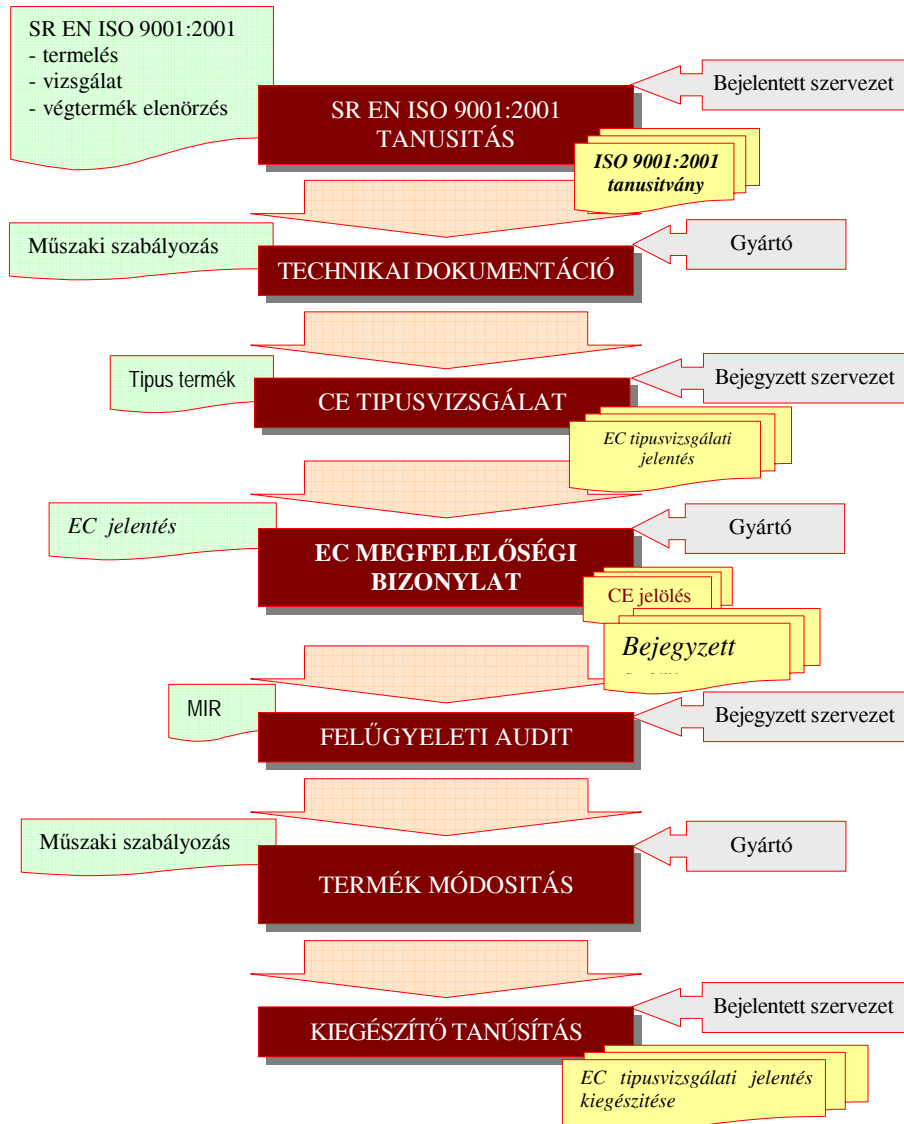
Az, hogy egy termék megfelelőségét melyik modul szerint kell bevizsgálni, az a termék komplexitásától és a felhasználásával járó kockázatoktól függ. A megfelelőség értékelésének/ bevizsgálásának moduljai a termék tervezésére, gyártására és végellenőrzésére vonatkoznak. A műszaki szabályozások minden termék típusra előírnak egy vagy több eljárást a megfelelőség bevizsgálására. A szigorú biztonsági és egészségügyi követelményekkel jellemzett termékek esetében a műszaki szabályozások akreditált tanúsító által tanúsított minőségirányítási rendszert ír elő. Más előírások az alapvető követelményeknek való megfelelés bizonyítékeként csak a gyártás belső ellenőrzését követeli meg. Sok termék esetében elégséges egy műszaki dokumentáció elkészítése. Egy harmonizált szabványnak való megfelelés magában hordozza a vonatkozó uniós Direktiva alapvető követelményeinek való megfelelést. Az európai harmonizált szabványoknak való megfelelés nem kötelező, a gyártónak meg van engedve, hogy más műszaki megoldások at alkalmazzon az alapvető követelmények teljesítése érdekében.[2].

Például ha a terméket a gyártás minőségbiztosítása D modul szerint, EC típusvizsgálat –nak kell alávetni, a gyártó a következő lépéseket kell megtennie [3].

Az építő ipari termékek megfelelőségének igazolása a fentiekhez képest más rendszer szerint (1+, 1, 2+, 2, 3, 4) történik, mely a terméknek az építményben betöltött szerepétől és a kapcsolódó kockázatoktól függ.

A termék megfelelőségét igazoló rendszerek közötti különbség abban áll, hogy az akreditált szervezetnek milyen szerepe van a tanúsítási folyamatban. Az igazolási rendszerek közös vonása az, hogy minden esetben a gyártó köteles a gyártást elenőrző rendszert bevezetnie, mely rendszernek ki kell terjednie a vonatkozó szabványnak való megfelelés bizonyításához szükséges dokumentumokra és feljegyzésekre [3].

Összefoglalva megállapítható, hogy Romániában a termékek jogszabályok szerinti forgalmazása és a szabványosítási környezet tekintetében teljesen EU-komformnak minősíthető. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy kizárólag a fent említett direktívákban rögzített alapvető védelmi és biztonsági követelmények (például élet-, egészség- és vagyónbiztonság, munkavédelem stb.) kötelezők, ám a szabványokban rögzített specifikációk nem, és ha a piac szabványos minőségű terméket kíván meg, akkor azt a piac kényszerítse ki. A termékek megfelelőség-értékelése tekintetében pedig azt jelenti, hogy a gyártó megválaszthatja, hogy milyen eljárással kívánja ellenőrizni (ellenőriztetni) termékét, de természetesen a terméknek meg kell felelnie a rá vonatkozó valamennyi direktívában megfogalmazott alapvető biztonsági stb. elvárásoknak.



1 Ábra. A gyártás minőségbiztosítása EC típusvizsgálattal

A termékek döntő részénél maga a gyártó is elvégezheti a megfelelőségi vizsgálatokat, és általában nem kötelező egy bejelentett szervezetet felkeresni e célból. A megfelelőség értékelésről a gyártónak egy előírt tartalmú műszaki dokumentációt kell összeállítania, amely tartalmazza, hogy az adott termék ilyen és ilyen direktívák alapvető védelmi követelményeinek, valamint az ilyen és ilyen harmonizált szabványok követelményeinek megfelel. És van még egy követelmény: fel kell tüntetni a CE jelölést.

Ha a teljes megfelelési vizsgálati eljárás sikeresen lezajlott, a CE-jelet a terméken fel kell tüntetni. Ez általában a gyártási szakasz végén történik. Az eljárástól függően a bejelentett szerv a tervezési szakaszban, vagy a gyártási szakaszban, vagy mindkettőben részt vehet. Ha egy bejelentett szerv részt vesz a gyártási szakaszban, a szerv azonosítószámát fel kell tüntetni a CE-jelölés után.

#### 4. AZ ISO 9001 ÉS A CE JELÖLÉS KAPCSOLATA

Az ISO 9000 szabványsorozatból származó minőségbiztosítási technikákon alapuló modulok kapcsolatot teremtenek a szabályozott és a nem szabályozott szektorok között. Ez segíti a gyártókat abban, hogy egyidejűleg tegyenek eleget az irányelveken alapuló kötelezettségeknek és az ügyfelek

szükségeinek. Továbbá bizonyos körülmények között lehetővé teszi a gyártóknak, hogy profitáljanak a minőségügyi rendszerbe történt beruházásaikból. Hozzájárul továbbá a minőségi lánc

(a termékek minőségétől kezdve maguknak a vállalatoknak a minőségéig) javításához, és növeli a tudatosságot a minőségirányítási stratégiák versenyképesség javításában betöltött szerepét illetően.

Sok esetben az egyes terméktanúsítási modulok alkalmazásakor és az építő ipari termékek megfelelési igazolásának minden esetében, az ISO 9001-es szabvány szerinti minőségirányítási rendszer bevezetése egy nagyon hatékony segédeszköz a gyártó kezében a termékszabványoknak a termelés ellenőrzés alatt tartására vonatkozó követelményeinek teljesítésében.

Ezekben az esetekben a gyártó opciója, hogy tanúsítja-e vagy sem az ISO 9001:2000 szabvány szerint a bevezetett minőségirányítási rendszerét, a termékek tanúsítása nem feltétele egy ilyen tanúsításnak.

Vannak azonban olyan termékek amelyek esetében a terméktanúsítási folyamat elindításának feltétele az ISO 9001:2000 szerinti tanúsítvány megszerzése, mely a benyújtandó dokumentáció szerves részét kell hogy képezze [5].

A minőségügyi rendszerek alkalmazása a megfelelési vizsgálati eljárások céljából az irányelvekben a D, E és H modulokban és azok változataiban kerül leírásra.

Az ISO 9001 sorozat szabványainak való megfelelés feltételezi a vonatkozó minőségbiztosítási moduloknak való megfelelést a szóban forgó szabvány által érintett rendelkezéseket illetően, feltéve, hogy a minőségirányítási rendszer figyelembe veszi - szükség szerint - a szóban forgó termékekre vonatkozó konkrét előírásokat.

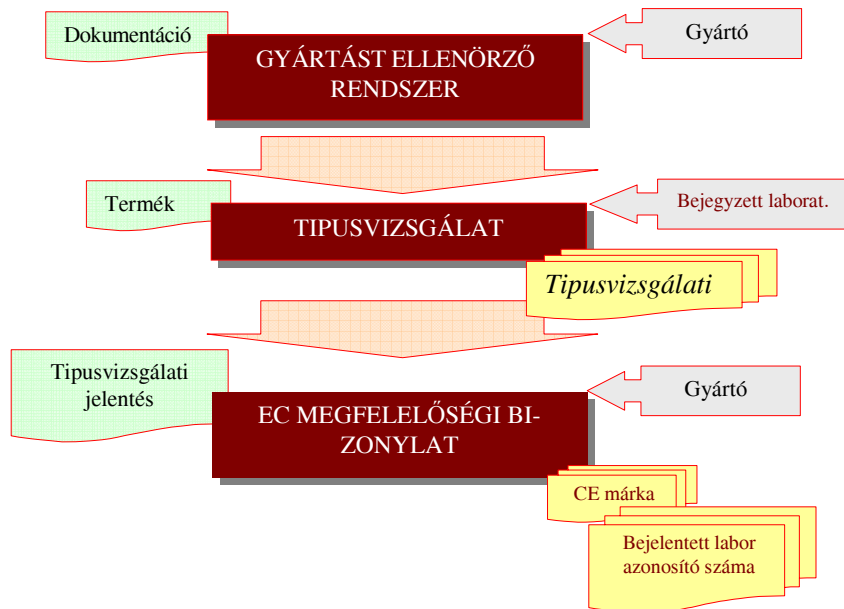
A C, F és G moduloknak és azok változatainak való megfelelés nem írja elő egy az ISO 9001 szabvány szerint tanúsított minőségirányítási rendszer működését, de rendelkezik a megfelelés megállapításának egy hasznos eszközéről. Ahhoz, hogy az ezen moduloknak való megfelelést biztosítsa, a gyártó szabadon használhat olyan minőségirányítási rendszer-modelleket is, amelyek nem az ISO 9000 szabványokon alapulnak.

Ahhoz, hogy a vonatkozó irányelveknek való megfelelést biztosítsa, a gyártónak gondoskodnia kell arról, hogy a minőségirányítási rendszer úgy működjön, hogy a vonatkozó lényeges előírások teljes mértékben alkalmazásra kerüljenek.

## 5. ESETTANULMÁNY

A fenti módszerek alkalmazásával már több cég termékeinek tanúsítását készítettük elő, itt egy termopán nyílászárók esetét mutatjuk be, melyeknek tüzbiztos felhasználásra készülnek. Ebben az esetben a termékek megfelelőségének az igazolása notifikált laborral való közreműködést igényelt, labor amely a Kezdeti típus vizsgálati jelentést, melynek alapján a gyártó EC megfelelési bizonylatot bocsájthat ki és a termékeket CE jelöléssel lathatja el.

A típus vizsgálatok elvégzése előtt, a gyártónak el kell készítenie és be kell vezetnie egy, a „SR EN 14351-1: Ajtók és ablakok. Termékszabvány, jellemzők és képesség” európai termékszabvány szerinti, a termelés ellenőrzésére vonatkozó dokumentációt.



## 6. KÖVETKEZTETÉSEK

A hatályos jogszabályoknak megfelelően, a gyártó felelősége, hogy megvizsgálja termékei mely vonatkozó jogszabály hatálya alá esnek. Ő a felelős a megfelelő termék tanúsítási és/vagy a vonatkozó szabályozások alapvető követelményeinek való megfelelés igazolási modul kiválasztásáért és annak helyes alkalmazásáért, illetve a biztonsági előírásoknak megfelelő terméket tervezni és gyártani. A gyártó egyedüli, kizárólagos és végső felelősége, hogy a terméke minden vonatkozó szabályozásnak megfeleljen.

A CE jelölés feltüntetése kötelező: ez tehát nem megkülönböztető minőségi jel, nem szabványossági jel. Sokan azt gondolják, hogy a CE jelölés egy tanúsított minőséget tükröz: de hogyan jelenthetne ilyet, amikor ezt a jelet az adott direktíva hatálya alá tartozó valamennyi terméken fel kell tüntetni?

## 7. IRODALOM

- [1] **608 –as sz. Törvény (2001.10.31)** termékek megfelelőségének vizsgálatát illetően;
- [2] **71-es sz. Határozat (2002.01.24)** pentru aprobarea Normelor metodologice privind modulele utilizate în diferite faze ale procedurilor de evaluare a conformității produselor din domeniile reglementate, prevăzute în Legea nr. 608/2001 privind evaluarea conformității produselor, republicată, și a regulilor de aplicare și utilizare a marcatului european de conformitate CE;
- [3] **622-es sz. Határozat (2004.04.21)** az építő ipari termékek forgalomba hozatalának feltételeit illetően;
- [4] **Kerekes, L., Orban, A.,** Certificarea conformității produselor. Marcarea CE. Declarația de conformitate EC. Produsele care trebuie marcate CE (I), **MANAGEMENTUL CALITĂȚII, Nr. 1, Anul VI, Ianuarie 2007;**
- [5] **Kerekes, L., Orban, A.,** Certificarea conformității produselor. Marcarea CE. Declarația de conformitate EC. Module de evaluare a conformității (II), **MANAGEMENTUL CALITĂȚII, Nr. 2, Anul VI, Februarie 2007.**

## Versenyjármű vezetési stratégiája, tüzelőanyag fogyasztásának optimalizálása

### DRIVING STRATEGY OF A RACE CAR, AND OPTIMIZATION OF THE FUEL CONSUMPTION

KESZENHEIMER Attila, RÁCZ László, OLÁH László,  
Dr. BARABÁS István, Dr. CSIBI Vencel

Kolozsvári Műszaki Egyetem

#### ABSTRACT

*The purpose of our work was to simulate the fuel consumption by changing different conditions and optimizing the projection parameters, taking in consideration the circuits characteristics. We also took in consideration all the forces which react on the vehicle, for example: air friction, moving resistance, brake resistance, acceleration resistance etc.; and in the same time the engine worked in brake periods.*

**Kulcsszavak:** matematikai model, menetellenállás, tüzelőanyag-fogyasztás

#### 1. BEVEZETÉS

Földünk legfontosabb problémája, a környezetszennyezést illetően a levegőben jelentősen megnövekedett szén-dioxid, s ennek negatív hatása, az üvegházhatás. A légszennyezés 70%-ban a közlekedés rovására írható. A szennyezés csökkentésének leghatékonyabb módja a belsőégésű motorok – melyeknek száma egyre nő – üzemanyag fogyasztásának csökkentése és alternatív, megújuló energiaforrások alkalmazása. A „Shell – Eco Marathon” egy kutatási, fejlesztési és oktatási verseny, melynek célja olyan technológiák kidolgozása és alkalmazása, melyek megoldást adnak erre a problémára.

A 2006os év végén megalakult a „Pro Mechanikus” csapat, melynek elsődleges célja a 2008-as „Shell – Eco Marathon” prototíp koncepcióra megtervezzen egy ultrakönnnyű, aerodinamikus járművet, melynek motorját a lehető leggazdaságosabbá és környezetkímélőbbé fejlessze.

A Shell Eco-marathon a Shell egyik legfontosabb társadalmi kezdeményezése, melynek középpontjában a fenntartható mobilitás áll. A program lehetőséget ad a jövő mérnökeinek és technikusainak arra, hogy felfedezzék és kísérletezzenek azokkal a technológiákkal és üzemanyagokkal, melyek választ jelenthetnek a közlekedés területén tapasztalt környezeti kihívásokra. A Shell Eco-marathon alapelve egyszerű: a résztvevő csapatok olyan közlekedési eszközöket terveznek és építenek, melyek a lehető legtávolabb tudnak jutni a legkisebb mennyiségű üzemanyaggal, miközben károsanyag-kibocsátások a lehető legalacsonyabb.

A csapatok nevezhetnek futurista prototípusokkal: olyan áramvonalas járművekkel, amelyeknél, szempont, hogy a légellenállás, gördülési ellenállás csökkentésével és a motor paramétereinek optimalizálásával maximalizálják a teljesítményt; illetve a „Városi Koncepció” kategóriába tartozó járművekkel, amelyek a közúti közlekedésben is részt vehetnek.

Hagyományos üzemanyagok, mint például a gázolaj, a benzin és a PB-gáz ugyanúgy hajthatják a járműveket, mint az alternatív energiaforrások, például nap-, elektromos, hidrogén-, vagy biomasszából nyert energia. Amíg a csapatok tartják magukat a biztonsági előírásokhoz, az energiaforrásoknak csak a képzeletük szabhat határt. Tavaly az egyik csapat például kenyérmorzsából hozott létre bioetanolt.



## 2. A VERSENY

A versenyen a belső égésű motorok kategóriában a fogyasztás mértékegysége *liter benzin/km*, függetlenül az alkalmazott üzemanyag típusától.

A Shell Eco Marathon minden évben Franciaországban a Nogaro circuit-on kerül megrendezésre. A pálya hossza 3.636 km, 14 kanyar, különböző lejtőszögekkel, maximális szintkülönbség kb. 6 m. Minden járműnek 7 kört kell megtennie, ami kb. 25 km-t jelent, ezután megméri az elhasznált tüzelőanyag mennyiségét és kiszámolják az egy liter benzinnel elérhető távolságot. A verseny egyik fontos szabálya, hogy a versenyző jármű a 7 kör távolságot 50 perc alatt kell megtennie. Ez idő alatt a járművekben a motor szenkvenciálisan üzemel, vagyis egy bizonyos gyorsítási szakasz után a motort kikapcsolják, a jármű szabad gördüléssel halad tovább és mikor lelassul egy minimális sebesség határra újra bekapcsolják a motort.

Az eddigi rekordot 2005-ben a Svájci csapat érte el, 3836 km-t tett meg 1 liter benzinnel.

## 3. JÁRMŰ FOGYASZTÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA

Dolgozatunk célja az autó fogyasztásának szimulálása különböző feltételek változtatásával és ezáltal a tervezési paraméterek optimalizálása, a pálya tulajdonságainak figyelembe vételével. Amint ismeretes a szakirodalomból [1] egy jármű fogyasztása sok tényezőtől függ. Ezek többek között a járműre ható különböző ellenállások: gördülési ellenállás, légellenállás, emelkedési ellenállás, gyorsulási ellenállás, s fékezési ellenállás.

$$B_{\theta} = \frac{\int b_{\theta} \cdot \frac{1}{\eta_i} \cdot \left( (f \cdot g \cdot m + \cos \alpha + \frac{\rho}{2} + c_d + A + v^2) + m \cdot (a + g \cdot \sin \alpha) + B_r \right) \cdot v \cdot dt}{\int v \cdot dt}$$

ahol  $B_{\theta}$  a jármű egységnyi távolságra eső fogyasztása [g/m]

$b_{\theta}$  a motor specifikus fogyasztása [kg/kWh]

$\eta_i$  a hajtásmechanizmus hatásfoka

$f$  fajlagos gördülési ellenállás

$g$  gravitációs gyorsulás [ $m/s^2$ ]

$\alpha$  lejtőszög [rad]

$\rho$  a levegő sűrűsége [ $kg/m^3$ ]

$c_d$  a légellenállási tényező [ $Ns^2/m^4$ ]

$A$  a jármű front felülete [ $m^2$ ]

$v$  sebesség [m/s]

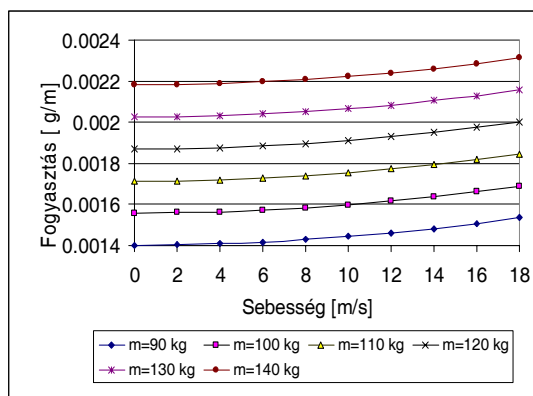
$m$  a jármű tömege [kg]

$a$  a jármű gyorsulása [ $m/s^2$ ]

$B_r$  fékezési ellenállás [N]

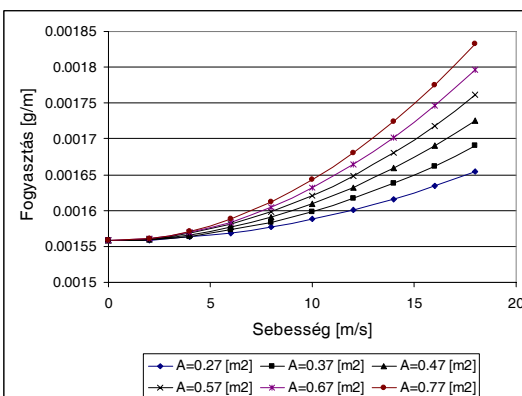
### 3.1 A tüzelőanyag-fogyasztás, sebesség, frontfelület és tömeg számítása és értékelése

Az (1)-es képlet segítségével megvizsgáltuk, hogy miként változik a jármű fogyasztása a sebesség, tömeg, frontfelület függvényében. A jármű ezen paramétereit változtattuk, a többi paraméternek pedig egy fizikailag elérhető lehető legjobb értéket vettünk.



1. ábra

A tüzelőanyag fogyasztás változása sebesség szerint, különböző tömegekre

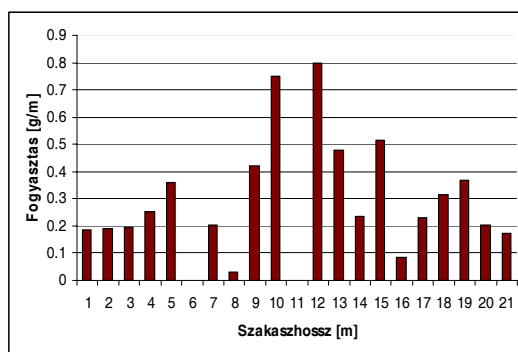


2. ábra

A tüzelőanyag fogyasztás változása sebesség szerint, különböző frontfelületekre

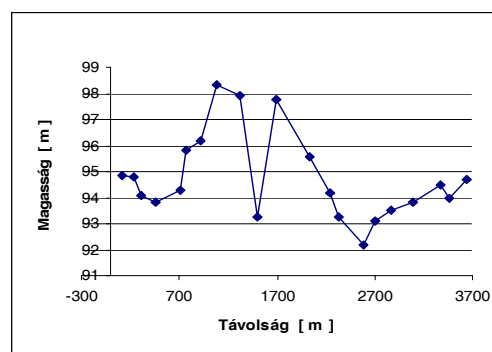
### 3.2 Lejtőszögekkel való számítás

Felmértük a pálya topográfiáját és felosztottuk 21 szakaszra  $\alpha$  lejtőszög szerint. Minden szakasznak van egy  $L$  hossza,  $\alpha$  szöge és mindegyikre számoltunk egy  $B_\theta$  fogyasztást. A számítások leegyszerűsítése véget  $v$  = állandó középsebességgel számoltunk és állandó motor működéssel. Az eredmény  $B_\theta t = 5.989$  [g] üzemanyag egy kör megtételéhez, tehát egy liter benzín 443,2 km megtételéhez elegendő.



3.ábra

A tüzelőanyag – fogyasztása pálya szakaszain

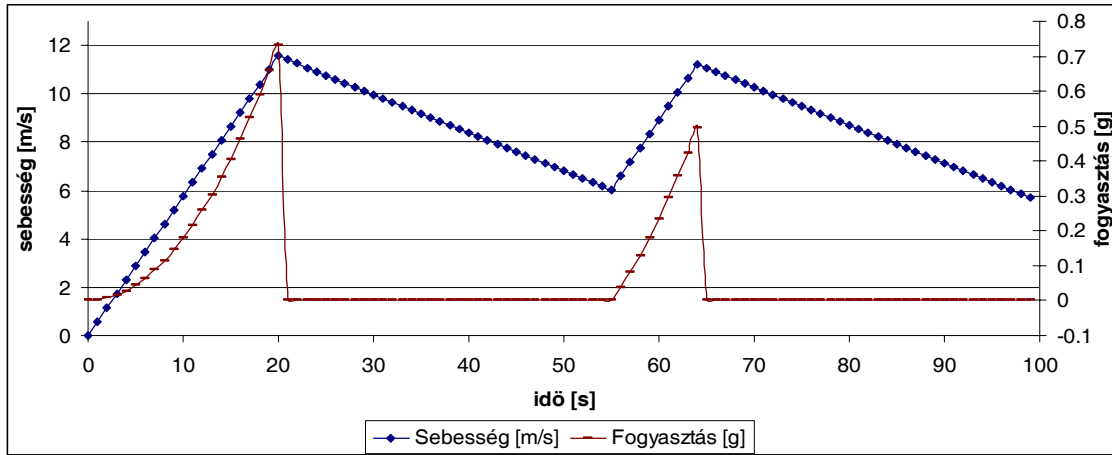


4.ábra

Szintmagasság változása a pálya különböző szakaszain

### 3.3 Szekvenciális működtetés

Ezekben a számításokban az  $a$  gyorsulást állandónak ( $a=áll$ ) vettük, a sebességet pedig  $v = k_0 + k_1 \cdot t$ , ahol  $k_0 = v_0$  kezdő sebességgel és  $k_1 = a$  gyorsulással. A lejtőszögeket nem vettük számításba, tehát a pálya egész szimulálása alatt  $\alpha = 0$ . A maximális sebességet (ahol kikapcsoltuk a motort) és a minimális sebességet (ahol újra bekapcsoltuk a motort) a köridő teljesítéséhez szükséges átlagsebességgel határoztuk meg, ami kb. 30 km/h. Ezekkel a számításokkal egy liter benzinnel 542,1 km.-es eredményt értünk el.



5. ábra

*Sebesség és fogyasztás ábrázolása idő függvényében, szekvenciális üzemmódban*

### 3.4 A pálya teljeskörű szimulálása

Teljes szimulálásakor figyelembe vettük a járműre ható összes dinamikai ellenállást: lejtő-, lég-, gördülési, stb. ellenállást és mindezekkel együtt szekvenciálisan működtettük a motort. Ahhoz, hogy szimuláljuk a pályát 42 integrál egyenletre volt szükségünk, amiket a MathCad 14 program segítségével oldotunk meg. Az eredmény 553 km. egy liter benzinel.

## 4. ÖSSZEGZÉS

A jövőben folytatjuk a pálya matematikai modeljének tökéletesítését, hogy a tervezési paramétereket majd minél jobban tudjuk optimalizálni.

## IRODALOM

- [1] Ulrich, Alder: Automotive Handbook, Stuttgart, Robert Bosch GmbH, 2004.
- [2] [www.shell.com/eco-marathon](http://www.shell.com/eco-marathon)
- [3] Adrian Todoruț : Dinamica autovehiculelor, Editura Ericom,. București 2006,
- [4] Untaru.M : Dinamica autovehiculelor pe.roți,Edit.Didactica și pedagogica,București,1981

## Perforált mikroszűrő membránok terhelhetőségének becslése

### ESTIMATION OF LOAD CAPACITY OF PERFORATED MICROFILTER MEMBRANES

Dr. Habil. KOVÁCS Ádám

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Műszaki Mechanikai Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3, Tel.: +36 1 4631369, Fax: +36 1 463 3471,  
E-mail: adamo@mm.bme.hu, Web: <http://www.mm.bme.hu/~adamo/>

#### ABSTRACT

*Load capacity, i.e. maximum bursting pressure of square-form, very thin perforated silicon-nitride microfilter membranes has been estimated with the help of finite element simulations. A nonlinear, large deflection analysis has been performed to determine the effect of hole-topology on the stress state. Through the definition of effective elastic modulus and fracture strength a relative simple analytical estimate could also be done using the maximum normal stress criterion.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Négyzet alakú, nagyon vékony perforált szilikon-nitrid mikroszűrő membránok terhelhetőségét, azaz a maximális törési nyomást becsültem a végeselem módszerrel. Nemlineáris, nagy elmozdulás vizsgálatot végeztem annak kiderítésére, hogy milyen hatással van a perforáció topológiája a feszültségi állapotra. Effektív rugalmassági modulusz és törési szilárdság definiálásával, a legnagyobb normálfeszültség feltétel használatával viszonylag egyszerű módon analitikus becslés is adható.*

**Kulcsszavak:** szilikon-nitrid mikroszűrő, perforált membrán, MEMS, terhelhetőség, nagy elmozdulás.

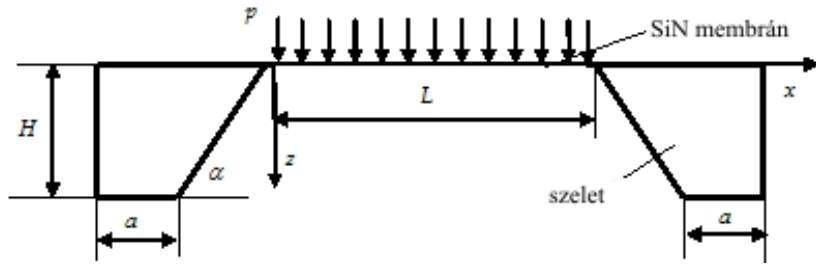
#### 1. BEVEZETÉS

Perforált vékony lemezeket gyakran használnak különféle mérnöki szerkezetekben. Klasszikus példák erre a hőcserélő vagy a különféle akusztikus berendezések. Ugyanakkor számos mikro-elektromechanikai szerkezetben (MEMS) is találkozhatunk ilyenekkel, pl. szűrők esetében. A szürendő részecskék méretétől függően néhány tíz nanométer nagyságrendjébe eső résméretű porózus ill. mikron nagyságrendjébe eső lyukméretű perforált nagyon vékony lemezeket, membránokat alkalmaznak. A membrán anyagának gyakran választanak szilikon-nitridet (SiN), mivel annak igen jók a hőmérséklet tűrő, kémiai stabilitási és mechanikai tulajdonságai. Ez utóbbi a nagy törési szilárdságot és a nagy terhelési tartományban mutatott lineárisan rugalmas anyagi viselkedését jelenti. A membránok terhelhetőségét a kritikus nyomás értékével jellemezzük, mely a membrán törését idézi elő. Ennek ismerete kulcsfontosságú a szerkezet tervezésekor. Tervezési cél a minél nagyobb perforációs index (a lyukfelület és a teljes felület aránya) elérése, mivel ez tesz lehetővé hatékonyabb szűrést [1], ugyanakkor ez jelentősen csökkenti a membrán szilárdságát, egyben a szürendő közeg megengedhető nyomását. A terhelhetőség minél pontosabb becslésével segíthetjük az optimális tervezést, ami a kétféle szempont – nagy perforációs index és nagy megengedhető nyomás – egyidejű kompromisszumos figyelembevételét jelenti.

#### 2. A MECHANIKAI MODELL

A szerkezet vázlata az 1. ábrán látható. A nagyon vékony ( $L/h > 100$ ) perforált négyzetes membrán zárt kerettel kapcsolódik a lényegesen vastagabb tömszelethez s emiatt egy egyszerű, különálló, a pereméin befogott lemezként modellezzük. A membrán anyaga szilikon-nitrid, melynek ru-

galmas anyagjellemzőinek értéke igen tág határok között változik a szakirodalom szerint [2,3]. Az általánosan vizsgált szerkezet anyagjellemzőit mérésekkel állapították meg [4] és e mérések szolgálták alapot az alkalmazott végeelem modell validálásához is.



1. ábra  
A szerkezet egyszerűsített vázlata

A technológia miatt több paraméter értéke állandó ( $H = 400 \mu\text{m}$ ,  $a = 100 \mu\text{m}$ ,  $\alpha = 54.7$ ), viszont változhat a membrán  $L$  hossza és  $h$  vastagsága. A membrán külső terhelése homogén, időben állandó külső  $p$  nyomás.

Az egyszerű geometria miatt a vékony lemezek hajlítására vonatkozó Kármán-féle egyenleteket [5] használjuk, és a zárt (perforációval nem gyengített) membrán lehajlására vonatkozó differenciálegyenletet Ritz-módszerrel, a természetes peremfeltételeket kielégítő trigonometrikus próbafüggvény-nyel oldjuk meg. Ez a lemezközép lehajlására és normálfeszültségére a következő eredményt adja:

$$w_0 = 0.319L \sqrt{\left(\frac{p}{E}\right) \left(\frac{L}{h}\right)}, \quad \sigma_0 = 0.319E^3 \sqrt{\left(\frac{p}{E}\right)^2 \left(\frac{L}{h}\right)^2}. \quad (1)-(2)$$

Mivel rideg anyagról van szó, a törést a Navier-féle (legnagyobb normálfeszültség) kritériummal ellenőrizzük:  $\sigma_{1\max} = \sigma_B$  ( $\sigma_B$  az anyag törési szilárdsága). A nagyon nagy  $L/h$  arány miatt a hajlítófeszültségek csak a perem igen kis környezetében jelennek meg, egyébként a feszültségi állapotot a membrán feszültségek határozzák meg. Mivel a Ritz-módszer köztudomásúlag csak az elmozdulásmezőre ad elfogadható közelítést, a maximális feszültséget analitikusan más módszerrel becsljük.

A módszer azon a felismerésen alapszik, hogy a peremközépen ébredő maximális normálfeszültség arányos a membrán közepén ébredő normálfeszültséggel:

$$\sigma_{1\max} = C_\sigma K_\sigma \sigma_0, \quad (4)$$

ahol  $C_\sigma$  egy kalibrációs paraméter, ami az igen sűrű hálófelosztással kapott végeelemes feszültség és a (2) képlettel számított érték hányadosa egy adott  $p$  nyomás esetén,  $K_\sigma = \sigma_{1\max}^{FE} / \sigma_0^{FE}$  pedig a peremközépen és a lemezközépen numerikusan számított legnagyobb normálfeszültségek aránya. A (4) szerint számított legnagyobb normálfeszültségből a (2) összefüggésből (3) figyelembevételével adható becslés a kritikus nyomásra zárt membrán esetén:

$$p_{crit} = 7,508E \frac{h}{L} \sqrt{\left(\frac{\sigma_B}{E}\right)^3}. \quad (5)$$

Perforált membrán esetén az anyagjellemzőket a  $P$  perforációs index (a teljes lyukméret és a membrán terület aránya) segítségével [4,6] nyomán az alábbi módon közelítjük:

$$E_p = (1-P)^e E, \quad \sigma_{Bp} = (1-P)^f \sigma_B, \quad (6a-b)$$

ahol  $P$  az  $e$  és  $f$  konstansokat numerikus szimulációval határozhatjuk meg. Megjegyzendő, hogy az  $E$  rugalmassági moduluszt az (1) egyenlet felhasználásával a mért  $w_0$  maximális lehajlás ismeretében határozhatjuk meg.

### 3. NUMERIKUS SZIMULÁCIÓ

A fent említett módszer alkalmazhatóságának bizonyítására és a perforációs topológia hatásának vizsgálatára egy olyan membránt vettem, melynek geometriai és anyagjellemzői az 1. táblázatban láthatók.

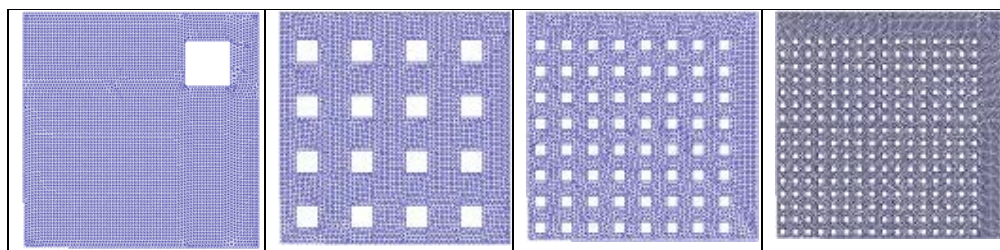
Perforált lemez geometriai és anyagjellemzői

1. táblázat

Paraméter neve	Jel [mértékegység]	Érték
Hossz	$L$ [ $\mu\text{m}$ ]	1700
Vastagság	$h$ [ $\mu\text{m}$ ]	263
Rugalmassági modulusz	$E$ [GPa]	220
Poisson tényező	$\nu$ [-]	0,25
Törési szilárdság	$\sigma_B$ [MPa]	2400
perforációs index	$P$ [-]	0,1928

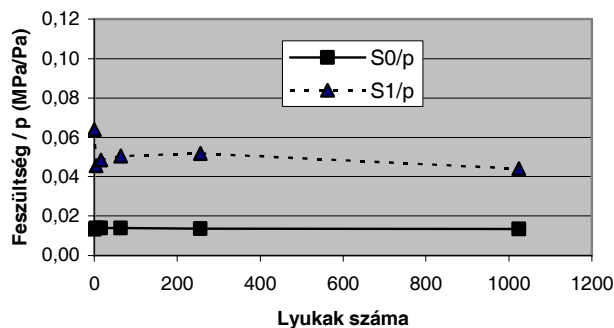
#### 3.1. A perforációs topológia hatása

A végelem szimulációkhoz a COSMOS/M 2.6 kereskedelmi szoftver csomagot használtam. A modellben a membrán negyedét lineáris háromszög alakú héjelemekkel hálóztam be. Az alkalmazott nyomás  $p = 400$  mbar volt. A perforációs topológia hatásának vizsgálatára a 2. ábrán látható, a teljes lemezre vonatkozólag  $N = 4, 64, 256$  és  $1028$  négyzetes lyukat vettem.



2. ábra

Perforált membránok végelem modellje ( $P = 0,1928$ )



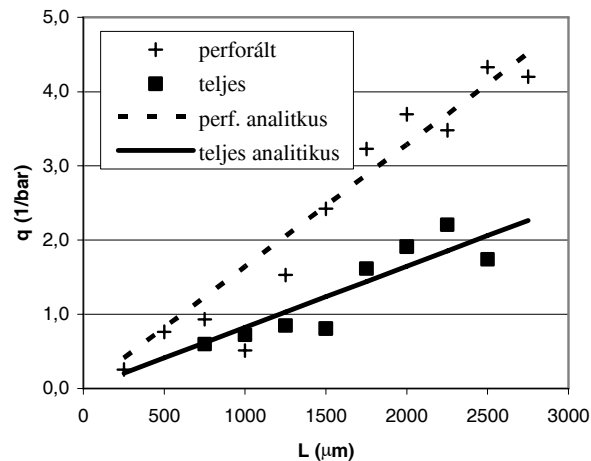
3. ábra

A legnagyobb normálfeszültség változása

A 3. ábra mutatja a maximális és a membránközépen ébredő normálfeszültség változását dimenziótlan formában a lyukak számának függvényében. Amint látható, állandó perforációs index esetén elhanyagolható a topológia hatása. Természetesen ez nem vonatkozik a feszültségek eloszlására, azonban a terhelhetőséget nem az eloszlás, hanem csak a maximális érték befolyásolja.

### 3.2. A terhelhetőség becslése

Van Rijn. et al. [6] végzett kísérleti eredményekkel vettem össze a 2. fejezetben ismertetett módszer szerint számított kritikus nyomást. A 4. ábra a kritikus nyomás reciprokának  $q = 1/p$  változását mutatja a membránhossz függvényében. A (6a-b) összefüggésekben szereplő paraméter értékek a numerikus szimulációval  $e = 1,2$ -nek ill.  $f = 2,0$ -nak adódtak. A becslést (folytonos ill. szaggatott vonal) és a mért értékek jó egyezése a módszer alkalmazhatóságát bizonyítja.



4. ábra

A kritikus nyomás reciprokának változása

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondok az OTKA-nak a kutatás anyagi támogatásáért (szerződésszám: T049848).

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Van Rijn, C.J.M.: Nano and Micro Engineered Membrane Technology, Elsevier, 2004.
- [2] Yang, J.L., Paul, O. Fracture properties of LPCVD silicon nitride thin films from the load-deflection of long membranes, Proc. of Transducers'01, Munich, Germany, June 10-14, 2001, pp. 1394-1397.
- [3] Yi, T., Kim, C-J.: Measurement of mechanical properties for MEMS materials. Meas. Sci. Technol., 1999, Vol. 10, pp. 706-716.
- [4] Kovacs, A., Kovacs, A., Pogany, M., Mescheder, U.: Mechanical investigation of perforated and porous membranes for micro- and nanofilter applications. Sensors and Actuators A, *megjelenés előtt*.
- [5] Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger, S.: Lemezek és héjak elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [6] Van Rijn, C.J.M., Van der Wekken, M., Nijdam, W., Elwenspook, M.: Deflection and maximum load of microfiltration membrane sieves made with silicon micromachining. J. of Microelectromechanical Systems, 1997, Vol. 6, No. 1, pp. 48-54.

## Űrszonda CCD kamerájának radiometrikus kalibrációja

### THE RADIOMETRIC CALIBRATION OF A SPACECRAFT CCD CAMERA

Dr. KOVÁCS Gábor

tudományos munkatárs

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék  
Hungary, Budapest, 1111. Egy J. u. 1-3 E épület, 313; Tel: 463-2602 Fax: 463-3787,  
Web: www.mom.bme.hu; kovgab@mom.bme.hu

#### ABSTRACT

*Scientific grade CCD cameras usually require special, individual calibration process. These calibration data can be utilized later in the correction and enhancement of the images, providing the most information possible for the scientific evaluation. This article describes the radiometric calibration of a special CCD camera, the imaging system of the Dawn spacecraft.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A tudományos kutatásban használt képrögzítő eszközök a kereskedelmi forgalomban kapható digitális fényképezőgépektől eltérően, egyedi kalibrációs eljárásokon mennek keresztül. Az így nyert információk felhasználhatóak a kamerával készített képek további korrekciójára, amely lehetővé teszi az adott szakterület igényeinek megfelelően, a képi információk legteljesebb feldolgozását. A cikkben egy speciális CCD kamera – a Dawn űrszonda képrögzítőjének – radiometrikus kalibrációja kerül ismertetésre.*

**Kulcsszavak:** optika, optomechatronika, CCD, kamera, űrkutatás, Dawn

#### 1. A DAWN PROJEKT

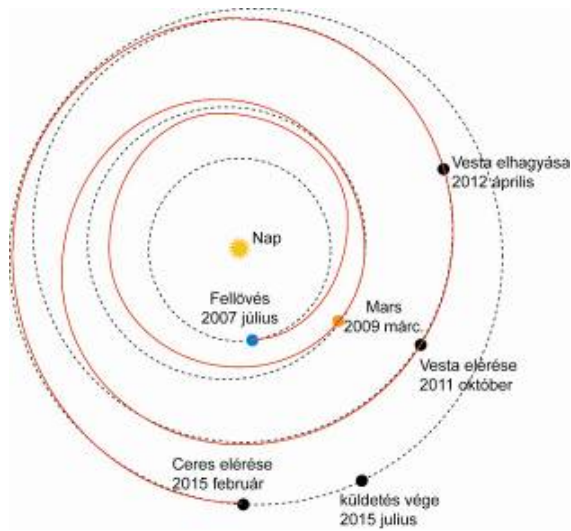
A Dawn űrszondát a NASA a „Discovery” küldetések keretében, a tervek szerint 2007. júniusában indítja el egy Delta II hordozórakétával. A szonda a Mars és a Jupiter közötti kisbolygó-övezetet célozza meg: feladata több kisebb aszteroida vizsgálata mellett, két jelentősebb kisbolygó, az eddigi ismereteink szerint eltérő körülmények közt kialakult Ceres és Vesta megfigyelése. A projekt várhatóan a Naprendszer kialakulásának kezdeti szakaszáról is információkat szolgáltat. A szonda tervezett küldetési ideje meglehetősen hosszúra nyúlik, ennek egyik fő oka az alkalmazott új típusú xenon-ion hajtómű, amely gazdaságos üzemeltetésű, de csak viszonylag kis tolóerővel rendelkezik. A Ceres elérése így csak 2015-re várható. Az űreszköz tervezett pályája az 1. ábrán látható.

Az űrszondát a NASA az Európai Űrügynökséggel (ESA) nemzetközi együttműködés keretében készíti. A fedélzeti kutatóeszközök között két azonos felépítésű, optikai képrögzítő eszköz található. Ezeket a Német Űrkutatási Központ (DLR) és a Max Planck Intézet fejlesztette. A Műszaki Egyetem Mechatronika Optika és Műszertechnika Tanszéke az elkészült CCD kamerák átfogó optikai kalibrációjára kapott megbízást 2006-ban.

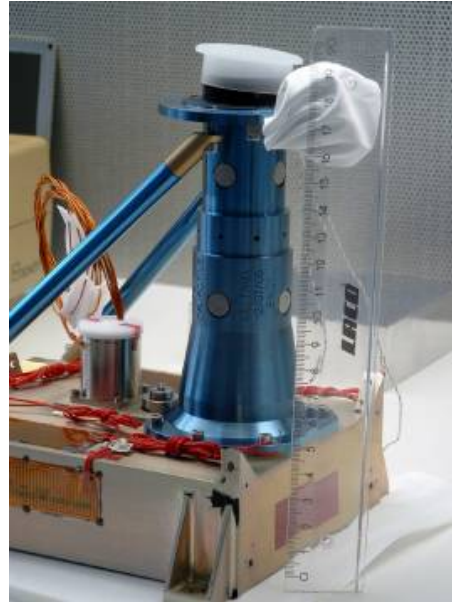
#### 2. A KAMERA OPTIKAI RENDSZERE

A két azonos kamera az űrszonda legfontosabb érzékelője, mivel a megfigyelés és képrögzítés mellett, navigációs célokat is szolgálnak. A kamerák optikai rendszere négytagú objektívbeli és vékonyréteg sávszűrőkből áll. Az objektíveket fedél védi a külső hatásoktól. A nyolc sávszűrő egy forgatható szűrőváltóban foglal helyet, közvetlenül a detektor előtt. Az optikai rendszer effektív fókuszávolsága 150 mm. A belépő pupilla átmérője 20.85 mm. ez a rendszerre nézve F: 7.2 fényerőt jelent.





1. ábra A Dawn szonda pályája



2. ábra A kamera kísérleti példánya

Képfelvévő elemként egy 1024x1024 pixeles monokróm „frame transfer” CCD detektort építettek a kamerába, melynek pixel mérete 0.014x0.014mm. A detektor kiválasztásakor a nagy felbontóképesség mellett fontos szempontként merült fel a sugárzásállóság, az alacsony zaj, és a nagy dinamika tartomány is. Az expozíciós időt csak elektronikusan szabályozzák, nincs mechanikus fényzárás a kamerában. A „frame transfer” CCD működéséből adódóan a képek így egy enyhe elkenődést (smearing) tartalmaznak, de ez egy egyszerű képfeldolgozó algoritmussal korrigálható. A CCD kimenetén 14 bites A/D konvertert alkalmaztak, így a kamerával nyert képek maximálisan 16384 különböző intenzitás árnyalati szintet tartalmazhatnak.

A kalibrációs méréseket a Max Planck Institute optikai laboratóriumában a németországi Lindauban végeztük. Itt állt rendelkezésre olyan nagytisztaságú laboratórium, és az űrbéli körülmények szimulálására szolgáló vákuumkamra, ami a mérések elvégzéséhez elengedhetetlenül szükséges volt. Az optikai kalibráció során alapvetően négyféle mérést végeztünk:

- *Az optikai rendszer pontszerű fénnyforrásról alkotott kép kiterjedését és intenzitás eloszlását kellett meghatározni.* A mérést, különböző tárgytávolságokat szimulálva végeztük el, így meghatároztuk a detektor optimális képsíktól való eltérését is (fókusz pozíció).

- *Az optikai rendszer kontraszt átviteli függvényének meghatározása.* Ez a mérés a teljes rendszer (objektív, detektor, elektronika) optikai felbontóképességét határozta meg.

- *„Flat field” mérések, és korrekciós képek előállítás.* A mérés a teljes látómező radiometrikus egyenletlenségeinek meghatározása szolgált. Az egyes detektor képpontok közötti egyenletlenségek, vignettálás, valamint az optikai elemek és a felületükön levő szennyeződések korrigálására korrekciós képeket állítottunk elő.

- *A kamera abszolút radiometrikus kalibrációja.* A mérés során meghatároztuk a kamera spektrális válaszát. A továbbiakban ennek a mérésnek a részletei kerülnek bemutatásra.

### 3. A MÉRÉSI ELV

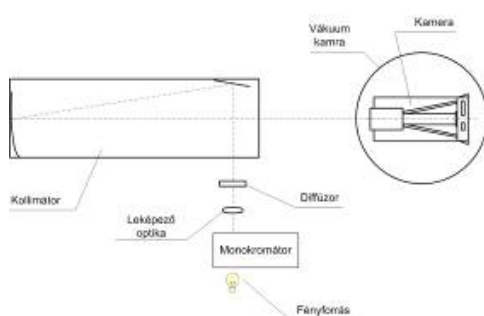
A radiometrikus kalibrációs mérés célja a teljes optikai rendszer transzmissziós karakterisztikájának a meghatározása, valamint a spektrális detektor válaszfüggvény megadása volt. Ennek ismeretében a kamerával készített képek alapján a tárgy felszínének spektrális optikai sugárzása (reflexiója)

kiszámítható, ennek segítségével a kisbolygók felszínén található anyagokra lehet következtetni. A méréshez a kamera detektor síkjára ismert hullámhossz eloszlású és energia tartalmú képet kellett vetíteni, és meg kellett határozni az arról készült digitális kép intenzitás-eloszlását.

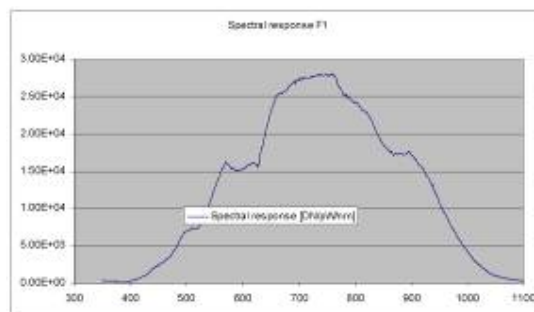
Az alkalmazott mérési elrendezést a 3. ábra mutatja. Fényforrásként egy Oriel gyártmányú halogén lámpát használtunk, amely egy 0.3 nm felbontású Cerny-Turner monokromátorhoz kapcsolódott. A monokromátor kivilágított kimenő rését egy akromát segítségével képeztük le egy transzmissziós diffúzorra. A diffúzor túloldalán így egy ismert hullámhossz-eloszlású intenzitásfolt jelent meg. A tényleges fényáram méréséhez kalibrált fotodiódát használtunk. Megmértük a monokromátorból kilépő fényáramot, 350 és 1100nm között nanométerenkénti lépésekben a diffúzor előtt, valamint megmértük a fényáramot a diffúzor után 50 mm távolságban.

A kivilágított diffúzor, optikai padon, egy nagyméretű off-axis kollimátor fókuszában került elhelyezésre. A kollimátor fókusza 1750 mm, az átmérője 250 mm volt. A kollimátor után, a kilépő nyálkában, kvarcüveg ablakkal lezárt vákuumkamra belsejében helyeztük el a mérendő CCD kamerát. A vákuumkamrában levő, távvezérelt billenő állvány segítségével a kamera optikai tengelyét párhuzamosra szabályoztuk a kollimátor tengelyével. Ezáltal a rés képe, mint egy végtelenben levő tárgy képeződött le a kamera detektor síkjában.

A monokromátor hullámhosszát lépésenként állítva, minden szűrő pozícióban, képeket készítettünk a diffúzoron megjelenő energiasíkfóltról. Összesen közel 2000 kép készült. A képek készítésekor a letöltéshez az üresköz kommunikációs csatornáját kellett használnunk, így egy-egy kép készítése több mint 3 percet vett igénybe, ennek következtében az automatizált mérési folyamat több napig tartott.



3. ábra A mérési elrendezés



3. ábra A kamera abszolút spektrális válasza (F1)

#### 4. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mérés kiértékelésékor azonnal egy nem várt problémába ütköztünk. A tervezéskor a diffúzort optikailag tökéletesen diffúz felületűnek feltételeztük, vagyis Lambert sugárzóként kezeltük. Sajnos, ez jelentős hibát okozott, minek eredményeként a számított detektor kvantum hatásfoka a várt érték többszörösére adódott. Ennek korrigálására külön megmértük a diffúzor transzmissziós tulajdonságait. Szerencsére a diffúzor spektrális karakterisztikája a mérési tartományban nem mutatott jelentős egyenetlenséget, az energia áteresztés tekintetében viszont erős iránykarakterisztikája volt. A mérések szerint a diffúzorállandó 7.65 1/sr értékű, vagyis, 1 W/m<sup>2</sup> merőleges besugárzás hatására a diffúzor 7.65 W/m<sup>2</sup>/sr normál irányú sugárzásereősséget produkált.

A diffúzorállandó ismeretében így már meg lehetett határozni a kamera optikai rendszere által összegyűjtött teljes energiamentyiséget. A  $P_{opt}$  sugárzási áramot (fényáramot) amit az optikai rendszer felfog, az alábbi tényezők határozzák meg:

- $P_{measured}$  sugárzási áram, ami a diffúzorra jut (a kalibrált detektorral mért érték)
- $C_{diff}$  a diffúzor konstans
- $\Omega_{diff}$  a kamera optika által lefedett teljes térszög a tárgypontból nézve
- $r_{FC}$  a kamera optika belépő pupilla fél-átmérője
- $f_{coll}$  a kollimátor fókusza

$$P_{opt} = P_{measured} C_{diff} \Omega_{diff} = \frac{I_{photo}}{S_{det}} C_{diff} \pi \frac{r_{FC-pupil}^2}{f_{coll}^2} \quad (1)$$

Az ismert energiataralmú fényfoltról, a kamerával készített digitális képeket felhasználva, a kamera abszolút spektrális válasza kiszámítható. Ehhez a képeken el kellett végezni az alapvető redukciós lépéseket:

- a pixel DN értékekből le kellett vonni a bias értéket és a sötétáramot
- a képen korrigálni kellett a kiolvasási „smearing” hatást
- el kellett végezni a „flat-field” korrekciót

Az így nyert képeken az összes pixel DN értékét összeadva meghatározható a kamera abszolút spektrális érzékenysége DN/W/nm értékben. (4. ábra)

## 5. A KVANTUMHATÁSFOK MEGHATÁROZÁSA, KONKLÚZIÓK

A teljes rendszerre vonatkozó kvantumhatásfok megmutatja, hogy a kamera milyen hatékonysággal állít elő elektromos jelet (töltéseket) a beérkező fotonokból. Esetünkben a kvantumhatásfok a mért fotoelektronok és a rendszerbe lépő fotonok hányadosa:

$$QE = \frac{n_{electrons}}{n_{photons}} \quad (2)$$

A foto-elektronok számát a pixelek telítési töltéséből (full well capacity)  $Q_{sat}$ , határozhatjuk meg. Az alkalmazott detektor, a gyártó specifikációja szerint, telítési expozíció esetén 320000 elektront tud tárolni. Ez a töltésmennyiség, az AD átalakítón, a kiolvasáskor 16383 DN értéknek felel meg. Ennek alapján a létrehozott foto-elektronok száma:

$$n_{electrons} = \frac{DN_{sum}}{DN_{sat}} Q_{sat} = \frac{DN_{sum}}{16383} 320000 \quad (3)$$

A fotonok száma a rendszerbe érkező optikai teljesítmény ( $P_{opt}$ ) és a CCD kép integrálási idejének ( $t_{ex}$ ) segítségével határozható meg:

$$n_{photons} = \frac{P_{opt} t_{ex}}{vh} = \frac{P_{opt} t_{ex} \lambda}{ch} = \frac{P_{opt} t_{ex} \lambda}{3 \cdot 10^8 \cdot 6.626 \cdot 10^{-34}} \quad (4)$$

A teljes kamera maximális kvantumhatásfoka a fentiek alapján 15%-ra adódott, ami jól korrelált a tervezési adatok (detektor QE, optika transzmisszió, stb.) alapján becsült értékkel.

A kalibrációs mérések eredményei egyrészt igazolták a tervezés és kivitelezés pontosságát, másrészt egy olyan referencia adatbázis létrehozásához járultak hozzá, ami az űrszonda küldetése során lehetővé teszi a Földre küldött képek pontosabb kiértékelését, és így a kisbolygók pontosabb megismerését.

## 6. IRODALOM

1. James Janesick: Scientific Charge Coupled Devices, SPIE Press 2001
2. W. Romanishin: An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs, University of Oklahoma 2006
3. Glenn E. Healey, Raghava Kondepudy: Radiometric CCD camera calibration and noise estimation, IEEE Transactions on Pattern Analysis Vol 16 No 3.
4. <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/dawn>
5. <http://neo.jpl.nasa.gov/missions/dawn.html>

## Mikroregionális virtuális logisztikai hálózat kialakításának módszere, koncepciója

### METHOD AND CONCEPTION FOR ESTABLISHMENT OF A MICROREGIONAL VIRTUAL LOGISTICS NETWORK

Dr. KOVÁCS György<sup>1</sup>, Dr. CSELÉNYI József<sup>2</sup>, SOMOGYVÁRI Zsuzsa<sup>3</sup>

Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék  
Miskolc-Egyetemváros, Tel.:+36-46-565-111, Fax: +36-46-563-399, altkovac@uni-miskolc.hu  
<sup>1</sup> egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz.,  
3515 Miskolc-Egyetemváros, tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399,  
e-mail: altkovac@uni-miskolc.hu, honlap: www.uni-miskolc.hu  
<sup>2</sup> egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz., 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399, e-mail: cselenyi@snowwhite.alt.uni-miskolc.hu,  
<sup>3</sup> egyetemi hallgató, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz.,  
3515 Miskolc-Egyetemváros, tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399,  
e-mail: zsuzsa.somogyvari@gmail.com

#### ABSTRACT

*Conception for model of micro-regional logistics network were elaborated. A microregional logistics network with the centre of Eger can be established by the application of the elaborated model. A method for selection of elements of the micro-regional logistics network and the tasks of the different elements were also elaborated. Operation strategy and principles of the operation were defined in case of the network to be established.*

**Kulcsszavak:** Virtualitás, hálózatszerűség, mikro-regionális logisztikai hálózat

#### BEVEZETÉS

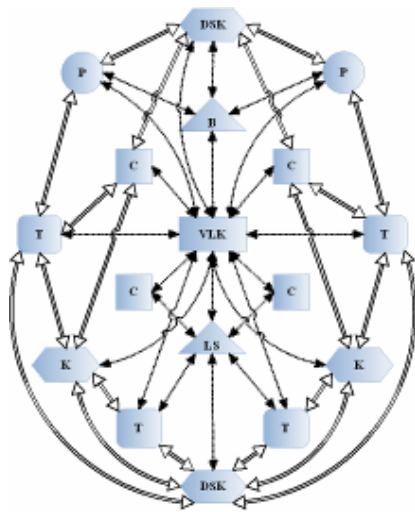
Az elmúlt néhány év során jelentős változások mentek végbe a gazdaságban világszerte. Napjainkban a meghatározó gazdasági folyamatok a globalizáció és az integráció. Ha végbemegy a piacok globalizációja, az a szolgáltatások és a termelés globalizálódását és integrálódását eredményezi.

A termelés globalizációja következtében teljesen átalakul a termelő-, szolgáltató vállalatok szerkezeti felépítése, működése. A piacok nemzetközivé válása eredményezi azt a folyamatot, aminek következtében a multinacionális cégeknél illetve kis- és közép vállalatoknál hálózatszerűen működő rendszereket hoztak létre. A hálózatszerűen működő termelő-, szolgáltató folyamatoknál lényegesen kiszélesedett a logisztikai feladatok köre, mely optimális koordinálását egy jól szervezett virtuális hálózat segítségével lehet megoldani.

#### 1. VIRTUALITÁS

A virtuális logisztikai vállalat olyan számítógépes hálózattal összekapcsolt objektum rendszer, amelyben az egyes objektumoknál jelentkező feladatok egészét vagy pedig egy részét a virtuális logisztikai központ (VLK) irányítja. Így elérhető a rendelkezésre álló logisztikai erőforrások optimális kihasználása, az egyes feladatok legkevesebb idő és költségárfordítással, az előírt időponttól minimális eltéréssel való végrehajtása.

Az 1. ábra egy **egycentrumos** virtuális logisztikai hálózat általános modelljét szemlélteti. Itt is teljes körű információáramlásról beszélhetünk, azonban anyagáramlás nincs bizonyos hálózati elemek között, ahogy azt az ábra is szemlélteti.



VLK: virtuális logisztikai központ  
 DSK: gyűjtő- és elosztó raktár központ  
 LS: logisztikai szolgáltatók  
 C: vevők  
 B: bank  
 K: klaszter  
 P: termelő vállalat  
 T: szállítmányozó vállalat

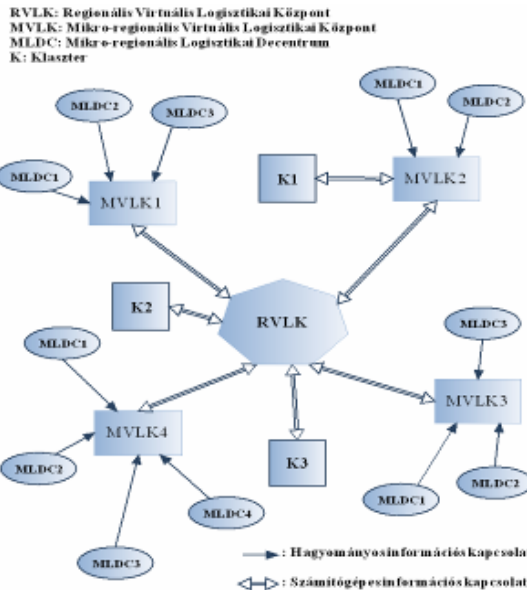
↔ információáram  
 ⇔ anyagáram és információáram

1. ábra  
 Gyocentrumos virtuális logisztikai hálózat általános modellje

A **VLK** végzi a centrumban folyó tevékenységek és a decentumok munkájának koordinálását, melyek a logisztikai szolgáltatásokat biztosító és logisztikai szolgáltatást igénybe vevő kis- és középvállalkozások ill. multinacionális cégek munkáját hangolja össze.

A **DSK**-ban valósulhat meg a különböző helyekről, kisebb-nagyobb tételekben, változó időközönként érkező árufeleségek raktározása, ahol is a gyűjtő és elosztó funkció például a készáruk, alap- és segédanyagok begyűjtésében és régiós/országos terítésében valósulhat meg.

A logisztikai szolgáltatást nyújtó vállalkozások (**LS**) raktározási, berraktározási, vámolási, szállítványozási és egyéb feladatok ellátására hivatottak, amennyiben rendelkezésre áll szabad kapacitás. A termelő vállalatok (**P**) és vevők (**C**) veszik igénybe a logisztikai szolgáltatást biztosító vállalkozások nyújtotta lehetőségeket. A szállítványozó vállalatok (**T**) szállítási, szállítványozási szolgáltatásokat kínálnak a hálózat elemeinek. A bankok (**B**) a virtuális vállalat elemei közötti, az anyagáramláshoz kötődő pénzforgalmat bonyolítják le. A hálózat további lehetséges elemei a klaszterek (**K**), amiknek feladata az azonos területen tevékenykedő vállalkozások segítése.



2. ábra  
 Multidecentrumos hálózat elvi felépítése

Napjainkban egyre inkább megfigyelhető, hogy a korábban kialakult egycentrumos hálózatok kezdenek együttműködni, így életre hívnak egy nagyobb szerkezeti egységet alkotó, úgynevezett **többcentrumos** vagy másnéven **multidecentrumos** logisztikai hálózatot. A 2. ábra egy multidecentrumos hálózat egy lehetséges struktúráját mutatja, melyben egy regionális virtuális logisztikai központhoz (RVLK) több mikro-régiós virtuális logisztikai központ (MVLK) kapcsolódik, melyek több mikro-regionális logisztikai centrum (MLDC) tevékenységét koordinálja.

## 2. MIKRO-REGIONÁLIS VIRTUÁLIS LOGISZTIKAI HÁLÓZAT KIALAKÍTÁSA IRÁNTI IGÉNY FELMÉRÉSE

Egy ÉK-magyarországi Eger központú mikro-regionális virtuális logisztikai hálózat létrehozásának szükségességét több módszerrel is vizsgáltuk, statisztikai adatok elemzésével és a potenciális hálózati partnerek kérdőíves felkeresésével.

### Statisztikai adatok elemzése

Először is az elmúlt évekre vonatkozó az észak-kelet magyarországi régióban tevékenykedő gazdasági szervezetek beruházásaira és a gazdasági szervezetek beruházásai teljesítményértékeire az egyes ipari szektorok és szolgáltató tevékenységek bevételére vonatkozó Központi Statisztikai Hivatal által készített statisztikai adatokat vizsgáltuk. A vizsgált adatok elemzése során született eredmények egyértelműen a gazdaság fejlődésének tendenciáját mutatják.

Az elmúlt években a régióban egyre több jelentős multinacionális cég telepedett meg, melyek megjelenése igen kedvezően hatott a multinacionális vállalatok tevékenységéhez kapcsolódó beszállítói kör, valamint szolgáltatásokat nyújtó vállalkozások számának növekedésére, illetve a szolgáltatások színvonalának javítására. Amennyiben ez a tendencia fog folytatódni, néhány év alatt számos új logisztikai cégnek kell alakulnia, vagy pedig sokszorosára kell növelni a már meglévő logisztikai szolgáltatásokat nyújtó cégek kapacitásait. A virtuális logisztikai hálózat mikro-regionális szinten való kiépítése megkönnyítené a régió felzárkózását a piaci igények kielégítése terén.

### Kérdőíves felmérés

A létrehozandó mikro-regionális hálózat lehetséges központjának kiválasztottunk egy egri székhelyű szállítványozó vállalatot. A vállalat rendelkezésünkre bocsátott egy partnerlistát, melyből kiválaszthatók a potenciális hálózati tagok. A 300-as lista tartalmazza mind a szolgáltatást igénylő, mind pedig a szolgáltatást nyújtó cégeket, melyből 35 potenciális, szolgáltatást igénylő partnert választottunk ki és küldtünk ki számukra a már korábban elkészített kérdőívet. A kérdőív célja az volt, hogy felmérjük a hajlandóságot egy virtuális logisztikai hálózathoz való csatlakozáshoz, illetve hogy mely cégeknél jelentkezik logisztikai szolgáltatás iránti igény és melyek azok a cégek, amelyek logisztikai szolgáltatás nyújtanának.

A megszerkesztett és kiküldött kérdőívek öt fő témakört ölelnek fel, melyek a következők:

1. Szállítási feladat ellátására irányuló igény felmérése (hazai/nemzetközi; szállítandó mennyiség; szállítandó anyag sajátossága)
2. Kísérő szolgáltatások iránti igény felmérésére (bérraktározás; vámkezelés; egységgrakomány képzés)
3. Bérraktározási igény felmérésére (hol és mit kellene tárolni; mekkora mennyiségben)
4. Adott vállalatnál jelentkező saját szolgáltatás iránti igény felmérése
5. Virtuális hálózatban való együttműködés iránti igény felmérésére

A kérdőíves felmérés alátámasztja, hogy a megkérdezett partnerek körében is igény jelentkezik a szállítási, vámolási és bérraktározási tevékenységekre.

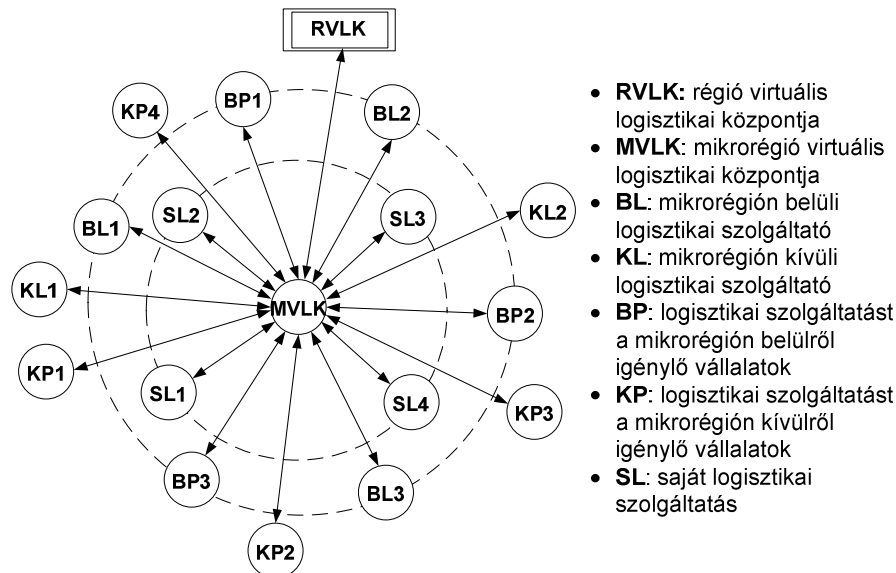
Egy esetlegesen megvalósuló hálózat segítségével létrehozható a szolgáltatást nyújtó és igénylő vállalatok erőforrásainak optimális elosztása, ami által költségsökkentés érhető el.

### 3. MIKRO-REGIONÁLIS VIRTUÁLIS LOGISZTIKAI HÁLÓZAT KIALAKÍTÁSÁNAK KONCEPCIÓJA

A gazdasági mutatók elemzése és a megkérdezett vállalatok által kitöltött kérdőívek is azt mutatják, hogy a vizsgált régióba a gazdaság fejlődik, a termelés növekszik, mely szükségessé teszi a virtuális logisztikai hálózatok létrehozását, ahol a logisztikai szolgáltatásokat igénylők és logisztikai szolgáltatást biztosítók találkoznak. Egy régió több mikro-régióból áll, illetve mikro-régiók hálózatára. Egy-egy mikro-régió belül található az adott kistérség virtuális logisztikai központja (MVLK), ami meghatározott saját logisztikai erőforrásokkal is rendelkezik. A központ feladata a hálózat optimális erőforrás felhasználásának és elosztásának biztosítása.

Az MVLK a logisztikai szolgáltatás iránti igények kielégítése során biztosítja egyrészt saját szolgáltatásait, igénybe veheti a mikro-régió belüli szolgáltatásokat és szükség esetén a régió virtuális logisztikai központjainak (RVLK) szolgáltatását is.

A 3. ábra a mikro-regionális logisztikai hálózat elvi felépítését szemlélteti.



3. ábra

A mikro-régió virtuális logisztikai hálózat struktúrája

A hálózat elemei a következők:

**RVLK: Régió Virtuális Logisztikai Központja**

Esetünkben a régió RVLK-ja Miskolcon található, melyhez kapcsolódva lehetőség nyílik más régiós hálózatokhoz való kapcsolódásra.

**MVLK: Mikro-régió Virtuális Logisztikai Központja**

Az MVLK Egerben kerülne kialakításra. Az MVLK két részre tagozódik. Egyik része a logisztikai központ, melynek célja, hogy a mikro-régióban lévő szétszórt logisztikai erőforrásokat optimálisan integrálja és a jelentkező logisztikai erőforrás igényeket optimálisan elégítse ki, prioritást adva a mikro-régióból érkező igényeknek.

Az MVLK másik része egy valóságos logisztikai szolgáltató, szolgáltatásait a központként kiválasztott szállítmányozó vállalat biztosítja.

**SL: Saját Logisztikai szolgáltatás**

A saját logisztikai szolgáltatók a MVLK társult tagjai. Feladatuk a mikro-régió logisztikai feladatainak ellátása. A MVLK-nak úgy kell az SL-ek számát ill. logisztikai erőforrásait megválasztani, hogy összhangban legyen a mikro-régió logisztikai erőforrás szükségleteivel, illetve képes legyen az SL-ek teljes erőforrásait lekötni. A saját logisztikai szolgáltatók a mikro-régió kívülről érkező igényeket (KP) is kielégíthetnek.

**BL: Belső, a mikro-régióban lévő logisztikai szolgáltatás**

A mikro-régióon belül jelentkező logisztikai szolgáltatások berraktározásból, szállításból, szállító-rakodóeszközök bérbeadásából, csomagolásból, egységgrakomány képzésből, kommissiózásból állnak.

**KL: Mikro-régióon kívüli logisztikai szolgáltatás**

A mikro-régióon kívüli logisztikai szolgáltatások is ugyanolyan elemekből tevődnek össze, mint a mikro-régióon belül jelentkező logisztikai szolgáltatások.

**BP: A mikro-régióon szolgáltatást igénylő termelő-, szolgáltató vállalat**

A termelő és szolgáltató vállalatoknál alapanyag beszállítására és raktározására, késztermék elosztására és raktározására, szállító-rakodó eszközök bérlésére és egyéb szolgáltatásokra (pl.:vám) jelentkezik általában igény.

**KP: A mikro-régióon kívüli szolgáltatást igénylő termelő-, szolgáltató vállalat**

Mikro-régióon kívül eső termelő és szolgáltató egységeknél is hasonló igények merülnek fel, mint a mikro-régióon belül található termelő és szolgáltató tevékenységet végző vállalatoknál.

## 4. A MIKRO-RÉGIÓS VIRTUÁLIS LOGISZTIKAI KÖZPONT MŰKÖDÉSI ELVEI

 **Szolgáltatások iránti igények kielégítése**

Az MVLK-hoz folyamatosan **érkeznek be a logisztikai erőforrás igények** és ezeket két csoportba sorolja: belső igénylők (BP) és külső igénylők (BK).

A beérkező igény közül először a belső igényeket elégíti ki. Megvizsgálja, hogy az összes szabad saját erőforrás elegendő-e? Ha nem tudja saját logisztikai erőforrásból kielégíteni az igényt, akkor megvizsgálja a mikro-régióon lévő belső erőforrásokat. Ha a belső logisztikai szolgáltatóknál – figyelembe véve a saját erőforrásokat – még valamelyik erőforrásból adódik valamilyen hiány, akkor külső logisztikai erőforrást vesz igénybe, ha talál olyat, amely a megrendelő igényének megfelel.

 **Logisztikai erőforrások allokálása, diszponálása**

A megrendelések feldolgozása során az MVLK végzi el a logisztikai erőforrások allokálását ill. diszponálását. Az allokálásokat és diszponálásokat a szolgáltatás megkezdődésének időpontja előtt  $T_{0j}$  idővel (pl. a következő napra) végzi minden addig beérkezett újabb időszakra vonatkozó igényelt és kitűzött feladat esetére. A  $T_{0j}$  szükséges idő logisztikai erőforrásonként változik. Az allokáláshoz és diszponáláshoz különböző stratégiákat kívánatos felhasználni, mivel ezzel lehet a legnagyobb megrendelői elégedettséget, illetve a legkisebb költséget elérni.

 **Az MVLK menedzsment akkor működik optimálisan, ha:**

- az optimális működtetéshez szükséges költségeket biztosítja,
- kellő nagy számú logisztikai szolgáltatási igényt tudjon kielégíteni,
- a kapcsolatban lévő logisztikai szolgáltatást végzők ill. a szolgáltatást igénybe vevők nagy megelégedettséggel és kisebb ráfordítással tudják feladatukat végrehajtani,

A hálózaton belül az együttműködési formák a következők lehetnek: vagy állandó tagként képezi szerves egységét az adott cég a mikro-regionális hálózatnak a 3. ábrán már bemutatásra került módon, vagy pedig csak esetenként, bizonyos időközönként vesz igénybe esetleg nyújt szolgáltatást a hálózat tagjainak.

Egy virtuális logisztikai hálózat kialakítása során bizonyos műszaki, informatikai igények is jelentkeznek. Szükséges egy szerver számítógép üzemeltetése az MVLK karbantartása és felügyelete mellett, valamint kliens számítógépek telepítése a hálózati partnereknél. A hálózati elemek közötti kapcsolat az interneten keresztül valósítható meg egy virtuális privát hálózat keretein belül, ami lekorlátozza a hozzáférést kizárólagosan az arra jogosultak számára.

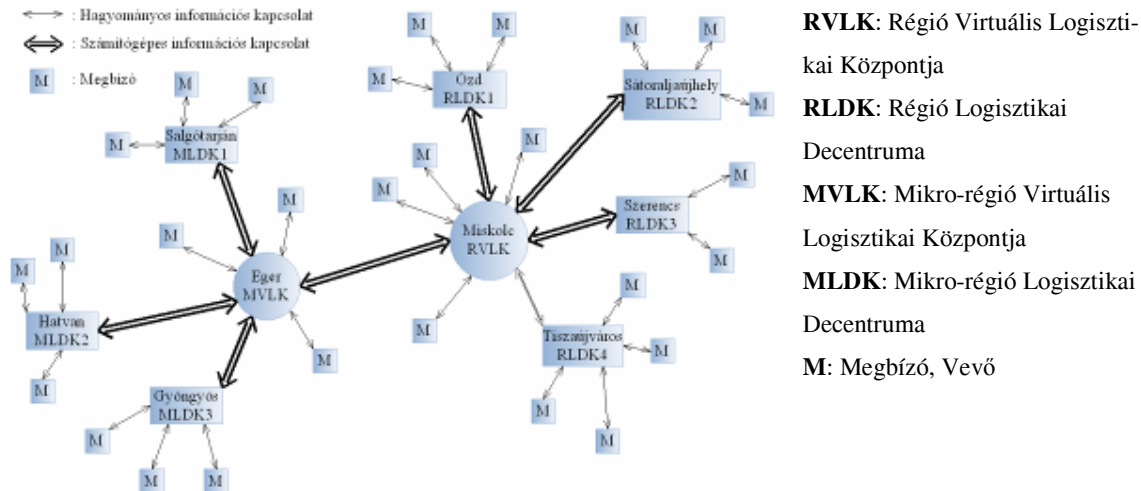
## 5. KAPCSOLÓDÁS MÁS HÁLÓZATOKHOZ

A 4. ábra a mikro-regionális virtuális logisztikai hálózat kapcsolódási lehetőségeit szemlélteti.

Ha az MDVLC egészében vizsgáljuk, fontos stratégiai kérdésként merül fel, hogy milyen legyen a munkamegosztás a logisztikai feladatok koordinálásánál a virtuális logisztikai központ (RLVK, MVLK) és az egyes decentrumok (RLDK, MLDK) között.



Általában az egyes decentrumokból kiáramló, ill. oda beáramló belföldi közúti anyagáramlást a decentrumok önállóan irányítják mindaddig, amíg ehhez megfelelő logisztikai kapacitással rendelkeznek, illetve ezek kihasználtsága optimális. A kihasználatlan kapacitások, ill. a kapacitáshiányok kezelését a virtuális logisztikai központ szervezi. A decentrumok és a VLC közötti információs kapcsolatot számítógépes hálózat biztosítja. A hálózatszerű működés előnye, hogy lehetőség nyílik regionális, országos majd európai virtuális logisztikai hálózatokhoz való kapcsolódásra, biztosítva ezzel a régiós, nemzeti, illetve nemzetközi szintű optimális logisztikai erőforrás szétosztását és diszponálását.



4. ábra

Mikro-regionális virtuális logisztikai hálózat kapcsolódási lehetőségei

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kidolgozásra került egy mikro-regionális logisztikai hálózati modell koncepciója, melynek segítségével létre lehet hozni egy mikro-regionális logisztikai hálózatot Eger központtal. Megalkottuk a mikro- makro-regionális logisztikai hálózat elemei megválasztásának módszerét, illetve az egyes elemek feladatait. Kérdőíves felméréssel feltérképeztük a kialakítandó virtuális hálózat lehetséges partnereit. Meghatározásra került a hálózat működésének stratégiája, működési elve.

Jelen kutatómunka a OMF-01431/2006 projekt támogatásával valósult meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Cselényi J.; Illés B.: Logisztikai rendszerek I. - Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004.
- [2] Cselényi J.; Illés B. szerkesztők: Anyagáramlási rendszerek tervezése és irányítása I., Miskolci Egyetemi Kiadó, 2006.
- [3] Cselényi J.; Mészáros F.: Kárpátok Autóipari Beszállítói Klaszter mint virtuális logisztikai klaszter, MLBKT 14. Logisztikai Kongresszusa, 2006. november 15-17., Balatonalmádi, pp. 231-239, (Előadástétet)
- [4] Cselényi J.; Illés B.; Kovács Gy.; Bálint R.: Észak-kelet magyarországi logisztikai központok és logisztikai klaszterek hálózata, MLBKT XIII. éves kongresszusa, 2005. nov. 16-18., Siófok, pp.: 271-278
- [5] Cselényi J.; Illés B.; Kovács Gy.; Bálint R.: Network of North-East Hungarian Logistical Centres and Logistical Clusters, 3rd International Logistics & Supply Chain Congress 2005, Galatasaray University and Logistics Association Publication, 23-24 November 2005, Istanbul, Turkey, ISBN 975-8400-07-X, pp. 605-611.

## Síkkerekes hullámhajtómű fogazati paramétereinek vizsgálata

### INVESTIGATION OF THE TOOTHING PARAMETERS OF A FLAT WHEEL HARMONIC GEAR DRIVE

KRISCH Róbert, Dr. HÁZKÖTŐ István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezettani Intézet  
1111 Budapest, Műegyetem rkp.3, Tel./Fax: +3614631473, www.gszi.bme.hu  
Email: krisch.robort@gszi.bme.hu, hazkoto.istvan@gszi.bme.hu

#### ABSTRACT

*The functions of the principal members of a flat-wheel harmonic drive are similar to the functions of a traditional harmonic drive, but the feature of the flexible and the solid wheels are different. This paper reports a flat wheel harmonic drive investigation. An analytical method is introduced, that investigates meshing conditions of flat-wheel harmonic gear drives with cam type wave generator. Backlash between the teeth of flexible- and solid gears in the range of meshing has been calculated in case of different toothing parameters. The tooth flanks were approximated by planes. Tooth load distribution was also analyzed with calculations based on finite element analyses.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Egy módszer kerül bemutatásra, amely analitikus módszerrel vizsgálja a bütykös hullámgenerátorral szerelt síkkerekes fogaskerék-hullámhajtóművek fogazatkapcsolódásának geometriai- és foghézag viszonyait a hajtómű terheletlen állapotában. A vizsgálat eredményeként a kerekek fogfejlőpontjainak a másik kerék megfelelő fogoldalától való távolságának meghatározásával kapjuk meg a foghézagot a fogazat külső és belső átmérőjén a fogazatkapcsolódás tartományában. A kapcsolódó fogpárokban a fogazatkapcsolódás során jelentkező minimális foghézag nagyságát és helyét és a fogazati paraméterekkel befolyásolhatjuk, jelen cikk a profilszög és a profíletolás hatását vizsgálja. A terhelt állapotot végeeselemes modellel vizsgáltuk és meghatároztuk a fogterhelések eloszlását a terhelésátadásban részt vevő fogakon.*

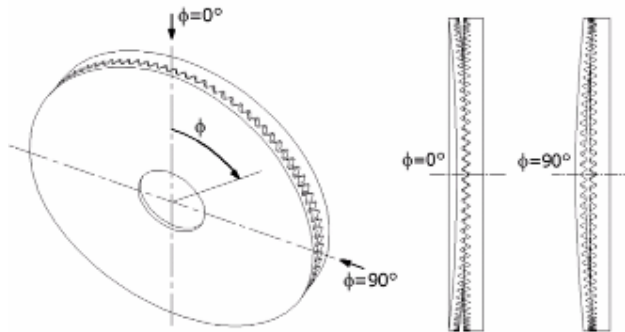
**Kulcsszavak:** Hullámhajtómű, fogazatkapcsolódás, foghézag, fogterhelés, kapcsolóábra

#### 1. BEVEZETÉS

A síkkerekes hullámhajtóművek megfelelő működéséhez szükséges, hogy az alapelemek kapcsolódásának paramétere (fogprofilok, a rugalmas kerék deformált alakja, a deformáció mértéke, foghézagok nagysága stb.) biztosítsák a rugalmas és a merev kerék fogfej-ütközés és fogfej-interferencia nélküli kapcsolódását, valamint a megfelelő terhelésátadást a fogazatok között. Jelen cikk egy olyan módszert ismertet, amely analitikus módszerrel vizsgálja a bütykös hullámgenerátorral szerelt síkkerekes fogaskerék-hullámhajtóművek fogazatkapcsolódásának geometriai viszonyait a hajtómű terheletlen állapotában. A kapcsolódó fogpárokban a fogazatkapcsolódás során jelentkező minimális foghézag nagyságát és helyét különböző geometriai- és fogazati paraméterek esetén vizsgáltuk, a profilszög és a fogvastagság-fogárokszélesség változtatásának hatását a fogazatok közötti terhelésátadás szempontjából is figyelembe vettük. Utóbbihoz végeeselemes modellt készítettünk a hajtómű alapelemeiről, amellyel meghatároztuk a terhelésátadásban részt vevő fogak terhelését.

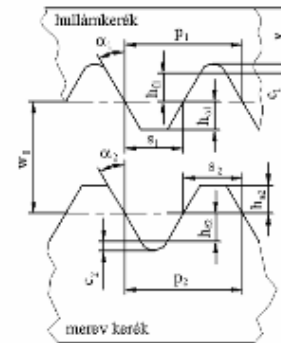
## 2. A SÍKKERES HULLÁMHAJTÓMŰ MŰKÖDÉSE, A VIZSGÁLATI MÓDSZER ISMERTETÉSE

A vizsgált síkkerekes hullámhajtómű rugalmas kereke egy sík tárcsa, amely homlokfelületének peremén lévő fogazat deformált állapotban kapcsolódik a merev kerék homlokfogazatával, a két kerék koaxiális helyzetű. A hullámkereket itt a hullámgenerátor axiális irányban deformálja, a hengeres kerekes változatnál működő radiális iránnyal szemben. A vizsgált hajtóműben egy - már az orosz szakirodalomban [1] is bemutatott - bütökös hullámgenerátor egy rugalmas axiális csapágyon keresztül deformálja a hullámkereket. A kéthullámú generátorban a bütök munkafelülete két, a hajtómű tengelyére merőleges síkkal  $\beta$  szöget bezáró síkfelület.



1. ábra

A fogazatkapcsolódás vázlatja



2. ábra

A fogprofilok

A fogazatkapcsolódás vázlatát mutatja az 1. ábra, ahol a  $\phi = 0^\circ$  a hullámgenerátor által létrehozott deformációs hullám szimmetriavonalát jelenti, a  $\phi$  szög a deformációs hullám tetőtől mért polárszög. A hajtás áttétele a hullámkerék és a gyűrűkerék fogszám-különbségéből adódik:

$$i_{12} = \frac{z_1}{z_1 - z_2} \quad (1)$$

A fenti összefüggésben  $z_1$  a hullámkerék,  $z_2$  a merev kerék fogszámát jelenti.

Kidolgoztunk egy analitikus módszert [2] a síkkerekes hullámhajtómű foghézag-viszonyainak vizsgálatára, melynek célja az volt, hogy meghatározzuk a fogazatkapcsolódási ábrákat a fogazat külső és belső átmérőjén és elemezzük a foghézag viszonyokat adott hullámgenerátor-bütökprofil esetén a fogazatkapcsolódás teljes  $\phi$  tartományában. Mind a hullámkerék, mind a merev kerék fogoldalát síkkal közelítettük. A kerekek fogfej-élpontjainak a másik kerék megfelelő fogoldalától való távolságának meghatározásával kaptuk meg a foghézagokat, a hullámkerék fogfej pontjának a merev kerék fogoldalától való távolságát:  $j_{12}$  és a merev kerék fogfej pontjának a hullámkerék fogoldalától való távolságát:  $j_{21}$ . A számítás bemenő adatai a geometriai és fogazati paraméterek (2.ábra), ezek kiindulási értékei a további vizsgálatokhoz (az adatok jelölésénél „1”-indexszel a hullámkerék, „2”-indexszel a merev kerék paramétereit jelöltük):

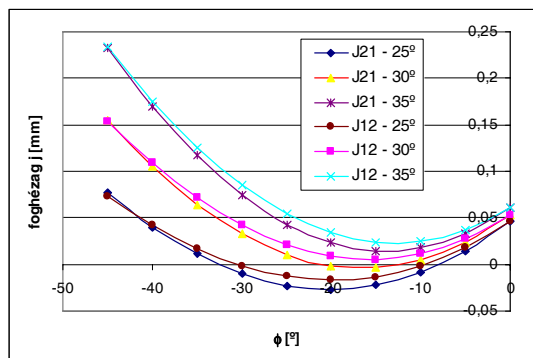
- $d_k = 100$  mm,  $d_b = 75$  mm – a fogazat külső és belső átmérője
- $v = 1$  mm – a hullámkerék lemezvastagsága
- $w_0 = 1.5$  mm – a maximális deformáció
- $z_1 = 200$ ,  $z_2 = 198$  – fogszámok
- $h_a = h_f = 0,375$  mm,  $c = 0,1$  mm - fogmagasságok, lábhézag
- $\alpha_1, \alpha_2 = 30^\circ$  – alapprofiliszögek
- $\beta = 3^\circ$  – a hullámgenerátor bütöksíkjának ferdesége
- $\beta_2 = 3^\circ$  – a merev kerék osztókúpszöge komplementer szögének fele
- $j_{ax} = 0,1$  mm – a fogazatok közötti axiális hézag

### 3. A FOGAZATI PARAMÉTEREK VÁLTOZTATÁSÁNAK HATÁSA A FOGHÉZAGRA

A síkkerekes hullámhajtómű alapelemei közötti nyomatékátvitel nagymértékben függ a foghézag-viszonyoktól, ezért fontos, hogy a fogazati paraméterekkel a foghézag-eloszlást befolyásolni tudjuk. A következőkben a profilszög és a fogvastagság-fogárokszélesség változtatásának az előző fejezetben említett módszerrel közelített foghézag-görbékre gyakorolt hatását vizsgáljuk a fogzatkapcsolódás  $-45^\circ \leq \phi \leq 0^\circ$ -os tartományában. A tapasztalatok szerint ebben a tartományban történik a nyomatékátvitel azon fogpár környezetében, amelynek fogai között a legkisebb a foghézag.

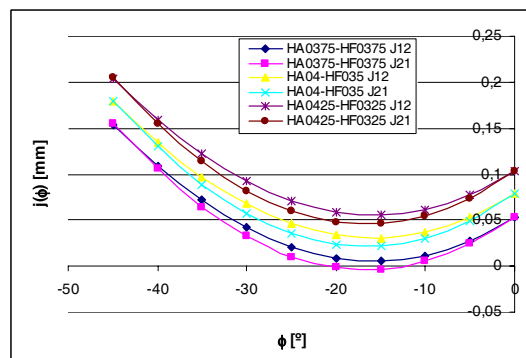
#### 3.1. A profilszög hatása a foghézag-eloszlásra

A számításokat elvégeztük  $25^\circ$ - $30^\circ$ - $35^\circ$ -os profilszögekre,  $\alpha_1 = \alpha_2$  esetére a többi geometriai- és fogazati paraméter a 2. fejezetben leírtakkal egyezik. Az eredményt a 3. ábra mutatja, amelyen jelöltük mind a  $j_{12}$ , mind a  $j_{21}$  foghézag-görbéket. Megállapítható, hogy a profilszög csökkentésével a minimális foghézag helye a deformációs hullámtetőtől egyre távolabb található, ami azért hátrányos, mert csökken a működő fogmagasság. Csökken továbbá a foghézag értéke is, a  $35^\circ$ -os esetben jelentős tartományban az elméleti foghézag értéke negatív, amely terhelő nyomaték nélkül is a fogak hajlító igénybevételét jelenti. Ez mindenképpen elkerülendő, például a fogazatok közötti  $j_{ax}$  axiális szerelési hézag növelésével. Célszerűnek tűnik a profilszög növelése, ennek azonban a fogerő axiális irányú komponensének növekedése szab határt.



3. ábra

A profilszög hatása a foghézagra



4. ábra

A fogvastagság hatása a foghézagra

#### 3.2. A fogvastagság-fogárokszélesség változtatása

A fogaskerekek klasszikus jelölésinél maradván úgy változtattuk a fogazatok fej-és lábmagasságát állandó fogmagasság és profilszög mellett, hogy az „osztókörön” továbbra is egyenlő maradt a fogárokszélesség és a fogvastagság. A fejmagasságot annyival növeltük, amennyivel csökkentettük a lábmagasságot. Ezzel a módszerrel tulajdonképpen a fogárok-szélességet növeltük a fogvastagság terhére, az eredményt  $h_a = h_f = 0,375$  mm,  $h_a = 0,4$  -  $h_f = 0,35$  mm és  $h_a = 0,425$  -  $h_f = 0,325$  mm esetekre a 4. ábra mutatja. Megállapítható, hogy ezzel a módszerrel növelhető a foghézag, illetve állandó foghézag mellett növelhető a közös fogmagasság.

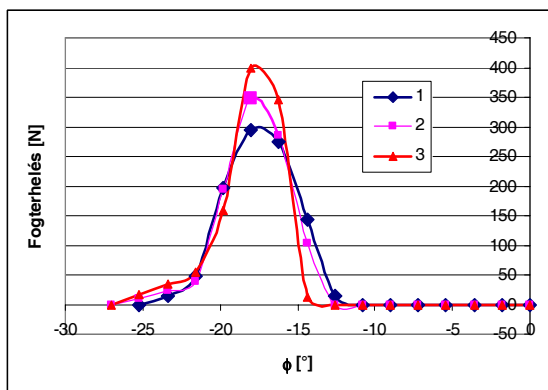
### 4. A FOGTERHELÉSEK VIZSGÁLATA VÉGESELEM MÓDSZERREL

A hajtómű fogzatában a terhelés hatására létrejövő kerületi erő eloszlását a kapcsolódó fogpárokon végeeselemes módszerrel vizsgáltuk, Cosmos Design Star programmal. A deformálatlan állapotú hullámkerékről teljes modellt készítettünk, mert a terhelés hatására a szimmetriaviszonyok megszűnnek. A gyűrű alakú körlemez belső peremén fix megfogást és előírt elfordulás kényszerrel alkalmaztunk. A hullámgenerátorból a rugalmas csapágyat elhagytuk, a bütyök felületének azt a részét modelleztük, amely a fogzatkapcsolódás tartományába esik. Erre a felületre helyeztük azt az axiális irányú elmozdulás kényszerrel, amellyel a hullámgenerátor a hullámkereket deformálja. A merev kerék

fogazatából csak a terhelésátadásban résztvevő fogakat modelleztük, a fogakon külön-külön a fogtő alatt fix megfogás kényszerrel alkalmaztunk. Az érintkező felületek közé kontakt elemeket helyeztünk, továbbá az érintkező fogoldalakon az elemméretet csökkentettük. A nyomatékterhelést a hullámkerék belső peremének a hajtómű tengelye körüli előírt elfordulásával hoztuk létre, az egyes merev kerék fogakon pedig eredményként kaptuk a reakcióerő-komponenseket.

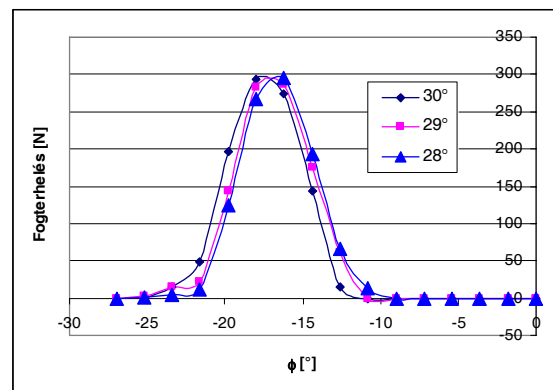
#### 4.1. A működő fogmagasság hatása a fogterhelés-eloszlásra

A 3.1. pontban leírt módszer alkalmazásával lehetővé vált, hogy a fogazatok közötti  $j_{ax}$  axiális szerelési hézag kiindulási értékét 0,1 mm-ről 0,05 illetve 0,02 mm-re csökkentjük, növelve ezzel a működő fogmagasságot. Az 5. ábrán a végeselemes vizsgálattal számított fogterő tangenciális irányú komponense látható  $\phi$  függvényében, 85 Nm terhelő nyomaték esetén. Az ábrán az 1 jelű görbe jelenti a kiindulási paraméterekkel rendelkező fogkapcsolódást, a 2 jelű a 0,05 mm-rel, a 3 jelű a 0,08 mm-rel növelt működő fogmagasságú állapotot. Megállapítható, hogy a működő fogmagasság növekedésével nő a terhelésátadásban résztvevő fogak terhelése, ugyanakkor nő a terhelésátadó felület is, ez kedvező.



5. ábra

A fogterhelés-eloszlás különböző  $h_w$  esetén



6. ábra

A fogterhelés-eloszlás különböző  $\alpha_1$  esetén

#### 4.2. A hullámkerék profilszögének hatása a fogterhelés-eloszlásra

A 2. fejezetben leírt foghézag számítás eredményeit vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a merev kerék fogfej-pontjának a hullámkerék fogoldalától való távolsága ( $j_{21}$ ) a minimális foghézag-tartományban kisebb, mint a hullámkerék fogfej-pontjának a merev kerék fogoldalától való távolsága ( $j_{12}$ ). Ez a jelenség a hullámkerék fogának elfordulása miatt van és elkerülhetetlen, ha  $\alpha_1 = \alpha_2$ . Változtattuk a hullámkerék  $\alpha_1$  profilszögét a merev kerék  $\alpha_2 = 30^\circ$ -os profilszöge mellett és vizsgáltuk a terheléseloszlást 85 Nm terhelő nyomaték esetén. A 6. ábrán az  $\alpha_1 = 30^\circ$ -os görbe jelenti a kiindulási paraméterekkel rendelkező fogkapcsolódást, az  $\alpha_1 = 29^\circ$ -os görbe azt a helyzetet, amikor a legkisebb foghézag helyén a kapcsolódó fogoldalak közel párhuzamosak és az  $\alpha_1 = 28^\circ$ -os görbe azt a helyzetet, amikor már  $j_{12}$  kisebb, mint  $j_{21}$ . A három görbe hasonlóságot mutat, a maximális fogterhelésben sem mértünk nagy eltérést. A fogazatok élettartama szempontjából azonban fontos lehet, hogy a legkisebb foghézag helyén a kapcsolódó fogoldalak párhuzamosak legyenek, mert így lényegesen csökken a fogoldal felületi terhelése.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikációban szereplő kutatást az OTKA K 62875 sz. kutatási szerződés támogatja.

## IRODALOM

- [1] Szavinüh A.G., Gurjanov M. Ja., Szavinüh V.M.: Parametriceszkiy rjad torcovüh volnovüh reduktorov, Vesztnyk Masinosztroenija, 1986. No.1.p.7-9
- [2] Krisch Róbert: A fogazatkapcsolódás vizsgálata bütykös generátorral szerelt síkkerekes hullámhajtóműben, GÉP, 2006/8-9 2.kötet LVII évf. p. 96-100

## A rugalmas-képlékeny peridinamikusan anyagmodell vizsgálata

### ANALYSIS OF ELASTOPLASTIC PERIDYNAMIC MATERIAL MODEL

LADÁNYI Gábor<sup>1</sup>, JENEI István<sup>2</sup>

Dunaújvárosi Főiskola, H-2400, Dunaújváros  
Táncsics M. u. 1/a, tel.: (25) 551-139,  
<sup>1</sup>ladanyi@mail.duf.hu, <sup>2</sup>jeni@mail.duf.hu

#### ABSTRACT

*In present paper, the linear elastic peridynamic material model has been extended to a linear elastic-plastic type. Our work is based on the classical rheological model of elastic hardening plastic model of plasticity. The plastic peridynamic material has nonlocal features and it has ability to catch spontaneous crack appearing. The return mapping algorithm is applied to solve the nonlinear integral-equations. Abilities of our material model have been demonstrated by a simple one dimensional example.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Célunk a lineárisan rugalmas peridinamikusan anyagmodell új kiterjesztésnek bemutatása, mely alkalmas képlékeny anyagtulajdonságok modellezésére. Az új eljárás klasszikus reológiai anyagmodellt alkalmaz a képlékeny-keményedő viselkedés leírására. A képlékeny peridinamikusan anyag nemlokális tulajdonságú, segítségével leírható a spontán repedés megjelenés jelensége. A mozgástörvényben megjelenő nemlineáris integrálegyenletek megoldására rugalmas képlékeny iterációt alkalmazunk. Cikkünk végén egy egyszerű egydimenziós problémán szemléltetjük az új anyagmodell képességeit.*

**Kulcsszavak:** Peridinamikusan anyag, képlékenységi, hálómételes módszer,

#### BEVEZETÉS

A peridinamikusan anyagmodellt (PAM) Stuart Silling fejlesztette ki 1998-ban [3]. Megjelenése óta a kontinuummechanika több területén is sikerrel alkalmazták. Az elmúlt években az eredeti lineárisan rugalmas modellnek több általánosítása is napvilágot látott. 2005-ben megjelent egy rugalmas lemez és kompozitok repedésterjedésének vizsgálatára kiterjesztett anyagmodell [4]. Ugyanebben az évben nagysebességű repedésterjedést sikerült peridinamikusan anyaggal modellezni [2]. A hagyományos PAM egyparáméteres anyagmodell, Poisson tényezője minden esetben  $\frac{1}{4}$ . Ezt a korlátot 2006-ban disztribúciók alkalmazásával sikerült elhárítani, biztosítva, hogy PAM segítségével a Hooke-féle rugalmas anyag tetszőleges pontossággal megközelíthető legyen [2]. Szintén 2006-ban jelent meg a mikropoláris PAM [1], amely alkalmasnak bizonyult spontán repedések megjelenésének modellezésére a széles körben alkalmazott véges-elemes környezetben.

Cikkünkben bevezetjük a lineárisan rugalmas peridinamikusan anyagmodell új kiterjesztését izotróp keményedő képlékeny alakváltozás leírására. Az ismertetésre kerülő általánosítás az izotróp keményedő képlékeny test klasszikus reológiai modelljére épül. A kialakított modell továbbra is alkalmas lesz repedések spontán megjelenés modellezésére.

#### A PERIDINAMIKUS KÉPLÉKENY ANYAGMODELL

A hagyományos PAM alapváltozója az elmozdulás mező. Hipotézise szerint az alakváltozás közben az anyagi pontok között távolba ható erők működnek. A legegyszerűbb esetben ez a belső erő csak a pontpár kezdeti  $\xi_{XY} = \mathbf{Y} - \mathbf{X}$  relatív helyzetétől és a  $\eta_{XY} = \mathbf{u}_Y - \mathbf{u}_X$  relatív elmozdulásuktól függ. A peridinamikusan anyag karakterisztikus jellemzője az anyagi horizont. A PAM hipotézis szerint csak az egymáshoz a horizontnál közelebb lévő pontok képesek egymásra hatást kifejteni.

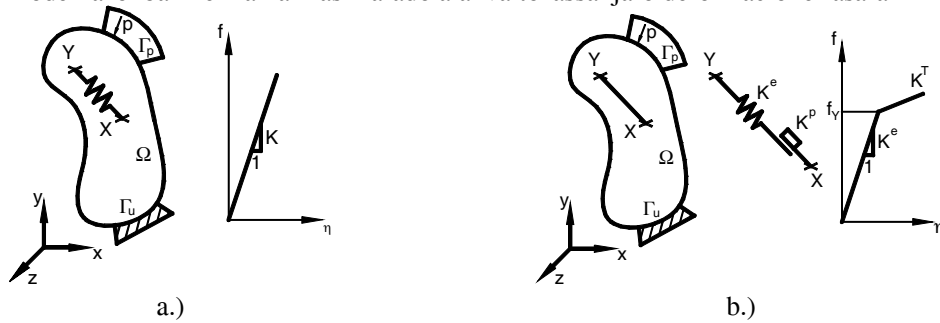
Newton második törvénye szerint az anyagi pont mozgástörvénye a következőképpen írható fel:

$$\int_{\Omega} \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{u}_X, \mathbf{u}_Y) dY + \mathbf{b}_X = \rho \cdot \partial_{tt} \mathbf{u}_X \quad (1)$$

Minden anyagi tulajdonság az  $\mathbf{f}$  függvényen keresztül jelenik meg. A már említett munkákban a belső erő függvény lineárisan rugalmas volt, ekkor e-függvény viszonylag egyszerű alakot ölt.

$$\mathbf{f}(\xi, \eta) = \mathbf{K}_{XY}^e \cdot \eta \quad (2)$$

A (2) képletben szereplő  $\mathbf{K}$  mennyiség az anyagi magfüggvény. A magfüggvény megfelelő megválasztásával a hagyományos Hooke-féle rugalmas anyagmodell tetszőlegesen közelíthető. Az így kialakított modell azonban nem alkalmas maradó alakváltozással járó deformáció leírására.



1. ábra Peridinamikus anyagmodell: a.) rugalmas és b.) rugalmas képlékeny

A továbbiakban feltételezzük, hogy a pontpárokat összekötő belső erők egy sorba kötött rúgócsúszka modellel közelíthetők. Ez az egyszerű fenomenológiai modell alkalmas arra, hogy ha a két pont közötti belső erő meghalad egy  $f_Y$  határértéket, a csúszka maradó alakváltozásokat szenvedjen.

A PAM esetében tehát nem beszélhetünk egy pont képlékeny állapotáról, csak pontpárok közt értelmezett képlékeny deformációról. Az irreverzibilis deformáció leírásához az  $\mathbf{u}$  elmozdulás mezőn kívül további belső változók bevezetésére van szükség. A továbbiakban  $\alpha_{XY}$  a belső keményedési változó,  $\eta_{XY}^p$  pedig a képlékeny deformáció az  $\mathbf{X}$  és  $\mathbf{Y}$  pontok közt. Tegyük fel, hogy a test minden pontjára és pontpárjára ismert a  $t=t_n$  pillanathoz tartozó  $(\mathbf{u}_X^{(n)}, \alpha_{XY}^{(n)}, \eta_{XY}^p)^{(n)}$  állapot, a belső erők az (1) egyenlet szerinti egyensúlyban vannak a  $\mathbf{b}_{ext,X}^{(n)}$  külső terheléssel. Legyen a külső terhelés növekménye  $\Delta \mathbf{b}_X^{(n)}$  miközben  $t=t_{n+1}$  időpontra lépünk.

1. Legyen  $k=1, \Delta \mathbf{b}_X^{(n)(k)} = \Delta \mathbf{b}_{ext,X}^{(n)}, \Delta \mathbf{u}_X^{(n)} = 0, \Delta \Delta \mathbf{u}_X^{(n)(k)} = 0$ .
2. Legyen  $K_{XY}^e$  rugalmassági modulus az X és Y pontok közt.
3. Határozzuk meg az

$$\int_{\Omega} (\mathbf{K}_{XY}^e \cdot (\Delta \Delta \mathbf{u}_Y^{(n)(k)} - \Delta \Delta \mathbf{u}_X^{(n)(k)})) dY - \Delta \mathbf{b}_X^{(n)(k)} = 0$$

egyenlet peridinamikus rugalmas  $\Delta \Delta \mathbf{u}_X^{(n)(k)}$  megoldását.

4.  $\Delta \mathbf{u}_X^{(n)(k+1)} = \Delta \mathbf{u}_X^{(n)(k)} + \Delta \Delta \mathbf{u}_X^{(n)(k)}$
5. A belső erő tesztértéke  $f_{XY}^{(n+1)trial} = f_{XY}^{(n)} + K_{XY}^e (\Delta \mathbf{u}_Y^{(n)} - \Delta \mathbf{u}_X^{(n)})$
6. A képlékeny folyási feltétel:  $FL_{XY} = |f_{XY}^{(n+1)trial}| - (f_{Y,X} + \alpha_{XY}^{(n)} K_{XY}^p)$
7. Ha  $(FL_{XY} < 0)$  akkor a. különben b.

a. Rugalmas eset

$$f_{XY}^{(n+1)(k+1)} = f_{XY}^{(n+1)trial}; \quad \alpha_{XY}^{(n+1)} = \alpha_{XY}^{(n)}; \quad \eta_{XY}^p{}^{(n+1)} = \eta_{XY}^p{}^{(n)}$$

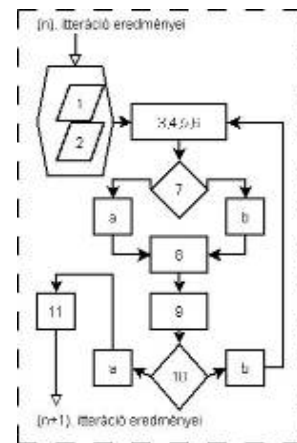
b. Képlékeny eset

$$\Delta \gamma = \frac{FL_{XY}}{K_{XY}^e + K_{XY}^p}; \quad \alpha_{XY}^{(n+1)} = \alpha_{XY}^{(n)} + \Delta \gamma; \quad \eta_{XY}^p{}^{(n+1)} = \eta_{XY}^p{}^{(n)} + \Delta \gamma \cdot \text{sign}(f_{XY}^{(n+1)trial})$$

$$f_{XY}^{(n+1)(k+1)} = f_{XY}^{(n+1)trial} - \Delta \gamma \cdot K_{XY}^e \cdot \text{sign}(f_{XY}^{(n+1)trial})$$

$$8. \quad \mathbf{b}_{int,X} = \int_{\Omega} f_{XY}^{(n+1)(k+1)} dY$$

$$9. \quad \Delta \mathbf{b}_X^{(n)(k+1)} = \mathbf{b}_{ext,X}^{(n+1)} - \mathbf{b}_{int,X}$$



10. Konvergencia feltétel: Ha  $|\Delta b_i^{(n)(k+1)} - \Delta b_i^{(n)(k)}| < \varepsilon$  akkor a. különben b.  
 a.  $u_i^{(n+1)} = u_i^{(n)} + \Delta u_i^{(n)}$ , majd ugrás 11.  
 b.  $k = k + 1$ , majd ugrás 3.  
 11. VÉGE AZ (n). LÉPÉSNEK.

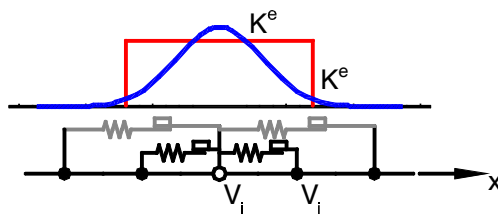
### 2. táblázat

*Rugalmas-képlékeny iteráció a rugalmas izotróp keményedő képlékeny peridinamikus anyagmodellhez*

Célunk egy olyan globális algoritmus keresése, mely alkalmas a test pontjainak  $t = t_{n+1}$  időponthoz,  $\mathbf{b}_{\text{ext},X}^{(n+1)} = \mathbf{b}_{\text{ext},X}^{(n)} + \Delta \mathbf{b}_{\text{ext},X}^{(n)}$  terheléshez tartozó egyensúlyi helyzetét meghatározni. Ez az egyensúlyi állapot rugalmas-képlékeny iteráció[6] segítségével előállítható (lásd 2. táblázat). A fenti algoritmus végrehajtását követően a test a külső terhekkel egyensúlyba kerül. A test pontpárjainak egy része általában csak rugalmas, más része pedig képlékeny alakváltozást is szenvedett. A test globális viselkedése a klasszikus rugalmas-képlékeny testéhez hasonló.

## EGYDIMENZIÓS RUGALMAS KÉPLÉKENY KEMÉNYEDŐ RÚD DISZKRETIZÁLÁSA

A PAM matematikai hátterének kidolgozását elsősorban a spontán repedés megjelenés leírásának igénye tette szükségessé. Ilyen esetben a repedés megjelenése előtt annak sem helyéről, sem irányáról nem tudunk semmit. A legtöbb hagyományos eljárás alkalmatlan a probléma kezelésére. Célnk az volt, hogy egy olyan anyagmodellt szerkesszünk, mely képes leírni a képlékeny deformációkat, de rendelkezik a hagyományos PAM repedésekkel kapcsolatos flexibilitásával.



2. ábra

*Anyagi magfüggvény: folytonos és nemfolytonos*

Az anyagi pont eljárás (material point method) feltételezése szerint a test felosztható véges térfogatú részecskékre. A most kidolgozott anyagmodell szerint minden részecskepár közt értelmezhető egy belső távolság ható erő. Silling javaslata szerint az erő a relatív távolság csökkenő függvénye. A magfüggvény lehet folytonos vagy nemfolytonos véges vagy végtelen tartójú (lásd 2. ábra). Jelölje a továbbiakban  $i$  az  $i$ . anyagi részecskét. Rugalmas esetben két részecske közötti belső erő felírható  $\mathbf{f}_{ij} = \mathbf{K}_{ij}^e (\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i) = \mathbf{K}_{ij}^e \boldsymbol{\eta}_{ij}$  alakban. A fenti algoritmus csak kisebb módosításra szorul.

3. Határozzuk meg az  $\sum_j (\mathbf{K}_{ij}^e \cdot (\Delta \mathbf{u}_j^{(n)(k)} - \Delta \mathbf{u}_i^{(n)(k)})) \Delta V_j - \Delta \mathbf{b}_i^{(n)(k)} = 0, \{i = 1..n\}$  egyenlet-

rendszer peridinamikus rugalmas  $\Delta \mathbf{u}_i^{(n)(k)}$  megoldását.

8.  $b_{m,X} = \sum_j f_{XY}^{(n+1)(k+1)} dV_j$

### 3. táblázat

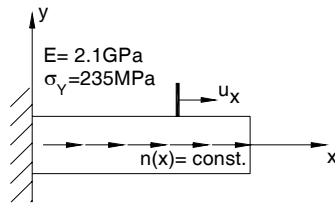
*A rugalmas-képlékeny iteráció módosítása*

Érdemes megfigyelni, hogy amennyiben az anyagi horizont véges tartójú Heaviside függvény melynek tartója alá csak két szomszédos részecske tartozik (lásd 2. ábra), a fenti egyenletek a klasszikus véges differencia egyenletekhez vezetnek.

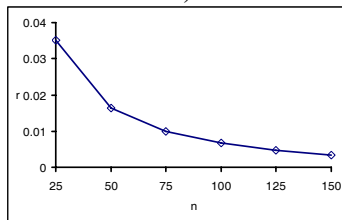


## ALKALMAZÁS

Tesztprogramunkat a MATLAB V7.0 környezetben írtuk. A megoldott feladat egy egyszerű megoszló erővel húzott rúd. Anyagi jellemzői  $K^c=2.1 \cdot 10^5 \text{MPa}$  és  $K^p=5.0 \cdot 10^4 \text{MPa}$  voltak. Hossza  $L=10 \text{mm}$ , keresztmetszeti területe  $A=1 \text{mm}^2$ . A megoszló erő intenzitását változtatva teszteltük az ismertetett anyagmodell viselkedését a test rugalmas, rugalmas-képlékeny deformációi esetén.



a.)



b.)

$$u_{\text{VEM,max}} = 0.004777 \text{mm}$$

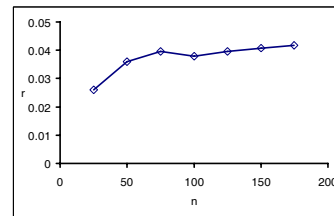
Terhelés:

b.) ábra esetében:

$$n(x) = 20 \text{ N/mm} \text{ esetben } \sigma_{\text{max}} = 200 \text{MPa} < \sigma_Y$$

c.) ábra esetében

$$n(x) = 30 \text{ N/mm} \text{ esetben } \sigma_{\text{max}} = 300 \text{MPa} > \sigma_Y$$



c.)

$$u_{\text{VEM,max}} = 0.008234 \text{mm}$$

9. ábra

*Klasszikus keményedő és peridinamikusan húzott rúd elmozdulásainak összehasonlítása a.) mechanikai modell, b.) rugalmas megoldás hibája, c.) rugalmas képlékeny megoldás hibája*

Összehasonlításunkban a programunk és egy COSMOSWorks 2006 véges-elem rendszerben készült modell legnagyobb elmozdulásait vettük szemügyre. A diagramok az  $r = |u_{\text{VEM}} - u_{\text{PAM}}| / |u_{\text{VEM}}|$  relatív hiba részesekiszámtól való függését ábrázolják. A táblázat eredményei szerint a képlékeny PAM és a véges-elemes eredmények mindhárom terhelési esetben szinte megegyeznek. A képlékeny esetben azonban a felbontás pontosságától függetlenül mintegy 4%-os relatív eltérést kaptunk.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A klasszikus rugó-csúszka modell segítségével a hagyományos peridinamikusan húzott rúd tulajdonsággal ruháztuk fel. A megjelenő nemlineáris integrálegyenletek megoldására eredménnyel alkalmaztuk a rugalmas-képlékeny iterációt. Az egydimenziós problémára kidolgozott program rugalmas esetben a hagyományos Hooke-féle anyaggal egyező megoldást eredményezett, míg izotróp keményedő képlékeny anyag esetében kimutatható eltérés jelentkezett.

Az ismertetett rugalmas képlékeny peridinamikusan húzott rúd alkalmas maradó alakváltozásokkal járó deformációk leírására és továbbra is rendelkezik a spontán repedés megjelenés leírásához szükséges jellemzőkkel. Fejlesztési lehetőségek többdimenziós problémák leírását és további képlékeny modellek beillesztését látjuk.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Gerstle, W. et al., Peridynamic modeling of concrete structures, Nuclear Engineering and Design, Elsevier, 2006, xx/xx, On Press
- Ladányi, G., Numerical analysis of peridynamic material model with RBF method, Proceedings of 6<sup>th</sup> European Solid Mechanics Conference, 2006.08.28- 09.01.
- Silling, S. A., Reformulation of elasticity theory for discontinuities and long range forces, National Technical Information Service, 1998
- Silling, S. A., Bobaru, F., Peridynamic modeling of membranes and fibers, International Journal of Non-Linear Mechanics, Elsevier, 2004, 40/2005, pp.395-409
- Silling, S. A., Askari, E., A meshfree method based on the peridynamic model of solid mechanics, Computers and Structures, Elsevier, 2005, xx/2005, pp. Xxx-xxx
- Simo, J. C., Hughes, T. J. R., Computational Inelasticity, Springer, New York, 1998

## Megbízhatóság-elemzési eljárások összehasonlítása, értékelése

### COMPARING AND VALUATION OF RELIABILITY ANALYSIS METHODS

Dr. LENDVAY Marianna

Budapesti Műszaki Főiskola, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar  
H-1084 Budapest, Tavaszmező utca 17.  
Tel.: (36-1)666-5182, Fax: (36-1)666-5199  
e-mail: lendvay.marianna@kvk.bmf.hu

#### ABSTRACT

*In the process of reliability analysis of a system the numeric figures of the reliability components can be predicted and revised. Taking into consideration that the system analysis should be carried out systematically and in a reproducible way, it is extremely important to use an expressly defined procedure. To the comparing and valuation I worked out a criterion system.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Egy rendszer megbízhatóságot alkotó képességeinek mérőszámai megbízhatóság-elemzési eljárásokkal állapíthatók meg. A többféle megbízhatóság-elemzési eljárás közül a rendszer bonyolultsága, a rendelkezésre álló adatok és az elemzés céljának leginkább megfelelő módszert kell kiválasztani. Ehhez kíván segítséget nyújtani az alábbiakban kidolgozott kritérium-rendszer.*

**Kulcsszavak:** megbízhatóság, használhatóság, hibamentesség, karbantarthatóság

#### 1. ELEKTRONIKAI RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁG-ELEMZÉSE

Egy rendszer megbízhatóságot alkotó képességeinek – hibamentességének, karbantarthatóságának, valamint az utóbbi időben idetartozónak tekintett biztonságának – a mérőszámai a megbízhatóság-elemzési eljárások segítségével vizsgálhatók és előre jelezhetők. Az elemzési módszerek lehetővé teszik a nem mennyiségi (kvalitatív) jellegű jellemzők valamint a számszerű (kvantitatív) jellemzők (például meghibásodási ráta, hibamentes működés valószínűsége) becslését, amelyek a rendszer előre jelzett, hosszú időtartamú üzemi működését írják le. Az elemzési módszerek megválasztásánál figyelembe kell venni a rendszer bonyolultságát, működési módjait és a környezeti körülményeket egyaránt. Az elemzési eljárásokat különböző rendszerszinteken célszerű alkalmazni, más-más részletességgel.

A **megbízhatóság-elemzés általános menete** a következő lépésekből állhat [1] (1. ábra):

**1. lépés:** *A rendszer műszaki leírása*

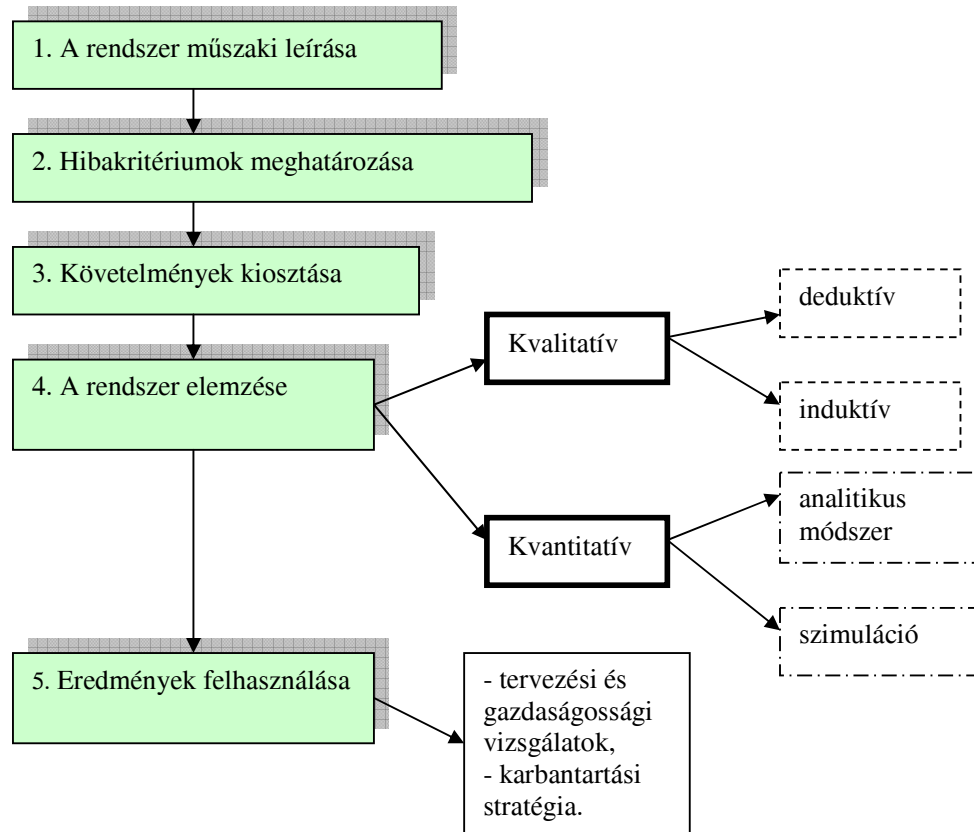
E lépés keretében felsoroljuk a rendszerre vonatkozó összes hibamentességi (szűkebb értelemben vett megbízhatósági) és használhatósági követelményt, jellemzőt és tulajdonságot, a környezeti és üzemeltetési feltételekkel együtt, valamint a karbantartási előírásokat. Meghatározzuk az elemzendő rendszert és az üzemeltetés módjait, az egyes rendszerszintek közötti funkcionális kapcsolatokat és a kapcsolódó rendszereket, továbbá a rendszer működését befolyásoló folyamatokat.

**2. lépés:** *A hibakritériumok meghatározása*

Definiáljuk a rendszer hibaállapotát (hibáját, vagyis azt, hogy mit tekintünk hibának), a hibakritériumokat, valamint a rendszer funkcionális követelményeiből, a várható üzemeltetésből és az üzemi környezetből adódó feltételeket.

**3. lépés: A követelmények kiosztása**

Ha számszerű adatokat kell meghatározni, célszerű az előzetes konstrukció (tervezés) alapján a megbízhatósági mérőszámokat kiosztani a rendszer egyes részei között. Ez azt jelenti például, hogy a rendszer még megengedett meghibásodási rátáját kiosztjuk az egyes részegységek között.



1. ábra

A megbízhatósági-elemzés általános eljárásának lépései

**4. lépés: A rendszer elemzése**

A rendszerelemzés a következő módszerekkel végezhető el:

- Kvalitatív elemzés (deduktív, induktív módszerrel),
- Kvantitatív elemzés (analitikus módszerrel, szimulációval)

**5. lépés: Az eredmények felhasználása a tervezés során.**

Az eredmények értékelése után ezeket összehasonlítjuk a követelményekkel és/vagy a konstrukciós változatokkal (tervezési módokkal). A további tevékenységek a következő területekre terjedhetnek ki:

a) A rendszerkonstrukció (rendszer-tervezés) felülvizsgálata, a kritikus és nagyon kockázatos (veszélyes) hibamódok meghatározása, a kritikus hibák megelőzését szolgáló jellegzetes tervezési elvek meghatározása.

b) A megbízhatóság javítására alternatív eljárások kidolgozása (például tartalékolási elrendezések, a működés folyamatos ellenőrzése, hibafelkutatás, eljárások a rendszer újra elrendezésére, karbantarthatósági, alkatrész-helyettesíthetőségi és javítási eljárások).

c) Gazdaságossági vizsgálatok elvégzése és a konstrukciós (tervezési) változatok költségének értékelése.

## 2. MEGBÍZHATÓSÁG-ELEMZÉSI ELJÁRÁSOK ÉRTÉKELÉSE

Az elektronikai rendszerek vizsgálatára többféle megbízhatóság-elemzési eljárás alkalmazható a gyakorlatban. A **legismertebb elemzési módszerek a következők** [2]: Hibamód és -hatás elemzés (FMEA), Hibamód, -hatás és kritikusság elemzés (FMECA), Hibafa elemzés (FTA), Megbízhatósági diagram (RBD), Markov elemzés (MA), Megbízhatóság előrejelzés (RP), Ok-hatás elemzése, Esemény szimuláció, Rendszerredukció, Eseményfa, Igazságtáblázat, Veszélyhelyzet és üzemeltethetőség vizsgálat (HAZOP). A felsorolás rávilágít arra, hogy nincs egyetlen átfogó megbízhatóság-elemzési módszer, azt célszerű kiválasztani, amelyik a legjobban megfelel az adott rendszer vagy elemzés célkitűzéseinek. A megbízhatóság-elemzést a gazdaságossági szempontok is befolyásolják, ezért a megfelelő módszer a következő feltételeknek is eleget kell tennie:

- a modellek és az értékelési módok a megbízhatósági feladatok széles körét átfogják,
- a kiválasztott módszerrel előreutató, szisztematikus, kvalitatív és kvantitatív elemzést lehet elvégezni,
- ha az adatok rendelkezésre állnak, elvégezhető a megbízhatósági mutatók előrejelzése.

A megbízhatóság-elemzési eljárások összehasonlítása érdekében került kidolgozásra az a kritériumrendszer, amelynek segítségével egy adott elektronikai rendszer vizsgálatára alkalmas megfelelő elemzési módszer kiválasztható.

### ÖSSZEHASONLÍTÁSI KRITÉRIUMRENDSZER:

1. **Alkalmazhatóság:** az eljárás bármilyen bonyolultságú rendszerre, eszközre illetve berendezésre alkalmazható, ha rendelkezésre áll a megbízhatóság-elemzéshez szükséges adatbázis.

2. **Elektronikus adatkezelés:** az eljárás az adatok elektronikus úton történő feldolgozására illetve továbbítására alkalmas, támogatja az elektronikai rendszerekben alkalmazott biztonsági intézkedések végrehajtását.

3. **Életciklushoz illeszkedés:** az eljárás kapcsolódik a rendszer életciklusához, magába foglalja a rendszer létrehozására vonatkozó döntéstől a tervezést, a fejlesztést, a beszerzést, a telepítést, az üzemeltetést, a továbbfejlesztést és a módosítást, a rendszer egyes elemeinek vagy egészének a kivonását és megsemmisítését.

4. **Gazdaságosság:** az elemzés idő- és költségigénye kicsi, a költség/megtérülés arány a felhasználó szempontjából megfelelő.

5. **Eredmény orientáltság:** az eljárás támogatja a kitűzött céloknak megfelelő eredmények áttekinthető, gyorsan értelmezhető ábrázolását.

6. **Használhatóság:** az eljárás alkalmazásához kevés képzés szükséges.

7. **Minősíthetőség:** az eljárás támogatja a felhasználó harmadik fél általi minősítését a megfelelő szabványos követelmények teljesítése esetén.

8. **Üzemeltetési biztonság:** az eljárás támogatja a rendszer egy meghatározott üzemeltetési helyén alkalmazott biztonsági előírások, illetve a működtetés során követendő tevékenységek (pl. javítási, karbantartási stratégia) teljesítését.

9. **Megvalósíthatóság:** az eljárás gyakorlat orientált, konkrét rendszerre közvetlenül alkalmazható.

10. **Színvonal:** nemzetközi szabványban rögzített vagy nemzetközileg széles szakmai körben elfogadott eljárás.

#### *Hibamód- és hatás elemzés (FMEA):*

Az elemzési eljárás erősségei közé tartozik, hogy elektronikusan dokumentált információkat nyújt, biztosítja a hatékony információcserét, alkalmazásához rövid idejű képzés szükséges, támogatja a felhasználó minősíthetőségét és jelentősen javítja az üzemeltetési biztonságot. Gyengesége: a magas időráfordítás, az energiaigényes kidolgozás, - csak viszonylag hosszú távon hoz eredményt, és nehezen becsülhető a költség/haszon arány.

#### *Hibafa elemzés (FTA):*

Az eljárás alkalmas bonyolult rendszerek elemzésére, melyek több, egymástól függő részből állnak, - számítógépes kiértékelést tesz lehetővé, és jelentősen növeli a felhasználó üzemelteté-

si biztonságát. Hátránya, hogy a számszerű kiértékelés megfelelő matematikai felkészültséget kíván, az eljárás alkalmazása költségesebb.

*Megbízhatósági diagram (RBD):*

Az elemzési eljárás a rendszer megbízható működésének grafikus leírására szolgáló módszer, bonyolult rendszerek elemzésére is alkalmas, a rendszer-elemek logikai kapcsolatát mutató diagramok könnyen áttekinthetők és értelmezhetők, - a rendszerek biztonságos működését jelentősen segítő eljárás. A diagramok számszerű kiértékelése azonban idő- és költség igényes, megfelelő matematikai előképzettség szükséges a megvalósításhoz.

*Markov elemzés (MA):*

Az eljárás bármilyen bonyolult, javítható, karbantartható rendszer esetében használható, ha a rendszer nem hosszú élettartamú. A meghibásodások Markov - folyamattal való modellezése és kiértékelése magas szintű matematikai tudást igényel, gyakorlati alkalmazása konkrét rendszerek esetében idő- és költségigényes. Alkalmazása azonban jelentősen javítja az üzemeltetési biztonságot.

*Megbízhatóság előrejelzése (RP):*

Az eljárás egyszerűen és viszonylag rövid idő alatt elvégezhető, - az eredmények főleg a rendszerek korai tervezési és fejlesztési szakaszában hasznosíthatók. Számítógépes adatfeldolgozást tesz lehetővé, de az előrejelzések pontossága általában kicsi, és javítási és karbantartási stratégia vizsgálataira nem alkalmas. A hibamódok és -hatások vizsgálata ezzel az eljárással nem lehetséges.

*Veszélyhelyzet és üzemeltethetőség vizsgálat (HAZOP):*

A vizsgálat csoportmunkában végzett részletes problémafeltáró eljárás. Előnye, hogy bármilyen bonyolultságú rendszerre alkalmazható, elektronikus adatfeldolgozást lehetővé tesz. Az életciklus különböző szakaszaiban azonban jelentősége más és más. A koncepció- és rendszer meghatározás szakaszában nem használható, a tervezési és fejlesztési szakasz a legalkalmasabb a vizsgálat elvégzésére. A vizsgálat programja és eredményei a belső vállalati rend vagy a törvény által felhatalmazott hatósági eljárási rend szerint auditálhatók.

### 3. ÖSSZEGZÉS

A kidolgozott tíz szempontból álló kritérium-rendszer alapján elvégzett összehasonlító értékelés segítséget nyújthat különböző rendeltetésű elektronikai rendszerek vizsgálatára alkalmas megfelelő eljárás kiválasztásához. A katonai elektronikai rendszerekkel szemben támasztott szigorú megbízhatósági és hibamentességi követelményeket, melyeket a NATO előír a tagországaiban rendszeresített eszközökkel kapcsolatosan [3], és a rendszer-tervezés szakaszában a legkorszerűbb technikák alkalmazásával igyekeznek figyelembe venni [4], az életciklus szakaszokhoz kapcsolódó megbízhatóság-elemzési eljárások közül a hibamód és -hatáselemzés, a hibafa elemzés és a megbízhatósági diagram célszerű alkalmazásával teljesíthetjük.

### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Dr. Lendvay M.: Elektronikus készülékek üzemeltetésének megbízhatósági kérdései, Bolyai Szemle, 2003 Különszám, pp. 87-98. ISSN 1416-1443
- [2] Dr. M. Lendvay: Dependability Assurance of Industrial Production Processes, Budapest Tech, Jubilee Conference, 2004. Proceedings, pp. 193-203. ISBN 963 7154 31 0
- [3] Dr. Turcsányi Károly: A katonai minőségügyről, NATO csatlakozásunk első évfordulóján, Magyar Felsőoktatás, 2000/ 7.
- [4] Dr. Turmezei P. – Dr. Nemcsics Á.: Solar Cell Structures Suitable for Military Applications, International Conference on Robot Warfare Budapest, 2001. In Hadtudományi Tájékoztató 2001/7. pp. 132-138.

## Trapéz alakú bordázott lemez optimális méretezése genetikus algoritmussal

### OPTIMISATION OF A TRAPEZE SHAPED RIBBED PLATE USING GENETIC ALGORITHMS

LISZTES István

egyetemi adjunktus

Pannon Egyetem, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10., lisztesi@almos.vein.hu

#### ABSTRACT

*In this paper we present the optimisation of a trapeze shaped plate stiffened with ribs on one side. We search for the optimal set of eight design variables, that make the objective function to be minimum. The objective function is the production cost of the structure. We set realistic constraints which influence the pattern of the ribs, and use genetic algorithms to find the solution.*

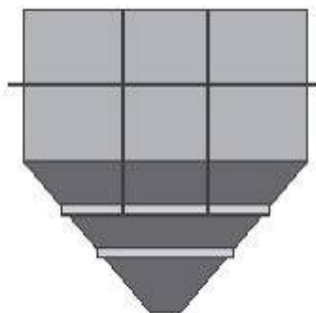
#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A dolgozatban trapéz alakú, egyik oldalon bordákkal merevített lemez optimális méretezését mutatjuk be. Nyolc tervezési változó optimális értékét határozzuk meg, melyek esetén a célfüggvény minimumot vesz fel. A célfüggvény a szerkezet teljes előállítási költsége. A merevítő bordák elhelyezése során gyárthatósági szempontokat is figyelembe veszünk, és genetikus algoritmust használunk az optimum megkeresésére.*

**Kulcsszavak:** bordázott lemez optimalálása, genetikus algoritmus

#### BEVEZETÉS

Bordákkal merevített sík lemezeket sokféle szerkezetben alkalmaznak. Építőiparban, vegyiparban, élelmiszeriparban ömlesztett anyagokat és folyadékokat gyakran tárolnak sík falú tárolókban, annak ellenére, hogy a forgásszimmetrikus alakok szilárdságtani szempontból kedvezőbbek. A sík oldalfal előnye a jobb térkihasználás és az egyszerűbb gyárthatóság. Bordák alkalmazásával gazdaságos szerkezeteket lehet előállítani sík oldalfal esetén is. Sűrű bordázással csökkenthető az anyagköltség, mert vékonyabb lemezekre van szükség, viszont a hegesztés költsége jelentősen megnőhet.



1. ábra

Sík falú, bordákkal merevített tároló

Munkánk célja egy szerkezetípus, nevezetesen sík falú, külső oldalon bordákkal merevített tárolók optimális méretezése, illetve olyan számítógépes program elkészítése, mellyel az optimalás gyorsan végrehajtható különböző kiindulási adatok esetén is. A teljes szerkezet kívánjuk optimalni, ahol a szerkezeti elemek együttdolgozását is figyelembe tudjuk venni, azonban a probléma bonyolultsága miatt először csak különálló szerkezeti elemeket vizsgálunk. Ilyen szerkezeti elemek a tárolók felső részét képező téglalap alakú oldalak, illetve az alul elhelyezkedő trapéz alakú oldalak. A szerkezeti elemek különválasztása egyszerűsíti a számítást, de a peremfeltételek reális megválasztása körültekintést igényel.

Az általunk alkalmazott megközelítési mód kihasználja a számítástechnika nyújtotta lehetőségeket, és így olyan korlátozási feltételeket is figyelembe tudunk venni, melyek más módszerekkel nem kezelhetők.

Jelen dolgozatban egy trapéz alakú, egyik oldalon bordázott lemez optimális méretezését mutatjuk be, és két változatot hasonlítunk össze. Az elsőben a szerkezet anyaga szénacél a másodikban pedig korrózióálló acél. Az optimalást költségminimumra végezzük el, és genetikus algoritmust használunk az optimum megkeresésére.

## A CÉLFÜGGVÉNY

A célfüggvény a szerkezet előállítási költségét megadó függvény, melyet a [2] irodalom alapján írunk fel. Ebben anyag és gyártási költségek szerepelnek. Az amortizáció, szállítás, szerelés költségeit elhanyagoltuk. A költségfüggvény:

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum_i T_i,$$

ahol  $K$  az előállítási költség,  $K_m$  az anyagköltség,  $K_f$  a gyártási költség,  $k_m=0,5-1$  \$/kg a fajlagos anyagköltség szénacél lemezek esetén,  $k_m=4-8$  \$/kg a fajlagos anyagköltség korrózióálló acéllemezek esetén,  $\rho=7,85$  kg/dm<sup>3</sup> az acél sűrűsége,  $V$  az anyag térfogata,  $k_f=0-1$  \$/min a fajlagos gyártási költség,  $T_i$  az egyes gyártási fázisok időigénye.

A fajlagos költségek főleg a gyártó ország gazdasági fejlettségétől függnnek. A fenti értékhatárokat figyelembe véve a  $k_f/k_m$  arány 0 és 2 kg/min között lehet. A jellemző értékek szénacél esetén a következők:

- Gyártási költség nulla, súlyminimumra való méretezés:  $k_f/k_m=0$ .
- Fejlődő országok, olcsó munkaerő:  $k_f/k_m=0,5$ .
- Nyugat-Európa, drágább munkaerő:  $k_f/k_m=1-1,5$ .
- Japán, USA, drága munkaerő:  $k_f/k_m=2$ .

A költségfüggvényt az alábbi formában fogjuk használni, azaz az alábbi függvényt fogjuk minimalizálni:

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} \sum_i T_i.$$

Feltételezzük, hogy a  $k_f/k_m$  arány a gyártás minden fázisára megegyezik.

Az egyes gyártási idők a következők:

$$\sum_i T_i = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7,$$

ahol  $T_1$  a hegesztés előkészítésének, a lemezek összeállításának és összefűzésének ideje,  $T_2$  a tényleges hegesztési idő,  $T_3$  a pótlólagos gyártási tevékenység ideje hegesztéskor (elektrodacsere, salakolás, sorjázás),  $T_4$  a lemezegyengetés ideje,  $T_5$  a felületelőkészítés ideje (tisztítás, rozsdátlanítás, homokszórás),  $T_6$  a festés ideje (alapozás, fedőfestés),  $T_7$  a lemezvágás és élköszörülés ideje.

## TERVEZÉSI VÁLTOZÓK

A szerkezet nyolc jellemző paraméterét optimaljuk, melyeket tervezési változóknak nevezünk, és ezek a következők:

- Alaplemez vastagsága.
- Bordák vastagsága.
- Bordák magassága
- Vízszintes bordák száma.
- Függőleges bordák száma.
- Vízszintes bordasorozat differenciája (különbsége).
- Függőleges bordasorozat differenciája (különbsége).
- Paraméter, mely a bordák és az alaplemez közötti hegesztési varratok szakaszosságára utal.

A tervezési változók fenti megfogalmazása szerint az optimalizációs feladat méret, alak és topológiai optimalizáció egyszerre. A tervezési változók lehetséges értékei diszkrét halmazt alkotnak. A laposacél bordákat az alaplemezen vízszintes és függőleges irányban helyezük el, és a köztük lévő távolságok számtani sorozatot alkotnak. Így megengedünk egyenletes bordakiosztást és az alaplemez szélei felé fokozatosan sűrűsödő vagy ritkuló bordakiosztást is. Ez a bordaelhelyezési elv nyilvánvalóan nem fedi le az összes lehetséges bordamintázatot, de összhangban van azzal, hogy a trapéz alakú alaplemez szélessége lineárisan változik, illetve ha az alaplemez téglalap alakú, akkor annak terhelése általában lineárisan változó megoszló terhelés. A hegesztési varratok szakaszosságát megadó változó csak két értéket vehet fel. Folyamatos varrat esetén értéke 1, szakaszos varrat esetén értéke 0,5. A 0,5 arra utal, hogy a varratszakaszok közti hézag hossza megegyezik a varratszakaszok hosszával.

## KORLÁTOZÁSI FELTÉTELEK

A geometriai jellegű korlátozási feltételek elsősorban a szerkezet gyárthatóságával függnek össze.

Két szomszédos borda nem lehet egymáshoz túl közel, illetve a vízszintes bordák nem lehetnek túl közel az alaplemez széleihez sem. Ez a feltétel a bordák hegesztési varratainak hozzáférhetősége miatt szükséges és úgy biztosítjuk a teljesülését, hogy a bordasorozatok lehetséges differenciáit ennek figyelembevételével adjuk meg. A bordasorozatok megengedhető differenciái azonban a bordák számától is függnak, így ha ezt a két tervezési változót egymástól függetlenül vesszük fel, akkor előfordulhat, hogy a bordák túl közel kerülnek egymáshoz. Ezt a problémát úgy kerüljük el, hogy bordasorozatok differenciáira új változót vezetünk be, amik már függetlenek lesznek a bordák számától. Egy korlátozási feltétel ilyen módon történő figyelembe vételét a szakirodalom dekódolásos módszernek nevezi.

Újabb geometriai jellegű korlátozási feltétel az, hogy a függőleges bordák csak vízszintes bordákon végződhetnek, kivéve, ha nincs vízszintes borda.

Célszerű továbbá azt is előírni, hogy a függőleges és a vízszintes bordák csatlakozása elég távol legyen a vízszintes borda végétől. E két korlátozási feltétel teljesülését nem kell külön vizsgálni, mert csak ilyen bordákat generál az algoritmus.

Mechanikai jellegű korlátozási feltételek a következők:

A szerkezet anyagában a redukált feszültség maximuma nem lehet nagyobb, mint a megengedett.

A bordák és az alaplemez kapcsolatát biztosító hegesztési varratokban a nyírófeszültség nem lehet nagyobb, mint a megengedett.

A szerkezet lehajlása nem lehet nagyobb, mint a megengedett. Ennek nagysága függ az a trapéz alakú alaplemez vastagságától.

A mechanikai jellegű korlátozási feltételek teljesülését úgy biztosítjuk, hogy a genetikus algoritmus által generált populációból kizárjuk azokat az egyedeket, melyek nem teljesítik ezeket a feltételeket, és helyettük újakat generálunk.

## MECHANIKAI MODELL

A lemezszerkezetet mechanikai szempontból héjnak tekintjük. A terhelés a trapéz alakú alaplemezen ható állandó intenzitású, felületre merőleges irányú megoszló erőrendszer. A trapéz alakú alaplemez szárain szögelfordulás mentes befogást írunk elő, míg a trapéz alapjain csuklós megtámasztáso-



kat. A szimmetrikus geometria és terhelés miatt elegendő a szerkezet egyik felét vizsgálni oly módon, hogy a szimmetriasíkban a megfelelő peremfeltételeket írjuk elő.

A genetikus algoritmus minden egyedet kiértékel a korlátozási feltételek szempontjából, ami azt jelenti, hogy az előzőekben vázolt mechanikai modellt minden egyedre fel kell építeni és meg kell oldani. A mechanikai modell megoldására végeelem módszert használunk és lineáris statikai számítást végzünk.

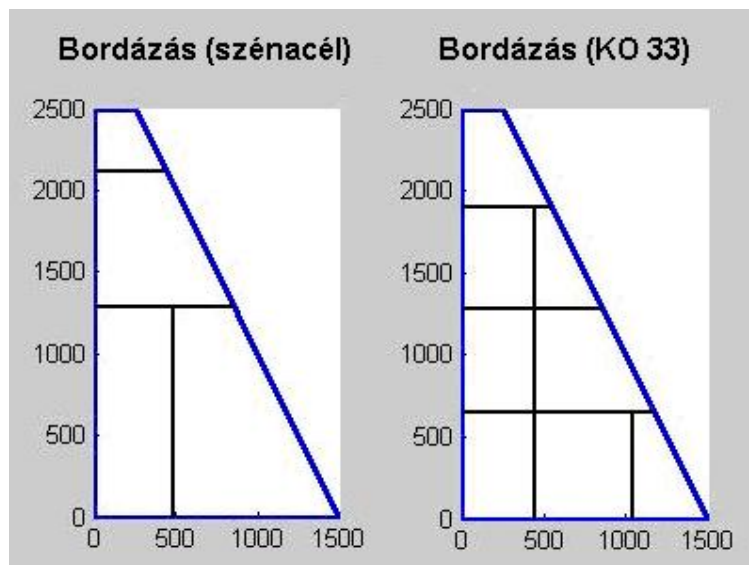
## SZÁMÍTÓGÉPES PROGRAMOK

Két kereskedelmi programot használunk a numerikus számításokhoz. A genetikus algoritmus és a feladatot definiáló algoritmusok MATLAB programozási nyelven készültek és ilyen környezetben futnak. A végeelemes számítást a COMSOL program végzi úgy, hogy azt a MATLAB program vezérli. A genetikus algoritmus alapvető függvényeit Pohlheim készítette, melyet alkalmassá tettünk korlátozási feltételek kezelésére.

## KÉT FELADAT FŐBB ADATAI ÉS AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A két feladat az alkalmazott anyag minőségében különbözik. Az elsőben szénacélt alkalmazunk, a másodikban pedig korrózióálló acélt. A korrózióálló acéllemez ára egységnyi tömegről vonatkoztatva 7-8 szorosa a szénacél árának, amit a  $k_f/k_m$  tényezőben veszünk figyelembe. Szénacél esetén ennek értéke 1,0, korrózióálló acél esetén pedig 0,125. Korrózióálló acél esetén festésre nincs szükség.

A két feladat egyéb adatai megegyeznek. A trapéz alakú alaplemez terhelése  $5 \text{ kN/m}^2$ , az alapok  $3000 \text{ mm}$ , illetve  $500 \text{ mm}$ -esek, a magasság  $2500 \text{ mm}$ .



2. ábra

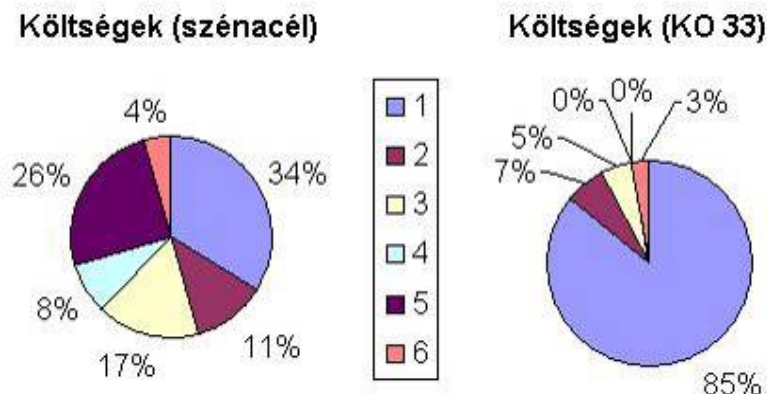
*Optimális bordakiosztások*

A 2. ábra az optimális bordakiosztást mutatja a szerkezet egyik felén. A szimmetriasíkban nincs borda. Szénacél esetén kevesebb borda szükséges, viszont a trapéz alakú alaplemez vastagsága  $4 \text{ mm}$  és a szerkezet tömege  $184 \text{ kg}$ . Korrózióálló acél esetén a bordázás sűrűbb és ennek megfelelően  $3 \text{ mm}$ -es alaplemez is elegendő. Ekkor a szerkezet tömege  $127 \text{ kg}$ .

A bordák mindkét esetben  $100 \text{ mm}$  magasak és  $3 \text{ mm}$  vastagok, valamint szakaszos hegesztési varrattal kapcsolódnak az alaplemezhez.

Az előállítási költségek százalékos megoszlását a 3. ábra mutatja. Szénacél esetén az anyagköltség a teljes költség  $34\%$ -a, míg korrózióálló acél esetén ugyanez  $85\%$ . Bár a korrózióálló acél ára  $7-8$  szorosa a szénacél árának, a korrózióálló acélból készült szerkezet ára alig több, mint kétszerese a szén-

nacél szerkezet árának, mivel a súlymegtakarítás jelentős. Az ábrán az 1-es jelű szegmens az anyagköltség arányát mutatja, míg a többi szegmens a gyártás egyes fázisaira vonatkozik.



**3. ábra**

*Költségek százalékos megoszlása*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott példák alapján érzékelhető a bordázott szerkezetek optimális méretezésének jelentősége és az, hogy még sok lehetőség van a további kutatásokra ezen a téren is. A numerikus vizsgálatok tapasztalatai alapján megállapítható, hogy a genetikusan algoritmusok hatékony eszközt biztosítanak a feladatok megoldására.

### IRODALOM

- [1] Farkas, J., Timár, I.: Fémszerkezetek optimális méretezése. Budapesti Műszaki Egyetem Mérnök-továbbképző Intézet, Budapest, 1982.
- [2] Jármái, K., Iványi, M.: Gazdaságos fémszerkezetek analízise és tervezése. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001.
- [3] Michalewicz, Z.: Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs. Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- [4] Orbán, F.: Minimum cost design of horizontal vessels on saddles. Proceedings of the international conference on metal structures. ICMS-03. Miskolc, 2003. Hungary. p.: 217-221.
- [5] Pohlheim, H.: Evolutionäre Algorithmen. Springer-Verlag, Berlin, 2000.

# Új típusú aktuátorcsalád mobiltelefonok rezgő hívásjelzésére

## A NEW FAMILY OF ACTUATORS USED FOR VIBRATION FUNCTION IN CELLULAR PHONES

LUKÁCS Attila<sup>1</sup>, Dr. HALMAI Attila<sup>2</sup>

<sup>1</sup> doktorandusz, <sup>2</sup> egyetemi tanár

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar  
Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék, Hungary, 1111 Budapest, Egry József út 1.  
Tel: +36/1-463-2308, Fax: +36/1-463-3787, Email: lukacs@mom.bme.hu, Honlap: www.mom.bme.hu

### ABSTRACT

*With the wide use of mobile phones, a paging signal by a sound transducer acts as an environmental noise on many occasions, thus necessitating an alternative paging signal by a vibration. In this paper, a linear electromagnetic actuator is introduced. This new actuator is resonated by electrical force at the fundamental natural frequency.*

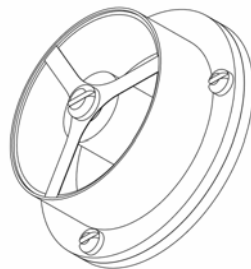
### ÖSSZEFOGLALÓ

*A mobiltelefonok széleskörű elterjedésével egyre nagyobb az igény arra, hogy a bejövő hívások érkezését rezgő hívásjelzés is jelezze. Mobiltelefonok rezgő hívásjelzésére kifejlesztettünk egy lineáris elvű, elektromágneses aktuátort, mely üzemszerűen rezonancia frekvenciáján dolgozik.*

**Kulcsszavak:** Elektromágneses aktuátor, rezonancia görbe, rezgő hívásjelzés, regresszió, érintésmentes mérés

### 1. BEVEZETÉS

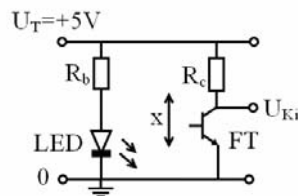
A mechatronikai rendszerek egyik alkotóelemét az aktuátorok képezik. Az aktuátorok csoportján belül jelentős részt alkotnak az elektromágneses aktuátorok, amelyek közé az összes törpemotor is tartozik. Nyomatékképzésük alapján a következőképpen csoportosíthatjuk őket: a Lorentz erőn alapuló illetve az elektromágneses kölcsönhatáson alapuló aktuátorok. Mobiltelefonok rezgő hívásjelzésére ma kizárólag a Lorentz erőn alapuló légréstekercses, egyenáramú kommutátoros motortípust használják. Megfigyelhető azonban, hogy a motor konstrukciója lassanként változásokon megy át. A fő törekvés, hogy a szokványos kefe és kommutátor együttessel végzett kommutálást megszüntessék [1]. Ez a feladat elvileg egy elektronikusan kommutált motorral megoldható lenne, azonban ára egyenlőre még nem teszi versenyképessé. A másik lehetséges út a konstrukció módosítása lehet. Itt kerül előtérbe a „lineáris elvű” motor. Jelen cikkben bemutatjuk az általunk kifejlesztett, megépített, lineáris elvű, elektromágneses aktuátort (1. ábra) illetve az azon végzett mérési eredményeinket.



1. ábra  
Lineáris elvű, elektromágneses aktuátor

## 2. TRANSMISSZIÓS OPTOKAPU ALKALMAZÁSI KÉRDÉSEI, KALIBRÁCIÓJA

A milliméter alatti elmozdulások tipikus mérőeszköze a fényvillamos átalakítók [2]. Fő előnyük, hogy a mérendő objektumra gyakorlatilag erőt nem fejtenek ki és viszonylag magas határfrekvenciával rendelkeznek. Méréseink során egy TIL 138 transzmissziós optokapuvál dolgoztunk. A fényvillamos elmozdulás-feszültség átalakító kapcsolási rajza az 2. ábrán látható.

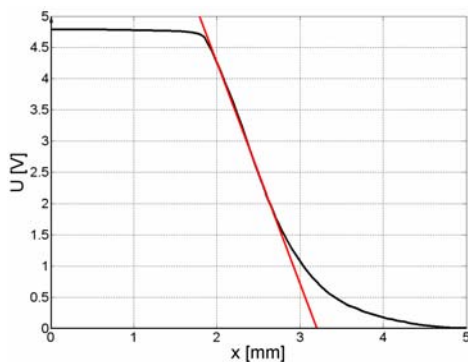


2. ábra

Fényvillamos elmozdulás – feszültség átalakító kapcsolási rajza

A fényforrás (LED)  $R_b$  előtét-ellenállás  $200[\Omega]$ , a detektor – fototranzisztor (FT) munkaellenállása  $4.7[\text{k}\Omega]$  volt. Az optoelektronikus pár közé bemozduló, optikailag átlátszatlan éket helyeztünk el, ami az aktuátor tetejére volt rögzítve, ragasztás útján. Ez a takaró zászló a sugárnyaláb területéből kitarok egy bizonyos részt. A detektorra ideálisan a ki nem takart sugáráram esik. A takaró zászlónk azért volt ékformájú, hogy az elmozdulás-feszültség karakterisztika (3. ábra) lineáris tartományát megnövelhesük. Az  $U(x)$  függvény lineáris tartományára egyenest illeszttem  $U = mx + b$ , ahol a paraméter érté-

kek a következők:  $m = -3.55 \left[ \frac{\text{V}}{\text{mm}} \right]$  és  $b = 11.35[\text{V}]$ .



3. ábra

Transzmissziós optokapu kalibrációs görbéje

## 3. AZ ÚJ TÍPUSÚ AKTUÁTOR MECHANIKUS ÉS VILLAMOS RENDSZERANALÓGIÁJA

Az állandó mágnes, a harang alakú, fluxuszáró mozgórész és a gyűrű alakú légrés együtt mágneskört alkotnak. A mágneskört hajlékony rezgőnyelvre felfogva, egyszabadságfokú rezgőrendszerhez jutunk ( $m = 1[\text{g}]$ ). Az alaplaphoz rögzített, légrésben elhelyezett  $N$  menetű és menetenként  $l$  hosszúságú tekercsbe vezetjük a rezgető  $I$  áramot. Az áramelemre ható erőt  $I$  és a légrésindukció  $B$  vektoriális szorzata adja. Esetünkben ezek egymásra merőlegesek, tehát skaláris szorzatukkal számítható a síkjukra merőleges erő nagysága:

$$F = BI l N \quad (1)$$

$F$  értékét newtonban kapjuk, ha  $B$  tesla,  $I$  amper és  $l$  méter. Mivel a légrésindukciót biztosító állandómágnes mozog, a tekercsben a relatív mozgás sebességével arányos ellen-elektromotoros erő indukálódik:

$$U_i = B l N v \quad (2)$$

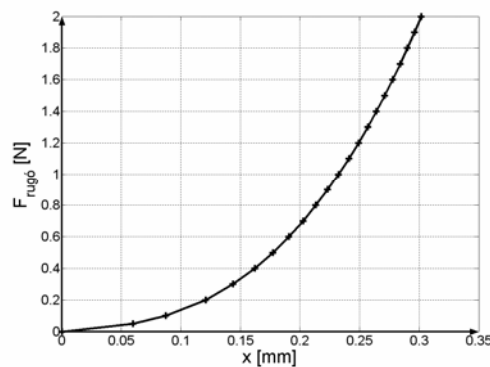
Ha a  $v$  sebesség értékét m/s-ban helyettesítjük  $U_i$  voltban adódik. Figyelembe kell vennünk még a tekercs  $R[\Omega]$ ellenállását és az  $L[H]$  önindukciós tényezőjét. A leírtak alapján a Lorentz erővel gerjesztett mechanikai rendszer mozgásegyenlete, ha a rezgőnyelv csillapítását elhanyagoljuk:

$$m \ddot{x}(t) + F_{\text{rugó}}(x) = B l N I(t) \quad (3)$$

A mozgásegyenlet ezen formáját *Duffing* - egyenletnek is nevezik. Itt a rugó  $F_{\text{rugó}}(x)$  visszatérítő ereje függvénye az  $x$  kitérésnek:  $F_{\text{rugó}}(x) = s(x + \mu x^3)$ , ahol  $s = 0.798 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$

és  $\mu = 80.6 \left[ \frac{1}{\text{mm}^2} \right]$  paraméterek. A paraméterek meghatározására, a rezgőnyelv erő-elmozdulás ANSYS szimulációja után, a legkisebb négyzetek módszerével [3] történt úgy, hogy az alábbi függvény minimális legyen:

$$\sum_{k=1}^m (F_{\text{rugó}_i} - s(x_i + \mu x_i^3)) = \min. \quad (4)$$



4. ábra

Rugóerő – elmozdulás karakterisztika

A rezgőnyelvre vonatkozó 4. ábrán '+' jellel az ANSYS szimuláció, míg folytonos vonallal az illesztett görbe látható. Az áramkörre felírt Kirchhoff-törvény:

$$L \dot{I}(t) + R I(t) + B l N \dot{x}(t) = U(t) \quad (5)$$

Harmonikus gerjesztés esetén:  $U(t) = U_0 \sin(\omega t)$ . A szinuszosan változó gerjesztő feszültséget alacsony frekvenciájú generátor adta. A feladat differenciálegyenlet – rendszere célszerűen numerikus úton oldható meg. Ehhez írjuk fel elsőrendű alakban az egyenleteket, de az függvény argumentumokat most nem írjuk ki, a könnyebb átláthatóság kedvéért:

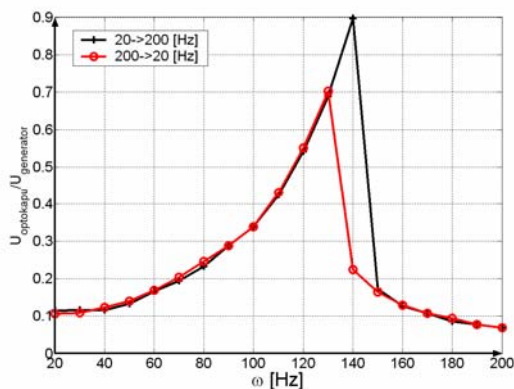
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y \\ -\frac{s}{m}(x + \mu x^3) + \frac{B1N}{m}I \\ -\frac{R}{L}I - \frac{B1N}{L}y + \frac{U_0}{L}\sin(\omega t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Így a linearizált sajátlengés vetítő szögsebessége:

$$\alpha = \sqrt{\frac{s}{m}} = \sqrt{\frac{798 \left[ \frac{N}{m} \right]}{0.001 [kg]}} = 893 \left[ \frac{rad}{s} \right] \cong 142 [Hz] \quad (7)$$

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az egytömegű lengőrendszer mérésel, pontonként felvett rezonanciagörbéjét az 5. ábra szemlélteti. Jól látható itt is, hogy a rezonancia 140 [Hz] körül nagyon határozottan jelentkezett. Láthatjuk, hogy nemlineáris, progresszív rugókarakterisztikával rendelkezik rendszerünk. Ez annyit tesz, hogy a rezonanciagörbe csúcsa elhajlik (adott esetben jobbra). A gerjesztőhatás körfrekvenciáját 20 [Hz]-től egészen 200 [Hz]-ig növeltük, viszonylag lassan. A gerjesztett rezgés amplitúdója növekedett, azonban a 140 hertzes tartományt elérve a gerjesztett rezgés amplitúdója a „kemény” rugókarakterisztika esetén ugrásszerűen lecsökkent. Ha viszont a leszakadás után a gerjesztőhatás frekvenciáját csökkentjük, bizonyos frekvencián ismét ugrásszerűen megnő a gerjesztett lengés amplitúdója. Mindez a nemlineáris rugókarakterisztika következménye. A következőkben a rendszer stabilitásvizsgálatát fogjuk elvégezni, majd a rezonancia frekvencián való működés elektronikáját kell megterveznünk.



5. ábra

*Lineáris elvű, elektromágneses aktuátor rezonanciagörbéje*

#### IRODALOM

- [1] S. U. Chung, G. Y. Hwang, S. M. Hwang: Development of brushless and sensorless vibration motor used for mobile phone, IEEE Transactions on Magnetics, Volume 38, Number 5, pp: 3000-3002, 2002.
- [2] Halmai, A.: Új konstrukciójú elektromágneses aktuátorok a mechatronikában: A tárcsás forgórészű egyenáramú törpemotor, Habilitációs értékezés, 1997
- [3] Lagarias, J.C., J. A. Reeds, M. H. Wright, and P. E. Wright: Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions, SIAM Journal of Optimization, Vol. 9 Number 1, pp. 112-147, 1998.

## Elméleti profilhiba-mentes egyenesfogú metszőkerék geometriája

### THE GEOMETRY OF A STRAIGHT TEETHED GEAR CUTTER WITHOUT THEORETICAL PROFILE ERRORS

Dr. MÁTÉ Márton, Dr.HOLLANDA Dénes

<sup>1</sup>egyetemi docens, <sup>2</sup>egyetemi tanár

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem,

Marosvásárhelyi Műszaki és Humán Tudományok Kar.

540485 Tirgu Mures, Op. 9, Cp. 4. 547367 Corunca/Koronka, Soseaua Sighisoarei / Segesvari ut 1.C.

tel: 0265-208170;0265-208179; 0365-403030, 0365-403051;0723-193989;0742-008999;

www.sapientia.ms.ro

#### ABSTRACT

*This paper presents a new possible development of a straight teethed gear cutter, and the analysis of it's influence on the geometry of the cutting edge. By the existing gear cutters the edge geometry presents uncorresponding small values, due to the providing of profile precision. The rake angle and the relief angle values are too small. In order to keep the prescribed profile precision, and to realise a cutting conditions correlated geometry, the active tooth surfaces must be changed. The proposed edge form results from the intersection of a straight circular cylinder with the involute tooth flank. The edge geometry depends on the geometrical parameters of the cylindrical rake face. The paper presents the analysis of rake angle variation, depending on the skewness angle of the cylinder axis and the cylinder radius.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

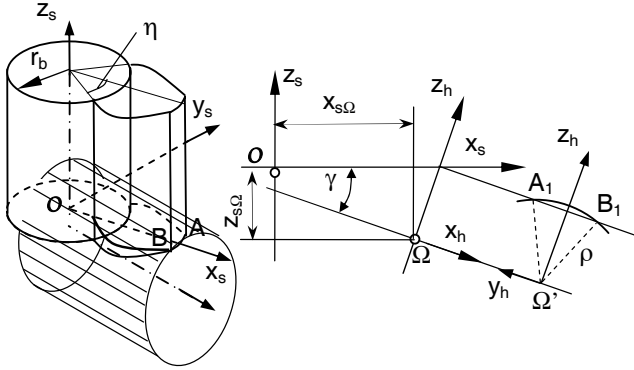
*A dolgozat tárgyát egy lehetséges egyenesfogú metszőkerék kialakítás, valamint az ennek megfelelően előálló élgeometria elemzése képezi. A létező egyenesfogú metszőkerekek működő élgeometriája nem megfelelő. A homlok- illetve a hátszög értéke túl kicsi. Annak érdekében, hogy a profilpontosság betartása mellett a megfelelő élgeometria megvalósuljon, a jelenleg használt működő fogfelületeken változtatni kell. A javasolt élkialakítás az evolvens henger illetve egyenes körhenger áthatásának eredménye. Az élgeometria a homlokfelület beállításától függő. A matematikai modell ismertetése után a dolgozat a geometria változását vizsgálja a körhenger-homlokfelület sugara és tengelydőlésszöge függvényében.*

**Kulcsszavak:** profilhiba-mentesség, homlokfelület, hengerparaméterek, ortogonális homlokszög

#### 1. A SZERSZÁM FOGÉLÉNEK ANALITIKAUS MODELLJE

A klasszikus kivitelezésű egyenesfogú metszőkerék esetében a fog oldalfelületei evolvens csavarfelületek, a homlokfelület pedig a szerszámmal közös tengelyű, egyenes körkúp. A nagyobb homlokszög-értékek elérése érdekében nagyobb görbületű homlokfelületet kell választani. Egyik lehetséges megoldás a fogankénti, hengerfelülettel való élezés. Az elméleti profilhiba kiküszöbölése megköveteli, hogy a vágóél görbéje a homlok-hengerfelület, és a metszőkereket származtató evolvens fogaskerék fogoldal- felületének áthatása legyen. Az oldal-hátfelület megvalósításakor az előbb vázolt módszerrel származtatott vágóél a generáló görbe szerepét tölti be. Vezérgörbéként az oldalhátszög előírt értékét biztosító csavarparaméterű hengeres csavarvonalat kell felhasználni. Az így keletkezett metszőkerék fogoldalainak köszörülése két különböző beállítással valósítható meg.

A vágóél származtatását az 1. ábra szemlélteti. A származtató fogaskerék fogfelületének egyenletei, a fog szimmetriasíkjához illesztett Oxyz koordinátarendszerben a következők:



1. ábra. A henger-homlokfelület beállítása

$$\begin{cases} x_s(u) = r_b(\cos(u - \eta) + u \sin(u - \eta)) \\ y_s(u) = r_b(\sin(u - \eta) - u \cos(u - \eta)) \\ z_s = v \end{cases} \quad (1)$$

A származtató fogaskerék fogfejhossza a metszőkerék fogfejhosszával egyenlő, maximális profileltolását pedig a metszőkerékre érvényes szabályok alapján állapítják meg [1]. A hengerfelületet két paraméter jellemzi: a henger

tengelyének  $\gamma$  dőlésszöge, illetve  $\rho$  sugara. Mivel a henger tengelye a fog szimmetriasíkjában található, a fogfejszalag AB húrja a henger normálmetszetének is húrja lesz. Az 1. ábrán látható beállítást figyelembe véve, a hengerfelülethez csatolt  $\Omega x_h y_h z_h$  koordinátarendszer  $\Omega$  origójának koordinátái a következők:

$$\begin{aligned} x_{s\Omega} &= \sqrt{r_a^2 - \left(\frac{s_{as}}{2}\right)^2} - \sqrt{\rho^2 - \left(\frac{s_{as}}{2}\right)^2} \cdot \sin \gamma \\ y_{s\Omega} &= 0 \\ z_{s\Omega} &= -\sqrt{\rho^2 - \left(\frac{s_{as}}{2}\right)^2} \cdot \cos \gamma \end{aligned} \quad (2)$$

A henger és a szerszám koordinátarendszerei közötti kapcsolatot figyelembe véve, a hengerfelület implicit egyenlete a szerszám koordinátarendszerben

$$y_s^2 + (x_s - x_{s\Omega} \cdot \sin \gamma + z_s - z_{s\Omega} \cdot \cos \gamma)^2 - \rho^2 = 0 \quad (3)$$

A vágóél parametrikus egyenleteinek felállítása a  $v$  és  $u$  független paraméterek közötti kapcsolat meghatározásán alapul, ami az (1) koordináta kifejezések (3)-ba való helyettesítésével kapható. A számítások után a (3) másodfokú egyenletté alakul  $v$ -ben, melynek a szignifikáns gyöke:

$$v(u) = \frac{\sqrt{r_a^2 - \left(\frac{s_{as}}{2}\right)^2} \cdot \sin \gamma - \sqrt{\rho^2 - \left(\frac{s_{as}}{2}\right)^2} - x_s(u) \cdot \sin \gamma + \sqrt{\rho^2 - y^2(u)}}{\cos(\gamma)} \quad (4)$$

A vágóél egyenletei ezzel az (1) kifejezések lesznek, ahol a harmadik egyenletben  $v$  helyett a (4) kifejezés érvényes.

## 2. A VÁGÓÉL KONSTRUKTÍV GEOMETRIÁJA.

Ha a vágóél érintővektora, valamint a homlokfelület normális vektora ismertek, akkor a konstruktív ortogonális homlokszög a következő képlettel számítható [2]:



$$\gamma_0 = \arcsin \frac{\tau_x \cdot n_{\gamma y} - \tau_y \cdot n_{\gamma x}}{\left[ (\tau_x \cdot n_{\gamma y} - \tau_y \cdot n_{\gamma x})^2 + n_{\gamma z}^2 \cdot (\tau_x^2 + \tau_y^2) \right]^{1/2}} \quad (5)$$

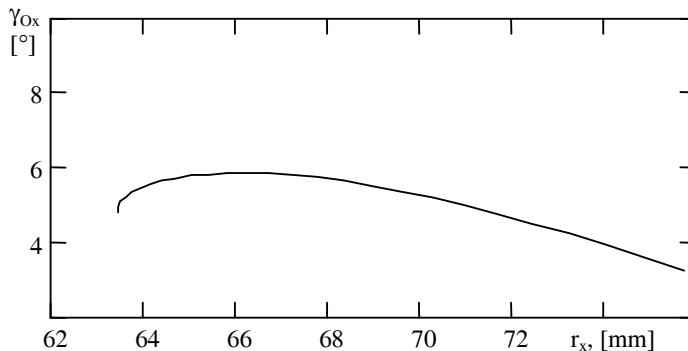
A  $\tau$  érintővektor komponensei az él parametrikus egyenleteinek deriválásával kaphatóak:

$$[\vec{\tau}] = \begin{bmatrix} -\cos(u - \eta) \\ -\sin(u - \eta) \\ \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos(u - \eta) + \frac{y_s(u) \cdot \sin(u - \eta)}{\sqrt{\rho^2 - y_s^2(u)} \cdot \cos \gamma} \end{bmatrix} \quad (6)$$

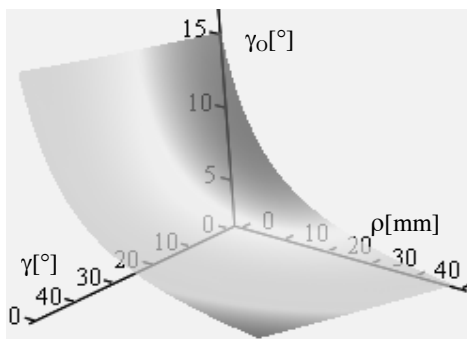
A homlokszög normálvektorát a (3) egyenlet bal oldalát képező  $F(x_s, y_s, z_s)$  függvényre, a vágóél pontjaiban értelmezett, gradiensével számítják a legkönnyebben:

$$[\vec{n}] = [\vec{\nabla} F] = \begin{bmatrix} -\sin \gamma \cdot (x_s - x_{s\Omega} \cdot \sin \gamma + v(u) - z_{s\Omega} \cdot \cos \gamma) \\ -y_s(u) \\ -\cos \gamma \cdot (x_s - x_{s\Omega} \cdot \sin \gamma + v(u) - z_{s\Omega} \cdot \cos \gamma) \end{bmatrix} \quad (7)$$

### 3. A GEOMETRIA ELEMZÉSE.



2. ábra. A homlokszög változása a vágóél mentén, az élpont sugarának függvényében



3. ábra. Az ortogonális homlokszög átlagának változása

A numerikus kiértékelés egy  $z=27$  fogú,  $m=5\text{mm}$  modulú,  $\xi=+0,345$  fajlagos profilletolású,  $\alpha_0=20^\circ$  lécpofilszögű származtatókerékből eredő metszőkerék geometriájára irányult, a következő kísérleti tartományban:

$$3 \cdot m \leq \rho \leq 20 \cdot m$$

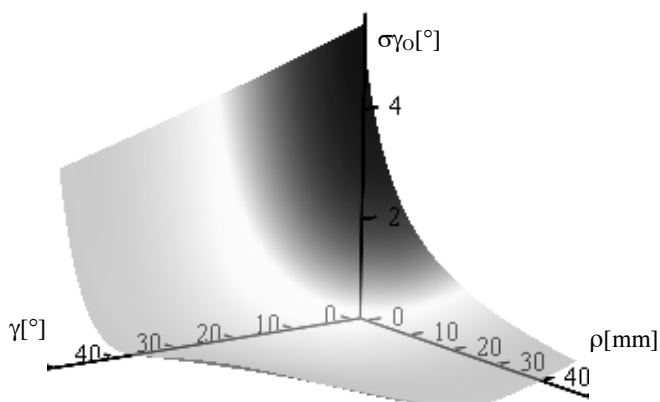
$$0 \leq \gamma \leq 12^\circ$$

Ha a  $\rho$  sugár 11,5 modul, és a henger tengelyének dőlésszöge  $\gamma=5^\circ$ , akkor a vágóél mentén az ortogonális homlokszög változását a 2. ábra szemlélteti.

Belátható, hogy a homlokszög értéke az osztókör környezetében a legnagyobb, viszont változása, a forgácsképződés szempontjából, nem jelentős.

A kijelölt kísérleti tartományban való szögváltozás a vágóél mentén, adott  $(\rho, \gamma)$  beállításra kapott értéksor statisztikai paramétereinek kiértékelésével szemléltetett. A referencia értékek a sorozat átlaga, illetve szórása. Az átlag, illetve a szórás változását a 3., illetve a 4. ábra szemlélteti. A függőleges tengelyen a statisztikai paraméter értéke van feltüntetve, a vízszintes tengelyeken azonban az értékelési pontok sorszáma.

A 3. és 4. számú ábra vizuális vizsgálata lehetővé teszi az alábbi következtetések levonását:



4.ábra. Az ortogonális homlokszög szórásának változása

- Az ortogonális homlokszög átlagértékének változása sokkal jelentősebben függ a henger sugarától, mint a henger tengelyének dőlésszögétől;
- Hasonló a szórás változása is;
- A szórás értéke a henger sugarával fordítottan arányos, ami a homlokfelület görbületének csökkenésével magyarázható;
- Bizonyos hengersugár-értékek fölött előáll olyan tengelydőlésszög-érték, amire a szórás minimálható, azonban ez nem jelentős a forgácsképződés szempontjából.

A javasolt élkialakítási módszer olyan metszőkeréket eredményez, amelynek elméleti profilhibája nulla, és emellett a geometria szabadon választható, ellentétben a jelen pillanatban alkalmazott klasszikus megoldással, ahol a profilhiba tűréshatárok közötti tartása  $2^\circ$ -nál kisebb oldalhomlokszöghöz vezet.

Természetesen, a javasolt metszőkerék köszörüléséhez már görbült profilú köszörűkorong szükséges, ám ennek kivitelezése, numerikus vezérlésű köszörűkorong-élező berendezéssel nem ütközik akadályba.

## IRODALOM

- [1.] Hollanda, D., Máté, M. Așchiere și scule. Editura Universității "Petru Maior" Tîrgu-Mureș, 2004.
- [2.] Máté, M. Contribuții la optimizarea parametrilor constructivi-funcționali ai cuțitelor –roată cu dinți înclinați. Teză de doctorat. Universitatea „Transilvania” din Brașov, 1999.

# Autóipari beszállítókat segítő virtuális logisztikai klaszter operatív irányítási feladatai

## OPERATIVE LEVEL CONTROL TASKS OF VIRTUAL LOGISTICS CLUSTER HELPING AUTOMOTIVE SUPPLIERS

MÉSZÁROS Ferenc<sup>1</sup>, Prof. Dr. CSELÉNYI József<sup>2</sup>, Dr. ILLÉS Béla<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD hallgató, <sup>2</sup>professor emeritus, <sup>3</sup>tszv. egyetemi docens  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék  
3515 Miskolc-Egyetemváros, gkalt@uni-miskolc.hu

### ABSTRACT

*The paper aims to introduce a logistics cluster model operating like a virtual enterprise which helps automotive suppliers. The structure of operative level control tasks, and typical decision situations and decision alternatives for each task are introduced in the paper.*

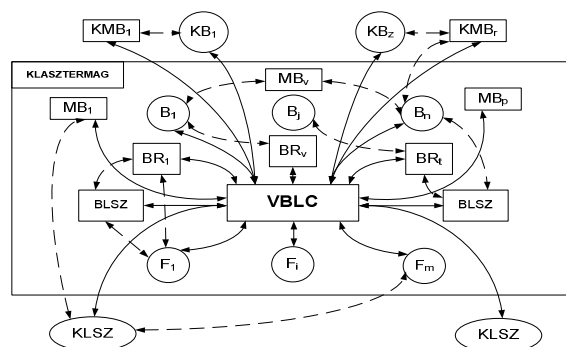
### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk bemutatja egy beszállítókat segítő virtuális logisztikai klasztermodell lehetséges felépítését, feladatait, céljait. Ismertetésre kerül az operatív szintű diszponálási feladatok struktúrája, valamint az egyes diszponálási feladatokhoz tartozó jellegzetes döntési helyzeteket és lehetséges döntési változatokat, majd egy feladat esetében részletesen kifejtésre kerülnek az alkalmazható stratégiák.*

**Kulcsszavak:** beszállítói klaszter, autóipari ellátási lánc, diszponálási stratégiák, virtuális vállalat

### 1. BEVEZETÉS

A hálózatszeűren működő beszállítói rendszerekben - így az iparági beszállítói klaszterek esetében is – a rendszerelemek között létrejövő bármilyen fokú kooperáció esetében kiemelt szerepet kap a logisztika minden területe. A klaszterek kialakulásának tipikus területe az autóipar, ahol a beszállítók számának csökkentésére irányuló törekvések ellenére az autógyártók ellátási láncában nagyszámú, térben elkülönült beszállítót találunk. Az alkatrészeket, részegységeket igen magas színvonalon előállító, fejlett intern (belső) és extern (külső) logisztikai rendszerrel rendelkező elsődleges beszállítók mellett jelen vannak a viszonylag kis kapacitásokkal, illetve korlátozott logisztikai erőforrásokkal rendelkező, másodlagos-, illetve az ellátási lánc további szintjein található beszállítók. Ezek számára a beszállítói státusz elnyerését, illetve megtartását jelentheti az adott régióban működő beszállítói klaszter azáltal, hogy lehetővé teszi a klasztertagok kapacitásainak és készségeinek integrálását. Az autóiparban különösen nagy szerepet kap a logisztika, ebből következően az autóiparra épülő beszállítói klaszterek egyik fő feladata a klasztertagok összekapcsolását lehetővé tevő, hatékony logisztikai irányítási rendszer megtervezése és annak folyamatos felülvizsgálata, illetve a változó igények és környezet alapján történő újratervezése. Jelen cikk a Miskolci Egyetemen működő Tudásintenzív Mechatronikai és Logisztikai Rendszerek Regionális Egyetemi Tudásközpont keretei között zajló, a Kárpátok Beszállítói Klaszter logisztikai rendszerének kialakítására irányuló kutatások bizonyos részeredményeit kívánja bemutatni. A kutatási projekt végső célja egy olyan virtuális vállalathoz hasonlóan működő klaszterstruktúra kialakítása, amely alkalmas a klasztermodell szereplői között áramló információk alapján megfelelő döntéseket hozni az anyagok és eszközök áramlásával kapcsolatosan. Egy autóipari beszállítói logisztikai klaszter lehetséges felépítését és elemeinek kapcsolattrendszerét mutatja a 1. ábra.



1. ábra

Beszállítói logisztikai klaszter egy lehetséges felépítése  
(folyamatos vonal: információáramlás, szaggatott vonal: anyagáramlás)

A klaszter legfontosabb eleme a virtuális üzleti és logisztikai központ (Virtual Business and Logistical Center: VBLC), amely a modell központi döntéshozó eleme. További elemei a klasztertagok: beszállítók ( $B_j$ ), felhasználók ( $F_i$ ), másodlagos beszállítók ( $MB_v$ ), beszállítók által közösen használt raktárak ( $BR_t$ ), logisztikai szolgáltatók ( $BLSZ_k$ ), illetve a klaszteren kívüli beszállítók ( $KB_z$ ), klaszteren kívüli másodlagos beszállítók ( $KMB_t$ ), illetve külső logisztikai szolgáltatók ( $KLSZ_q$ ).

## 2. A BESZÁLLÍTÓI LOGISZTIKAI KLASZTER FELADATAI

A beszállítói klaszter alapvető feladatainak elsődlegesen logisztikai szempontú csoportosítása a következő:

- alkatrész, részegység beszállítóknak (döntően kis- és középvállalkozások) a felhasználókhoz (döntően a járműgyártók elsődleges, illetve másodlagos beszállítóihoz) való hozzárendelése;
- logisztikai és bizonyos nem logisztikai szolgáltatók és a szolgáltatást igénybe vevő vállalatok egymáshoz való hozzárendelése, és a nyújtott szolgáltatások ütemezése;
- logisztikai és bizonyos nem logisztikai szolgáltatások nyújtása a klasztertagoknak, amelyek lehetnek:
  - elsődlegesen logisztikai szolgáltatások (pl. raktározás, üzemek közötti szállítás, kommissiózás stb.);
  - elsődlegesen nem logisztikai, de jelentős anyag- és információáramlással járó szolgáltatások (pl. karbantartás, hulladékkezelés, - szállítás, -raktározás);
- bizonyos klasztermenedzsment feladatok, ahol szintén fontos szerepet kell kapnia a logisztikának (pl. logisztikai képzések szervezése, K+F programok indítása, logisztikai benchmarking projektek szervezése, folyamatos beszállító fejlesztés).

A feladatok felsorolása természetesen nem teljes körű, hiszen a klaszter tagjai számára számos egyéb – döntően üzleti jellegű – szolgáltatás nyújtása is indokolt és célszerű, mint a pénzügyi szolgáltatások, üzleti tanácsadás, vagy a munkaerőkölcsönzés. A hozzárendeléssel, ütemezéssel járó feladatokat a virtuális üzleti és logisztikai központ végzi matematikai modellek alapján. Az egyes feladatokhoz tartozó döntési szituációknak több változata lehetséges, amelyeknél a figyelembe veendő feltételek, döntési változók, valamint a döntési időhorizont eltérőek így megkülönböztethető pl.: *stratégiai-tervezési szintű* (negyedéves, éves időtáv), vagy *operatív-diszponálási szintű* (napi, heti szintű) döntések.

## 3. A BESZÁLLÍTÓI LOGISZTIKAI KLASZTER OPERATÍV SZINTŰ DISZPONÁLÁSI FELADATAI

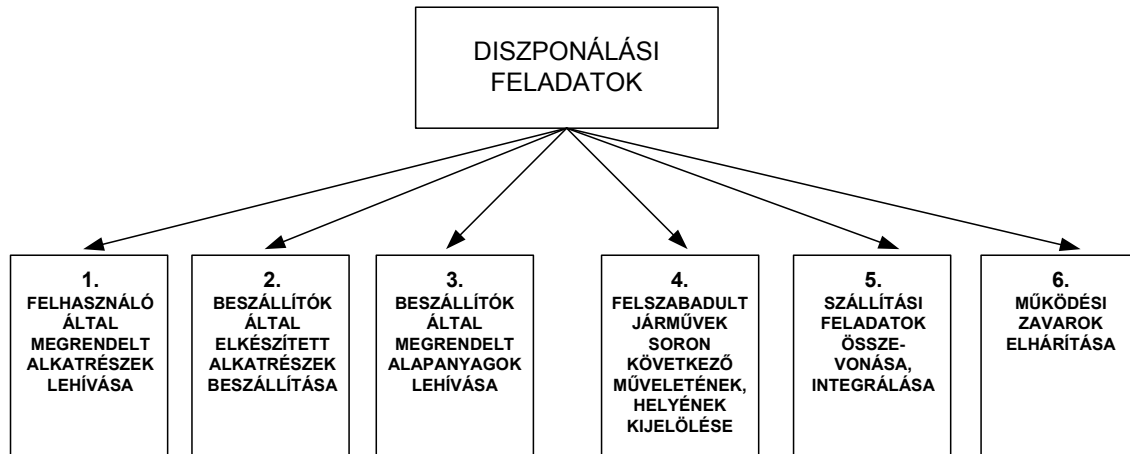
A klaszter diszponálási szintű feladatai összefoglalóan a következőkre terjednek ki:

- anyagok, eszközök áramlásának ütemezése;
- az anyag-, illetve eszközáramlás relációinak megválasztása;
- anyagok és eszközök egymáshoz való hozzárendelése.

Az operatív szintű döntések minden esetben rövid időszakokra (pl. napokra, esetleg egy hétre) vonatkoznak. A diszponálási feladatok elvégzéséhez szükség van bizonyos stratégiai-tervezési szinten meghozott döntések ismeretére, illetve a VBLC működéséhez szükséges – statikus (időben állandó, vagy lassan változó) és dinamikus (időben gyorsan változó) elemeket tartalmazó – adatbázisból lehívható bizonyos adatokra (pl. járműtípusok darabszáma az egyes logisztikai szolgáltatók esetében). Adottnak tekinthető például:

- alkatrész fajtánként értelmezett beszállító-felhasználó hozzárendelés;
- beszállító hozzárendelése az egyes beszállítói raktárakhoz;
- alapanyag fajtánként értelmezett másodlagos beszállító-beszállító hozzárendelés.

A fenti kiinduló hozzárendelések egy-az-egyhez, illetve egy-a-többhöz típusúak lehetnek. A 2. ábra a főbb diszponálási feladatok struktúráját mutatja.



2. ábra

Virtuális beszállítói klaszter operatív diszponálási feladatainak struktúrája

Az egyes diszponálási feladatoknál a következő jellegzetes döntési helyzetek és döntési változatok fordulhatnak elő:

### 1. Felhasználók által megrendelt alkatrészek lehívása

1/a. Honnan történjen a beszállítás?

Döntési változatok:

- beszállítói raktárból;
- a felhasználóhoz rendelt beszállítótól;
- több lehetséges beszállító esetén a legkedvezőbb feltételeket (ár, határidő, minőség stb.) biztosító beszállító(k)tól.

1/b. Mikor kerüljön sor a kiszállításra?

1/c. Ki végezze el a szállítást?

Döntési változatok:

- beszállító végzi;
- kiválasztott logisztikai szolgáltató végzi;
- felhasználó végzi.

### 2. Beszállítók által elkészített alkatrészek kiszállítása

2/a. Az egyes beszállítóknál legyártott alkatrészmennyiségek hová kerüljenek kiszállításra?

Döntési változatok:

- közvetlenül kiszállításra kerül egy vagy több felhasználóhoz;
- több lehetséges felhasználó esetén a legkedvezőbb feltételeket (ár, földrajzi távolság stb.) biztosító felhasználó(k)hoz;
- a beszállító saját raktárába betárolásra kerül;
- egy vagy több beszállítói raktárba kerül kiszállításra.

2/b. *Mikor kerüljön sor a kiszállításra?*

2/c. *Ki végezze el a szállítást?*

Döntési változatok:

- beszállító végzi;
- kiválasztott logisztikai szolgáltató végzi;

### 3. **Beszállítók által megrendelt alapanyag lehívása**

3/a. *Hová hívja le a beszállító a megrendelt alapanyagot?*

Döntési változatok:

- közvetlenül kiszállításra kerül a felhasználóhoz, ha ott kerül feldolgozásra;
- beszállításra kerül egy adott beszállítóhoz;
- beszállításra kerül egy vagy több beszállítói raktárba.

3/b. *Mikor hívjon le alapanyagot a beszállító a beszállítói raktárból?*

3/c. *Ki végezze az alapanyag beszállítást a következő relációkban: másodlagos beszállító-beszállítói raktár, beszállítói raktár-beszállító, másodlagos beszállító-beszállító, másodlagos beszállító-felhasználó?*

Döntési változatok:

- másodlagos beszállító végzi;
- beszállító végzi;
- felhasználó végzi;
- logisztikai szolgáltató végzi.

### 4. **Felszabaduló járművek diszponálása**

4/a. *Egy adott szállítási feladat végrehajása után mi történjen a felszabadult járművel?*

Döntési változatok:

- várakozzon ott, ahol befejezte az előző szállítási feladatot;
- várakozzon a legközelebbi beszállító közelében;
- várakozzon a legközelebbi beszállítói raktár közelében.;
- felhasználónál, ha a felhasználó igénybe veszi termékeinek kiszállításánál;
- menjen vissza üresen a logisztikai szolgáltató telephelyére.

### 5. **Szállítási feladatok szervezése, integrálása**

5/a. *Egy adott  $\Delta t_0$  diszponálási időszakban lehetséges-e szállítási feladatok összevonása?*

Döntési változatok:

- nincsenek összevonható szállítási feladatok, így minden feladat külön-külön kerül végrehajtásra;
- az előre hozható és/vagy elhalasztható szállítási feladatok összevonásra kerülnek az aktuális diszponálási időszakban jelentkező feladattal vagy feladatokkal.

5/b. *A szállítási feladatok összevonása befolyásolja-e a járatszervezést?*

Döntési változatok:

- a szállítási feladatok összevonása eredményeképpen nem változik a szükséges járműtípus, illetve induló állomás stb.;
- az összevonás eredményeképpen változtatni kell a szükséges járművek típusát, illetve darabszámát, az induló állomást stb.

Az összevonható szállítási feladatok típusai lehetnek:

- egy feladó-, illetve egy leadó állomás közötti szállítás;
- egy feladó állomásról több leadó állomásra történő szállítás;
- több feladó állomásról egy adott leadó állomásra történő szállítás;
- több feladó állomásról több leadó állomásra történő szállítás.

### 6. **Fellépő működési zavarok elhárítása**

6/a. *Mi történik ha egy felhasználó nem hívja le a megrendelt alkatrészmenyiséget a hozzárendelt beszállítótól?*

Döntési változatok:

- a VBLC a klasztertag felhasználó(k)nak ajánlja fel a legyártott alkatrészmenyiséget;
- a VBLC a klaszteren kívüli felhasználóknak ajánlja fel a legyártott alkatrészmenyiséget.

6/b. *Mi történik ha egy beszállító nem tudja határidőre elkészíteni a megrendelt alkatrészmenyiséget?*

Döntési változatok:

- a VBLC klasztertag beszállítót bíz meg a szükséges mennyiség legyártásával;

– a VBLC klaszteren kívüli beszállítóknak ajánlja fel a beszállítás lehetőségét.  
 6/c. *Mi történik ha egy másodlagos beszállító (alapanyaggyártó) nem tudja határidőre elkészíteni a megrendelt alkatrészmennyiséget?*

Döntési változatok:

- a VBLC klasztertag másodlagos beszállítót bíz meg a szükséges mennyiség legyártásával;
- a VBLC klaszteren kívüli másodlagos beszállítónak ajánlja fel a beszállítás lehetőségét.

6/d. *Mi történik ha a kiválasztott beszállítói raktár tároló kapacitása nem elegendő?*

Döntési változatok:

– a szükséges pótlólagos raktárkapacitás biztosítására a VBLC klaszteren belüli beszállítói raktárt bíz meg;

- a VBLC klaszteren kívüli raktári kapacitásokat vesz igénybe.

6/e. *Mi történik ha egy adott szállítási feladathoz egy adott időpontban a szállítási kapacitás nem áll rendelkezésre?*

Döntési változatok:

– a szükséges pótlólagos raktárkapacitás biztosítására a VBLC klaszteren belüli beszállítói raktárt bíz meg;

- a VBLC klaszteren kívüli raktári kapacitásokat vesz igénybe.

A továbbiakban egy adott diszponálási feladat végrehajtása során alkalmazható stratégiák kerülnek bemutatásra

#### 4. FELHASZNÁLÓK ÁLTAL MEGRENDELTE ALKATRÉSZEK LEHÍVÁSI STRATÉGIÁI

Az alkatrészek lehívásánál az alábbi célfüggvények vehetők figyelembe:

- minimális legyen a vásárlási költség;
- minimális szállítási költség;
- minimális legyen az alkatrész lehívási ideje;
- minimális legyen az idő előtt beszállításból eredő tárolási költség;
- minimális legyen a késedelmes alkatrészbeszállításból eredő veszteségeköltség.

A beszállításoknál az alábbi korlátozó feltételeket kell figyelembe venni:

$$q_{0\nu j}^A \leq q_{Bij} \leq q_{0\nu j}^F, \quad (1)$$

ahol

- $q_{0\nu j}^A$ : a  $\nu$ -edik felhasználó által lehívni kívánt mennyiség alsó határa a  $j$ -edik alkatrész esetén;
- $q_{0\nu j}^F$ : a  $\nu$ -edik felhasználó által lehívni kívánt mennyiség felső határa a  $j$ -edik alkatrész esetén;
- $q_{Bij}$ : az  $i$ -edik beszállítótól/raktárból beszállítható mennyiség a  $j$ -edik alkatrészből;

illetve:

$$t_{0\nu j}^A \leq t_{Bij} \leq t_{0\nu j}^F, \quad (2)$$

ahol

- $t_{0\nu j}^A$ : a lehívás legkorábbi lehetséges időpontja a  $\nu$ -edik felhasználónál a  $j$ -edik alkatrész esetében;
- $t_{0\nu j}^F$ : a lehívás legkésőbbi lehetséges időpontja a  $\nu$ -edik felhasználónál a  $j$ -edik alkatrész esetében;
- $t_{Bij}$ : a beszállítás lehetséges időpontja az  $i$ -edik beszállítótól/raktárból a  $j$ -edik alkatrész esetében.

Fentieket figyelembe véve a felhasználók által megrendelt alkatrészek lehívásánál az egyes döntési helyzetekben az alábbi stratégiák alkalmazhatóak:

**1. döntési helyzet: Honnan történjen a beszállítás?**

**I. stratégia:** *Az igényelt teljes alkatrészmennyiség valamelyik beszállítói raktárból kerül beszállításra.*

Ez a stratégia alkalmazható ha:

- az előírt feltételek teljesülnek és a vásárlási és szállítási költségek összege a beszállítói raktárból való beszállítás esetén minimálisak, vagy
- az előírt feltételek csak a beszállítói raktárból történő lehívás esetén teljesülnek, de a vásárlási és szállítási költségek összege nem ebben az esetben minimális.

**II. stratégia:** *Az igényelt mennyiség részben a beszállítói raktárak egyikéből, részben valamelyik beszállítótól kerül beszállításra.*

Ez a stratégia alkalmazható, ha a szükséges feltételek teljesülnek, továbbá a vásárlási és szállítási költségek összege ez esetben minimális, vagy az igényelt mennyiség nem áll teljes egészében rendelkezésre a beszállítók, illetve beszállítói raktárak egyikénél sem.

**III. stratégia:** *A teljes igényelt mennyiség a beszállítók valamelyikétől kerül beszállításra.*

Ez a stratégia alkalmazható, ha az előírt feltételek teljesülnek, és vásárlási és szállítási költségek összege ez esetben minimális, és/vagy az igényeket csak egy vagy több beszállítótól való beszállítással lehet teljesíteni.

**2. döntési helyzet: Mikor kerüljön sor a beszállításra?**

**I. stratégia:** *Abban az időpontban kezdődik el a beszállítás, amely a legkedvezőbb szállítási költséget teszi lehetővé, a beszállítás időpontjára vonatkozó korlátok nem kerülnek figyelembe vételre.*

Ez a stratégia alkalmazható, ha az alkatrészek korai vagy késői beszállítása nem okoz jelentős veszteséget (pl. biztonsági készletek állnak rendelkezésre a felhasználónál), illetve a korai vagy késedelmes beszállításból eredő többletköltség.

**II. stratégia:** *Az igényelt mennyiség részben a beszállítói raktárak egyikéből, részben valamelyik beszállítótól kerül beszállításra.*

Ez a stratégia alkalmazható, ha az alkatrészek korai vagy késői beszállítása nem okoz jelentős veszteséget (pl. biztonsági készletek állnak rendelkezésre a felhasználónál).

**3. döntési helyzet: Ki végezze a beszállítást?**

**I. stratégia:** *A beszállítói logisztikai klaszter belső vagy klaszteren kívüli (külső) logisztikai szolgáltatót bízza meg a szállítási feladat elvégzésével.*

Ez a stratégia alkalmazható ha:

- az előírt feltételek teljesülnek, továbbá a szállítási feladatot sem a beszállító sem a felhasználó nem tudja végrehajtani és/vagy a szállítási költség ebben az esetben minimális, vagy
- a beszállítás a kívánt határidőre nem teljesíthető, de az alacsonyabb szállítási költség ellensúlyozza a késedelmes szállítás okozta veszteséget.

**II. stratégia:** *A beszállítói saját járműveivel hajtja végre szállítási feladatot.*

Ez a stratégia alkalmazható, ha az előírt feltételek teljesülnek és a beszállító saját járműveivel végre tudja hajtani a szállítási feladatot úgy, hogy a szállítási költség ebben az esetben minimális (pl. több feladatot összevonásával).

**III. stratégia:** *A felhasználó saját járműveivel hajtja végre szállítási feladatot.*

Ez a stratégia alkalmazható, ha az előírt feltételek teljesülnek és a beszállító saját járműveivel végre tudja hajtani a szállítási feladatot úgy, hogy a szállítási költség ebben az esetben minimális (pl. több feladatot összevonásával).

**IRODALOM**

- [1] Cselényi J, Illés B.: *Logisztikai Rendszerek I.*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004.
- [2] Cselényi J., Illés B., Kerepeszki I.: *Development of Virtual Logistics Network – Improving Supplier Positions of Hungarian SMEs*, IPSERA Catania, Italy, Conference Proceedings, (IPSERA-DICA, University of Catania) pp. C52-C63, 2004
- [3] Mészáros F., Cselényi J., Illés B., Bálint R.: *Mathematical Model and Method for Optimal Designing of Carpathian Incarrier Network in Case of Tasks Related to Automotive Industry*. MicroCAD2006. International Scientific Conference University of Miskolc, Hungary, 16 March 2006
- [3] G. Maier, E. M. Bergman: *Stated Preferences For Transport Among Industrial Cluster Firms*, 40th Congress of the European Regional Science Association, 2000.
- [4] L. Ravn, J. W. Petersen: *Cluster Development in Hungary*, Department of Environment, Technology and Social Studies, Roskilde University, 2005.



# Az inventív problémamegoldás módszerei

## METHODS OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING

MEZEINÉ NAGY Klaudia

PhD hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezet-tani Intézet  
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.  
www.gszi.bme.hu, nagy.klaudia@gszi.bme.hu, +36 1 463 3509

### ABSTRACT

*The problem solving methods used in practice are introduced in this paper. Through widening the definition of problem written in the title of the article the design methods from conventional to complex problem solving techniques are shown, enclosed by the conclusion showing the comparison of these theories.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk széleslátókörűen mutatja be a gyakorlatban ma is elterjedt, problémamegoldást elősegítő módszereket. A címben szereplő probléma definícióját kiszélesítve, a hagyományos tervezést támogató lehetőségek felsorolásától a komplex megoldáskeresési elmélet ismertetéséig próbál átfogó képet nyújtani, végül rövid összehasonlítással kapcsolatot teremteni a különféle eljárások között.*

**Kulcsszavak:** probléma, megoldáskeresés, intuitív, diszkurzív, inventív

### 1. BEVEZETÉS

A fogyasztói társadalomban folyamatos igény van új termékek előállítására. A tervezőknek nincs minden pillanatban világrengető ötletük, az elvárás mégis minél több új termék kitalálása, a már meglévő termékek egyre erősebb minőségi kritériumoknak megfelelő továbbfejlesztése.

Számos módszer létezik az ötletgenerálásra. Célom ismertetni a tervezők munkáját elősegítő lehetőségeket, kezdve a hagyományos módszerek rövid leírásától egészen az inventív technikák bemutatásáig.

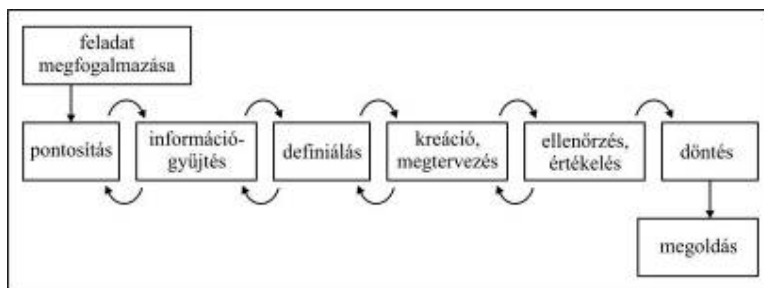
### 2. A PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Az egyik legnehezebb kérdés, hogy mit nevezünk problémának. Definíció szerint: „megoldásra váró elméleti vagy gyakorlati kérdés; tudományos kérdés, kutatási feladat, felvetett dolog vagy terv” [1]. A tervezők számára a probléma mibenlétét mindig a konkrét feladat dönti el, azonban a megfogalmazást célszerű úgy megalkotni, hogy az a későbbi gondolkodásunkat a lehető legkevésbé korlátozza.

A probléma megfogalmazásához célszerű megvizsgálni a körülményeket, felállítani a szükséges követelményeket. A feltárt követelményeket javasolt olyan módon csoportosítani, hogy jól elkülönüljenek a mindenképpen megvalósítandóak a kívánt, de nem kötelezőektől. A következő gondolatsor segít abban, hogy a kitűzött célt, a gondolkodás korlátozásának csökkentését megközelítsük:

- a kívánságok elhagyása
- a funkciót és a feltételeket közvetlenül nem érintő követelmények figyelmen kívül hagyása
- a mennyiségi adatok megfogalmazása minőségi jellemzők formájában
- a felismert tények ésszerű általánosítása

Eredmény: a probléma megoldástól független megfogalmazása.



1. ábra

*Az általános problémamegoldás modellje*

### 3. MEGOLDÁSKERESÉSI ELJÁRÁSOK

#### 3.1. Hagyományos megoldáskeresési eljárások

A hagyományos megoldáskeresési eljárásokat kezdeti lépésként célszerű alkalmazni. Ezek általában megfigyelésen alapulnak, létező dolgok elemzésén, sokszor méréseket, modellkísérleteket is alkalmaznak. Ide sorolható az irodalom-, szabadalomkutatás; természeti rendszerek, ismert műszaki rendszerek analízise; előre haladó lépések, visszalépések módszere; analógiák keresése; céltudatos kérdések módszere. Ezek általában széles körben ismert módszerek, a számos lehetőség közül egy szemléletes példát szeretnék bemutatni a következő ábrával.



2. ábra

*Bogáncs – tépőzár, példa a természeti rendszerek analízisére [2][3][4]*

#### 3.2. Intuitív gondolkodás

Az intuitív gondolkodási folyamat az ötleteken alapul, a felismerés hirtelen tudatossá válik, a folyamat alig befolyásolható vagy utánozható. [5] Intuícióval sok jó megoldást találtak, mégsem tudunk csak erre a módszerre hagyatkozni, mert:

- az igazán jó ötlet általában ritkán születik jó időpontban, mivel ezt nem tudjuk kényszeríteni, se kidolgozni
- az eredmény nagyrészt a tervező tehetségével és tapasztalatával van összefüggésben
- fennáll a veszélye, hogy az eredmények csak a tervező saját szakmai látókörén belül jelennek meg.

Az intuitív megoldáskeresési lehetőségekből mutatom be azokat a leggyakrabban alkalmazott módszereket, melyek megőrzik az intuíció szükségességét, miközben igyekeznek bizonyos szabályokba foglalni a problémamegoldás menetét.

##### 3.2.1. Brainstorming

Az „**ötletroham**” főként a gondolatok felvillanásának, feltörésének tekinthető. Osborn fejlesztette ki, a legtöbb intuitív technika alapjául szolgál. [6] Csoportos ötletelés, általános megoldáskeresés, melyben a csoportot 5-15 fő alkotja, a csoportvezető főként a szabályok betartatására ügyel. A csoport tagjai lehetőleg különböző tapasztalatokkal rendelkező személyek, előítéletek nélkül kell megalkotniuk elképzeléseiket, melyek további új javaslatokra ösztönözhetik a csoport többi tagját. Minden ötletet lapra vagy falívre írnak, vagy rajzolnak, tilos a kritika, csak pozitív bírálat hangozhat el.

A **kreatív problémamegoldás** módszerét Osborn a brainstormingból fejlesztette tovább, főként szakmai problémák megoldására, itt az ötletgenerálást elkülöníti az ötletek értékelésétől.

### 3.2.2. 635 módszer

Általános problémákra, és tipikusan koncepcióvázlatok kialakítására alkalmas. A brainstorming alapján fejlesztette ki Rohrbach. [5] A csoport hat főből áll, mindenki három megoldási javaslatot vázol fel egy lapra, majd továbbadja a következőnek, aki szintén három javaslattal egészíti ki az előzőt. A javaslatok lehetnek továbbfejlesztések vagy teljesen új koncepciók is. Összesen ötször adják tovább a lapokat, ezért nevezik 635 módszernek.

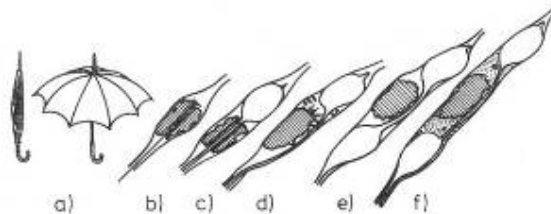
A **Philips 66** ez előbb ismertetett módszer változata konkrét problémára. A nagy létszámú csoportot hatfős alcsoportokra bontják, majd hat percük van a probléma megbeszélésére, ötletelésre, értékelésre. Ezután a csoportok megvitatják az eredményeket, majd újabb csoportokat alkotnak és tovább folytatódik a megoldáskeresés.

### 3.2.3. Hat kalap

De Bono [7] a csoportos ötletelést hat fázisra bontja, melyeket kalapok szimbolizálnak. Lényegük: fehér kalap – csak tények, sárga kalap – pozitív vélemények, piros – érzelmek, kék – gondolatok a gondolkodásról, zöld kalap – új ötletek és lehetőségek, fekete – negatív érvek. A csoport tagjainak a különböző kalapok alatt a szigorú szabályok alapján kell gondolkodni.

### 3.2.4. Szinektika

Teljesen új ötlet keresése a cél, a szinektika jelentése két különböző, látszólag egymástól független fogalom összekapcsolása. Gondolatmenet asszociációkon keresztül megy végbe, a probléma részletes analízise után más területekről vett analógiák keresése, összehasonlítása, új elképzelés kifejlesztése. A csoportban legfeljebb hét fő lehet, általában magasan képzett személyek.



3. ábra

A vesekő-eltávolítás megoldási elvének analógiája [5]

## 3.3. Diszkurzív módszerek

A diszkurzív módszerek tudatosan lépésről lépésre haladó eljárással adják a megoldást. A diszkurzív folyamat nem zárja ki az intuíciót, amelyet szigorúan csak az egyes lépéseknél az egyes részproblémák, nem azonnal a teljes feladat megoldására szabad felhasználni. [5] Idetartoznak a fizikai jelenségek, matematikai egyenletek módszeres vizsgálatai, törvények elemzése, a módszeres keresés. Néhány példát részletesebben is bemutatok.

### 3.3.1. Funkcióelemzés módszere

A funkciók pontosításán, a funkciók felosztásán alapszik. A felbontás segítségével újabb ötleteket kaphatunk.

### 3.3.2. Morfológiai mátrix

A megkívánt funkciók és a lehetséges megoldási elvek, megoldások között teremt táblázatos kapcsolatot.

### 3.3.3. Tervezői katalógusok

Ezek főként ismert, jól bevált megoldásokat gyűjtenek össze. [8] Többféle típusa ismert: komplexitás szerint áttekintő vagy részlet katalógus, tartalom szerint általános ismeret, művelet, vagy megoldás katalógus. A tervezői katalógusokkal szemben támasztott legfontosabb követelmények: átfogó ismereteket tartalmazzon, jól áttekinthető, továbbfejleszhető legyen, rendszer szinten lehessen integrálni.

#### 4. AZ INVENTÍV PROBLÉMAMEGOLDÁS ELMÉLETE

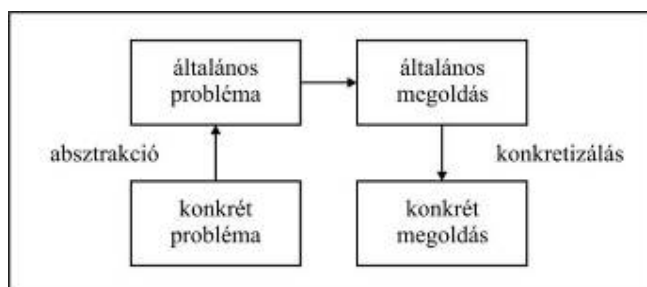
A projektek végrehajtása során gyakran előfordul az a fázis, amelyben a megoldandó probléma analízise már sikeresen lezajlott, azonban a következő lépésnek, a megoldás tervezésének egyes aspektusai még nem tisztázódtak. Ebben a fázisban olyan módszerek alkalmazása az elterjedt, amely során a projekt tagjai közösen keresnek megoldást az adott problémára. Az ilyen megoldáskeresés egy tipikus példája a brainstorming alkalmazása. Az így előállított megoldásra általában jellemző, hogy intuitív, a megfelelősége nehezen megíjítható, újrafelhasználhatósága pedig igen alacsony.

A TRIZ olyan problémamegoldási módszer, amely a korábban felsorolt problémák kiküszöbölésére nyújt megoldást. Algoritmikus alapokra helyezi a probléma elemzését és a megoldás keresését, ezzel csökkentve az intuitivitás és növelve a bizonyítottan hatékony megoldások alkalmazásának szerepét. A projekt szempontjából nézve a TRIZ alkalmazása olyan eszköztárhoz való hozzáférést biztosít, amely radikálisan csökkenti a végrehajtás során felmerülő bizonytalansági faktorokat.

Az inventív problémamegoldás elméletét jelenti az orosz eredetű betűszó a TRIZ, de a szakirodalomban gyakran használják a TIPS angol rövidítést is – Theory of Inventive Problem Solving. Az elméletet Genrich Altshuller dolgozta ki kollégáival a volt Szovjetunió területén. [9]

Az általános alapelvek a következők:

- A problémák és megoldásaik ismétlődnek az iparban és a kutatásokban
- A technikai evolúció mintái szintén ismétlődnek az iparban és a tudományok területén
- Innováció során más területeken kifejlesztett tudományos eredményeket is használtak



4. ábra

*Az inventív problémamegoldás elméletének modellje*

#### 5. KONKLÚZIÓ

A problémamegoldást elősegítő különféle módszerek tárháza elég nagy. A hagyományos módszerek főként abban segítenek, hogy tudjunk miből ötletet meríteni, az intuitív módszerek a tervező személyének intuícióit aknázzák ki, a diszkurzív típusok jól definiált, követhető lépéseket írnak le. Az inventív problémamegoldás elmélete egyesíteni próbálja a különböző módszerek előnyös tulajdonságait, a spontán ötletek lehetőségét meghagyva olyan rendezett segítséget nyújt, amely biztos megoldáshoz vezet.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bakos Ferenc: Idegen Szavak Szótára, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1983
- [2] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [3] [www.nikonsmallworld.com](http://www.nikonsmallworld.com)
- [4] [www.foster-miller.com](http://www.foster-miller.com)
- [5] G. Pahl – W. Beitz: A géptervezés elmélete és gyakorlata, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988
- [6] [www.brainstorming.co.uk](http://www.brainstorming.co.uk)
- [7] De Bono E.: Six Thinking Hats, Little & Brown Co., Boston, 1985
- [8] Vidovics B.: Tervezői problémamegoldás – megoldáskeresés a terméktervezésben, előadás, BME, 2005
- [9] [www.triz-journal.com](http://www.triz-journal.com)

## Tésztahidak teherbírása elméletben és gyakorlatban

### THE CARRYING CAPACITY OF THE PASTA-BRIDGES IN THEORY AND IN PRACTICE

MOHAROS István

főiskolai adjunktus

Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar  
Gépszerkezetani és Biztonságtechnikai Intézet  
Budapest 1081, Népszínház u. 8.  
Telefon: +36 1 666-5357, Fax.: +36 1 666-5484  
Email: moharos.istvan@bgk.bmf.hu honlap: www.gbi.bgk.bmf.hu

#### ABSTRACT

*The Institute of Mechanical Engineering and Safety Techniques of the Bánki Donát Mechanical and Safety Engineering Faculty of the Budapest Polytechnic has been organizing the from pasta made bridge building competition for many years. During the years we have seen lots of optimal solutions for execution of pasta bridges, we have got to know many theories from the optimal formulation but according to the experiences the theoretical and the practical weight-bearing capacity of the bridges measured in the competition differ significant.*

*This presentation is searching after the real cause of the difference and the way to find the real optimum.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépszerkezetani és Biztonságtechnikai Intézete több éve rendezi meg a Kárpát medencei Tésztahíd építő versenyt. Az évek során rengeteg „optimális” megoldást láthattunk a tésztahidak kivitelére, sok tézist megismerhettünk az optimális kialakításról, de a tapasztalat azt mutatja, hogy a versenyben megmért tésztahidak elméleti és gyakorlati teherbírása jelentősen eltér egymástól.*

*Ez az előadás az eltérés okát és a valódi optimum megtalálásának módját keresi.*

**Kulcsszavak:** Tartószerkezet, optimum, optimális, tervezés elmélet, híd

#### BEVEZETÉS

Ez a cikk nem titkoltan a műkedvelő- és tudomány népszerűsítő cikkek rovatába tartozik. A téma jelentősége azonban túlmutat ezen. A tésztahíd építés gyökerei Magyarországon 1989-ben az Ybl Miklós Építőipari Műszaki Főiskolán keresendők, ahol Dr. Zalka Károly angliai tapasztalatai alapján hirdette meg az első versenyt [1].

1996-ban a Bánki Donát Műszaki Főiskola (Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar) hallgatói is meghívást kaptak erre a versenyre.

Azóta a BMF-BGK Gépszerkezetani és Biztonságtechnikai Intézete évről-évre megrendezi házi versenyét, 2005-től pedig a Kárpát-medence Tésztahíd építő bajnokságot is. Az első versenyeken csak néhány nevező vett részt, és az elkészült alkotások jó része is inkább csak esztétikai élményt nyújtott, a terhelést nem viselte. Az évek során azonban egyre többen és többen jelentkeztek, és a szerkezetek is rohamosan fejlődtek olyannyira, hogy a régi egyszerű súlyterhelést gépesíteni kellett, mert az összes súly felhasználásával sem sikerült a legjobb szerkezeteket összetörni.

Nagy lökést adott a versenynek, hogy 2003-óta a kar legsikeresebb hallgatói Kanadában részt vehetnek az Okanaga University Collage által megrendezett világbajnokságon, és azóta minden évben többször új világsúcs felállításával nyerik meg a versenyt.

A verseny határai is kitágultak. Míg az első években csak a kar hallgatói vettek részt a versenyen, mostanra már az egész Kárpát medencéből nevezhetnek a hallgatók az évenként megrendezésre kerülő bajnokságra. A versenyre nevezők száma több tucatra nőtt, és az érdeklődők oly sokan lettek, hogy a kar legnagyobb előadóterme is kicsinyek bizonyult a verseny lebonyolítására.

Egy ilyen nagy mezőnyben a versenyt megnyerni csak komoly elméleti felkészüléssel, a korábbi tapasztalatok felhasználásával és a rengeteg időt felemésztő precíz gyártással lehet. A hallgatók oktatóik tapasztalatát és a kari laboratóriumok felszereléseit felhasználva több száz vizsgálatot és elemzést végeztek a tésták és kötőanyagok tulajdonságainak meghatározására és az optimális szerkezeti kialakítás megtalálására. Ha a mostani szerkezetek kialakítására fordított összes hallgatói és oktatói munkaidőt vizsgálnánk akkor a téstahíd építés biztosan a kar legfontosabb kutatási területei közé tartozna, amelyben szinte minden intézet kiveszi a részét.

A ráfordítás pedig mindig megtérül. A mechanikában és mérés technikában a résztvevő hallgatók az előadásokon meg nem szerezhető ismeretekre tehetnek szert. A jól felkészült és motivált hallgatókkal pedig a többi tárgy keretében is könnyebb együttműködni. A sorra megdőlt világrekordok felkeltették a média érdeklődését is. A Kanadából hazatérő hallgatók rendszeresen nyilatkoznak a sajtónak, és a televízió legnézettebb műsoraiban szerepelnek. Ennek pedig olyan marketing értéke van a kar és az egész főiskola számára, amit saját erőforrásokból csak nagyon komoly anyagi ráfordítással tudna elérni.

### AZ OPTIMÁLIS SZERKEZETEK

Mivel a verseny feltételei évek óta nem változnak (részletesen megtalálható a kar honlapján: [www.banki.hu](http://www.banki.hu)) a nyertes szerkezetek is egyre jobban hasonlítanak egymáshoz. Két jól elkülöníthető irányvonal alakult ki. Mivel a híd legkritikusabb eleme a nyomott öv, ennek kialakítása alapján megkülönböztethetünk az 1. ábrán látható egyenes nyomott övvel és a 2. ábra szerinti íves nyomott övvel készült hidakat. Mindkét megoldásnak vannak előnyei és hátrányai, de precíz kivitelezés esetén mindkettő képes az élménybe jutni. A dolgozat megírásához célszerűen ugyanannak a hallgatónak két különböző kivitelű hídját választottam bízva abban, hogy a szubjektív tényezők befolyása a kapott eredményre kicsi lesz.



1. ábra

Tésthíd egyenes nyomott övvel



2. ábra

Tésthíd íves nyomott övvel

Márkosa Szilárd a kar harmad éves gépszerkesztő-tervező hallgatója és az 1. ábrán látható híddal 2006-ban 253,8 kg-os teherbírással (a kg-ban mért teherbírás tradíció, a régi súlyterheléses versenyek óta) második helyezést ért el a kari versenyen. Ezzel az eredménnyel kvalifikálta magát a kanadai világbajnokságra. A világbajnokságon már a 2. ábrán látható híddal indult, amit sajnos egy félreértés miatt kizártak a versenyből, de versenyen kívül elért 158 kg-os teherbírásával ott is a második helyezést érte volna el. Szilárd legyőzői Kanadában is ugyanazok lettek volna mint Budapesten, a kari versenyen első helyezést elért páros.

Mindkét híd sok tudás felhalmozásával gondos munkával készült. A hidak terhelése során mért teherbírás azonban meg sem közelítette az elemzések alapján várt értékeket.

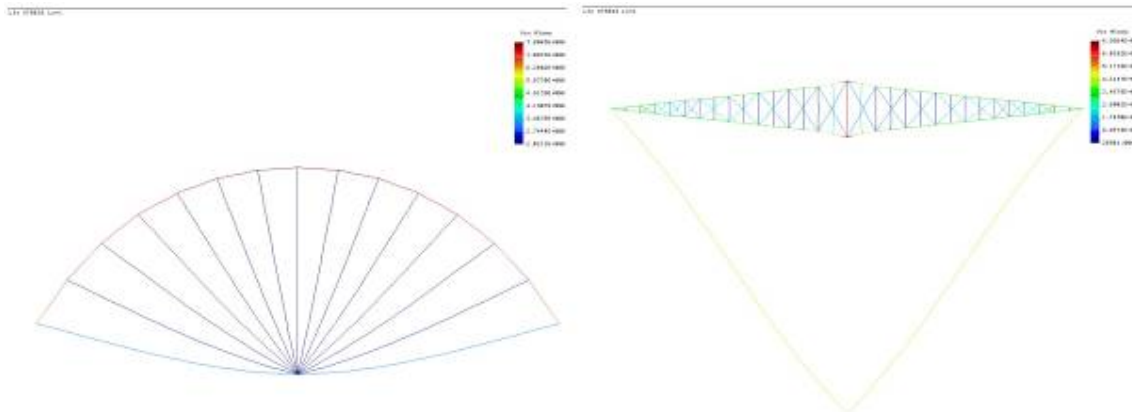
### AZ ELEMZÉS EREDMÉNYEI

Az évek során többféle geometriájú és alapanyagú tésztát vizsgáltak a hallgatók. A ma ismert legjobb minőségű tészták szakítószilárdsága 24 MPa körüli, rugalmassági modulusuk pedig 3 GPa. A nyomott övek kialakítása szempontjából fontos ismerni a kihajlási viszonyokat is. Ennek érdekében a hallgatók minden tésztához kísérleti úton határozták meg azt a hosszúságot, ahol még nem jön létre kihajlás. Ezeket a hosszakat felhasználva alakították ki a nyomott szálakat.

A 3. ábrán az íves nyomott övű híd végeselem modelljét megvizsgálva látható, hogy a híd elméleti teherbírása 307 kg lenne. A valóságban ennek alig a felét volt képes elviselni, pedig a terhelés és megfogás gyakorlatilag laboratóriumi körülmények között zajlott, azaz a kapott eredményeknek jól kellene követni az elméletet. A tönkremenetel a várakozásoknak megfelelően az íves öv közepén következett be. A terhelés átadásában azonban csak a középső három bekötőkábel vett részt, a versenyző elmondása szerint a többi laza maradt.

Az egyenes nyomott övű híd modellje a 4. ábrán látható. A híd elméleti teherbírása közel 350 kg, ami már csak 40 %-kal tér el a gyakorlatban is megmért teherbírástól. A tönkremenetel ebben az esetben azonban a modell alapján várttól meglepően eltért. A 253 kg-os terhelés elérésekor az egyik húzott függesztő rúd szakadt el, aminek elméletileg 600 kg-os terhet is el kellett volna viselni. Ha a tönkremenetelből indulunk ki, az elméleti és gyakorlati eredmények itt több mint kétszeres eltérést mutatnak.

A rivális hallgatók által készített „titkos” elemzések hasonló következtetésekre jutottak, azaz a várt értékek 2-4 szeresei a valós mért értékeknek.



3. ábra  
Számítási eredmények

4. ábra  
Számítási eredmények

Ennek tükrében optimális és győztes lehetne egy olyan megoldás, ami képes legalább megközelíteni saját elméleti teherbírási határát. Egyszerűbben fogalmazva olyan szerkezetet kell építeni amelyik tervezhető.

## AZ ELTÉRÉS OKAI

Az eredmények ilyen eltérésének első és legfontosabb oka az lehet, hogy az erőátadásban résztvevő elemek nem vonhatóak azonos mértékben funkcióba, így egyes elemek túlterhelődnek és törésük az egész szerkezet azonnali tönkremenetelét idézi elő. Ezt bizonyítja hogy az íves nyomott övű hídnál, ahol a nyomott öv egyetlen szál vastag tésztaból készült, a tönkremenetel helye megfelelt a várakozásoknak. Bizonyítja továbbá, hogy a megfigyelés szerint a bekötő kábelek többsége a terhelés során laza maradt. És ennek a következménye az is, hogy az egyenes főtartójú híd nem várt módon ment tönkre. Ennek oka lehet hogy a beépített szálak hossza nem azonos, vagy a környezeti feltételek (hőmérséklet, páratartalom) változása során egyenlőtlenül változik.

Problémát jelenthet még hogy a csomópontok kialakításához használt ragasztó –amelynek kiválasztását számtalan kísérlet előzte meg– a tészta alapanyaghoz túl merev, így a csomópontok merev kapcsolatként viselkednek és a szálakra hajlítónyomaték is átadódik. Ez veszélyes lehet, egyrészt azért mert a tészta ridegségük miatt a hajlításra nagyon érzékenyek, másrészt azért mert a kísérleti úton meghatározott kihajlási hosszak értékei módosulnak.

További eltérés adódhat abból, hogy a tésztaaszálakban gyártás és szállítás közben apró észrevehető sérülések keletkeznek, amelyek a teherbírást nagymértékben csökkenthetik.

## KONSTRUKCIÓS JAVASLATOK

Célszerűnek tűnhet, hogy az erőátadásban résztvevő elemek egyetlen darabból készüljenek, így kiküszöbölve az egyenlőtlen funkcióba vonás káros hatásait. Ennek ellentmond, hogy a fel nem ismerhető anyaghibák hatását úgy lehet a legkisebbre csökkenteni, hogy a funkciót a lehető legtöbb azonos funkcióhordozóra osztjuk szét. Az ésszerű érték egy és öt közé eshet, attól függően, hogy mennyire megbízható az alapanyag. Megoldást jelenthet az is, ha a húzott szálakat beépítéskor a kötőanyag szilárdulásáig kicsi, egyenletes erővel előfeszítenék.

Olyan új ragasztóanyagot és kötési technológiát kell keresni, amely még megfelelő az erők átadására, de rugalmassága lehetővé teszi hogy a csomópontok csuklós vagy legalább félmerev kapcsolatként viselkedjenek. Egy ilyen rugalmas kötés segíthetne az azonos szintű funkcióba vonás problémájának megoldásában is.

A szálak rejtett hibáinak megtalálása a legnehezebb feladat. A szemrevételezés és tapintás lehet a leghatékonyabb módszer. A próbaterhelés legfeljebb a névleges teherbírás töredéke lehet, nehogy a terhelés során mi magunk hozzunk létre hibákat az anyagban. Fontos még a megfelelő tárolás és szállítás is, mert főleg a hosszú vékony húzott szálak a rezgésekre érzékenyek lehetnek.

## IRODALOM

- [1] Horváth S. Körtvélyesi G. Legeza L.: A tésztahidépítő versenyek szerepe a mechanika oktatásában, VII MOHR Mechanikát Oktatók Hazai rendezvénye, Pécs, 2005. szept. 23-24. pp. 39-42



## Családi házak klimatizálásának lehetősége ásott kutak felhasználásával

### THE POSSIBILITY OF EMPLOYMENT OF THE OUT-OF-ORDER-DUG-WELLS IN THE FIELD OF HOUSE-AIR-CONDITIONING

MOHAROS Sándor

adjunktus

Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest 1081, Népszínház u. 8. Telefon: +36 1 666-5364, Fax.: +36 1 666-5484 e-mail: moharos.sandor@bgk.bmf.hu, honlap: www.gbi.bgk.bmf.hu

#### ABSTRACT

*In this article I studied the possibility of employment of the out-of-order-dug-wells into the field of house-air-conditioning.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Ebben a cikkben azt a lehetőséget vizsgáltam meg, lehetséges-e a sok helyen még meglévő, használaton kívüli ásott kutak felhasználása a családi házak klimatizálásában.*

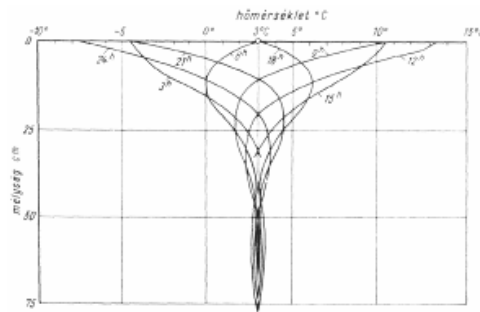
**Kulcsszavak:** Klímatizálás, ásott kút, környezetvédelem, energiatakarékosság.

#### ÁLTALÁNOS ÁTTEKINTÉS

Az életszínvonal növekedése és a gyártók által elérhető áron kínált kis berendezések megjelenése következtében megjelent az igény a családi házak klimatizálására is. Erre a célra legelterjedtebben kompresszoros hűtő körfolyamattal működő közvetlen elpárologtatós helyi kisberendezéseket alkalmaznak. Ezeknek a gépeknek a fogyasztása egy háztartásban jelentősen megnöveli a felhasznált villamos áram mennyiségét. Ha figyelembe vesszük azt is, hogy hűtőközegként a hűtőgépekben is alkalmazott környezetkárosító freonokat használják, kijelenthetjük, hogy alkalmazásuk nem környezetbarát, hiszen nem feltétlenül fontos célra használunk jelentős mennyiségű energiát egy környezetpusztító anyagokkal töltött berendezésben. Célszerű lenne tehát lehetőség szerint más, a környezetet kevésbé károsító megoldást keresni a hűtési feladat megvalósítására.

A hűtési feladat megoldására, szóba jöhet például a használaton kívüli, de még sok kertés házban meglévő ásott kútban található víz is.

A talaj hőmérsékletére a külső hőmérséklet éves és napi ingadozása néhány méteres mélységen túl nem gyakorol hatást. Az 1. ábrán a talaj hőmérsékletének napi hőingás hatására történő változását láthatjuk a felszíntől mért távolság függvényében. Látható, hogy a napi hőingás 50cm mélységben már alig jelentkezik. Két-három méteres mélységben már állandónak mondható 10°C körüli hőmérséklet uralkodik.



1. ábra

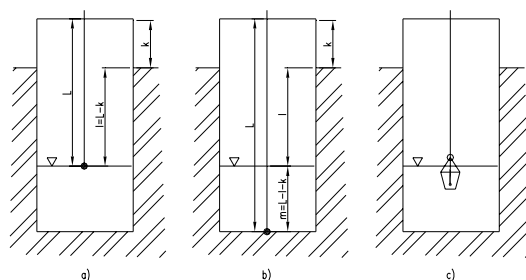
Ez az állandó hőmérsékletű, óriási hőkapacitású réteg lehetőséget nyújt arra, hogy nagyobb mennyiségű hőt vigyünk be a hőmérséklet különösebb megváltozása nélkül. A 10°C körüli hőmérséklet alkalmas arra, hogy lakóépületek nyári hűtési igényét elégítsük ki ezen a hideg rétegen keresztül cirkuláltatott hőhordozó közeg segítségével. A hőhordozó kiválasztásánál elsődleges szempont, hogy kis tömegáramot keringetve jelentős hőmennyiséget tudjunk szállítani. Erre a célra a nagy fajhővel rendelkező víz kiválóan megfelel. A következő kérdés, hogy mi módon valósítsuk meg a hőhordozó és a talaj közötti hőcserét.

A probléma megoldható a kellő mélységben lefektetett csőhálózat mint hőcserélő segítségével is. Ez a megoldás nagy területre kiterjedő földmunkát igényel, de ez csak az egyik hátrány. További nehézséget jelent, hogy a csőhálózat korrózió veszélyének van kitéve és a vastag földtakarás miatt gyakorlatilag nem karban tartható és csak nagy nehézségek árán javítható. Az is a csőhálózat fektetése ellen szól, hogy a csövek és a talaj közötti hőátadás talajvízszint felett száraz talajba helyezés esetén kedvezőtlen, így nagy mennyiségű csővezeték beépítése szükséges, ami a beruházás költségeit jelentősen megemeli.

Ha a klímátizálandó épület alatt vagy közvetlen közelében nagy méretű és kellő mélységű pincerendszer áll rendelkezésre, úgy ez egy másik megoldást jelentene a problémára. Cirkuláltathatnánk ugyanis levegőt a pincerendszeren keresztül az épületben. A cirkuláltatott levegő a pince nagy felületű falaival érintkezve lehűl, és ez a kellemes hűvös levegő az épületbe bevezethető. A megoldás alkalmazása esetén kedvezőtlen, hogy kis fajhőjű levegővel mint közvetítő közeggel kell dolgoznunk, ezért a szükséges térfogatáram nagy. A megoldás másik hátránya, hogy az esetleg tárolásra használt pince nem kívánatosan felmelegedhet, illetve az épületben kellemetlen szaghatás jelentkezhet.

Amennyiben a klímátizálandó épület saját ásott kúttal rendelkezik, lehetőség nyílik a kút vizének felhasználására az épület hűtési igényének kielégítésére. Ennél a megoldásnál biztosított a kedvező fajhőjű víz mint hőhordozó, a talajvízszint alatti hőbevezetés kínálta kedvezőbb hővezetési tényező, valamint az egyszerű felépítés lehetőségéből fakadó költségtakarékosság. A továbbiakban ezzel a megoldással foglalkozunk.

Bár a szakirodalom a talaj hőmérsékletét hazánkban 10°C körüli értékűnek meghatározza, elvégeztünk néhány mérést a környezetemben fellelhető ásott kutakban. A mérés felépítését a 2. ábra, eredményeit a 1. táblázat rögzíti.



2. ábra

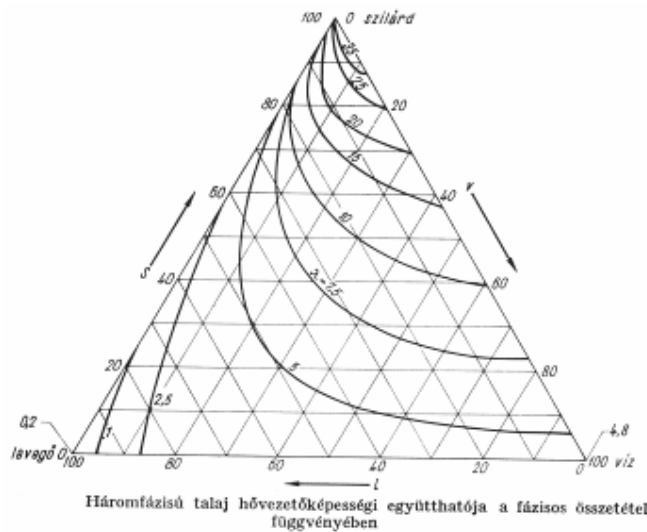
4. táblázat

Hely	víztükör szintje <i>m</i>	vízmélység <i>m</i>	térfogat <i>m</i> <sup>3</sup>	hőmérséklet °C
Velence Csemete u.	8	2,8	1,4	9
Velence kat. temető	6	3,2	1,6	11
Velence ref. temető	5,5	2,6	1,3	10
Baracska Kossuth u.	2,5	1,5	0,8	14
Biatorbágy Táncsics u.	8,2	2,5	1,3	11
Biatorbágy	10,4	2,2	1,1	10

A mérés leírása: Első lépésként megmértem a víztükör talajszinthez viszonyított mélységét. Ez után a mérősúlyt a kút fenekéig engedve meghatároztam a vízmélységet. Meghatároztam a kútban tárolt víz mennyiségét. Végül egy kalibrált hőmérő segítségével meghatároztam a kút vizének hőmérsékletét. Az elvégzett mérések alapján az ásott kutak vizének hőmérsékletére a 11 °C-os érték elfogadható méretezési alpnak látszik. Természetesen a tényleges megvalósítás előtt a helyi mérés elengedhetetlen, de az általános tárgyaláshoz a fenti érték elfogadható.

### A KIVEHETŐ TELJESÍTMÉNY.

A kút vizéből kivehető teljesítményt a talajban való hőterjedési viszonyok határozzák meg. A hőterjedés legfontosabb jellemzője a vízzel telített talaj hővezetési tényezője. Ennek meghatározása a három fázisú talaj (szilárd, víz, levegő) hővezetési tényezőjét ábrázoló 3.ábra segítségével lehetséges.



3. ábra

A talajvízszint alatti talajrészben a levegő részaránya nullának tekinthető, így a hővezetési tényező csak a talaj-víz részarányának függvénye. A vizes, homokos talaj esetén a talaj térkitöltési tényezője 60%, így itt  $\lambda=17 \text{ cal/h}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C}$  érték adódik, amit SI mértékrendszerre átszámítva:  $\lambda=1,98 \text{ W/mK}$

A kútból kivehető hőteljesítmény meghatározását végeelem analízis segítségével határoztam meg. A program futtatásához egyszerűsítő feltételeket alkalmaztam. A számítás során nem vettem figyelembe a talajvízszint fölötti talajréteg felé történő hőáramlást és a talajvíz mozgását, a kút vizének hőmérsékletét pedig a hely szerint állandónak tételeztem fel. A fenti elhanyagolások mindegyike a tényleges hőáram növekedését segíti, így a valóságban kialakuló helyzet az elvégzett számításnál csak kedvezőbb lehet.

A feladatot sík problémaként oldottam meg. A modell megalkotásánál egy 2,5m vízmélységű kutat vettem figyelembe.

Mivel áramlás modellezésére nem volt lehetőségem, ezért a kút vizének áramlásából adódó hőfok kiegyenlítődet a víz hővezetési tényezőjének megnövelésével helyettesítettem.

A vizsgálat során a csúcsterhelés 3kW volt.

### AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a föld viszonylag alacsony hővezetési tényezőjéből kifolyólag a vizsgált modell esetén 2-3kW-nál nagyobb hűtési igény napi 8 órás működést figyelembe véve nem elégíthető ki. Az eredményekből kitűnik, hogy a hőbehatolás mélysége nyolc óra alatt is csekély. Ez azt jelenti, hogy a hőáramlással elvihető teljesítmény nem túlságosan nagy és a talajvíz kismértékű áramlása is jelentősen megváltoztathatja a terhelhetőséget. A modell azonban nem vette

figyelembe a talajvíz áramlását, ami a kivehető teljesítmény értékét jelentősen megnövelheti. A talajvíz áramlásának figyelembe vételére nem volt mód, de mivel a helyi adottságoknak megfelelően számottevő eltérések lehetnek, a tényleges terhelhetőség csak helyi kísérletek alapján állapítható meg. Végeredményként arra a következtetésre jutottam, hogy a módszer használható, kis beruházást igényel, de a telepítés előtt a helyi áramlási viszonyok figyelembe vétele nélkül a terhelhetőség nem állapítható meg. A módszer alkalmazásánál feltétlenül figyelemmel kell lenni arra a körülményre, hogy a kút túlterhelésekor a benne lévő víz jelentősen, több fokkal felmelegedhet és ez a kút biológiai egyensúlyának felborulásához, a kút vizének szennyeződéséhez vezethet.

### **A KIVEHETŐ TELJESÍTMÉNY NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI**

Amennyiben jó vízhozamú kúttal rendelkezünk, a teljesítmény a felmelegedett víz egy részének vagy egészének locsolásra, napkollektorban használati melegvíz készítésre történő hasznosításával növelhető. Ugyancsak növelhető a teljesítmény, ha a felmelegedett vizet egy esetleg rendelkezésre álló szomszédos kúton keresztül juttatjuk a talajba. Ennél a megoldásnál javasolt a vízkivételt a talajvíz természetes áramlása felé eső kútban megvalósítani, hogy a visszatáplált víz hőjét minél távolabbi talajrétegeknek adja át. Az is növelhetné kis mértékben a kivehető teljesítményt, ha a felmelegedett vizet esőztető rózsán keresztül engednék vissza a kútba.

### **IRODALOM**

- [1.] Kézdi Árpád: Talajmechanika I. Tankönyvkiadó 1972.
- [2.] Kézdi Árpád: Talajmechanika II. Tankönyvkiadó 1975.

# Szervopneumatikus rendszer modelljének linearizálása

## MODEL LINEARIZATION OF A SERVO-PNEUMATIC SYSTEM

Dr. MOLNÁR László<sup>1</sup>, CZMERK András<sup>2</sup>

Dep. Mechatronics, Optics and Instrumentation Technology / Technical University Budapest  
H-1111. Budapest, Egy József u. 1. Tel.: 463 3998,  
e-mail: <sup>1</sup>lmolnar@mom.bme.hu, <sup>2</sup>czmerk@mom.bme.hu

### ABSTRACT

Nowadays can stop pneumatic systems not only at the two end of stroke, but also in any arbitrary position. The dynamic behaviour of these servopneumatic cylinders is characterised by significant nonlinearities. In the course of my researches the linearization of the dynamic model become possible the investigation for the modified PID controller, which proved in many applications itself.

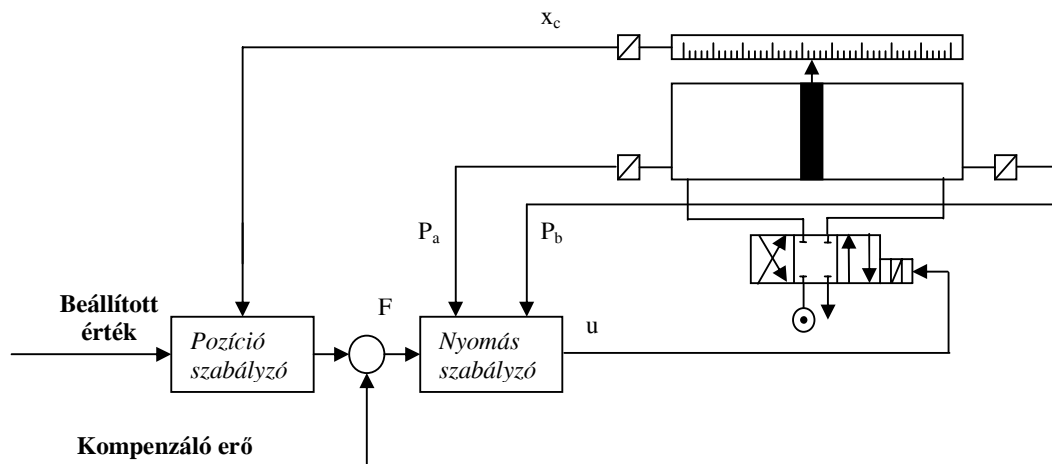
### ÖSSZEFOGLALÓ

A pneumatikus rendszerek napjainkban már nem csak a munkahenger két végpontjában, hanem szabályozórendszer segítségével tetszőleges pozícióban is megállíthatók. Ezen szervopneumatikus rendszerek működése számos nemlinearitással jellemezhető. A dinamikai modell linearizálása révén lehetővé válik többek között a módosított PID szabályzók vizsgálata, mely ez idáig számos alkalmazást tekintve megfelelőnek bizonyult.

**Kulcsszavak:** pneumatika, szervopneumatikus hajtás, súrlódás, linearizáció, PID-szabályzás

### 1. BEVEZETÉS

A pneumatikus aktuátorokat megbízhatóságuk, valamint környezeti hatásokkal szembeni



1. ábra

Szervopneumatikus rendszer hatásvázlata

ellenállásuknak köszönhetően széles körben alkalmazzák. Alacsony üzembehelyezési költségei mellett a működtetésül szolgáló sűrített levegő a legtöbb üzemben rendelkezésre áll. Hátrányként a nemlinearitások említhetők. [1] A pneumatikus hajtás hosszú ideig a munkahenger két végpontján történő megállást jelentette. A kutatások céljaként is kitzűzött, löketvégek közötti tetszőleges helyen törté-

nő pozicionálás, csak a múlt évtizedben vált kivitelezhetővé. Ezeket a szervorendszereket analóg elven működő PID-szabályzókkal látták el, mely optimális esetben is néhány milliméteres pontossággal volt képes pozicionálni, melyet az esetleges változó terhelés tovább rontott.

A változó paraméterek, valamint a rendszerre jellemző jelentős holtidő következtében ez a szabályozási mód korlátozott mértékben alkalmazható. Kutatások során egy új, jobb szabályozási algoritmust kivitelezése a cél, mely mind az előírt pozicionálási pontosságnak mind a megkívánt dinamikának megfelel. A rendszer működésének tanulmányozása, valamint a valós működést tükröző szimulációs modell előállítás is ezt szolgálja. Az egyes komponensekben fellépő nemlinearitások feltérképezése lehetővé teszi a szimulációs modell megépítését, ezáltal a különböző szabályozási algoritmusok vizsgálatát.

## 2 A SZERVOPNEUMATIKUS RENDSZER MODELLEZÉSE

A szervopneumatikus hajtást modellezve három alapkomponeusra bontható szét:

- Erősítő
- Szervoszelep
- Pneumatikus munkahenger (dugattyúrudas, vagy dugattyúrúd nélküli).

Az elektromos erősítő berendezés elsőrendű differenciál egyenlettel jellemezhető:

$$\dot{F}_V + a_p \cdot F_V = k_a \cdot u \quad (1)$$

A szervoszelep működése közelytőleg másodrendű differenciál egyenlettel írható le:

$$\ddot{x}_v + 2 \cdot \zeta_v \cdot \omega_v \cdot \dot{x}_v + \omega_v^2 \cdot x_v = k_v \cdot \omega_v^2 \cdot F_V \quad (2)$$

A munkahenger mechanikai viseelkedése jó közelítéssel a következő differenciál egyenlettel írható le, ahol  $F_{RS}$  a Stribeck féle súrlódásnak felel meg:

$$m \cdot \ddot{x}_c - p_a \cdot A_a + p_b \cdot A_b + \underbrace{\text{sign}(\dot{x}_c) \cdot d + c \cdot x_c + F_{RS}(\dot{x}_c, \ddot{x}_c)}_{F_{FR}(\dot{x}_c, \ddot{x}_c)} = 0 \quad (3)$$

A munkahenger jobb, illetve bal kamrájában a nyomás kialakulásának izentrópusnak tekintett folyamatát a következő differenciál egyenletek írják le:

$$\dot{p}_a \cdot (V_{0a} + A_a \cdot x_c) = \kappa \cdot (R \cdot T_a \cdot \dot{m}_{Za} - A_a \cdot \dot{x}_c \cdot p_a) \quad (4)$$

$$\dot{p}_b \cdot (V_{0b} - A_b \cdot x_c) = \kappa \cdot (-R \cdot T_b \cdot \dot{m}_{Zb} + A_b \cdot \dot{x}_c \cdot p_b) \quad (5)$$

A tömegáramok  $\dot{m}_{Za}$  és  $\dot{m}_{Zb}$  melyek a szervoszelepekre jellemzőek:

$$\dot{m}_{Za} = \dot{m}_2 - \dot{m}_1 - \dot{m}_{BP} \quad \text{and} \quad \dot{m}_{Zb} = \dot{m}_4 - \dot{m}_3 - \dot{m}_{BP} \quad (6)-(7)$$

A szervoszelep egyes éleinél a tömegáramokat a következő általánosan elfogadott összefüggés fejezi ki:

$$\dot{m}_1 = \alpha_{D1} \cdot A_1 \cdot \psi \left( \frac{p_R}{p_a} \right) \cdot p_a \cdot \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_a}} \quad (8)$$

## 3 A RENDSZER LINEARIZÁLÁSA

Az erősítő, valamint a szervoszelep működését leíró összefüggés megfelelő. A már említett PID szabályzó vizsgálatához szükséges linearizációhoz azonban néhány, a munkahenger működését érintő egyszerűsítést célszerű tenni. Ezek az egyszerűsítések a működést nem befolyásolják, viszont a rendszer kezelhetősége jelentős mértékben könnyebbedik.

- Szimmetrikus munkahenger
- A munkahenger belsejében a termikus folyamatoknak a rendszer működésére nincs számottevő hatása
- A Stribeck súrlódási összefüggés helyett egy egyszerűsített viszkózus súrlódást veszünk figyelembe
- A  $p_\Delta$  nyomáskülönbséget vesszük figyelembe, melyet a kamrák közötti nyomáskülönbségből adódik:  $p_\Delta = p_a - p_b$  a kamrák nyomásértékei a (4) és (5) egyenletekből következik

A felsorolt megfontolások alapján:

$$\dot{F}_V + a_p \cdot F_V = k_a \cdot u \quad (9)$$

$$\ddot{x}_v + 2 \cdot \zeta_v \cdot \omega_v \cdot \dot{x}_v + \omega_v^2 \cdot x_v = k_v \cdot \omega_v^2 \cdot F_V \quad (10)$$

$$\dot{p}_\Delta = \frac{g_{xv}}{c_p} \cdot \tilde{x}_v + \frac{g_{pr}}{c_p} \cdot \tilde{p}_\Delta + \frac{g_{xc}}{c_p} \cdot \tilde{x}_c \quad (11)$$

$$m \cdot \ddot{x}_c - F \cdot p_\Delta = -c_k \cdot \dot{x}_c \quad (12)$$

A felírt differenciálegyenletek egy állapottér modellbe foglalhatók össze, mégpedig a következő formában:

$$A = \begin{bmatrix} -a_p & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ k_v \cdot \omega_v^2 & \omega_v^2 & -2 \cdot \zeta_v \cdot \omega_v & 0 & 0 & 0 \\ 0 & g_{xv}/c_p & 0 & g_{pr}/c_p & g_{xc}/c_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & F/m & 0 & -c_k/m \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$B^T = \begin{bmatrix} k_m \cdot a_p & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

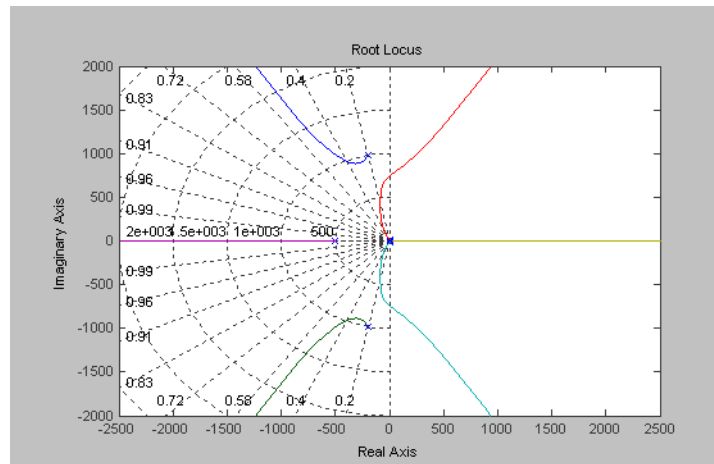
$$D = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Az állapottér modellből a szervopneumatikus hajtás linearizált modelljének átviteli függvénye a következő:

$$G(s) = \frac{k_v \cdot k_a \cdot a_p \cdot \frac{F}{m} \cdot \frac{g_{xv}}{c_p} \cdot \omega_v^2}{(a_p + s) \cdot (s^2 + 2 \cdot \zeta_v \cdot \omega_v \cdot s + \omega_v^2) \cdot \left( s^3 - \frac{g_{pr}}{c_p} \cdot s^2 - s \cdot \left( \frac{F \cdot g_{xc}}{m \cdot c_p} - \frac{c_k}{m} \right) - \frac{c_k \cdot g_{pr}}{m \cdot c_p} \right)} \quad (17)$$

A nevezőben szorzattá alakítás után az átviteli függvény a következőképp egyszerűsödik:

$$G(s) = \frac{x_c(s)}{u(s)} = \frac{k_v \cdot k_a \cdot a_p \cdot \frac{F}{m} \cdot \frac{g_{xv}}{c_p} \cdot \omega_v^2}{(a_p + s) \cdot (s^2 + 2 \cdot \zeta_v \cdot \omega_v \cdot s + \omega_v^2) \cdot \left( s - \frac{g_{pr}}{c_p} \right) \left( s^2 - \frac{F \cdot g_{xc} - c_k \cdot c_p}{m \cdot c_p} \right)} \quad (18)$$



2. ábra

A vizsgált átviteli függvény gyökhelygörbéje

#### **4. ÖSSZEFOGLALÁS**

A szervopneumatikus rendszer linearizált modelljének elkészítésével lehetővé vált egyes szabályozási algoritmusok behatóbb vizsgálata, mely a kutatások további részét képezi.

#### **IRODALMI HIVATKOZÁSOK**

- [1] Anthony Barber: Pneumatic Handbook 8th Edition (1986)
- [2] Andreas Piepenbrink: Experimentelle Identifikation und Regelung servopneumatischer Antriebe, Dissertation Kassel (1996)
- [3] W. Depper, K. Stoll: Pneumatik Anwendungen 2. Auflage: Kosten senken mit pneumatik (1998)
- [4] Roland Bublitz : Intelligentes Stetig-Pneumatikventil, Ö+P 46 (2002) Nr.10
- [5] János Gyeviki, Kálmán Rózsashegyi: Development of a servopneumatic positioning equipment, Microcad Hungary (2004)



# Ín implantátum konstrukció fejlesztése numerikus módszerrel

## IMPROVEMENT OF TENDON IMPLANT USING NUMERICAL METHOD

Dr. MOLNÁR László Ph.D., PARÓCZI Annamára

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék,  
1111. Budapest, Egry J. u. 1., Tel.: 003614632602, Fax.: 003614633787,  
email: lmolnar@mom.bme.hu, www.mom.bme.hu

### ABSTRACT

*This paper presents an overview about research into improvement of active human tendon implant. Aim of research is working-out such implant family which has a mechanical properties like healthy tendons. In phase of healing function of implant are force transmission and providing of evolution of new sliding surface keeping the maximal moving ability of joints. Research is based on mechanical testing of human bending tendon and using directly these results numerical simulation is applied to improve new tendon implant constructions.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk a hajlítón implantátum fejlesztés azon szakaszáról számol be, melyben az implantátum konstrukció kimunkálására, optimalizációjára kerül sor. Ennek keretében több szilikon anyag típus hatását, valamint erősítőszálak húzómeresítő hatását vizsgáljuk numerikus módszerrel.*

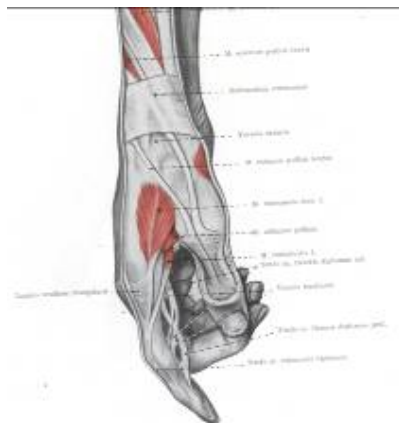
### 1. CÉLKITŰZÉS

A hajlító ín implantátum szerkezeti optimalizációjára a Tanszékünkön 3 éve folyó ínimplantátum kutatás keretében kerül sor abból a célból, hogy az élő szervezetben megtalálható inak húzó merevségét a lehető legjobban megközelítse az implantátumé. Ehhez feldolgozásra kerültek a mért kadaver (boncolás útján nyert) inak szakítógörbéi a húzómereség értékelése szempontjából. Az optimalizálás az implantátum tengelyirányú és radiális irányú anyagösszetételének, illetve az orvosi varrófonál implantátumba ágyazott hosszának változtatásán alapul. Az optimalizálást numerikus analízis segítségével végeztük.

Az emberi kéz biztosítja a finom mozgások végrehajtását, amely kiemelkedő jelentőségű az élet minden területén, ebből kifolyólag a mozgás-szervrendszer egyik legbonyolultabb struktúrája.

A tenyéri felszín bőr alatti területét nagy tömegű ínszövet alkotja, amelynek feladata az alkar izmai hajlító mozgásának átvitele az ujjak csontjaira. Az inak nagy merevségét igazolja, hogy méretükhöz képest nagy erőket kell közvetíteniük. Az inak alakja az izmokéhoz hasonlóan mind vastagság, mind hosszúság és keresztmetszetük alakja tekintetében igen változatos, ezért szilárdsági tulajdonságaik is eltérőek. A kézfejen mély és felületi hajlító inak találhatóak, a II-IV. ujjhoz tartozó ujjhajlító izmok inai az ujjak tövétől kezdve tapadásukig ínhüvelyekbe burkoltan az ujjak volaris (tenyéri) oldalán futnak. A hüvelyk és a kisujj inait carpalis (csukló) ínhüvelyük végigkíséri tapadásukig.

Minden ínhüvely két rétegből áll: a külső rostos és a belső sínovialis. A proximalis phalanx (utolsó ujjperc) közepe táján a felületes ujjhajlító ín szétválik, a két ínrészlet között átbújik, azaz az mély ujjhajlító ina felszínessé lesz. A felületes ujjhajlító inának két szára először hengerköpenyszerűen fogja körül a mély hajlító inat, majd az első interphalangealis (ujjpercek közötti) ízület magasságában a mély ín alatt a száruk kereszteződnek, és a középperc bázisán tapadnak. A mély ujjhajlító inak tovább futnak és a körömperc bázisán tapadnak.



1. ábra  
A mély és felületes ujjhajlító inak kereszteződése

## 2. AZ ALKALMAZÁS KÖRÜLMÉNYEI

Viszonylag gyakori sérülés a sebészetben az ujj hajlító inainak szakadása, roncsolódása, ezek bekövetkezhetnek baleset vagy vágás során ill. a leggyakoribb esetben az ujjak hátrafelé feszülésével valamilyen baleset következtében. Előfordul még olyan eset is, hogy bizonyos betegségek hatására az ínszövetek meggyengülnek és egészen kis erő hatására is elszakadnak.

Az ín sérülésekor a korai ellátás azért nagyon fontos, mert a szakadt ín hamar zsugorodni kezd és egyre nagyobb ínszakaszt kell a sebészeknek pótolniuk. (Azonnali ellátás esetében pótlás nélkül is rekonstruálható az ín.)

Legtöbb esetben preferálják az orvosok a saját ín beültetést, ha azonban ez azonnal nem végezhető el akkor a kétlépcsős műtéti módszert alkalmazzák. Ennek keretében először egy szilikon implantátumot ültetnek be az eredeti helyére, rögzítik azt a kadaver ín tapadási helyére ill. a megmaradt íncsonk végére. Ennek az a szerepe, hogy a regenerációs fázisban is mozgatni tudja a kezét a páciens, így a sérült ínhöz kapcsolódó izom nem tud a környezetéhez kitapadni. Az implantátum körül egy ún. állínhüvely képződik, melybe a második műtét során a páciens testéből egy másik ínt operálnak a szilikon helyére.

## 3. KADAVER INAK MEREVSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Korábbi ezen a területen közzétett publikációk [2, 3] alapján határoztuk meg az átlagos húzómervség értékét.

Mivel a mechanikai tulajdonságokat több tényező is befolyásolja (mint pl. az emberek életkora, neme, a különféle inak hossza és keresztmetszetének mérete, gyógyszerhatások, betegségek stb.) több szakító diagramm feldolgozásával határoztuk meg az átlagos húzómervség értékét.

10 húzódiagramot alapul véve számítottunk merevség értékeket, és az ezekből számított számtani átlagot tekintettük az implantátum húzómervségére elérendő célnak. A kadaver ujjának átlagos húzómervsége 3,13 N/mm.

## 4. AZ EREDETI IMPLANTÁTUM KONSTRUKCIÓ FELÉPÍTÉSE

Az eredeti konstrukció egy 5 mm átmérőjű, tömör szilikon henger, amelynek középtengelyében egy 0,25 mm átmérőjű polipropilén varrófonál húzódik végig. Ebben az esetben a húzó merevséget a polipropilén karakterisztikája határozza meg.



2. ábra  
Az eredeti konstrukció felépítése

A húzóerevség meghatározására végelesemes módszeren alapuló numerikus vizsgálatot alkalmaztunk. Az ANSYS numerikus programmal elvégzett számítás eredményeképp 1,25 N/mm húzó merevség értéket kaptunk. Látjuk, hogy ez közel harmada a humán inak merevségének.

## 5. SZERKEZETI OPTIMALIZÁCIÓ

Az optimalizálás célja az emberi ujj hajlítóin implantátum húzó merevségének javítása, és annak a problémának a megoldása, hogy egy esetleges megerőltetés során az implantátum ne okozzon sérülést az élő szövetekben, ne szakadjon ki a rögzítő szálakkal együtt a csont egy darabja, illetve ne sérüljön az ín azon vége, amelyhez az implantátum rögzítve van.

Ennek megoldására a szilikonok struktúráját, és a sebészeti varrófonal befogási hosszát változtattuk (a varrószál folytonosságát mindegyik esetben megszüntettük).

Az egyes konstrukció típusokat analitikus számításokkal, illetve numerikus módszerrel is vizsgáltuk. Amennyiben lehetséges volt – a geometria, peremfeltétel, terhelés forgásszimmetriája lehetővé tette – 2D-s forgásszimmetrikus modelleket építettünk. A 2D-s modelleket az ANSYS/DesignModeler moduljában építettük fel. A 2D-s modellek esetén kvadratikus Plane182-es végelesem típust, míg a 3D-s modellek esetén Solid186 illetve 187-es típusú végelesemekkel készítettük a modelleket.

Egy általános (átlagosnak tekinthető) implantátum-méretet használtunk; 100 mm hosszú, 5 mm átmérőjű, szabályos henger alakú geometriát.

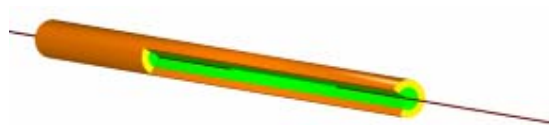
Valamennyi konstrukciónál az erősítőszál anyagtulajdonságának leírására, valamint a szilikon anyagmodelljére (három eltérő tulajdonságú (keménységű) szilikon típus) azonos anyagmodellekkel modelleztünk. A PP esetében 1500 MPa rugalmassági moduluszal és 0,42 Poisson-tényezővel lineáris, izotróp anyagmodellt használtunk, a varrófonál átmérője minden esetben 0,25 mm volt. A szilikonok három eltérő keménységi osztályánál rendre; 5, 10 ill. 20 MPa rugalmassági moduluszokat és 0,49 Poisson-tényező értéket vettünk figyelembe.

A szimulációknál a varrófonál egyik végét fix megfogással rögzítettük (valamennyi szabadságfokot kötöttük) és a másik végét egységnyi (1 N) nagyságú terheléssel húztuk.

Az optimalizáció során a forgásszimmetrikus modellek esetében az anyagjellemzőket, a geometriai méreteket és a varrófonal beágyazási hosszát tekintettük paraméternek. Célfüggvényként a húzóerevség maximumát vizsgáltuk.

## 6. KONSTRUKCIÓK FELÉPÍTÉSEI ÉS KONCENTRÁLT RUGÓMODELLJEI

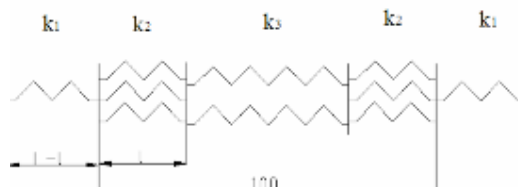
**Kétrétegű implantátum konstrukció:** Az első konstrukció két rétegből épül fel, a külső és a belső szilikon réteg egymáshoz képest nem tud elmozdulni, mert egymáshoz vulkanizáltak. A varrófonál nem halad folytonosan végig az implantátumon, hanem két külön darabból áll.



3. ábra

A kétrétegű konstrukció felépítése

A fenti konstrukció koncentrált paraméterű rugómodellje sorosan, illetve párhuzamosan kapcsolt rugók segítségével az alábbi struktúrát alkotja:

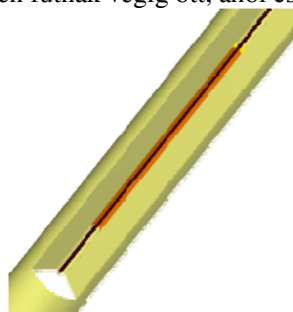


4. ábra

A kétrétegű konstrukció koncentrált rugómodellje

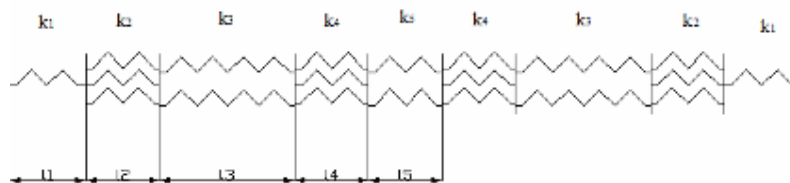
A 4. ábrán  $k_1$ ,  $k_2$  és  $k_3$  jelöli az egyes szakaszok húzó merevségét, az implantátum hossza 100 mm.

**Üreges konstrukció:** A második konstrukció egy külső szilikon-rétegből és 3 db rövidebb szilikon-gyűrűből áll. A két szélső pozícionálja a varrónalakat, amelyek a középső rövid részbe ágyazódnak. Így a varrónalak egy üregben futnak végig ott, ahol csak a külső szilikon réteg található.



5. ábra

Az üreges konstrukció felépítése



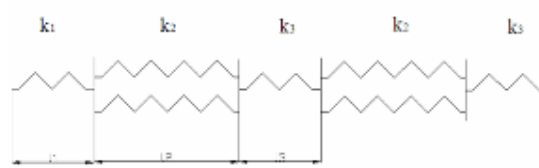
6. ábra

Az üreges konstrukció koncentrált rugómodellje

**Szelvényes konstrukció:** Ez a konstrukció axiális irányban három részre osztott, a varrónal csak a két alsó szelvényben rögzített.

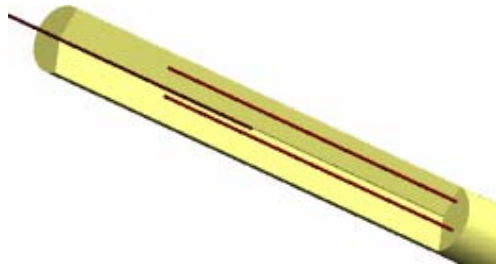


7. ábra  
A szelvényes konstrukció felépítése



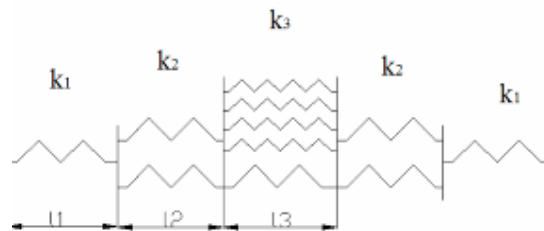
8. ábra  
A szelvényes konstrukció koncentrált rugómodellje

**Több erősítő szálak konstrukció:** A 4. változat lényege, hogy a varrófonal nem halad végig a szilikon testen, azonban erősítő szálak találhatók benne, amelyek szintén polipropilén alapanyagúak és vastagságuk is azonos a varrófonaléval. Az erősítők egymástól azonos távolságra helyezkednek el.



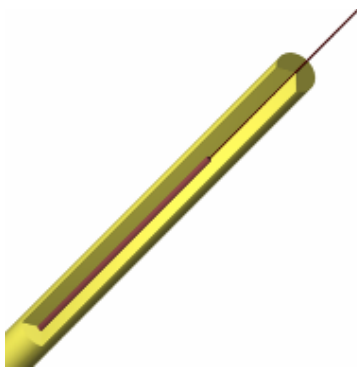
9. ábra  
A több erősítő szálak konstrukció felépítése

A fenti konstrukció koncentrált paraméterű rugómodellje:

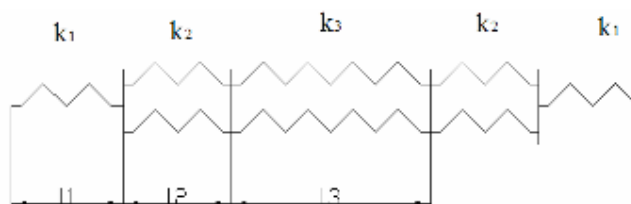


10. ábra  
A több erősítő szálak konstrukció koncentrált rugómodellje

**Egy erősítő szálak konstrukció:** Ebben az esetben a varrófonal folytatásában a szilikon test belsejében egy vastagabb erősítő szál húzódik végig, ezzel növelve a merevséget, a varrófonál csak a szilikonba van rögzítve, az erősítő szálhoz nem kapcsolódik; egyfajta szilikonfűpust tartalmaz.



11. ábra  
Az egy erősítő szálak konstrukció felépítése



12. ábra  
Az egy erősítő szálak konstrukció koncentrált rugómodellje

## 7. ANALITIKUS SZÁMÍTÁSOK

Az analitikus számítások során a sorosan és párhuzamosan kötött rugók eredő rugómerevségét számoltuk:

$$k = \frac{A \cdot E}{l} \quad (1)$$

ahol  $k$  az adott szakasz merevsége,  $A$  az anyag keresztmetszete,  $E$  az anyag rugalmassági modulusa,  $l$  pedig az adott szakasz hossza.

A párhuzamosan kötött rugók esetén az eredő rugómerevséget a tagok merevségének összeadásával nyerjük:

$$k_e = k_1 + k_2 + \dots + k_n \quad (2)$$

ahol  $k_e$  az eredő merevség,  $k_1, k_2, \dots, k_n$  az egyes tagok rugómerevsége.

Soros kötés esetén az eredő rugómerevség reciproka az egyes tagok reciproka merevségeinek összege:

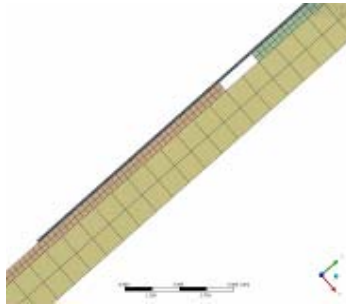
$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \quad (3)$$

ahol  $k_e$  az eredő merevség,  $k_1, k_2, \dots, k_n$  az egyes tagok rugómerevsége.

## 8. NUMERIKUS SZÁMÍTÁSOK

Numerikus szimulációkat a geometria felépítésével kezdtük, majd ennek segítségével a végelem háló (13. ábra) kialakítására került sor és egységnyi erőterhelés hatásával számoltuk a húzómerevséget.

A végelem háló készítésénél törekedtünk arra, hogy az elemsűrűség a kis átmérőjű varrószál keresztmetszetében is megfelelő legyen.



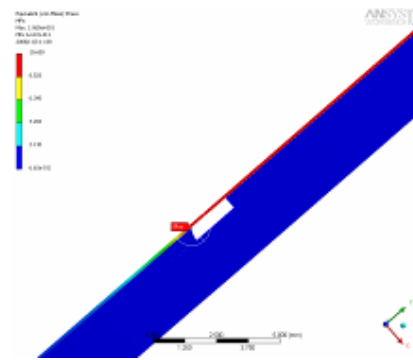
13. ábra

*Az üreges konstrukció végeelem hálója*

## 9. A KRITIKUS KÖRNYEZET ÁTHELYEZŐDÉSE

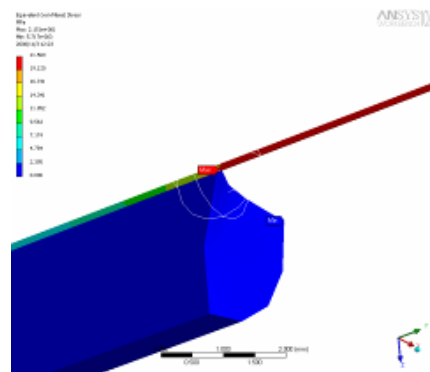
Az eredeti változatban egy folytonos varrófonál húzódik végig az implantátum belsejében. Ebben az esetben a húzó terhelésre fellépő egyenértékű feszültség maximumának helye a varrószál végén található. Ilyenkor előfordulhat, hogy a regenerációs időszakban (a két műtét között) egy esetleges túlterhelés hatására az implantátum kiszakad a rögzítési pontnál és károsítja az emberi szöveteket (pl. a csontot).

Azzal, hogy az egy végigfutó varrószál helyett minden konstrukciótípusban két, egymáshoz folytonosan nem kapcsolódó szálat alkalmaztunk az egyenértékű feszültség maximumának helye a szálak végéről átkerült az implantátum belsejébe (14. ábra), vagy a varrószál kifutási környezetébe a szilikon hengerből (15. ábra).



14. ábra

*A maximális feszültség helye az üreges konstrukció esetén*



15. ábra

*A maximális feszültség helye a több erősítő szálás konstrukció esetén*

## 10. EREDMÉNYEK, ÖSSZEFOGLALÁS

Az analitikus és a numerikus számítás eredményeit a következő táblázat tartalmazza:

Konstrukció típusa	Analitikus számítás	Numerikus számítás	Elérhető maximum
Kétrétegű konstrukció	0,35	0,35	0,47
Üreges konstrukció	1,07	1,01	1,23
Szelvényes konstrukció	1,22	1,12	1,23
Több szállal erősített	1,39	1,32	1,37
Egy szállal erősített	1,39	1,32	1,42

*1. táblázat*

*Az implantátum konstrukciók húzóerevségei N/mm-ben*

Az elért eredmények alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:

- Az ímplantátum geometriai konstrukcióját változtatva jelentős húzóerevség-növekedést nem lehet elérni, csak kisebb különbségek jelentkeztek.
- A szilikon anyag típusának változtatása nagyobb mértékben befolyásolja a húzóerevséget.
- Szignifikáns merevségnövekedés az erősítő szállal, szálakkal érhető el.
- A varrósál folytonosságának megszüntetésével a kritikus környezet a szál rögzítési környezetéről áthelyeződött a szálnak arra a részére ahol kifut a szilikon hengerből, ennek az előnye, hogy egy sérülés, túlerőltetés esetén nem a rögzítési pontoknál szakad ki az implantátum (károsítva ezzel az emberi szöveteket), hanem más környezetben károsodik.

A kutatást az OTKA F049107 támogatja.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Szentágothai János: *Functional anatomy Medicina Könyvkiadó Bp. 1971.*
- [2] Molnár L., Bojtos A., Solti E.: *A hajlítón működése és szakítóvizsgálata /2005, Szatmárnémeti, OGÉT 2005 pp.244-247*
- [3] Molnár L., Bojtos A., Solti E.: *Improvement of Active Silicon Tendon-Implant /2005, Ilmenau, 50. IWK pp.123-124*



## Hidraulikus működtetésű elzáró rendszer nagyrugalmasságú anyagból

### HYDRAULIC OPERATED, HIGHLY ELASTIC CLOSURE SYSTEM

MUKA István<sup>1</sup>, Dr. HUBA Antal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD hallgató, <sup>2</sup>egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék, 1111 Budapest Egry József u. 1.,  
tel.: (+36) 1 463-2602, fax: (+36) 1 463-3787,  
huba@mom.bme.hu, muka@mom.bme.hu, www.mom.bme.hu

#### ABSTRACT

*Hydraulic operated artificial bowel and urinary sphincter with use of high elastic material are important research topics at the Department MOM of BUTE. This research in cooperation with physicians concerns primarily with the use of the silicon elastomers in the medicine. The aim of the researches since 1998 is the development of novel active and passive implants.*

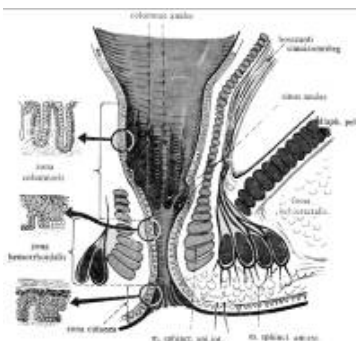
#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A nagyrugalmasságú anyag felhasználásával fejlesztett, hidraulikus működtetésű végbél és vizeletelzáró a BME MOM Tanszékén 1998 óta folyamatosan zajló, és elsősorban a szilikon elasztomerek egészségügyi alkalmazásával foglalkozó kutatássorozat része. Az orvosok bevonásával végzett kutatások célja újszerű aktív és passzív implantátumok kifejlesztése.*

**Kulcsszavak:** mesterséges végbélelzáró, mesterséges vizeletelzáró, implantátum, végbél inkontinencia, vizelet inkontinencia

#### 1. BEVEZETÉS

*A súlyos széklet, ill. vizelet visszatartási képtelenség az abban szenvedő beteg számára a mindennapi életet ellehetetlenítő probléma. Az ilyen betegségben szenvedők számára gyakran csak mesterséges elzáró beültetése jelenthet megoldást. Az elzáró beültetésére abban az esetben kerülhet sor, ha a természetes záróizom működés valamilyen okból más módon nem állítható helyre. A mesterséges elzárót a vég-, valamint a vastagbél elzárásához az egyénhez kiválasztott méretben alkalmazzák, ezzel is növelve a beavatkozás sikerességét. A végbélezáró izomrendszer két részből áll. A simaizomszövetű m. sphincter ani internus-ból, és az ezt gyűrű alakban körülvevő harántcsíkos m. sphincter ani externus-ból [3]. A végbélezáró izomrendszer az 1. ábrán látható.*

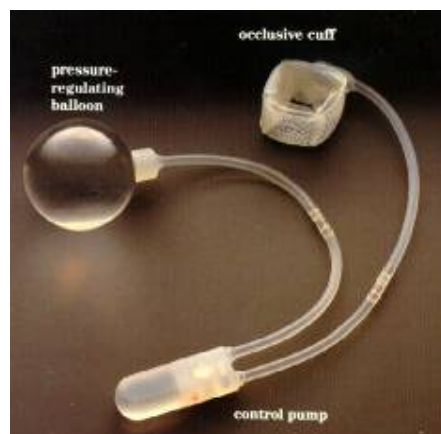


1. ábra

A végbél alsó részének metszete

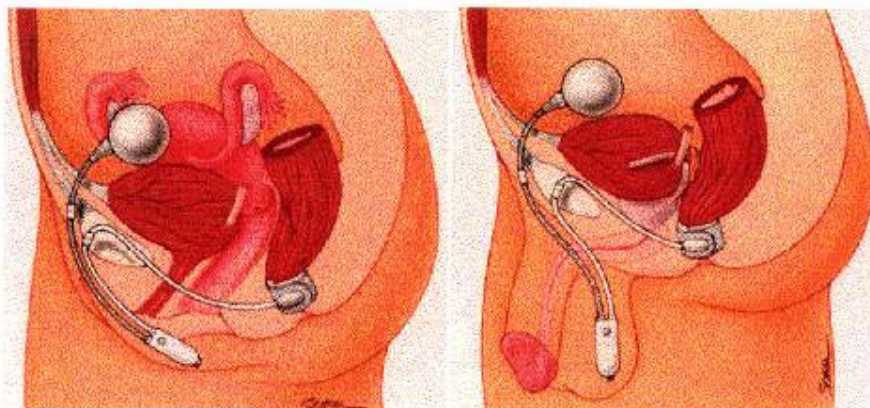
## 2. A JELENLEG HASZNÁLTOS ELZÁRÓ RENDSZEREK

A végbél inkontinencia megszüntetését szolgáló, jelenleg beültetésre kerülő implantátumok egy nyomásszabályozó ballont, egy vezérlőpumpát és a végbélet körülölelő, azt összenyomó elzáró mandzsettát, valamint az ezeket összekötő hidraulikus vezetékeket tartalmaznak (2. ábra).



2. ábra  
Mesterséges bélelzáró

A beültetés során a működtetésre szolgáló vezérlő pumpát férfiak esetén a herezacskóba (scrotum), míg nőknél a szeméremajkakban (labia) helyezik el. A vezérlő pumpa egy, a Retzius helyre implantált nyomásszabályozó ballonhoz kapcsolódik (3. ábra).



3. ábra  
Mesterséges bélelzáró beültetett állapotban

A rendszer optimális szintig folyadékkal van feltöltve. Aktivált állapotában a mandzsettát a beáramló folyadék felfújja, mely ennek következtében elzárja a vastagbelet, így biztosítva a kontinenciát. A mandzsettában lévő folyadék nyomás alatt tartásáról a nyomásszabályozó ballon gondoskodik. Amennyiben a páciens székletürítési kényszert érez, a vezérlő pumpát többször össze kell nyomnia, mely folyadékot áramoltat a mandzsettából a nyomásszabályozó ballonba. Ezzel kiüríti a mandzsettát, így mentesítve a végbélet a nyomás alól, engedélyezve a székelés folyamatát. A szabályozó pumpa lassú, hét – tíz perces időtartamú folyadék-visszaáramlást biztosít a mandzsettába, ennek folyamánként visszaállítja a végbél zárt állapotát. Ha több idő szükséges a székelés elvégzésére, elegendő a pumpát a kívánt pillanatban megnyomni, illetve üres mandzsetta esetén a vezérlő pumpán a hatástalanító gombbal a folyadékáramlást megakadályozni. Ez a leeresztett mandzsettaállapot nyugalmi, elsősorban implantáció utáni sebgyógyulási időszakban használható [1].

A beültetett elzárókat azonban számos esetben különféle szövődmények miatt el kell távolítani. A leggyakoribb szövődmény az operáció alatt elszenvedett fertőzés. Azonban a mechanikai problémákból eredő komplikációk is gyakoriak. Ilyen problémák például a mandzsetta vagy a ballon repedé-

se. További problémák a mandzsetta vándorlása, az erózió ill. a mandzsetta alatti szövet sorvadása, amelyet a mandzsetta által a szövetre gyakorolt túlzott nyomás eredményez. Ezek a problémák gyakran csak az elzáró rendszer cseréjével, ill. végleges eltávolításával szüntethetők meg [1].

### 3. A TERVEZETT ELZÁRÓ MANDZSETTÁJÁNAK KIALAKÍTÁSA

A jelenleg beültetésre kerülő mesterséges elzárók mandzsettája tórusz alakú, amely a felfújáskor mechanikailag instabillá válva bél becsípődését okozhatja [2]. A bél becsípődése a megnövekedett nyomás miatt szövet sorvadását ill. elhalását okozhatja. A MOM tanszéken végzett kutatások során ezért egy a belet más módon elzáró, a bél felületén kedvezőbb nyomáeloszlást létrehozó, két ballonnal álló mandzsettát terveztünk (4. ábra) [1].



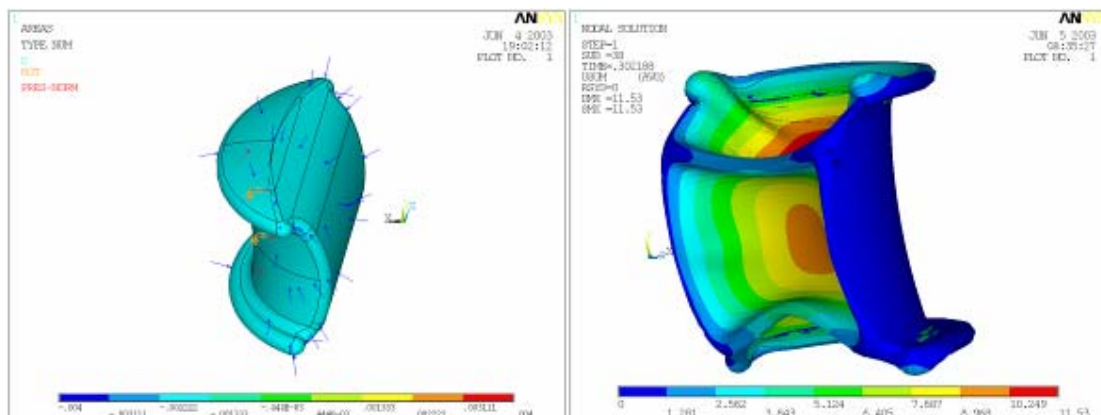
4. ábra

*A MOM tanszéken fejlesztett kétballonos elzáró*

A ballon a belet a belevezetett folyadék túlnyomásának hatására zárja el, a nyitott állapot a folyadék leszívásával érhető el.

A megtervezett ballon vizsgálata az ANSYS végelem program segítségével történt. A ballon anyaga nagy rugalmas alakváltozásra képes szilikon elasztomer, amely a biokompatibilitás és számos egyéb jó tulajdonság miatt alkalmaztunk. Az anyag nemlineáris viselkedésének leírása a Mooney–Rivlin modell segítségével történt.

A szimulációk megmutatták, hogy az elzárás ilyen ballonkialakítás esetén jól megvalósítható. A folyadék elszívása, azaz az elzáró nyitása azonban nem tökéletes, mivel a ballon közepén és két végén létrejött nagy deformáció megakadályozta a többi rész alakváltozását. Ezért ilyen ballonkialakítás mellett a ráncmentes leeresztés, így a bél szabaddá tétele nem biztosítható (5. ábra) [1].

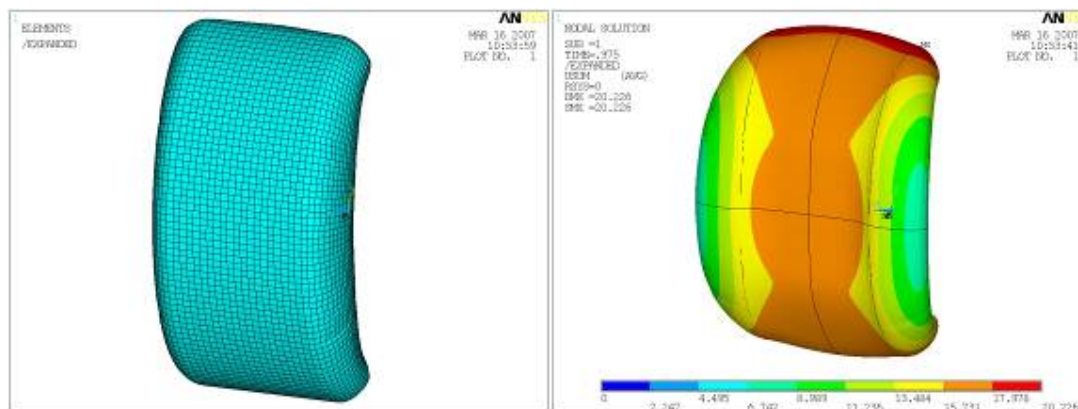


5. ábra

*A ballon deformációja a folyadék elszívásakor*

Mivel a bél érzékeny szövet, ezért a fokozott sérülésveszély miatt lényeges szempont olyan ballonkialakítás létrehozása, amely biztosítja a bél akadálymentes kiüríthetőségét, ugyanakkor megfelelő

elzárást is biztosít. Ezért számos további geometriai kialakítás és módosítás végeselemes vizsgálatának eredményeit felhasználva terveztük meg az alábbi geometriát, amely a folyadék elszívásakor lényegesen kedvezőbb deformációs tulajdonságokat mutat, így lehetővé teszi a salakanyagok akadálymentes távozását, ugyanakkor megfelelő elzárást is biztosít. A módosított geometriájú elzáró végeselemes vizsgálatának eredménye a 6. ábrán látható.



6. ábra

*A módosított geometriájú ballon deformációja a folyadék elszívásakor*

Ez a geometria azonban igen bonyolult, így csak költséges szerszámok segítségével valósítható meg a gyártás. Ezért a további kutatások során vizsgálni kell a geometria egyszerűsítésének lehetőségét. Továbbá tervezést igényel a ballonokat összefogó és a beültetéskor a környező szövetekhez történő rögzítést lehetővé tevő részegység is. Ezt követően modellkísérletekkel kell ellenőrizni a végeselemes számítások eredményét.

A kutatást az OTKA T048386 számú projekt támogatja.

## IRODALOM

- [1] Czmerk András: Hidraulikus működtetésű elzáró rendszer nagyrugalmasságú anyagból, Diplomaterv, BME Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék, 2003
- [2] Molnár László: Szilikon anyagú finommechanikai elemek és szerkezetek modellezése /PhD értekezés 2002, Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár
- [3] Szentágothai J., Réthelyi M.: Funkcionális anatómia, Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest, 1996

# Önjáró flexibilis ürepszonda vezérlése

## CONTROLLING OF THE SELF PROPELLING ELASITC ROBOT

MUKA István<sup>1</sup>, Dr. HUBA Antal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD hallgató, <sup>2</sup>egyetemi docens  
 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
 Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék, 1111 Budapest Egry József u. 1.,  
 tel.: (+36) 1 463-2602, fax: (+36) 1 463-3787,  
 huba@mom.bme.hu, muka@mom.bme.hu, www.mom.bme.hu

### ABSTRACT

*At the Department MOM of BUTE are going researches with silicone elastomers for their applicability in conventional and medical engineering. The part of these researches is the developing of the patented flexible self-propelling tube robot. In this paper we would like to show the solutions for the robot controlling.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A BME MOM Tanszékén több éve folynak a hőre vulkanizálódó szilikon gumik anyagtulajdonosságainak és gépészeti, valamint orvostechnikai alkalmazhatóságának feltárására irányuló kutatások. Ennek részét képezi a szabadalmaztatott flexibilis ürepszonda fejlesztése. Jelen cikkünkben az orvosi és ipari célra is alkalmazható szonda vezérlési megoldásait mutatjuk be.*

**Kulcsszavak:** önjáró ürepszonda, vezérlés, flexibilis aktuátor

### 1. BEVEZETÉS

A műszaki élet számos területén és a gyógyászatban nem lehetséges hagyományos mozgásformák, pl. keréken történő gördülés megvalósítása. Ilyen esetekben, mint pl. vékony csövekben történő előrehaladás vagy az emberi test belsejének vizsgálata endoszkóp segítségével, újfajta mozgásformák kifejlesztése válik szükségessé. A korábbi cikkünkben bemutatásra került a harmonika aktuátorokból biológiai inspiráció alapján felépített ürepszonda, amelyet elsősorban endoszkópos vizsgálatok céljára fejlesztettünk ki, és amelynek mozgási elve biológiai alapokon nyugszik [1], [2].

### 2. A SZONDA FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE

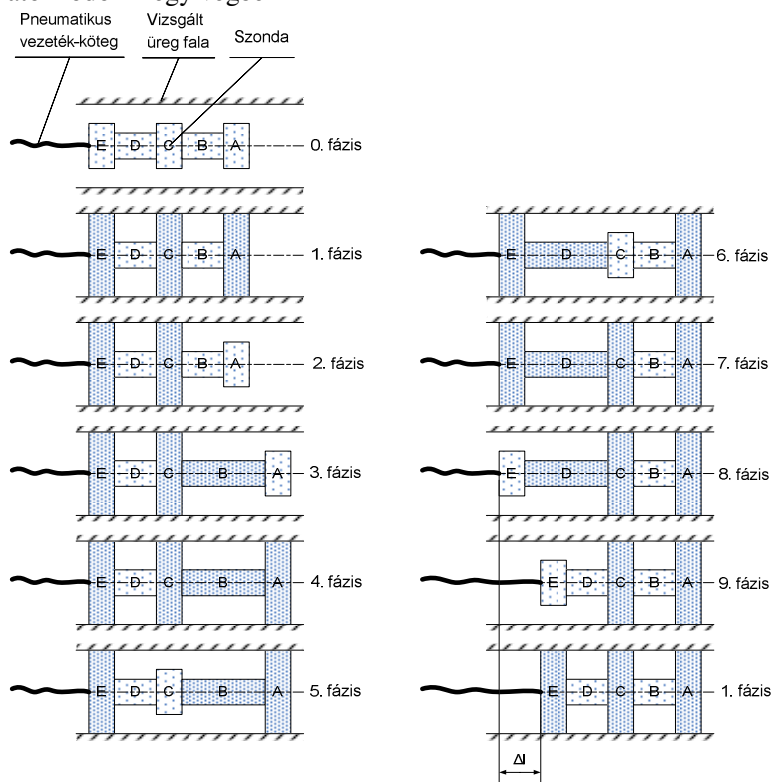
A BME MOM Tanszékén fejlesztett szonda hidraulikusan ill. pneumatikusan működtethető, szilikon elasztomer anyagú harmonika profilú aktuátorokból áll (1. ábra) [1], [2].



1. ábra

*A harmonika aktuátorokból felépített flexibilis ürepszonda*

A szonda a vizsgálandó üregben a perisztaltikán alapuló mozgással halad [1]. A szonda mozgása a 2. ábrán látható módon megy végbe.

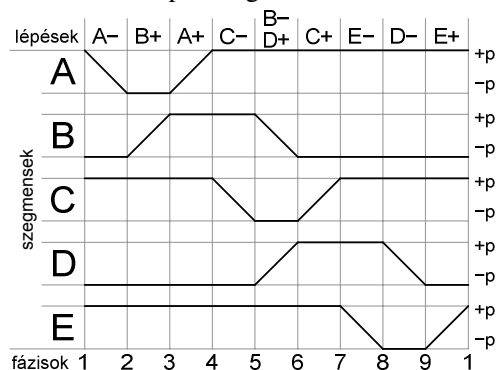


2. ábra  
Az ürepszonda mozgási fázisai

### 3. A SZONDA VEZÉRLÉSE PLC SEGÍTSÉGÉVEL

A vezérléshez egy FESTO FEC 20 tip. PLC-t, FST programkészítő környezetben, utasításlistával programoztunk.

A szonda szegmensei egyszerűes működésű munkahengernek is felfoghatók, azonban a löket-hossz növelése érdekében léghőmérséklet helyett légritkított térre történik a leszellőzés. Ez vezérlési szempontból nem jelent lényeges különbséget. A kimenetek vezérlésének programozásához a 2. ábra alapján elkészítettük a 3. ábrán látható út-lépés diagramot.



3. ábra  
A szonda mozgásának út-lépés diagramja

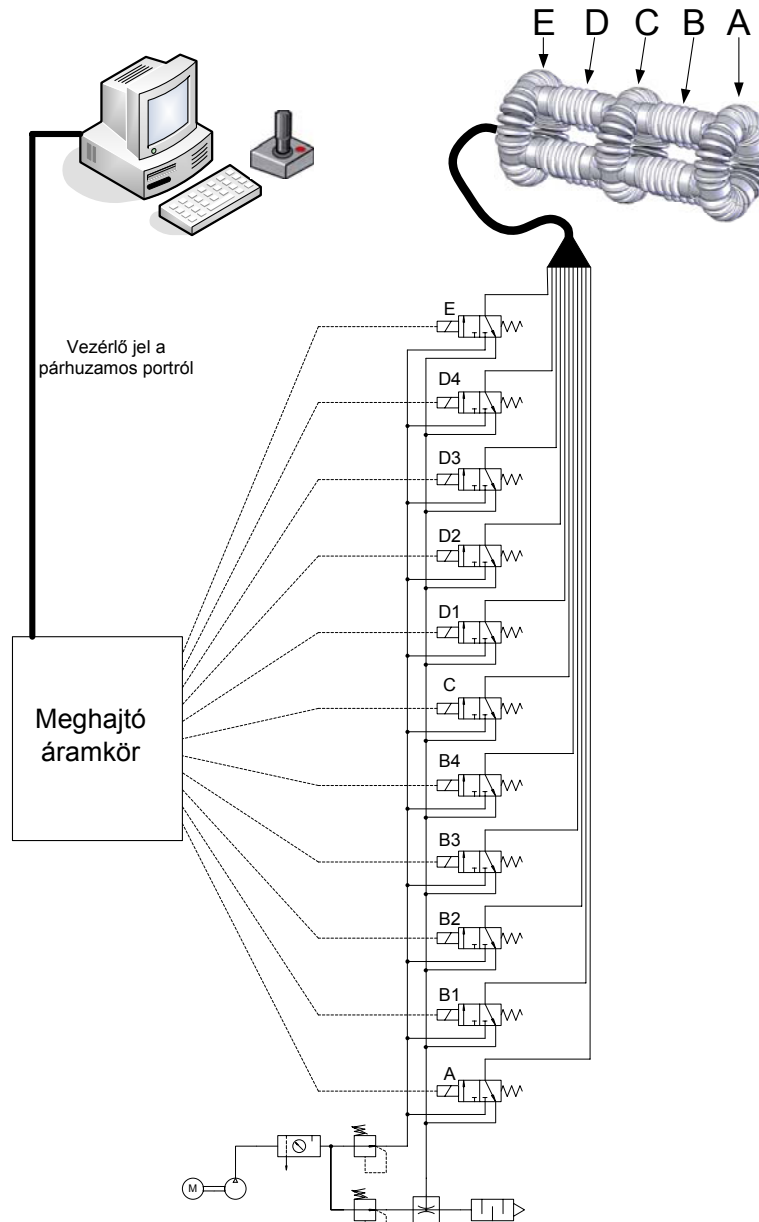
A PLC kimeneteire csatlakoznak a szelepek elektromágnesének a kivezetései. A PLC bemeneteire kötött kapcsolók segítségével lehetséges a kezelői beavatkozás.



#### 4. A SZONDA SZÁMÍTÓGÉPES VEZÉRLÉSE

A szonda vezérlőprogramját a LabVIEW grafikus programrendszerben készítettük el. Ez a programkörnyezet számos előnnyel rendelkezik, valamint leegyszerűsíti és meggyorsítja a program kifejlesztését.

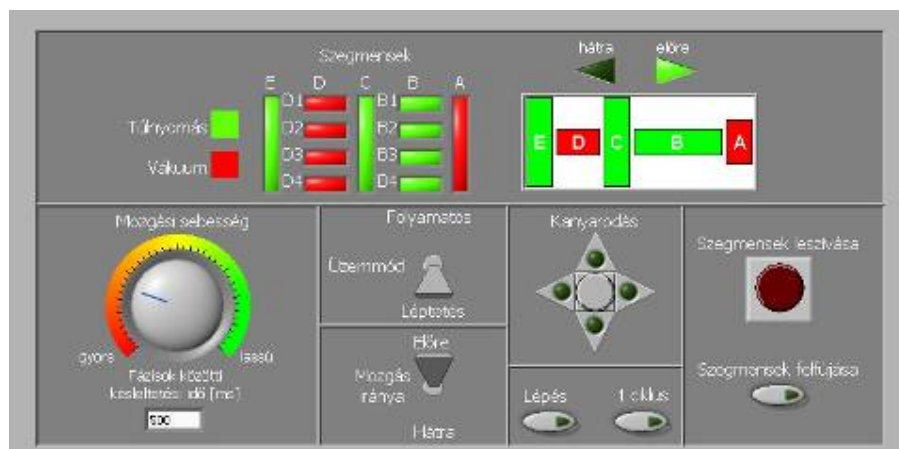
A LabVIEW környezetben készített vezérlőprogram a számítógépben található szabványos párhuzamos I/O porton keresztül vezérli a pneumatikus szelepeket. A logikai jelszint miatt szükség van egy, a szelepeket meghajtó elektronikus egységre. Ez az áramkör tizenkét szelepet hajt meg. A szelepek az energiaellátást külső tápegységről kapják. A párhuzamos port adott kimenetén megjelenő jel egy tranzisztort vezérel, amely a vezérlőjel függvényében zárja vagy megszakítja az adott szelep elektromágnesét működtető áramkört. A számítógépes vezérlési megoldás pneumatikus kapcsolási vázlatát a 4. ábrán látható.



4. ábra

A számítógépes vezérlés pneumatikus kapcsolási vázlatát

A vezérlőprogram logikája hasonló a PLC segítségével megvalósított vezérléséhez. Azonban van néhány lényeges különbség. A program a szonda mind a tizenegy kamráját külön-külön vezérli, így az irányított kanyarodás is megvalósítható. A program felhasználói felülete az 5. ábrán látható.



5. ábra

*A számítógéppel megvalósított vezérlőprogram felhasználói felülete*

A felhasználói felület felső paneljén láthatók a szonda aktuális állapotát mutató kijelzők, az alsó, több részre osztott panelen található a szonda vezérléséhez szükséges kezelőszervek. A kezelőszervek segítségével számos vezérlési feladat megoldható, úgy mint az irányított kanyarodás, mozgási irány váltás, mozgási sebesség változtatása, stb.

A szonda a számítógépre csatlakoztatott botkormánnyal is vezérelhető. A botkormány segítségével a fent leírt funkciók elérhetők, így a vezérlést végző személy a számítógép egerének, ill. billentyűzetének használata nélkül, sokkal kényelmesebben is képes irányítani a szondát.

A számítógépes vezérlési megoldás előnye, hogy interaktív, felhasználóbarát kezelőfelületet biztosít, valamint bonyolultabb vezérlési feladatok is megoldhatók, mint a PLC segítségével megvalósított vezérlés esetén. További előny, hogy a kiegészítő eszközök (mint pl. a szondára szerelt képkapcsoló eszköz, fényforrás, manipulátorok, stb.) is a számítógép segítségével vezérelhetők, így a szondával összehangoltan képesek működni. Továbbá a szonda segítségével nyert adatok a számítógépen gyűjthetők, feldolgozhatók és tárolhatók. Hátrányként lehet megemlíteni, hogy a jelenlegi megoldás esetén a szelepek működtetéséhez külön meghajtó áramkör szükséges.

A továbbiakban orvosok bevonásával kívánjuk a szonda és vezérlésének továbbfejlesztését végezni, az orvosi gyakorlatban jól használható diagnosztikai eszköz kialakítása érdekében.

A kutatást az OTKA T048386 számú projekt támogatja.

## IRODALOM

- [1] Huba A., Keskeny J.: Bionic based actuator and gripper, 2005, Ilmenau, Németország, 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium
- [2] <P0201945>, <P0201946>, <P0201947> Hungarian and EPC patents



# Az emberi színmegkülönböztetés mérése és modellezése

## MEASURING AND MODELLING HUMAN COLOR DISCRIMINATION

NAGY Balázs Vince

egyetemi tanársegéd  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék  
1111-Budapest, Egry J.u. 1-3.  
Email: nagyb@mom.bme.hu  
www.mom.bme.hu

### ABSTRACT

*Wavelength discrimination is one factor of human color vision. At our department we have been measuring monochromatic wavelength discrimination abilities on people with normal color vision at also on the different types of color deficient patients. These latter show quite different color discrimination abilities, therefore we tried to build up a neural model based on the known biological activities running in the human brain.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A hullámhossz diszkriminációs képesség az emberi színlátás egyik jellemzője. Tanszékünkön évek óta folynak kutatások a normál színlátók és a színtévesztők monokromatikus hullámhossz diszkriminációs képességének megismerésére. A színtévesztők eredményeinek jelentős eltérései és a biológiából ismert idegi jelfolyamok alapján modellt állítottunk fel, amellyel a hullámhossz diszkrimináció neurális folyamata leírható.*

**Kulcsszavak:** hullámhossz diszkrimináció, színmegkülönböztető képesség, színlátás, színtévesztés, optikai műszer

### 1. BEVEZETÉS

Az átlagos emberi szem a 380 és 780 nm közti spektrumon képes a különböző hullámhosszúságú fények érzékelésére. E tartományon a normális, átlagos színlátással rendelkezők kb.150 különböző színt tudnak megkülönböztetni monokromatikusán. Egy színérzetet létrehozhatunk monokromatikus fényingerekkel, de több, különböző hullámhosszúságú fény arányos keverésével is. A hullámhossz diszkrimináció vizsgálata során az emberi színlátás azon képességére vagyunk kíváncsiak, amely megmutatja, hogy egy adott hullámhosszúságú monokromatikus fényingertől hullámhosszban mennyire lehet eltérni úgy, hogy az agyi észleletet nem módosítjuk. Ennek mérésére a BME MOM Tanszékén speciális mérőberendezést dolgoztunk ki.

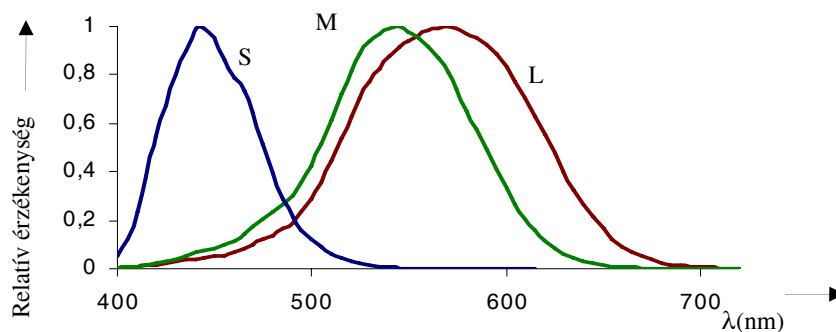
A kutatások végső célja a normál színlátókon végzett referencia mérések alapján a különböző színtévesztő típusok hullámhossz diszkriminációs képességének feltérképezése. A kapott eredmények alapján lehetőség nyílik az adott színtévesztő típus beazonosítására a diszkriminációs mérések alapján, valamint a színlátás egy új neurális modelljének felépítésére.

### 2. A SZÍNLÁTÁS NEURÁLIS ALAPJAI

Nemzetközi szinten számos kutatócsoport dolgozik azon, hogy megismerjék az agyban a színes látás során lejátszódó folyamatokat. Agyunk bonyolultsága miatt még egyáltalán nem teljesek ezen ismereteink, ám a színérzékelés első idegi lépcsőjével már behatóan foglalkozik a szakirodalom.

Színlátásról a fény retinára (szemünk ideghártyája) érkezésétől beszélhetünk [1], [2]. A retinát tekinthetjük az agyi színinformáció-feldolgozás első állomásának. A retinát tulajdonképpen a szakirodalom az agy részének tekinti, mivel a neurális jelfeldolgozás már közvetlenül itt megkezdődik. Innen rendkívül bonyolult idegi kapcsolódásokon keresztül az elektromos jelek az agy látóközpontjába, a látókéregbe futnak [4].

A különböző hullámhosszúságú fények közül csak a 380-780 nanométer közöttieket érzékeljük. A retinán találhatóak a színes fény érzékeléséért felelős ún. csapok. A három különböző típusú csap (protos - L, deuterios - M, tritos - S) spektrális érzékenysége eltér (1.ábra), így a színlátásban e receptorok képezik az ún. trikromatikus látás elsődleges érzékelési és jelfeldolgozási szintjét. [7]



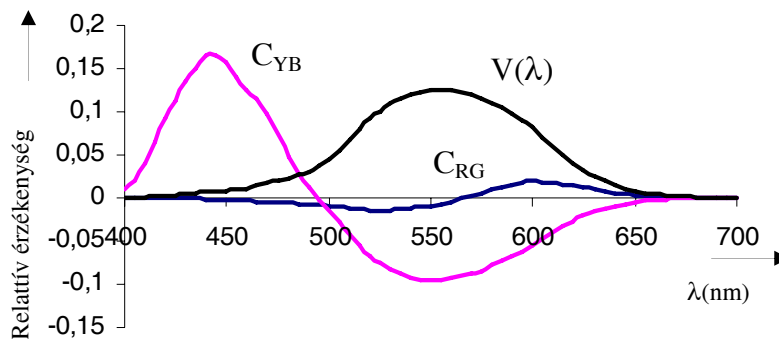
1. ábra  
Receptor érzékenységek

A színérzékelés második, ma már szintén elég jól ismert szintjét az ún. csatorna jelek jelentik [3]. A csatorna elméletet, angolban az ellentétes, opponens színek teóriáját (*opponent color theory*) elsőként Hering vetette fel a XIX. század során, feltételezve a trikromatikus receptor szintű színérzékelés után egy második, a színjeleket újrafeldolgozó, újrakódoló neurális szintet. A jelenleg ismert színlátás-modellek mindegyike három csatorna jelet vesz alapul. Az egy akromatikus és két kromatikus jelet hordozó csatornák bemeneti jeleit a fotoreceptorok kimenő jelei jelentik. A múlt században végzett anatómiai vizsgálatok és elektrodás mérések már igazolták a csatorna jelek létét, melyek spektrális értékeit a receptorok jelei alapján Walraven az alábbi módon határozta meg (2.ábra):

$$C_{RG}(\lambda) = l(\lambda) - m(\lambda) \quad (1)$$

$$C_{YB}(\lambda) = 2 * s(\lambda) - l(\lambda) - m(\lambda) \quad (2)$$

$$V(\lambda) = 1,7 * l(\lambda) + m(\lambda) \quad (3)$$



2. ábra  
A csatorna jelek

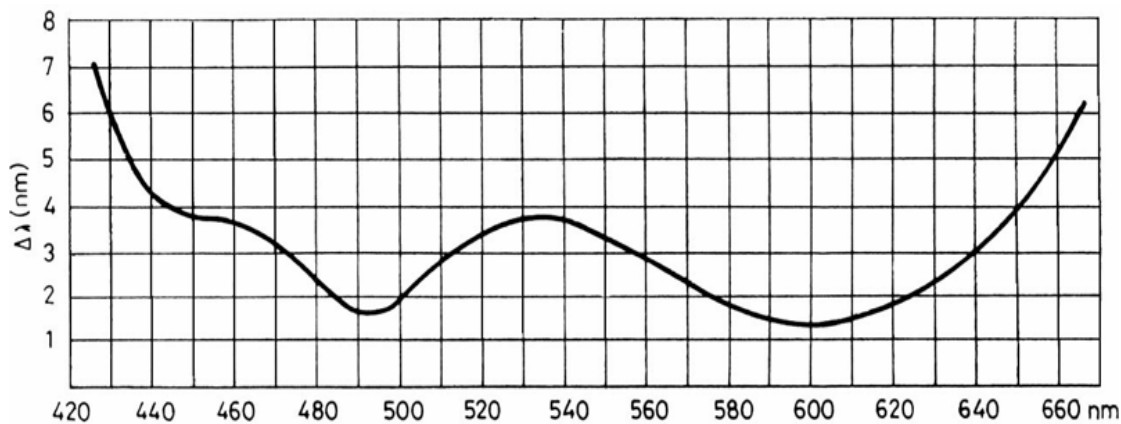
A színdiszkrimináció kutatásainknak célja, hogy az itt bemutatott neurális jelfeldolgozó mechanizmus alapján megfelelő modellt találjunk a hullámhossz-megkülönböztető képesség leírására.

### 3. A SZÍNDISZKRIMINÁCIÓ MÉRÉSE

Egy adott színt annak három paramétere határoz meg: a színezet, a világosság és a telítettség. A színdiszkriminációs vizsgálatok során a színezetek közti megkülönböztető képességet kívánjuk mérni, amely tehát monokromatikus vizsgálófények esetén a hullámhosszak közti megkülönböztetést jelenti.

Épszínlátóknál a látható spektrum középső részén ez a képesség jobb, mint a spektrum szélein. Ez annyit jelent, hogy egy hullámhossz megkülönböztetési küszöböt definiálhatunk, amely megmutatja, hogy az egyes hullámhosszúságú fények esetén mekkora a  $\Delta\lambda$  (minimális hullámhossz eltérés), ahol már agyunk új színérzékletről kap információt.

Mint az a 3. ábrán is látható (Pitt, 1944 és Wright, 1946), diszkriminációs képességünk a türkiz és a narancs szín spektrum-tartományán (kb. 490 és 590nm) a legjobb. Egy normál színlátónál itt a hullámhossz megkülönböztetési küszöb jó esetben akár 1nm is lehet. [10]



3. ábra

Épszínlátók hullámhossz-megkülönböztetési függvénye (Pitt, 1944 és Wright, 1946)

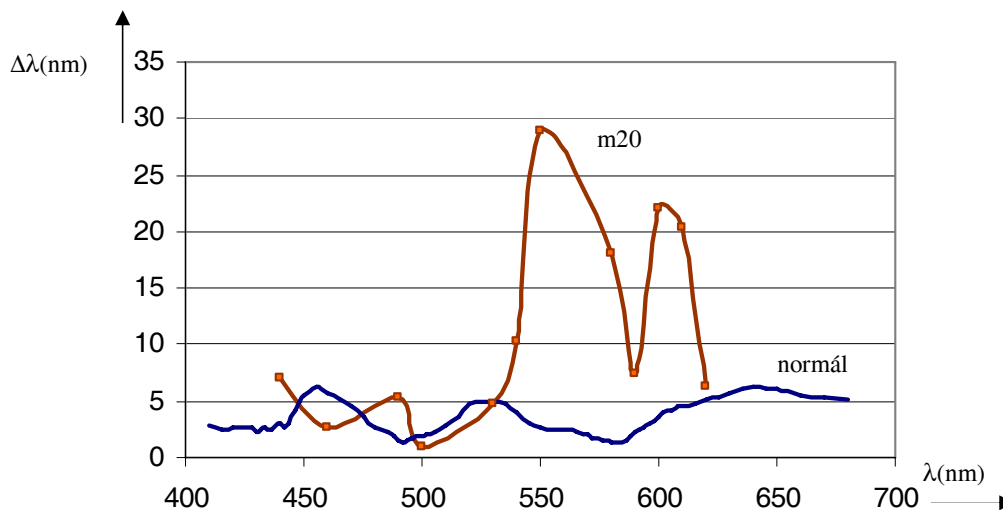
A BME MOM Tanszékén speciális mérőműszert építettünk, amely alkalmas a hullámhossz diszkrimináció viszonylag gyors és megbízható mérésére. A műszer alapja egy  $10^\circ$ -os fehér-adaptációs mezőben elhelyezkedő  $2^\circ$ -os eltűnő éles látómező. Ennek egyik térfelébe adott hullámhosszúságú monokromatikus célfényt, másik térfelébe a mérendő személy által beállítható, szintén monokromatikus mérőfényt vetítünk be. Az eltűnő éles látómezőt 'Y' kialakítású üvegszál köteggel, a monokromatikus nyalábokat folyamatos interferenciaszűrővel hoztuk létre. A beállított hullámhosszak az interferencia szűrő és az üvegszál vég közötti relatív elmozdulás alapján számítógéppel összekapcsolt digitális mérőléc segítségével detektáltuk. A két csatorna intenzitása természetesen azonos. Mivel a különböző optikai paraméterek (pl. látószögek, fényerősség, adaptációs mező stb.) a mért eredményekre jelentős hatást gyakorolnak, ezek helyes megválasztására is nagy gondot fordítottunk.

Különböző hullámhosszú célfények esetén a vizsgált személy különböző  $\Delta\lambda$  „pontossággal” tudja a mérőfényt a célfényhez képest beállítani. A teljes spektrum végigpásztázása során létrejövő  $\Delta\lambda(\lambda_{\text{célfény}})$  függvény maga a hullámhossz-megkülönböztetési küszöb-függvény, amelynek alakja a mérési eredmények alapján szignifikánsan függ a vizsgált személy színlátásától.

Az így létrejött eszköz alkalmas a függvény bizonyos kritikus pontjainak feltérképezése által a diszkrimináción keresztül a szintévesztés gyors mérésére. A kapott eredmények jól közelítik a szakirodalomban publikáltakat.

#### 4. SZÍNTÉVESZTŐK VIZSGÁLATA

A műszer alkalmassági vizsgálatának elvégzése után a színtévesztők hullámhossz-megkülönböztetési képességének normáltól való eltérését is mérni lehet. A BME MOM Tanszéken végzett vizsgálatok során diagnosztizált színtévesztőket vizsgáltunk és értékeltük a színdiszkriminációs képességüket. Példaként a 4. ábrán egy deuteranomál színtévesztő hullámhossz megkülönböztetésének mérési eredménye látszik a normál színlátó tipikus 'W' alakú görbéjével összehasonlítva.



4. ábra  
Deuteranóp színdiszkriminációja

Az eredmények jól mutatják, hogy a színtévesztők hullámhossz megkülönböztetési képessége jelentősen eltér a normál színlátótól. Jelentős eltérések elsősorban az 520nm feletti hullámhossz tartományon jelentkeznek. E jelenség magyarázata, hogy a 4. ábrán szereplő színtévesztés típusa a vörös és zöld csapok érzékenységeivel függ össze.

Az egyes színtévesztő típusok hullámhossz diszkriminációs képessége a színtévesztés súlyosságával romlik. Az ún. protanomálok színdiszkriminációs tulajdonságai jellemzően a 600nm feletti tartományban a legrosszabbak, míg a deuteranomálok esetén a görbe a maximumát jellemzően 550 és 600nm között éri el.

#### 5. A SZINDISZKRIMINÁCIÓ NEURÁLIS MODELLJE

Méréseink alapján láthatóvá vált, hogy a hullámhossz megkülönböztető képesség hogyan változik a színtévesztés típusának és súlyosságának függvényében. Ismerte a genetikailag örökölt színtévesztés megjelenési formáit, amely a receptorok érzékenységeinek hullámhossz menti egymásra tolódásában jelentkezik, lehetséges a hullámhossz diszkriminációs görbe matematikai közelítése megfelelő neurális elgondolások alapján.

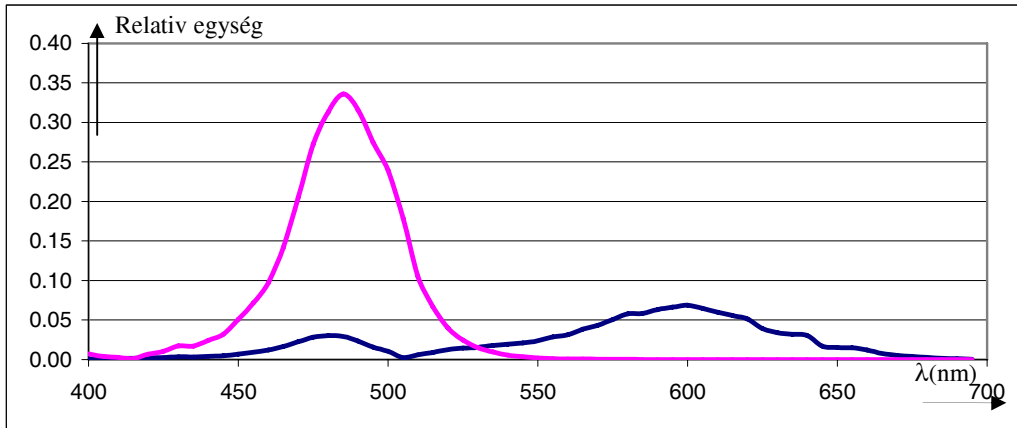
Az emberi agy az ismert idegi folyamatok szerint három jelet kap a retinától az optikai idegpályákon. A kérdés az, hogy a három idegi jel közül melyik milyen mértékben befolyásolja a színdiszkriminációs képességet, hiszen ismert, hogy az akromatikus csatorna jel lényegében más idegi pályákon halad, mint a két kromatikus jel. Meg kell tehát vizsgálni, hogy van-e szerepe mindhárom jelnek a hullámhossz-diszkriminációban.

A színek megkülönböztetésére a három csatorna jel közül a két kromatikus jelet vesszük figyelembe olyan módon, hogy a világosság információt, azaz a három receptor együttes ingerét leválasztjuk az akromatikus csatornák jeléről:

$$c_{rg}(\lambda) = \frac{l(\lambda) - m(\lambda)}{l(\lambda) + m(\lambda) + s(\lambda)} \quad (4)$$

$$c_{by}(\lambda) = \frac{2s(\lambda) - l(\lambda) - m(\lambda)}{l(\lambda) + m(\lambda) + s(\lambda)} \quad (5)$$

A diszkriminációs képesség ezen csatorna két jel változásának mértékében keresendő, azaz mindkét csatorna jel hullámhossz szerinti differenciálását el kell végezni. (5.ábra)



5. ábra  
A csatornagörbék hullámhossz szerinti differenciáltjai

A hullámhossz szerinti csatornajelel változás ábrázolásából látszik, hogy két kitétetett hullámhossz értéknél található a legnagyobb jeleltérés adott hullámhossz eltérésre. Ezek a 490nm-hez és a 600nm-hez tartozó hullámhossz tartományok. Látható az is, hogy a spektrum közepén egy relatív kisebb változás van, a spektrum szélein pedig a változás hatása lényegesen kisebb.

A hullámhossz diszkriminációs görbe két minimum pontja érdekes módon pontosan azoknál a hullámhosszaknál van, ahol a két csatornajelel érték változása maximális.

A változás mértékével fordítottan arányos az az eltérés, amely esetén változást érzékelünk. Így, ha a változás reciprokát vesszük, a maximum értékekből minimumok, azaz kis eltérések, a kisebb változás értékeknél pedig nagyobb eltérések mérhetők. Ha a csatornajelek differenciáltjait egymáshoz képest megfelelő konstansokkal vesszük figyelembe és a reciprokát vesszük a (6) összefüggés szerint, akkor azt a hullámhossz szerinti eloszlást kapjuk, amely megadja az egyes hullámhosszaktól való eltérés érzékelésének mértékét, azaz a hullámhossz-diszkriminációs eloszlást. (6.ábra)

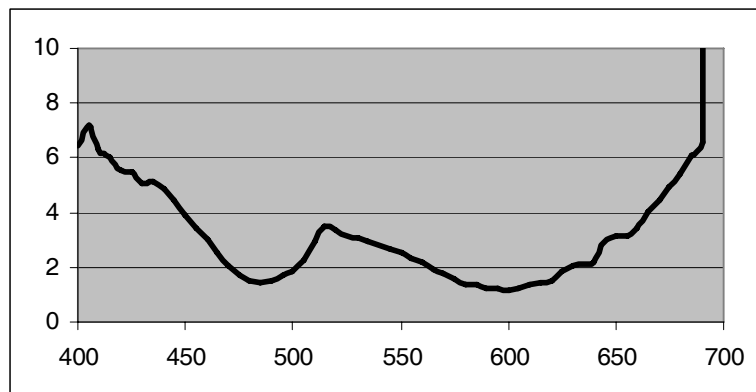
$$w(\lambda) = c_1 \log\left(\frac{1}{c_2 \frac{dc_{rg}(\lambda)}{d\lambda}}\right) \left|_{c_2 \frac{dc_{rg}(\lambda)}{d\lambda} > c_3 \frac{dc_{by}(\lambda)}{d\lambda}} \right. \quad (6)$$

$$w(\lambda) = c_1 \log\left(\frac{1}{c_3 \frac{dc_{by}(\lambda)}{d\lambda}}\right) \left|_{c_2 \frac{dc_{rg}(\lambda)}{d\lambda} < c_3 \frac{dc_{by}(\lambda)}{d\lambda}} \right.$$

A  $w(\lambda)$  a hullámhossz diszkriminációs görbét jelenti a  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  pedig konstansok. A két kifejezést illetően az a csatornajelel határozza meg a  $w(\lambda)$  görbét egy adott hullámhosszon, amelynek megfe-

elő konstanssal szorzott differenciál hányadosa az adott hullámhosszon nagyobb. A logaritmizálást az emberi neurális hálózatokban ismert logaritmikus jelfeldolgozás teszi szükségessé.

A 6. ábrán látható az így számított hullámhossz-diszkriminációs görbe. Az eloszlás jellege, valamint a jellemző hullámhosszak, a minimumok ill. maximumok értékei jól közelítik a mért és a szakirodalomból ismert normál görbéket. [6]



6. ábra  
Diszkriminációs görbe a modell alapján

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakirodalom adatainak ismeretével mérőműszert készítettünk és a hullámhossz diszkrimináció neurális modellezéséhez méréseket végeztünk épszínlátókon és szintévesztőkön. A mérések eredményei és az emberi színlátás csatorna jelei alapján neurális modellt állítottunk fel és szimuláltuk a normál színlátók diszkriminációs képességét, amely jól közelíti a mérési eredményeket. A modell kiterjesztése a szintévesztők hullámhossz diszkriminációs képességének szimulálására jelenleg is folyik és a további kutatások alapját képezi.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] S.E.Palmer: **Vision science**, A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1999., Chapter Three, p112-117.
- [2] L.M.Hurvich: **Colour vision**, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1981., Ch.5. p52-65
- [3] E.Zrenner: **Neurophysiological aspects of colour vision primates**, Springer Verlag, Berlin, 1983
- [4] R.L.De Valois et al.: **Response of single cells in different layers of the primate LGN to monochromatic light**, Science, 1958., 127, p238-239
- [5] I. Kovács: **Human development of perceptual organization**. *Vision Res. Special Issue on Attention*, 1301-1310, 2000.
- [6] R.G.Smith: **Neural Simulation**, bip.anatomy.upenn.edu
- [7] Sharpe and Stockmann: **Color & Vision Database**, cvision.ucsd.edu
- [8] T.Wrodieck: **The First Steps in Seeing**, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1998.,Ch.14. p343-358
- [8] Pitt F. H. (1944), **The nature of normal trichromatic and dichromatic vision**, *Proc. R. Soc. B* 132 101-117.
- [9] *Wright W. D. (1946), Researches on Normal and Defective Colour Vision* London: Henry Kimpton.
- [10] *Balaraman S., Graham C. H. and Hsia Y. (1962), The wavelength discrimination of some color blind persons*, J. Gen. Physiol. 66 185-201.

## Kötőpályás járművek kerékprofiljainak számítógéppel támogatott ellenőrzési technológiája

### COMPUTER AIDED MONITORING OF WHEEL PROFILE IN RAILWAY VEHICLES

Prof. Dr. Nagy Vince, Dr. Bozóky László, Dr. Kiss László, Szauter Ferenc, Orbán Tamás

Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

#### ABSTRACT

*The new wheel profile measuring system provides the possibility to examine the wheel wear of railway vehicles in the function of different variables. The new measuring technology has a significant role in the wheel wear determination of newly purchased railway vehicles.*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*Az új kerékprofil mérési rendszer megteremti annak a lehetőségét, hogy a kerékprofilkopásokat különböző paraméterek függvényében vizsgáljuk. Kiemelt jelentősége van az új mérési technológiának az újbeszerezésű járművek kerékkopásainak feltárásában.*

**Kulcsszavak:** Kerékprofil, kopás, mérés

Jelen tanulmány célja a sinenfutó járművek kerékprofiljával kapcsolatos, a profilvizsgálat által nyújtott lehetőségek, várható eredmények feltárása.

Az új mérési rendszer megteremti annak lehetőségét, hogy a kerékprofilkopásokat különböző paraméterek (futásteljesítmény, vonalvezetés, járműterhelés, nyomkarimakenés, stb.) függvényében vizsgáljuk.

Kiemelt jelentősége van az új mérési módszer alkalmazásának az új beszerzésű járművek kerékkopásának feltárásában.

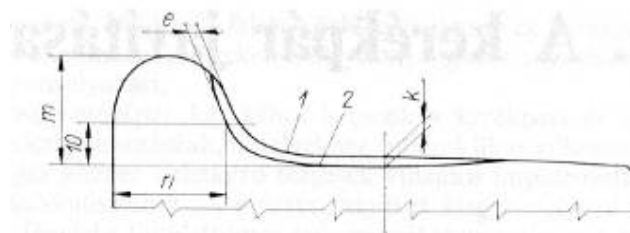
Bemutatásra kerül az új mérési módszer alkalmazása különböző sinenfutó járművek esetében. Az ellenőrző mérésekről készült profilkeresztmetszeteket a tanulmányba beillesztettük.

A különböző kerékprofilok kopási folyamatának tisztázására kiterjedt vizsgálatokat végeztek. Az értékelés során sok száz mérés adatait dolgozták fel, amelyek a következő, igen meglepően egyöntetű eredményekhez vezettek:

- A különböző kerékprofilok aránylag rövid üzemidő után megváltoznak, és a sínfejekkel érintkező felületi részeken egységes, egymással megegyező alakúra kopnak.
- A kopott profil (kopási profil) alakja nem függ a kerék eredeti profiljától, sem anyagának szilárdságától.
- A kerékprofilok egyformán kopott szakaszai a kifutás tetőpontjától (a futófelület legjobban kopott részétől) a nyomkarima-hajlatnak azon pontjáig tartanak, ahol a profil érintőjének a vízszintessel bezárt szöge közelítőleg  $45^\circ$ .
- Amennyiben kialakult a kopási profil, akkor annak alakja a kerék további üzeme és kopása során már nem változik.
- A kerekekhez hasonlóan a különböző profilú sínfejek is aránylag rövid üzemidő után egymáshoz hasonló, állandó alakúra kopnak.

A futókör síkjában mért kopás a kifutás (k). A nyomkarimakopás a nyomkarima élesedése (e).

Az abroncs legnagyobb üzemben megengedhető kifutását előírásokban rögzítik. Ennek mértéke alapvetően tapasztalati úton alakult ki, de befolyással vannak rá az üzemeltetési körülmények is. Az 1. ábra mutatja a futókörön mérhető „K” kifutás és „n” nyomkarima vastagság mérési helyét is.

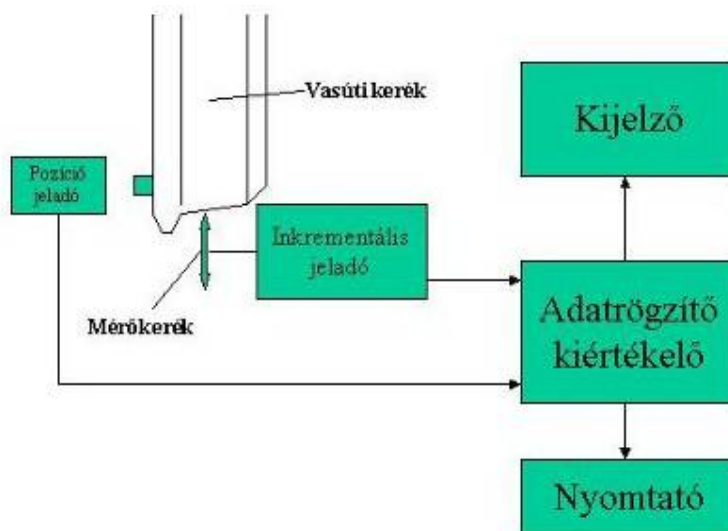


1. ábra  
Kifutás és nyomkarima vastagság

A sínenfutó járművek kerékkopásait az üzemeltetők rendszeresen ellenőrzik. Az ellenőrzés módja az, hogy az erre a célra készült mérőeszkővel (kaptával) mérik a kerekek futófelületeinek kopását, a „kifutást” és a nyomkarima kopását, az „élesedést”. Villamos járműveknél, ahol a vályús sínek gyakran előfordulnak, ott a nyomkarima kopás mértékét a nyomkarima külső és belső oldalán is mérik. A mérés pontossága kb. 0,5 mm. Az átmérőmérés az üzemeltetők részéről általában nem megoldott.

A sínenfutó járművek kerék-sín kapcsolatára vonatkozó korábbi vizsgálataink azt igazolták, hogy a kerékprofil mérés és ellenőrzés ezen módja sokszor nem elegendő, mert a kerékprofil alakjában, átmérőjében olyan változások is adódhatnak, amit a jelenlegi mérési módszer nem mutat ki.

Hagyományos profilmérési módszerek: A 2. ábra a padlóalatti kerékesztergán végrehajtható kerékátmérő, ill. kerékprofilmérési módszer elvét szemlélteti.



2. ábra  
Kerékátmérő-kerékprofil mérési elv

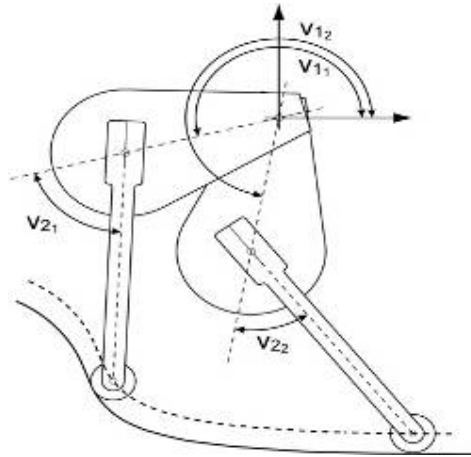
MiniProf vasúti kerékprofilmérő rendszer

A korszerű kerékprofilmérési rendszer mérési elve (3. ábra):

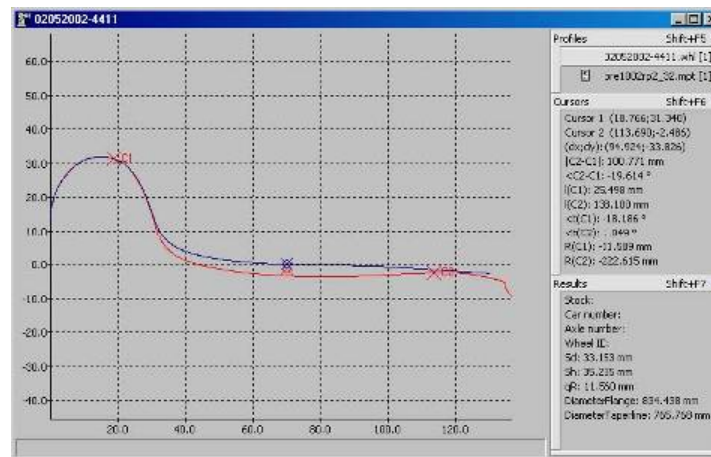
A MiniProf mechanikai mérőeszköz szabványos számítógéppel kommunikál. Laptop használata esetén a mérésen túl lehetőség van az azonnali értékelésre.

A rendszer használatát egyszerűbbé teszi egy pocket PC. Ebben az esetben a mechanikus mérőeszköz jeladóit a beépített akkumulátorok táplálják. A pocket PC a mérési adatok gyűjtésére, a mérés eredményességét mutató kijelzésre alkalmas.





3. ábra  
A kerékprofil mérése



4. ábra  
A profil rajza az adatokkal

Egy profilmérés eredményét mutatja a 4. ábra. Az ábra bal oldalán a profil rajza látható, jobb oldalon a számszerű adatok.

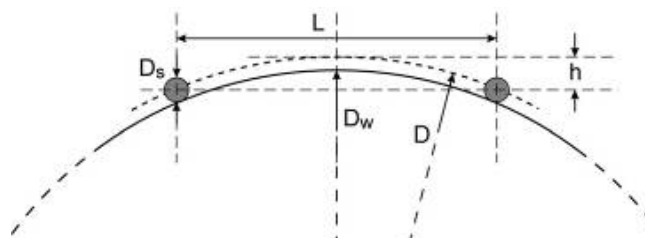
#### Referencia profilok

A MiniProf szoftver bővítése a profilváltozási (kopási) folyamatok részletesebb mélyrehatóbb vizsgálatának lehetőségét adja. Előhívhatók a szabványosított profilok (lehetőség van egyéni profilok bevitelére is), illetve a korábbi mérési eredményekre.

Az egymásra lapolással vizsgálhatók az eltérések minden egyes keresztmetszetben.

### ÁTMÉRŐ SZÁMÍTÁS

A MiniProf profilmérő műszer segítségével az átmérő is számítható. A számítás a húr-módszer (5. ábra) segítségével történik. A nyomkarima legnagyobb átmérőjű részének két pontján támaszkodik fel a mechanikus mérőeszköz. A harmadik pontot a letapogató görgő helyzete adja. Az abroncs további metszeteinek átmérője (pl.: futókor átmérő) a nyomkarima legnagyobb átmérő és a profilgeometria segítségével számítható. Az átmérőszámítás hibája a húr-módszerből adódóan viszonylag nagy.



5. ábra  
Húr-módszer

## ARCHIVÁLÁS

A sikeres profilmérés eredménye adathordozón megőrizhető. A későbbi azonosításhoz a mérési paramétereket a profillal együtt kell kezelni. A számítógépen az adott járműhöz és kerékprofilhoz a 6. ábra felületére be kell vinni az adatokat (járműszám, kerékpár-kerék azonosító, mérés helye, stb.). A mérés időpontját a szoftver automatikusan generálja.

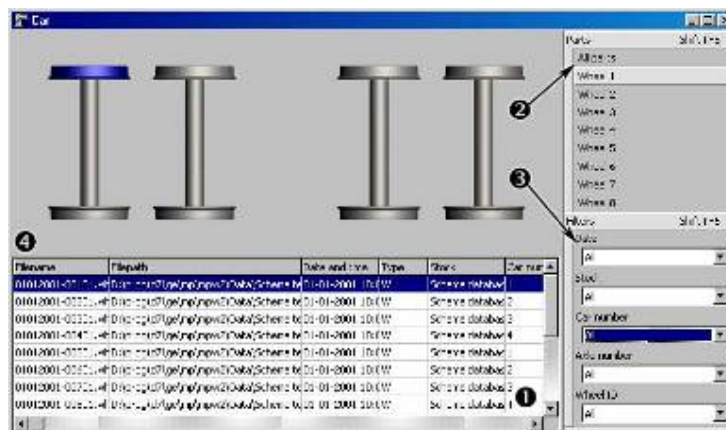
Mértékadó méretek kiszámítása

A szabványban előírt nyomkarima vastagságot és a futókörön mérhető kifutást a rendszer az eredeti profil megadása után kiszámítja.

## MÉRÉSI ADATBÁZIS

A MiniProf program saját adatbázis rendszerrel és rendszerezési módszerrel dolgozik, amelyben a beolvasott kerékprofilokat a megfelelő kocsihoz és helyhez rendelhetjük.

A rendezési séma ablaka:



6. ábra  
Adatbázis archiválás

1. Mérések listája
2. Mérés helyeinek részletezése listában
3. Szűrő legördülő menüje
4. Mérés elrendezési helyének illusztrációja

## ÖSSZEFOGLALÁS

A korszerű kerékprofilmérési technológiával történő rendszeres, teljes profillellenőrzés és kiértékelés ad lehetőséget az abroncskihasználás optimalizálására.

Csak a teljes profilmérések adnak lehetőséget az üzemben rendszeresített mérőkaptakkal történő olyan határértékek feltárására, melyek az abroncsvastagság kihasználásának optimalizálását adják.

## Járműtelepi minta rendszermodell kifejlesztése

### DEVELOPMENT OF VEHICLE FLEET-YARD SYSTEM MODEL

Dr. Nagy Vince, Dr. Döme Béla, Dr. Bozóky László, Nagy Gergely, Orbán Tamás

Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

#### ABSTRACT

*The system model defines the long term development direction of vehicle fleet-yards. The main goals are:*

- *To increase vehicle utilization and vehicle issuance rate.*
- *To decrease the vehicle time spent at fleet-yards and stations.*
- *To increase vehicle reliability.*
- *To improve the organization and transparency of fleet-yards.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A minta rendszermodell meghatározza a járműtelepek hosszútávú fejlesztésének fejlesztési irányát. A fő cél:*

- *A járművek kihasználásának, a járműkiadási rátának növelése,*
- *A jármű járműtelepi és álláshely foglaltsági idejének csökkentése,*
- *A járművek megbízhatóságának növelése,*
- *Az üzemvitel szervezettségének, átláthatóságának javítása*

**Kulcsszavak:** járműfenntartás, álláshely, rendszermodell

A közlekedési üzem zavartalan működése nagymértékben függ a járműtelepek tevékenységétől. Az új korszerű járművek megjelenésével megváltozik a járműtelepek feladatköre. Szakadatlan törekvés a járműtelepen beavatkozásokon lévő járművek mennyiségének csökkentése, a járműgazdálkodás hatékonyságának, a járművek kihasználtságának fokozása, amelyek indokoltá tették – a karbantartási és a javítási járműszámok csökkentése mellett – a járművek üzemképességének növelését, a járműtelepi járműtartózkodási idők csökkentését, a kiszolgálási folyamatok fejlesztését, továbbá az ehhez tartozó technológiai útvonal elrendezések, épületek, létesítmények, technológiai gépészeti berendezések korszerűsítését. A járműtelep technológiai úthálózatának, álláshelyeinek, gépészeti berendezéseinek egymáshoz viszonyított elrendezése meghatározza az egyes kiszolgálási folyamatok időtartamát és ezzel a járművek járműtelepi tartózkodási idejét. A jelenlegi járműtelepek elrendezése – jórészt több évtizedes korábbi technológiai hagyatéka – nagy járműtartózkodási időt tesznek szükségessé, nem biztosítják megfelelően a járművek szalagszerű mozgásfolyamatát, nem felelnek meg a mai korszerű követelményeknek.

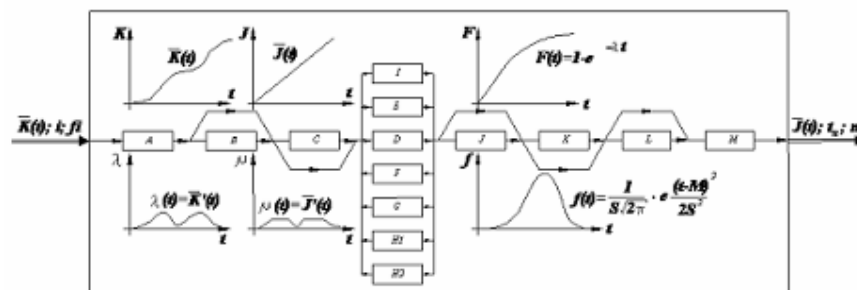
Az ismertetett követelményrendszer figyelembevételével egy olyan egyetemes minta rendszermodell kialakítását mutatjuk be, amely irányadó lehet valamennyi járműtelep közép- és hosszú távú fejlesztéséhez.

#### JÁRMŰTELEPI FŐ JÁRMŰFENNTARTÁSI MŰVELETEK ÉS TEVÉKENYSÉGEK

Az 1 ábrán bemutatott rendszermodell ütemhelyeihez rendelt főbb tevékenységek:

- A - a beérkező jármű azonosítása, átvétel,
- B - előtárolás,
- C - diagnosztikai vizsgálat,

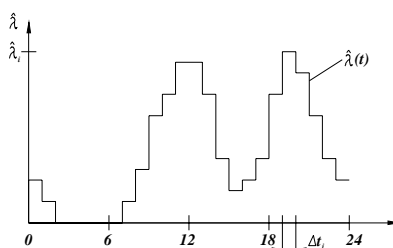
- D - napi gondozás,
- E - aknás vizsgálat,
- F - I. műszaki szemle,
- G - II. műszaki szemle,
- H1 - kiemelt II. műszaki szemle,
- H2 - kocsiszekrény-cserés II. műszaki szemle,
- I - nem tervezett karbantartás, váratlan meghibásodás hibaelhárítása,
- J - üzemanyag ellátás,
- K - járműtisztítás, gépi mosás,
- L - járműtárolás,
- M - járműkiadás



1. ábra  
A járműtelep mint egyetlen kiszolgáló rendszer

### A RENDSZERMODELL ÁLLÁSHELYEI

- A járműazonosító ütemhelyen egy álláshelyet célszerű kialakítani, mivel a minimális azonosítási idő miatt – időegység alatt – nagy számú jármű átbecsátását teszi lehetővé.
- Az előtároló ütemhely álláshelyszáma a járműbefutási diagram alapján határozható meg. A járműbefutási diagram a járműazonosító ütemhelyre történő járműbeérkezéseket rögzíti (2. ábra).



2. ábra  
Járműbefutási diagram

A járműbefutási diagram  $[0, t=24]$  intervallumon  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_{24}$  egy órás időközökben rögzíti a járműbeérkezéseket. A  $\hat{\lambda}(t)$  tapasztalati függvény az időegység alatt (egy órás időközben) beérkezett járműszámot szemlélteti.

A mértékadó járműbeérkezés  $\Delta t_i$  időközben  $\hat{\lambda}_i$ , amely járműdarabszámra kell méretezni az előtároló ütemhely álláshely számát.

- A diagnosztikai ütemhelyen azon járművek diagnosztizálását végzik, amelyek valamilyen szintű beavatkozása km teljesítményük alapján esedékes. Az elvégzett felülvizsgálat, állapotvizsgálat

után megalapozottan eldönthető, hogy a jármű tovább üzemelhet, vagy valamilyen beavatkozás elvégzésére leállítandó.

- Járműbeavatkozások ütemhelyein (1. ábra D, E, F, G, H1, H2 ütemhelyei) végzik a karbantartási, javítási tevékenységeket. A járműtelep jármű típusai, ezek darabszáma, az elvégzendő beavatkozások szintjei, valamint az egyes járműtípusok különböző szintű beavatkozásainak átlagos időtartama ismert vagy közvetlen meghatározható adatként kezelhető. A karbantartó álláshelyek számának meghatározásához jelölje a  $j$  index a járműtelep egy-egy járműtípusát ( $j=1, 2, \dots, m$ ) az  $i$  index pedig az elvégzendő beavatkozások szintjeit ( $i=1, 2, \dots, n$ ). A  $j$  típusú  $K_j$  (db) jármű  $i$  szintű beavatkozásának egy órára eső előfordulási értéke:

$$e_{ij} = \frac{K_j}{12 \cdot N_h \cdot W \cdot 8} \cdot \left( \frac{\bar{l}_j^{(e)}}{\bar{l}_{ij}} - \frac{\bar{l}_j^{(e)}}{\bar{l}_{i+1,j}} \right) \text{ (jármű/h)}$$

összefüggés segítségével határozható meg, ahol:

- $\bar{l}_j^{(e)}$  -  $j$  típusú jármű átlagos évi futása km-ben
- $\bar{l}_{ij}$  -  $j$  típusú jármű  $i$  szintű beavatkozásai közötti átlagos futás, km-ben
- $\bar{l}_{i+1,j}$  -  $j$  típusú jármű  $i+1$  szintű beavatkozásai közötti átlagos futás, km-ben,
- $\bar{N}_h$  - a hónap munkanapjainak átlagos száma,  $N_h=22$  nap
- $W$  - az alkalmazott munkarend szerinti műszakok száma
- $K_j$  - a járműtelep  $j$  típusú járműveinek száma

A felállított képlet alapján  $e_{ij}$  értékekből képezzük az  $\underline{\underline{E}}$  előfordulási érték mátrixot:

$$\underline{\underline{E}}_{n \times m} = [e_{ij}] = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1j} & \dots & e_{1m} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2j} & \dots & e_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{i1} & e_{i2} & \dots & e_{ij} & \dots & e_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nj} & \dots & e_{nm} \end{bmatrix}$$

$\underline{\underline{E}}$  mátrix  $e_{ij}$  eleme a  $j$  típusú  $K_j$  (db) jármű  $i$  szintű beavatkozásának egy órára eső előfordulási értékét jelenti.

A  $j$  típusú jármű  $i$  szintű beavatkozásának empirikus várhatóértéke ( $\bar{t}_{ji}$ ) meghatározható a

$$\bar{t}_{ji} = \sum_{k=1}^n t_{jik} \cdot \hat{p}_{jik} \quad (\text{h})$$

összefüggéssel, ahol  $t_{jik}$  valószínűségi változó a diszkrét  $\bar{t}_{j11}, \bar{t}_{j12}, \dots, \bar{t}_{jin}$  tapasztalati értékeket veszi fel rendre  $\hat{p}_{j11}, \hat{p}_{j12}, \dots, \hat{p}_{jin}$  valószínűségekkkel. A  $j$  típusú jármű  $i$  szintű beavatkozásának átlagos átfutási idejét  $\bar{t}_{ji}$  értéként kezeljük. A meghatározott  $\bar{t}_{ji}$  értékekből képezzük a  $\underline{\underline{T}}$  átlagos átfutási idő mátrixot.

$$\underline{\underline{T}}_{n \times m} = [\bar{t}_{ij}] = \begin{bmatrix} \bar{t}_{11} & \bar{t}_{12} & \dots & \bar{t}_{1j} & \dots & \bar{t}_{1n} \\ \bar{t}_{21} & \bar{t}_{22} & \dots & \bar{t}_{2j} & \dots & \bar{t}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{t}_{j1} & \bar{t}_{j2} & \dots & \bar{t}_{ji} & \dots & \bar{t}_{jn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{t}_{m1} & \bar{t}_{m2} & \dots & \bar{t}_{mi} & \dots & \bar{t}_{mn} \end{bmatrix}$$

$\underline{\underline{T}}$  átlagos átfutási idő mátrix  $\bar{t}_{ji}$  eleme a  $j$  típusú jármű  $i$  szintű beavatkozásának átlagos időtartamát jelenti, órában.

$\underline{\underline{E}} = [e_{ij}]$  és  $\underline{\underline{T}} = [\bar{t}_{ij}]$  ( $\underline{\underline{E}} \cdot \underline{\underline{T}}$ ) sorrendben vett szorzata azt a  $\underline{\underline{H}} = [h_{ij}]$  négyzetes mátrixot adja,

amelyben az  $i$ -edik sor  $i$ -edik elemét a  $\sum_{j=1}^m e_{ij} \cdot \bar{t}_{ji}$  összeg értelmezi.

$$\underline{\underline{E}} \cdot \underline{\underline{T}} = \begin{bmatrix} e_{i1} & \dots & e_{ij} & \dots & e_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ e_{i1} & \dots & e_{ij} & \dots & e_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ e_{n1} & \dots & e_{nj} & \dots & e_{nm} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{t}_{11} & \dots & \bar{t}_{1i} & \dots & \bar{t}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{t}_{j1} & \dots & \bar{t}_{ji} & \dots & \bar{t}_{jn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{t}_{m1} & \dots & \bar{t}_{mi} & \dots & \bar{t}_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^m e_{1j} \cdot \bar{t}_{j1} & & & & \sum_{j=1}^m e_{1j} \cdot \bar{t}_{jn} \\ & & \sum_{j=1}^m e_{ij} \cdot \bar{t}_{ji} & & \\ & & & & \sum_{j=1}^m e_{nj} \cdot \bar{t}_{jn} \\ & & & & \\ \sum_{j=1}^m e_{nj} \cdot \bar{t}_{j1} & & & & \sum_{j=1}^m e_{nj} \cdot \bar{t}_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & & h_{1n} \\ & h_{ii} & \\ h_{n1} & & h_{nm} \end{bmatrix} = \underline{\underline{H}}$$

$\underline{\underline{H}}$  négyzetes mátrix  $h_{ii}$  eleme  $m$  féle járműtípus  $i$  szintű beavatkozásainak egy órára eső átlagos időtartamát jelenti órában.

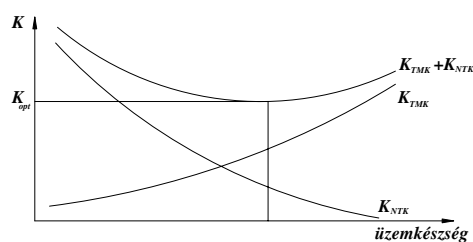
$$h_{ii} = e_{i1} \cdot \bar{t}_{1i} + e_{i2} \cdot \bar{t}_{2i} + \dots + e_{ij} \cdot \bar{t}_{ji} + \dots + e_{im} \cdot \bar{t}_{mi} = \sum_{j=1}^m e_{ij} \cdot \bar{t}_{ji}$$

$\underline{\underline{H}}$  négyzetes mátrix fődiagonáljában lévő elemek összege, egyidőben járműtelepi beavatkozáson levő járművek átlagos számát adja.

$$\bar{K}_{beavatk.} = h_{11} + h_{22} + \dots + h_{ii} + \dots + h_{nn} = \sum_{i=1}^n h_{ii} = Sp(\underline{\underline{H}})$$

$Sp(\underline{\underline{H}})$  számú tervezett karbantartó álláshelynél, a beavatkozásra érkező, sorbanálló járművek száma: 0

- A nem tervezett karbantartás ütemhelyén történik a váratlan meghibásodások hibaelhárítása.  
A tervezett és nem tervezett karbantartási tevékenységeknél a költségek és álláshely számok szoros kölcsönhatást gyakorolnak egymásra. Ezt a kölcsönhatást mutatja a 2.4. ábra.



$K$  – karbantartási költség  
 $K_{opt}$  – optimális költség  
 $K_{TMK}$  – TMK-ra fordított költség  
 $K_{NTK}$  – nem tervezett karbantartásra fordított költség

3 ábra  
Tervezett és nem tervezett karbantartási költségek

- Az üzemanyagellátás ütemhelyén történik a jármű gázolajkészletének feltöltése. A gázolajfeladó ütemhely álláshelyszámát – az előtároló ütemhely álláshelyszámításához hasonlóan – a 2. ábrán bemutatott járműbefutási diagram alapján kell meghatározni.
- A gépi mosás, járműtisztítás ütemhelyén – a gépi mosóberendezés kialakításától függően – általában két álláshelyet célszerű kialakítani.
- Járműtárolás ütemhelyén történik az üzemképes járművek átmeneti tárolása. Legyen  $K_t$  a jármű-

telep teljes járműállománya,  $A_{opt}^{TMK}$  a tervezett karbantartáson levő járművek száma, ANTK a nem tervezett karbantartáson levő járművek száma, akkor a járműtárolás ütemhelyének álláshely száma:

$$A_{\text{tároló}} = K_t - 1,045 \cdot Sp(\underline{H})$$

## Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszerek beszállítóinak megválasztása közvetlen és közvetett beszállítások esetén

### SELECTION OF PURCHASERS OF ASSEMBLY PLANT OPERATING IN NETWORK IN CASE OF DIRECT TRANSPORT AND TRANSPORT THROUGH THE DISTRIBUTION STORES

NAGYNÉ GYÜKER Mónika<sup>1</sup>, DR. BÁNYAINÉ DR. TÓTH Ágota<sup>2</sup>,  
DR. PROF. EM. CSELÉNYI József<sup>3</sup>

<sup>1</sup>tudományos segédmunkatárs,

Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz., 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399, e-mail: altmoni@uni-miskolc.hu, honlap: www.uni-miskolc.hu

<sup>2</sup>egyetemi docens,

Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz., 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399, e-mail: altagota@uni-miskolc.hu, honlap: www.uni-miskolc.hu

<sup>3</sup>egyetemi tanár,

Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz., 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399, e-mail: cselenyi@snowwhite.alt.uni-miskolc.hu,  
honlap: www.uni-miskolc.hu

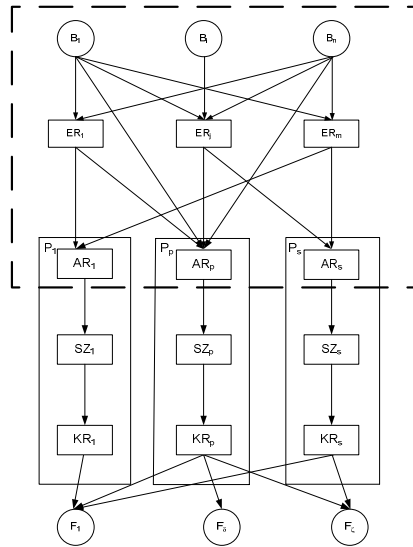
## 1. BEVEZETÉS

A dolgozat célkitűzése egy eddig nem ismert optimalizálási részfeladat megoldása, amely során egy hálózatszerűen működő beszállítói-összeszerelő-logisztikai rendszerrel alkatrészekenként, termelőüzemenként megválasztjuk az optimális beszállítót; illetve meghatározzuk az alkatrészek termelőüzemekhez történő beszállításainak az optimális számát. A dolgozat témájával, beszerzési logisztikai feladatok optimalizálásával kapcsolatosan többféle megközelítés létezik, például beszerzési és termelési modell egy termékre vonatkozóan-Hill, 1998. Különböző optimalizálási eljárások ismertek, lineáris programozás-Pan (1989), játékelmélet-Talluri (2002), neurális hálózatok-Siying (1997). A dolgozat újszerűsége a hálózatszerűségben, az optimalizálás módszereiben, valamint a célfüggvények, ezen belül a költségfüggvények megközelítésében mutatkozik meg. A megadott rendszert hálózatszerűen működőnek tekintjük, mert elemzéseinket több beszállító, több termelőüzem és több felhasználó jelenléte mellett végezzük. Optimalizálásunkat több célfüggvénykomponens és több korlátozás mellett végezzük. Célfüggvényeink közül kiemelt fontosságú a költségfüggvényünk, amely összefüggéseiben új utat jelent az, hogy a valósághoz közelálló költségekkel dolgozunk; felvételüknél a filozófiánk a fajlagos költségek és a natuális jellemzők megjelenésére épül.

## 2. A BESZÁLLÍTÓI RENDSZER OPTIMALIZÁLÁSÁNAK CÉLFÜGGVÉNYEI

A hálózatszerűen működő beszállítói-összeszerelő logisztikai rendszer a következő egységekből épül fel: termelő vállalatok ( $P_p$ ), amelyen belül alkatrész raktárakat ( $AR_p$ ), szerelőüzemeket ( $SZÜ_p$ ), készáruraktárakat ( $KR_p$ ) (innen történik a késztermékek kiszállítása a felhasználókhoz ( $F_s$ )) tüntetünk fel. Az alkatrészeink beszállítása a fent említett alkatrészraktárakba történhet a beszállítótól ( $B_i$ ) közvetett módon, azaz elosztóraktárakon ( $ER_i$ ) keresztül, illetve közvetlen beszállítással az elosztóraktár elkerülése esetén.





1. ábra

Hálózatszerűen működő beszállítói-összeszerelői logisztikai rendszer

A felvázolt sok paraméteres optimalizálási feladat egy heurisztikus módszert igényel, a teljes leszámítolás módszere mellett, amelyet több lépésben, lépések után visszacsatolós (feedback) módszerrel oldunk meg. A dolgozatban először ismertetjük a célfüggvényként választott költségfüggvényeinket, mind közvetlen, mind közvetett beszállítás esetén; majd a költségfüggvények komponenseit részletezzük. A következő fejezetben nagyon röviden bemutatjuk optimalizálásunk két eljárását. Az utolsó fejezet tartalmazza számításaink eredményeit, azaz az adott példán keresztül összehasonlításra kerül a közvetlen és közvetett beszállítás költsége, az egyes beszállítók, illetve a beszállítási ütemek.

### 2.1. Közvetlen beszállítás költségfüggvénye

$$K_{gpi}^B = K_{gpi}^{BV} + K_{gpi}^{BS} + K_{gp}^{AR} \rightarrow \min. \quad (1)$$

A  $K_{gpi}^B$  az évi összköltsége a  $g$ -edik alkatrésznek az általunk vizsgált részrendszerben, amely az alábbi költségkomponensekből tevődik össze:  $K_{gpi}^{BV}$  az évi összvásárlási költség,  $K_{gpi}^{BS}$  az évi összzállítási költség,  $K_{gp}^{AR}$  az évi összraktározási költség a termelőüzem alkatrészraktárában. Az összköltségek számítására használt összefüggéseket, az egyes összköltségek költségfüggvénykomponenseit a következőkben tárgyaljuk.

*Termelőüzem vásárlási költsége*

$$K_{gpi}^{BV} = n_{gpi}^B * f_{gpi}^{BV} * q_{gpi}^B \quad (2)$$

Az  $n_{gpi}^B$  az évi beszállítások számát jelenti, azaz azt, hogy az  $i$ -edik beszállítótól a  $p$ -edik termelőüzembe a  $g$ -edik alkatrész a vizsgált időszakban hányszor kerül beszállításra. Fajlagos vásárlási költség:  $f_{gpi}^{BV} = f_{gpi}^{BV}(q_{gpi}^B)$ , ahol  $q_{gpi}^B$  a  $g$ -edik alkatrészből a  $p$ -edik termelőüzembe az  $i$ -edik beszállító által egyszerre beszállított mennyiséget jelenti. A (2) összefüggés azt tételezi fel, hogy minden beszállításnál egy-egy alkatrészből az év során mindig állandó mennyiség kerül beszállításra és a termelőüzemben az alkatrészfogyás egyenletes a vizsgált 1 éves időtartam alatt.

*Szállítási költség beszállító és termelőüzem között*

Az évi összállítási költséget az alábbi összefüggés segítségével számoljuk, feltételezve azt, hogy az egyszerű vásárolt alkatrész egyszerű kerül beszállításra.

$$K_{gpi}^{BS} = n_{gpi}^B * \left( \text{Entier} \frac{q_{gpi}^B}{c_{g\phi}} + \Phi \right) * f_{g\phi}^{BS} * I_{ip}^{BS} \quad (3)$$

A  $c_{g\phi}$  a jármű kapacitását definiálja, azaz a  $\phi$ -edik jármű a  $g$ -edik alkatrészből mekkora mennyiséget képes egyszerű szállítani. Az  $f_{g\phi}^{BS}$  az átlagmennyiségre vetített fajlagos szállítási költség.

Ha  $\frac{q_{gpi}^B}{c_{g\phi}} = \text{Integer}$ , akkor  $\Phi = 0$ , egyébként  $\Phi = 1$ , azaz, ha a beszállítandó mennyiség a járműkapacitásnak egész számú többszöröse, akkor nyilván a hányadosnak megfelelő számú szállítójárműre van szükség. Ellenkező esetben, még ha kihasználatlanul is, de plusz egy szállítójárművet kellene a szállítási folyamatunkba iktatni. Az  $I_{ip}^{BS}$  a termelőüzemek és a beszállítók közötti szállítási út hosszát jelöli.

#### Raktározási költség termelőüzem esetén

Az összraktározási költség az alábbiak szerint számítható, ahol  $\vartheta = 1$  év, a vizsgált periódus időtartamát jelenti.

$$K_{gp}^{AR} = n_{gpi}^B \cdot q_{gpi}^B \cdot \frac{1}{2} \frac{\vartheta}{n_{gpi}^B} \cdot f_{gp}^{AR} \quad (4)$$

Az  $f_{gp}^{AR}$  fajlagos raktározási költség a  $g$ -edik alkatrész 1 darabjának az évi raktározási költségét jelöli a  $p$ -edik felhasználónál. A (4) szerinti költségszámításnál az tételeztük fel, hogy a beszállított alkatrész két beszállítás között egyenletesen fogy vagyis kerül felhasználásra.

## 2.2. Közvetett beszállítás költségfüggvénye

Az előzőekben bemutatott közvetlen beszállítás költségfüggvényhez hasonlóan írható fel közvetett esetben is az összköltség összefüggése. A különbség, hogy a szállítási költség két részből tevődik össze (beszállító-elosztóraktár, elosztóraktár termelőüzem reláció), valamint megjelenik egy új raktározási költség komponens az elosztóraktárra vonatkoztatva.

$$K_{gpi}^{B*} = K_{gpi}^{BV*} + K_{gpi}^{BS_1} + K_{gpi}^{ER} + K_{gpi}^{BS_2} + K_{gp}^{AR} \rightarrow \min. \quad (5)$$

A továbbiakban a közvetett beszállításra felírt összefüggések elemeit a \* jelöléssel különböztetjük meg a közvetlen beszállítás esetétől.

#### Elosztóraktár vásárlási költsége

$$K_{gpi}^{BV*} = n_{gpi}^{B*} * f_{gji}^{BV*} * q_{gpi}^{B*} \quad (6)$$

A fajlagos vásárlási költséget is hasonlóan értelmezzük, mint közvetlen beszállításnál, azaz jelen esetben is minden elosztóraktár vonatkozásában, alkatrészenként, beszállítónként adott egy lépcsős diagramunk, amelynél a fajlagos vásárlási költség a rendelési mennyiség függvényében lépcsőről lépésre csökken egy adott határmennyiségig. Természetesen az elosztóraktár jellegéből adódóan (alkatrészenként nagyobb évi rendelési mennyiség) a fajlagos vásárlási költségek kisebbek, mint a termelőüzemek számára adottak.

#### Szállítási költség beszállító és elosztóraktár között

$$K_{gpi}^{BS_1} = n_{gpi}^{B*} * \left( \text{Entier} \frac{q_{gpi}^{B*}}{c_{g\phi}^*} + \Phi \right) * f_{g\phi}^{BS*} * I_{ip}^{BS*} \quad (7)$$

A (7) összefüggés esetén is érvényesül a szimilaritás, azonban ki kell emelnünk, hogy az elosztóraktár esetén alkalmazott nagyobb szállítójármű kapacitás esetén, a fajlagos szállítási költséget csökkentettük a számításink során.

*Raktározási költség elosztóraktár esetén*

$$K_{gp}^{ER} = n_{gpi}^{B^*} \cdot q_{gpi}^{B^*} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\Theta}{n_{gpi}^B} \cdot f_{gj}^{ER} \quad (8)$$

Elosztóraktár esetén is, mint a termelőüzem alkatrésraktáránál feltételezzük, hogy a beszállított alkatrész két beszállítás között egyenletesen fogy vagyis kerül felhasználásra.

*Szállítási költség elosztóraktár és termelőüzem között*

$$K_{gpi}^{BS_2} = n_{gpi}^{B^*} * \left( \text{Entier} \frac{q_{gpi}^B}{c_{g\phi}} + \Phi \right) * f_{gpi}^{BS} * I_{jp}^{ERP} \quad (9)$$

Az összefüggés elemei hasonlóan értelmezhetőek, mint a korábban bemutatott közvetlen beszállításnál.

*Raktározási költség termelőüzem esetén*

$$K_{gp}^{AR} = n_{gpi}^{B^*} \cdot q_{gpi}^B \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\Theta}{n_{gpi}^B} \cdot f_{gp}^{AR} \quad (10)$$

Mivel mindkét beszállítási folyamat végén az adott termelőüzem alkatrésraktárába kerül a szállított alkatrész, ezért az alkatrésraktár raktározási költségére vonatkozó összefüggés nem változik.

A következő fejezetben röviden bemutatásra kerül az optimalizáláshoz használt két módszer elve.

### 3. AZ OPTIMALIZÁLÁS MÓDSZEREI

#### 3.1. Korlátozott teljes leszámítolás (I.)

A felvett alapadatok alapján a megadott összefüggés segítségével a g-edik alkatrész, az i-edik beszállító és a p-edik termelőüzem vonatkozásában különböző beszállítási számokra kiszámoltuk az optimális költséget, illetve ezzel megkaptuk az ehhez tartozó optimális beszállítót is. Vizsgálatainkat a feladat nagy mérete miatt csak  $n_{gpi} = 1, 2, 3, 12, 48$  évi beszállításra végeztük el. (Ezért korlátozott a teljes leszámítolásunk.) E dolgozat keretei között három termelőüzemre, egy elosztóraktárra végeztük el számításainkat.

#### 3.2. Heurisztikus algoritmus (II.)

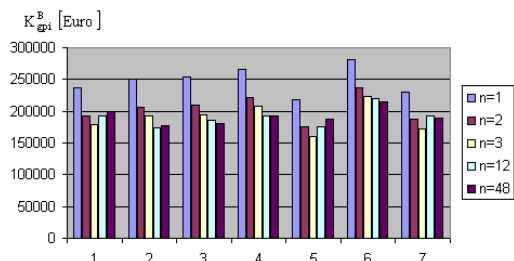
Algoritmusunk összeállításánál a vásárlási, szállítási és raktározási fajlagos költségeinket vettük alapul. Az algoritmus lényegi része abban nyilvánul meg, hogy a megadott fajlagos költségfüggvényeinken (vásárlási és szállítási költségek) megnézzük, hol vannak töréspontok, ezekben a töréspontokban lépésről lépésre kiszámoljuk az egyes költségfüggvény komponenseket, majd az összköltséget. Mindent addig tesszük, amíg az összköltségünk csökken. Az így kapott optimális esetben kiadódik, hogy melyik alkatrészt melyik beszállítóval évente hányszor kell szállíttatnunk, azaz ezáltal megtörténik az optimális beszállító megválasztása alkatrészenként és termelőüzemenként, valamint meghatározásra kerül az évi beszállítási szám is adott alkatrész, illetve adott termelőüzem vonatkozásában.

### 4. AZ OPTIMALIZÁLÁS EREDMÉNYEI

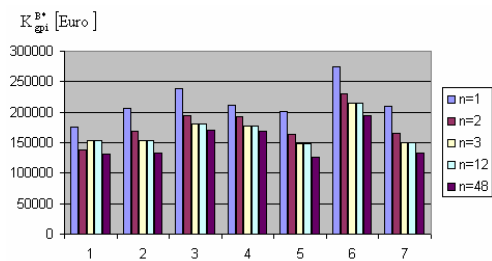
A rendszerünk elemzéséhez számos alapadatot kellett felvenni ahhoz, hogy a már említett két módszert alkalmazni tudjuk a bemutatott rendszerünkre. Példánk alapadatait állandó, illetve változó adatokra bontottuk, amelyeket korábbi publikációkban részleteztünk. Az adott példában 1 elosztóraktárt, 4 alkatrészt, 7 beszállítót, 3 termelőüzemet vizsgálunk. Eldöntjük, hogy az adott alkatrészek közül, melyiket milyen ütemben, milyen beszállítási mód alapján, melyik beszállítótól szállítsuk.

Azaz ebben a dolgozatban a már említett közvetlen és közvetett beszállítás eredményeit hasonlítjuk össze korlátozott teljes leszámítolás esetén.

Szemléltetésként az első alkatrész, első termelőüzem vonatkozásában mutatjuk be közvetlen és közvetett beszállítás esetén az összköltség változását különböző beszállítók, illetve különböző beszállítási számok esetén.



2. ábra Az 1. alkatrész összköltsége közvetlen beszállítás esetén



3. ábra Az 1. alkatrész összköltsége közvetett beszállítás esetén

Jól látható, hogy közvetett beszállítás esetén jóval kedvezőbben alakul az összköltségünk. Ez a többi alkatrész, illetve termelőüzem vonatkozásában is leírható. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy nem szabad általánosítani, hogy minden esetben a közvetett beszállítás a kedvezőbb. A fajlagos költségek, rendelési mennyiségek illetve a szállítási távolságok viszonya nagymértékben befolyásolja az optimális költség értékét, amelyet különböző érzékenységi vizsgálatokkal támasztunk alá. Sajnos ezek megjelentetésére a terjedelmi korlátok miatt nincs lehetőség. Az első alkatrész esetén az optimális összköltség közvetett beszállítás esetén 75,95%-ra csökken. Bár az optimális beszállító nem változik jelen esetben, az évi optimális beszállítási szám 3-ról 48-ra növekszik, azaz az elosztóraktár adottságaiból adódóan évente többszöri szállítás az alkatrészraktárhoz jóval kedvezőbb összköltséget eredményez.

Az 1. táblázat az adott termelőüzem vonatkozásában mutatja, hogy az adott alkatrészek esetén hogyan változik az optimális beszállító, az optimális beszállítási szám, illetve az összköltség. Közvetett beszállításnál szembevetendő, hogy a legnagyobb évi beszállítási számnál jelentkezik az optimális összköltség. Ennek oka csak az lehet, hogy az elosztóraktár és a termelőüzemek között a szállítási költség kisebb az adott alkatrésze vonatkozóan, mint a termelőüzem alkatrészraktárában az adott alkatrésze jutó raktározási költség. A 1. táblázat az optimalizálásunk eredményességét is bizonyítja, bár ismét említjük, jelen dolgozat csak a korlátozott teljes leszámítolás eredményeit mutatja be.

1. táblázat

Term. üzem	Alk.	Közvetlen beszállítás				Közvetett beszállítás			
		max költség	min költség	%-ra csökken	%-al csökken	max költség	min költség	%-ra csökken	%-al csökken
1.	1	n=1, i=6 (281360)	n=3, i=5 (160336)	56,99	43,01	n=1, i=6 (273784)	n=48, i=5 (121777)	44,48	55,52
	2	n=1, i=6 (218445)	n=48, i=2 (124471)	56,98	43,02	n=1, i=6, (176538)	n=48, i=3 (74413)	42,15	57,85
	3	n=1, i=4 (238155)	n=12, i=1 (92550)	38,86	61,14	n=1, i=4, (166886)	n=48, i=1 (29375)	17,60	82,40
	4	n=1, i=2 (208575)	n=3, i=5 (146045)	70,02	29,98	n=1, i=5, (139830)	n=48, i=2 (105129)	75,18	24,82
2.	1	n=1, i=6 (229864)	n=3, i=5 (134126)	58,35	41,65	n=1, i=6, (245036)	n=48, i=5 (103833)	42,37	57,63
	2	n=1, i=6 (309553)	n=48, i=2 (180688)	58,37	41,63	n=1, i=6, (228770)	n=48, i=3 (109693)	47,95	52,05
	3	n=1, i=4 (125800)	n=12, i=6 (51268)	40,75	59,25	n=1, i=4, (141702)	n=48, i=5 (20502)	14,47	85,53
	4	n=1, i=2 (330559)	n=3, i=6 (242657)	73,41	26,59	n=1, i=3, (224750)	n=48, i=2 (176703)	78,62	21,38
3.	1	n=1, i=6 (349980)	n=3, i=5 (203780)	58,23	41,77	n=1, i=6, (322050)	n=48, i=5 (153685)	47,72	52,28

Term. üzem	Alk.	Közvetlen beszállítás				Közvetett beszállítás			
		max költség	min költség	%-ra csökken	%-al csökken	max költség	min költség	%-ra csökken	%-al csökken
	2	n=1, i=6 (289884)	n=48, i=7 (169033)	58,31	41,69	n=1, i=6, (214860)	n=48, i=3 (100297)	46,68	53,32
	3	n=1, i=4 (321500)	n=12, i=1 (99401)	30,92	69,08	n=1, i=4, (188004)	n=48, i=5 (43225)	22,99	77,01
	4	n=1, i=2 (698450)	n=3, i=6 (487761)	69,83	30,17	n=1, i=3, (426800)	n=48, i=2 (350262)	82,07	17,93

A táblázatban a max költség a legkedvezőtlenebb összköltséget jelenti az adott termelőüzemre, adott alkatrésze vonatkozóan; míg a min költség a legkedvezőbb összköltség. Látható, hogy az egyes alkatrészek vonatkozásában mind közvetlen, mind közvetett beszállítás esetén milyen költségmegtakarításokat tudunk elérni. Minimum 17,93%-os, maximum 85,53%-os költségcsökkenést tudunk elérni az adott példa alapadatai alapján.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tudományos dolgozatban bemutatásra került az optimalizálás célfüggvénye, jelen esetben költségfüggvény, mind közvetlen, mind közvetett beszállítás esetén. Röviden ismertetésre kerültek az optimalizálás módszerei. Az utolsó fejezetben sor került a korlátozott teljes leszámítolás eredményeinek bemutatására, illetve közvetlen és közvetett beszállítás esetén az eredmények összehasonlítására.

*Jelen kutatómunka a K63591 számú OTKA projekt támogatásával valósult meg.*

#### 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] CSELÉNYI, J., TÓTH, T.: Some questions of logistics in the case of holonic production system. Journal of intelligent manufacturing. 9., 1998. ISSN 0956 5515., pp.113-118.
- [2] NAGY, M., BÁNYAI, Á., CSELÉNYI, J.: Algorithm of choosing of supplier system of assembly plants operating in network-like structure in case of indirect transport. 2<sup>nd</sup> Conference with International Participation Management of Manufacturing Systems, Technical University of Kosice, Faculty of Manufacturing Technologies. 28<sup>th</sup> September 2006, Presov, Slovakia, ISBN 80-8073-623-5, pp. 9-13.
- [3] NAGY, M., BÁNYAI, Á., CSELÉNYI, J.: Cost sensitivity analysis of optimal supplier system of assembly plants operating in network like structure. 4<sup>th</sup> International Logistics and Supply Chain Congress "The era of collaboration through supply chain networks", -Izmir University of Economics Publication, November 29-30, December 1, 2006, Izmir, ISBN 975-8789-08-2, pp. 120-126.

## Ruhaipari robotizált rendszerek biztonsági aspektusai

### SAFETY ASPECTS OF ROBOTIZED SYSTEMS IN TEXTILE INDUSTRY

OGORODNIKOVA Olesya

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Gépészmérnöki Kar Gépészeti Informatika Tanszék  
1111 Budapest, Műgyetem rakpart 3-9. Tel: 36-1-4632495

#### ABSTRACT

*Robots are an inevitable part of the future industry. Their increased utilization will result in increased productivity, safer work environment and very helpful in human daily life. However, their successful implementation will only happen if their use will only benefit and not harm the human. That's why it is crucial to take into consideration safety aspect in human robot interaction and robotization on the whole.*

*This study focuses on developing a safety system for RUHAROBOT project, which represents the human scanning system by means of scanner frame and laser range finder mounted on the robot end-effector. During the task planning and workcell design we faced to the problem of humans' protection which is integral part of the safety design especially when they perform the task inside the robot work envelope.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A robotok elkerülhetetlen részét képezik a jövő iparának. Ezek fokozott alkalmazásának eredményei megjelennek a megnövekedett termelékenységben, biztonságosabb munkakörnyezetben és nagyon hasznosak az emberek mindennapi életében. Azonban a robotok alkalmazása csak akkor lesz sikeres, ha használatuk csak hasznot hajt, és nem okoz kárt az embereknek. Ezért fontos figyelembe venni a biztonság szempontjait az ember-robot kölcsönhatás során és a robotizáció egészében.*

*Jelen tanulmány középpontjában a RUHAROBOT projektben alkalmazott védelmi rendszer kifejlesztése áll. Az említett projekt emberi testet letapogató rendszert valósít meg, amely egy letapogató keretből és egy robotmegfogóra szerelt lézeres távolságmérőből épül fel. A művelettervezés és a munkacella kialakítása során különös figyelmet szenteltünk a letapogatni kívánt személy védelmére, aki a letapogatók során, a robot munkaterén belül helyezkedik el.*

#### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a robot már nem csupán egy olyan irányítható gép, amely ember helyett végez el nehéz és egészségre ártalmas munkákat, hanem egyre jobban az ember teljes jogú asszisztensévé válik, és a robotok felhasználási köre egyre jobban bővül.

Erre példa a Nasa (Johnson Space Center) tudósai által létrehozott emberszabású (*human like robots*) robotok (Robonaut), amelyek az asztronauták pótolhatatlan segítői a Holdon és a Marson. Fontos szerepet kapnak a robotok a gyógyászatban, ahol nem csak ápolói feladatokat látnak el (*Robonurses, Care-o-bot*), hanem segítenek a legbonyolultabb, a legnagyobb pontosságot és megbízhatóságot igénylő műtéteknél (*MIS Da Vinci*). Mivel a robot nincs kitéve stressznek és más külső zavaró hatásoknak, mint az ember, olyan területeken is hasznossá válhat, mint például a rehabilitációs központok (Reharobot), ahol fáradtság nélkül többórnyi, monoton masszáz- és tornagyakorlatokat végeztethetnek a betegekkel.

A közelmúltban a robotokat használni kezdték a textiliparban is. Az öltözőgyártás szabási és varrási funkcióinak automatizálása (*Leapfrog*) mellett, a robotok már most is olyan műveleteket végeznek, amelyek talán egy kicsit furcsának tűnnek. A robot által végzett méretvétel semmivel sem

rosszabb, sőt, talán jobb is annál, mint amikor egy gyakorlott szabó méri körbe a kuncsaftja alakját. Ezen kívül a géppel végzett méretvétel maximálisan pontos, gyors és kényelmes az ember számára.

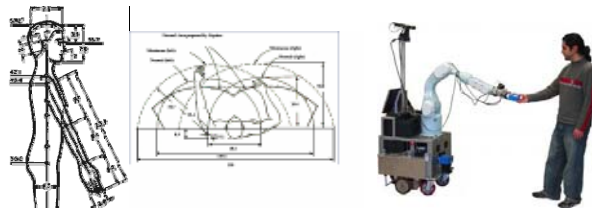
## 2. A RENDSZER TERVEZÉSE SORÁN FIGYELEMBE VETT TÉNYEZŐK

Minden egyes vállalkozás sikere azon múlik, hogy helyesen mérik-e fel a feladatot, és mennyire gondolják át a megvalósítással kapcsolatos teendőket. A szabósági méretvétel egyik legnagyobb nehézsége az, hogy a robot működésének objektuma nem egy tárgy, hanem az élő ember. A megoldandó feladatok közül a legfontosabb biztosítani az ember maximális védelmét a robot működése során. Az egész folyamat a méretvételi objektum közvetlen közelében zajlik, és az embernek teljes biztonságban kell éreznie magát, és nyugton kell maradnia a robot „kezeiben”.

A rendszer fő elemei a robot és az ember, ahol az utóbbi a robot kiválasztásának és az egész mérőcella tervezésének az egyik legfontosabb befolyásoló tényezője.

### 2.1. Az emberi tényező

A méretvételi rendszer egyik alapköve az ember kényelmének és biztonságának biztosítása, illetve az ember és a környezet együttműködésének az optimalizálása. Ehhez fel kell mérni az ember lehetőségeit és korlátait az adott helyzetben. Ehhez a következő tudományágak ismerete nyújthat segítséget: ergonómia, pszichológia, szociológia, antropometria (az emberi test statikus és dinamikus tulajdonságai), biotechnológia és fiziológia.[1]



1. ábra

*Az ember és a robot együttes tanulmányozása*

Ha az emberre úgy tekintünk, mint egy csuklós felépítésű gépre, akkor akármilyen rendszer sikeres használatához szükség lesz a következő szempontok szerinti elemzésre: 1) Az embert és a berendezést elő kell készíteni a közös munkavégzésre, a cella tervezésénél az összes ergonómiai szabványt szem előtt kell tartani, a távolságot az ember és a berendezés között az antropometriai és fiziológiai adatok alapján kell meghatározni. 2) A berendezésnek úgy kell működnie, hogy ne váltson ki az emberből nem adekvát pszichikai reakciót, azaz az embernek minden pillanatban bíznia kell a rendszer helyes működésében, illetve abban, hogy semmilyen előreláthatatlan esemény nem következhet be, a rendszert minden biztonsági szempont figyelembevételével kell felépíteni.

### 2.2. A robot kiválasztása

A robot egy bonyolult, nagy teljesítményű mechanizmus, amely nagy sebességgel, nagy erő kifejtésére képes, azonban lényegében egy süket és vak gép, így nagy veszélyt jelenthet az ember számára. [2]

A robot veszélyt jelentő tulajdonságai: Az egész munkatérben belül kifejthető nagy erőhatás; a nagy hatósugár, a működési program ismerete nélkül a mozgási irányt nem lehet előre megjósolni; gyors, változékony mozgások; a számítógépek csak korlátozott mértékben képesek automatikusan megbecsülni veszélyes helyzeteket.

A balesetek főbb okai: A veszélyes zóna látható jelölésének hiánya; a robot látszólagos üzemén kívülsége a várakozási idő alatt; figyelmetlenség és a szükséges ismeretek hiánya; a feladat sajátosságai miatt szükséges megközelítése a robotnak; a biztonsági rendszer hiányosságai; a rendszer indítása, illetve előkészítése során elkövetett hibák; a rendszer különböző okokból történő megállásai és meghibásodásai; valamint a pogromozási hibák.

Jelen projekt céljainak megfelelően a robotnak meg kell felelnie az alábbi követelményeknek is: A robot mérete nem haladhatja meg az átlagos emberméreteket (pszichológiai aspektus); könnyű üzembe helyezés és átprogramozhatóság; megbízhatóság; alacsony (beállítható) működési sebesség; a munkatér programból indítható leszűkítésének lehetősége (biztonsági megfontolásokból); optimális, energiatakarékos mozgások (gazdaságossági tényező); optimális, interpolált pályán vezetett mozgások.

### 3. A VÉDELEM MEGVALÓSÍTÁSA

A robot körül három védelmi zónát lehet kijelölni, amelyek mindegyike különböző védelmi eljárásokat igényel: 1. Munkatérén kívüli környezet. 2. Munkatér. 3. A robot, az ember, a CNC és más dinamikus rendszerek működési zónáinak kölcsönös átfedése. [3]

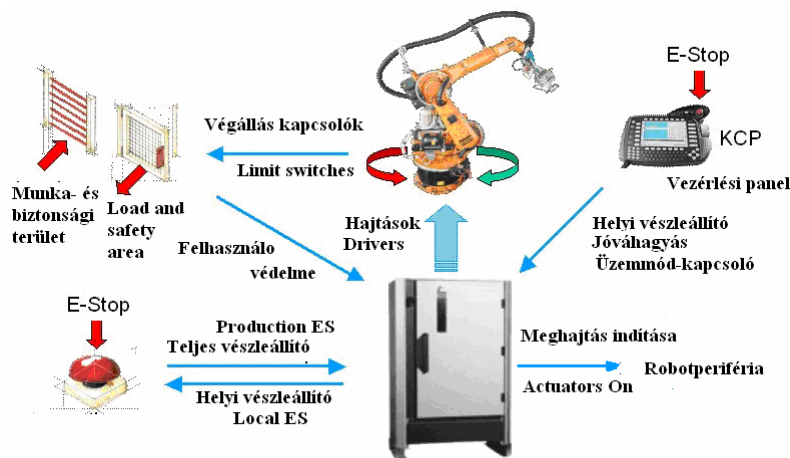
Az első szinthez tartoznak azok a berendezések, amelyek megakadályozzák az ember veszélyes zónába való behatolását, azaz fizikai korlátok, érzékelő sugarak, kerítés, védőfüggönyök és védőláncok. A védőeszközök távolságát a berendezés technológiai tulajdonágai és a különböző ergonómiai értékek határozzák meg. A (ANSI/RIA) szabványnak megfelelően a veszélyes terület és a védőrendszer közötti távolságot az alábbi formula (1) szerint kell kiszámítani: [4]

$$D_s = (K \cdot (T_s + T_c + T_r)) + D_{pf} \quad (1)$$

Ahol:  $D_s$  - a biztonsági berendezés és a veszélyforrás közötti minimális biztonsági távolság;  $K$  - sebességi konstans (1,6 m/mp);  $T_s$ ,  $T_c$  - a gép, illetve a vezérlés legrosszabb leállási ideje;  $T_r$  - a biztonsági berendezés válaszsideje;  $D_{pf}$  - maximális elmozdulás a veszélyforrás irányába. Az érzékelő biztonsági berendezések alkalmazása esetén, ez a mérték függ az objektum-érzékenységétől ( $O_s$ ).

A 2. és a 3. szintű biztonsági berendezéseknek a következő tulajdonságokkal kell rendelkezniük: Megállapítani az ember jelenlétét a munkatérben, megállapítani és kezelni a robot határértékeket meghaladó mozgásait és megvédeni a munkatérben lévő objektumokat. A robot és az ember egymáshoz eléggé közeli elhelyezkedéséből kifolyólag nagyon fontos, hogy az együttes működésük minél biztonságosabb legyen. Ezért a robotnak meg kell tudni állapítani az ember helyzetét, és megfelelő módon reagálnia rá. A már napjainkban is működő, illetve még csak a tervezés stádiumában lévő legbonyolultabb és sokat ígérő rendszerekben használják a számítógép által vezérelt ultrahangos, mikrohullámos, infravörös és kapacitív érzékelőket és készülékeket. Az érzékelő-rendszerek nagy szerepet játszanak a védőberendezések kialakításában.

A leggyakrabban alkalmazott védelmi technológiák: a hangérzékelők, a látórendszerek, a kapacitív és elektromágneses érzékelők, a videorendszer (robotlátás). [5] Mindegyik fajtának vannak előnyei és hátrányai attól függően, hogy hol és milyen feladathoz használják őket. Az esetek többségében többfajta érzékelőt kombinálnak egymással (*multiple sensors*), ami hatékony, viszont eléggé drága megoldás.



2. ábra

A védőberendezések kölcsönös kapcsolata



#### 4. ESETTANULMÁNY

A vizsgált rendszert alrendszerre és komponensekre bontottuk. Veszélyelemzéssel megvizsgáltuk a részegységeket és a velük kapcsolatban álló elemeket veszélyesség szempontjából. Összegejtöttünk és elemeztünk a rendszerről rendelkezésre álló minden információt. [6]

A fentiekben felsorolt megfontolások alapján a választás a KUKA KR6 [7] robotra esett, amelynek a főbb paraméterei a következők: tömeg 235 kg, terhelhetőség 6 kg, 6 szabadságfok, magasság 1776 mm, a munkatér sugara 1611 mm, pozicionálási pontosság  $\pm 0.10$  mm, elektromechanikus meghajtó szervomotorral, sebesség A1-A6: 156-659 %/s. A robot irányítását a KRC2 vezérlőegység végzi.

A robot KR6 biztonsági rendszere: vészfék (ES), a KRC-n levő kapcsolók a különböző mozgásfajták kiválasztásához, a munkatér szűkítését végző szoftverek, mechanikus pótberendezés a munkatér szűkítéséhez, a robot ütközésektől védő rendszere, amely kapcsolatban áll egy vészgombbal és a vezérléssel, automatikus leállítás-ellenőrzés, robotérzékelők, a robotrendszert védő- és vezérlőberendezés (modulátor), amely vezérli a kapcsolt kiegészítő védőberendezést (PNOZmilti).

##### ***A kiválasztott berendezések az alábbiak voltak:***

1. A robotmunkatér két oldalát lezáró védőkerítés, amely két, biztonsági mechanikai kapcsolóval felszerelt PSENmech ([www.pilz.com](http://www.pilz.com)) kaput tartalmaz, melyek érzékelik a kapuk nem biztonságos pozícióit (nyitások < 132 mm, pozíció a veszélyforrástól >3 mm).

2. A ReeR Janus ([www.reer.it](http://www.reer.it)) fényfüggőnyt az alábbi technikai adatokkal telepítettük: M12-5 adó; M23-19 vevő; a védett magasság 1810 mm; munkatáv 0-6 m; a rendszer válaszüzeje 7 ezredmásodperc; felbontás 14 mm. Az objektum-érzékenység  $O_s=12$  mm. A robot elé helyezett függöny lezárja az egész munkatérrel, és véd a véletlen behatolásoktól.

3. MatGuard Safety szőnyegek. A robot köré, a biztonsági méréseknek megfelelő távolságban elhelyezett szőnyegek érzékelik, amikor a személy a robot melletti veszélyzónába lép. A válaszüzeje 35 ezredmásodperc, és legalább 35 kg súlyú ([www.ab.com](http://www.ab.com)) személy érzékelését biztosítja.

4. Közelségérzékelő SICK ([www.sick.com](http://www.sick.com)) a robot megfogójára szerelt ultrahangos jeladó, amely a biztonsági rendszer vezérlőjéhez kapcsolódik. Magas frekvenciájú hanghullámot gerjesztve érzékeli az objektumokat, nagy pontossággal és megbízhatósággal méri a biztonsági távolságot. Felbontása 0,36 mm, válaszüzeje 70 ezredmásodperc, az érzékelés távolsága 600 mm, a használt frekvencia 400 kHz.

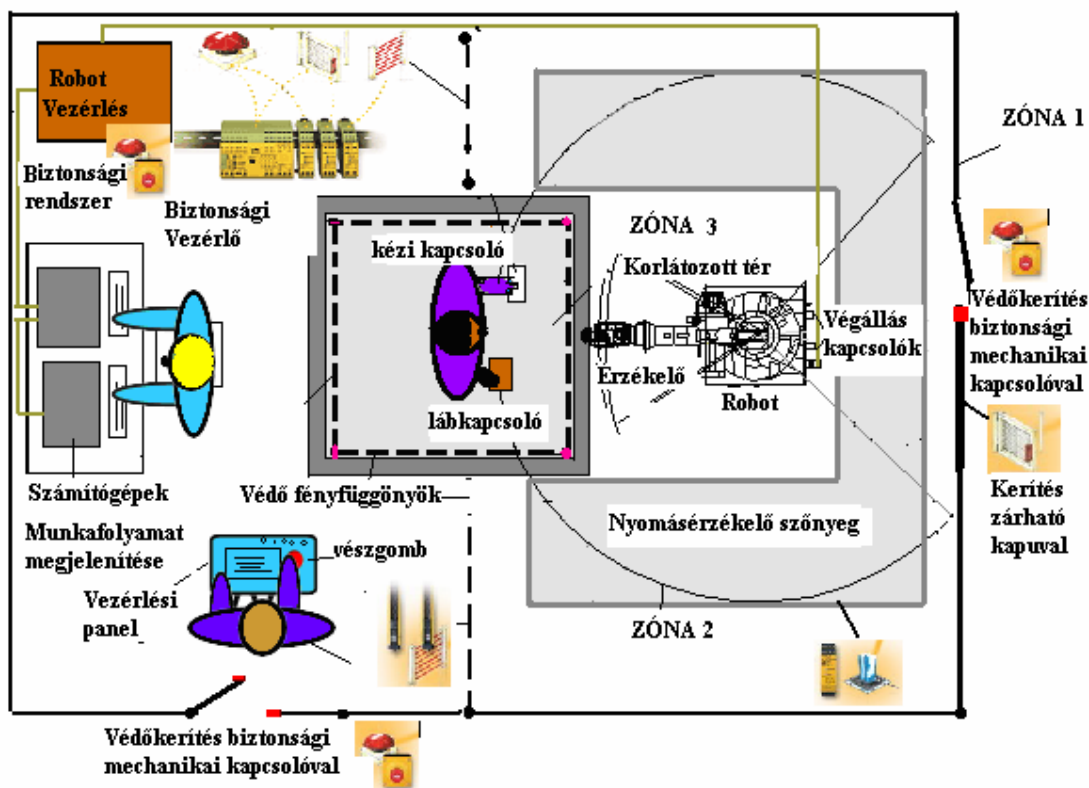
5. A vészhelyzetet jelző, figyelmeztető rendszer (lámpák, jelzések).

Minden biztonsági védőberendezést olyan távolságra helyeztünk el, hogy a veszélyforrást ne lehessen elérni. A veszélycsökkentő védelmet a kapcsolódó szabványoknak és a kockázatsökkentő kategóriának megfelelően alkalmaztuk.

A tervezés során a következőket is figyelembe kellett vennünk: a műveleti területen belül a mozgó robot teljesítményét 10%-ra mérsékeljük, jelentősen csökkentve ezzel a területen belül elhelyezkedő személy veszélyeztetettségét. Az elrendezés tervezése során a normál műveleti terület méretét a lehető legkisebbre választottuk, így ebben az esetben kisebb lesz a robot tehetetlenségi nyomatéka és energiafogyasztása, csökken a robot kopása és a repedések megjelenése, kisebb lesz a védendő terület mérete. Mindezek eredményeképpen csökkennek a költségek, a kisebb mozgások következtében pedig javul a ciklusidő.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ez a tanulmány a robotok biztonságos elhelyezésével kapcsolatos, különböző kockázatelemzési technológiákra épül. További kutatásokat végeztünk az alábbi témakörökben: ergonómia és az emberi tényezők, robotszerkezetek, biztonságos technológiák a gyártásban, a kutatási területtel kapcsolatos szabványosítás kérdései. A biztonsági szempontok valóban sokoldalúak, és a robotizált cella minden elemének, illetve a benne zajló folyamatok gondos tanulmányozását igényeli. A kutatás során kiderült, hogy nem minden biztonsággal kapcsolatos robotszabvány alkalmazható az emberi környezetben működő ipari robotokra. Sőt mi több, nem minden védelmi rendszer használható és működtethető kielégítően, a megkívánt védelmi szintnek megfelelően. Ez az oka annak, hogy az ember-robot kölcsönhatás biztonsági kérdései mélyebb vizsgálatokat valamint további fejlesztéseket igényelnek.



3. ábra  
A védőberendezések kiépítése

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] S. Nof. Handbook of industrial robotics. John Wiley and Sons. Canada. 1999.
- [2] Osha technical manual, "Industrial robot and robot system". 1993.
- [3] J. Graham: Safety, reliability and human factors in robotic systems. Van Nostrand Reinhold. New York. 1993.
- [4] ANSI: Industrial Robots and Robot Systems: Safety Requirements. ANSI/RIA R15.06. Washington. 1999.
- [5] J. Scholtz: Evaluation methods for human-system performance of intelligent systems. In Proceedings of the 2002 Performance Metrics for Intelligent Systems (PerMIS) Workshop.
- [6] B. Dhillon: Robot reliability and safety. Springer-Verlag. New-York. 1991.
- [7] Kuka robot technical documentation (www.kuka.com)
- [8] M. Wygant: Ergonomics. Robot selection. Handbook of industrial robotics. John Wiley and Sons. Canada. 1999.
- [9] R. Kilmer: Safety sensor systems for industrial robots, in Proc. SME Robots 6 Conf., Society Manufa. Eng., 1982, pp. 479–491.
- [10] R. Piggin: Developments in Industrial Robotic Safety. Industrial Robot: An International Journal, Aug 2005 Vol. 32 Issue 4 Page: 303 - 311

**Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszerénél  
a felhasználók késztermékgényeinek szerelőüzemekhez történő  
hozzárendelésére szolgáló egyszerűsített és összetett  
célfüggvényekkel végzett optimalizálások összehasonlítása  
és érzékenységi vizsgálata**

**COMPARISON AND SENSITIVITY ANALYSIS OF OPTIMISATION FOR ASSIGNMENT  
OF FINAL PRODUCT REQUIREMENTS OF END USERS  
TO THE ASSEMBLY PLANTS BY SIMPLIFIED AND COMPLEX OBJECTIVE FUNCTION  
IN A NETWORK-LIKE OPERATING ASSEMBLY SYSTEM**

OLÁH Béla<sup>1</sup>, Dr. BÁNYAI Tamás<sup>2</sup>, Prof. Dr. CSELÉNYI József<sup>2</sup>

<sup>1</sup>főiskolai adjunktus, Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás,  
5400 Mezőtúr, Petőfi tér 1.

tel: 36/56 551-015, fax: 36/56 551-017, e-mail: olahb@mfk.hu, honlap: <http://www.mfk.hu>

<sup>2</sup>egyetemi{docens, tanár}, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz.,  
3515 Miskolc-Egyetemváros

tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399, e-mail: {retigh, gkalt}@uni-miskolc.hu,  
honlap: [www.uni-miskolc.hu](http://www.uni-miskolc.hu)

## 1. BEVEZETÉS

A hálózatszerűen működő logisztikával integrált összeszerelő rendszer alatt azt értjük, amikor a termelés-tervezés a beszerzési és az elosztási logisztikai rendszerrel integráltan kerül megtervezésre, vagyis nemcsak a termelési, hanem a logisztikai erőforrások és jellemzők együttes optimumát keressük. A hálózatszerűség azt jelenti, hogy ugyanazt a terméket több, térben különböző helyeken lévő szerelőüzem is elő tudja állítani, a szereléshez szükséges egyes alkatrészeket több térben különböző elhelyezkedésű beszállítótól lehet beszerezni. A hálózatszerűség továbbá azt is jelenti, hogy az alkatrész beszerzés és a késztermék elosztás lehet közvetlen és közvetett, azaz elosztóraktáron keresztül. A hálózatszerűségnél a logisztikával integrált termelés-tervezés így kitér arra is, hogy a kapacitáskorlátokat és feltételeket figyelembe véve a felhasználói igényeket kielégítve a megfogalmazott célfüggvények szerint keressük az optimális megoldást. E bonyolult, nagyméretű, hálózatszerű logisztikai rendszer optimális működtetése, teljesen újszerű elméleti megalapozást igényelt a tervezési és irányítási módszereknél. A megoldandó feladat egy logisztikával integrált szerelésütemezési feladat, amelybe beletartozik a késztermékek elosztása, készletezése és az alkatrészek készletezése is. Ezek megoldásánál különböző célfüggvényeket és feltételeket kell, illetve lehet figyelembe venni. Első esetként az optimalizálásnál a költségfüggvényt választottuk célfüggvényként, amely komponenseit a [1] dolgozatban részleteztünk. A vázolt, hálózatszerűen működő logisztikai rendszer költségfüggvényében szereplő nagy számú optimalizálandó paraméter és a rendszer nagy méretei miatt az optimalizálást egy egymáshoz hierarchikusan kapcsolódó visszacsatolásos, többlépcsős heurisztikus módszerrel oldjuk meg, amelynek moduljait a [2] tudományos munka mutatta be. A szerzők a [3] publikációkban már megfogalmazták közvetlen kiszállítás esetére az egyes késztermékek egyszerű költségfüggvények segítségével szerelő üzemekhez történő hozzárendelésének alapelveit, megoldási lehetőségeit és heurisztikus algoritmusait. Jelen dolgozat – a korábbiaktól eltérően – bővített célfüggvény segítségével határozza meg a hozzárendelést.

### 1.1 A modell teljes költségfüggvénye

$$K = K_V + K_{SZ} + K_T + K_M + K_{AM} + K_\Psi + K_R + K_D \rightarrow \min. \quad (1)$$

ami az alkatrész vásárlási költség ( $K_V$ ), szállítási költség ( $K_{SZ}$ ), tárolási költség ( $K_T$ ), a szerelési költség ( $K_M$ ), a szerelősorok átállítási költség ( $K_{AM}$ ), a sorok állásából származó veszteségi költség ( $K_\Psi$ ), a késztermék raktározási költség ( $K_R$ ), és a szállítási költség ( $K_D$ ) összegeként adódik.

A korábbi vizsgálataink során az (1) teljes költségfüggvényt leegyszerűsítettük és csak az elosztási- és a szerelési költségeket vettük figyelembe az évi késztermék igények üzemek közötti optimális elosztásnak kielégítésekor. Ugyanis az a modul nem foglalkozott a szerelés és a kiszállítás ütemezésével, ezért nem voltak számításba vehetőek az átállítási költségek, az alkatrész és késztermék tárolási költségei, ill. a számításba vett költségek is globálisak, egyszerűsítettek voltak.

### 1.2 A hozzárendelés egyszerűsített célfüggvénye az i-edik termékénél

$$K_K^i = K_M^i + K_D^i \rightarrow \min. \quad (2)$$

ahol  $K_M^i$  a szerelési költség,  $K_D^i$  pedig az elosztási költség.

A feladat során adott a  $Q$  mátrix, amely megmutatja az  $\varepsilon$ -adik felhasználó által az  $i$ -edik termékből megrendelt mennyiséget. Keressük az  $Y$  mátrixot, amely azt adja meg, hogy

– az  $i$ -edik terméket az  $\varepsilon$ -adik felhasználó melyik szerelőüzemből ( $v$ ) kapja (**a eset**), tehát  $y_{\varepsilon v}^i$  csak 0 vagy 1 értéket vehet fel (vagyis minden felhasználó csak egy szerelőüzemből kaphatja az  $i$ -edik terméket) a következő feltétellel:  $\sum_{v=1}^w y_{\varepsilon v}^i = 1$ , (3)

– vagy az  $i$ -edik készterméket az  $\varepsilon$ -adik felhasználó milyen arányban kapja a  $v$ -edik üzemből (**b eset**), tehát  $y_{\varepsilon v}^i$  0 és 1 közötti értéket is felvehet (vagyis a felhasználók több üzemből is kiszolgálhatók) az alábbi feltételekkel:  $0 \leq y_{\varepsilon v}^i \leq 1$  &  $\sum_{v=1}^w y_{\varepsilon v}^i = 1$ . (4)

#### 1.2.1 A szállítási költségfüggvény az $i$ -edik termékénél

$$K_D^i = \sum_{v=1}^w \sum_{\varepsilon=1}^r k_i^{SZ} Q_{i\varepsilon} y_{\varepsilon v}^i s_{\varepsilon v}, \quad (5)$$

ahol  $k_i^{SZ}$  az  $i$ -edik késztermék fajlagos szállítási költsége,  $s_{\varepsilon v}$  a szállítási úthossz.

#### 1.2.2 A szerelési költségfüggvény az $i$ -edik termékénél

$$K_M^i = \sum_{v=1}^w \sum_{\varepsilon=1}^r Q_{i\varepsilon} y_{\varepsilon v}^i k_{i\varepsilon v}^M, \quad (6)$$

ahol  $k_{i\varepsilon v}^M$  a fajlagos szerelési költsége az  $i$ -edik terméknek a  $v$ -edik üzemből.

#### 1.2.3 A hozzárendelés egyszerűsített célfüggvénye az $i$ -edik termékénél

A számításba vett egyszerűsített költségfüggvények alapján a (2) célfüggvény a következő formában írható fel [2]:

$$K_K^i = \sum_{v=1}^w \sum_{\varepsilon=1}^r Q_{i\varepsilon} y_{\varepsilon v}^i (k_i^{SZ} s_{\varepsilon v} + k_{i\varepsilon v}^M) \rightarrow \min. \quad (7)$$

A következő fejezetben megvizsgáljuk, hogyan módosul a bővített célfüggvény figyelembevételével történő hozzárendelés az egyszerűsített költségfüggvény megoldásához képest.

## 2. OPTIMÁLIS HOZZÁRENDELÉS BŐVÍTETT MODELL ALAPJÁN

Első lépésben egyszerű célfüggvény alapján induló hozzárendelést határozzunk meg, majd ezt követi a második lépés, ami egy logisztikával integrált szerelésütemezés.

$$K_{SEv} + K_{Rv} = K_{v0} \rightarrow \text{Min} \quad (8)$$

ahol  $K_{SEv}$  - szereléselőkészületi költség,  $K_{Rv}$  - raktározási költség,  $v$  - szerelőüzem.

### 2.1 Költségfüggvények

#### 2.1.1 Szereléselőkészítési költség

$$K_{SEv} = \sum_{i=1}^n k_{Evi}^S z_{vi} \quad (9)$$

ahol  $k_{Evi}^S = [\text{EURO/sorozat}]$  az  $i$ -edik termék egy sorozatának előkészítési költsége a  $v$ -edik szerelőüzemben;

$z_{vi}$  a  $v$ -edik üzemben elindított sorozatok száma az  $i$ -edik termékből.

#### 2.1.2 Raktározási költség

$$K_{Rv} = \sum_{i=1}^n k_{Rvi} \sum_{j=1}^{m^*} A_{vij} \quad (10)$$

ahol  $A_{vij}$  a készletdiagram területe a  $v$ -edik szerelőüzem  $i$ -edik termékénél a  $j$ -edik ütemben, ami kétféleképpen számítható vagy egy háromszög, vagy egy négyzet területének megfelelően.

$k_{Rvi} = [\text{EURO/db}]$  fajlagos raktározási költség;

$m^*$  a programozási időszak alatti ütemek száma.

#### 2.1.3 Szerelősorok állásidejéből származó veszteségi költség

$$K_{Wv}^S = k_{Wv} \sum_{j=1}^{m^*} \sum_{\delta=1}^{p_v} \tau_{v\delta j} \quad (11)$$

ahol  $k_{Wv} = [\text{EURO/ó}]$  a fajlagos állásidőből származó veszteségi költség.

$\tau_{v\delta j}$  a szerelősor állási ideje (nem folyik szerelés, szereléselőkészítés, karbantartás)  $v$ -edik szerelőüzem,  $\delta$ -adik szerelősoron a  $j$ -edik ütemben.

#### 2.1.4 Késve történő kiszállításból származó veszteségi költség

$$K_{Dv}^K = \sum_{\varepsilon=1}^r \sum_{i=1}^n k_{Dvei} \sum_{j=1}^{m^*} y_{vej} \Delta T_{vej} \quad (12)$$

ahol  $k_{Dve_i} = [\text{EURO/db}]$  a késve kiszállítás fajlagos veszteségi költsége a v-edik szerelőüzemben,  $\varepsilon$ -adik vevőnél, i-edik terméknel;

$y_{veij}$  a v-edik szerelőüzemből az  $\varepsilon$ -adik felhasználóhoz, az i-edik termékből a j-edik ütembe kiszállított termék darabszám;

$\Delta T_{veij}$  az  $\varepsilon$ -adik vevőhöz a v-edik szerelőüzemből a j-edik ütembe késve kiszállított i-edik termék késési ideje.

### 3. A HOZZÁRENDELÉS MÓDOSÍTÁSA

Az optimalizálást egy konkrét számpéldán keresztül végeztük el, ahol az alapadatok a korábbiakkal megegyezők voltak:  $w=3$ ,  $r=6$ ,  $n=8$ . A  $Q = [q_{ie}]$  rendelési mátrix ezer és hatezer db/év közötti értékeket vehet fel, mely értékek átlaga kétezer darab körül kell legyen. Meg kell még adni a szerelőüzemek  $R^F$  kapacitásmátrixát is:

$$Q = i \begin{matrix} & 1 & \dots & \varepsilon & \dots & r \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.5 & 2.5 & 0 & 0 & 1.5 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 2 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1.5 & 0 & 0 & 1 & 2.5 & 0 \\ 2 & 1.5 & 1 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 3 & 0 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} & \begin{matrix} [2\text{edb}] \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix} R^F = i \begin{matrix} & 1\dots & v & \dots w \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 2 & 2 \\ 0.5 & 0.5 & 1.5 \\ 1 & 1.5 & 0 \\ 1.5 & 0 & 2.5 \\ 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1.5 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{matrix} [4\text{edb}] \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix} S = \varepsilon \begin{matrix} & 1\dots & v & \dots w \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ r \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 & 1.5 \\ 2.5 & 0.6 & 1.2 \\ 1.8 & 2 & 1 \\ 0.6 & 0.5 & 1.5 \\ 2 & 1 & 2.5 \\ 2.2 & 1.2 & 0.2 \end{bmatrix} & \begin{matrix} [100\text{km}] \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix}$$

Az  $S = [s_{gv}]$  útmátrix (szerelőüzemek és felhasználók közötti) értékei 20 és 250 km között változhatnak, átlaguk 100 km körül kell legyen. A fajlagos szállítási és szerelési költség értékeket, illetve a szerelési időket is a korábbi példával megegyezően vettük fel:

$$k^{sz} = i \begin{matrix} & 1\dots & v & \dots w \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.7 \\ 0.8 \\ 0.9 \\ 1 \\ 1 \\ 1.1 \\ 1.2 \end{bmatrix} & \begin{matrix} k_0 \delta \left[ \frac{\text{Ft/db}}{100\text{km}} \right] \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix} k^M = i \begin{matrix} & 1\dots & v & \dots w \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.7 & 0.525 & 0.875 \\ 1 & 0.75 & 1.25 \\ 1.2 & 0.9 & 1.5 \\ 0.8 & 0.6 & 1 \\ 1.3 & 0.975 & 1.625 \\ 0.9 & 0.675 & 1.125 \\ 1.4 & 1.05 & 1.75 \\ 1.1 & 0.825 & 1.375 \end{bmatrix} & \begin{matrix} k_0 [\text{Ft/db}] t^M = i \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix} t^M = i \begin{matrix} & 1\dots & v & \dots w \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.1 \\ 0.8 & 0.5 & 0.4 \\ 0.6 & 1 & 0.8 \\ 0.9 & 0.7 & 0.8 \\ 1 & 0.2 & 0.4 \\ 0.5 & 0.1 & 0.3 \\ 0.7 & 0.6 & 0.5 \\ 0.4 & 0.2 & 0.3 \end{bmatrix} & \begin{matrix} [\text{óra/db}] \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix}$$

A  $k_0$  helyett  $k_{0x}$  jelölés lenne szükséges, ahol x az egyes fajlagos költségek indexét jelölné, mert értelmezzük a  $k_{0x} = c_x^* k_0$ , ahol  $c_x^*$  az arányossági paraméter. ( $k_{0SZ}$  a szállítási fajlagos költség,  $k_{0M}$  a szerelési fajlagos költség,  $k_{0SE}$  a szereléselőkészületi fajlagos költség,  $k_{0R}$  a raktározási fajlagos költség és  $k_{0SW}$  a veszteségi fajlagos költség) Ugyanis ezzel a felírással lehetőség nyílna az egyes fajlagos költségek arányának megváltoztatására. Jelen esetben azonban minden „x” esetén  $k_{0x} = k_0$ , vagyis  $c_x^* = 1$ , azaz minden költségfüggvénynél azonos a  $k_0$  fajlagos alapköltség.  $k_0$  segítségével minden költséget azonos mértékben tudunk változtatni.

A fajlagos szereléselőkészületi költség és -idő, illetve fajlagos raktározási költség:

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} 1\dots & v & \dots w \end{matrix} \\ \begin{matrix} k_{Evi}^S = i \\ \vdots \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 2 & 1.5 & 4 \\ 3 & 3.2 & 1.6 \\ 1.5 & 2.8 & 2.2 \\ 4 & 2.6 & 1.8 \\ 2.5 & 1.7 & 3.2 \\ 3.5 & 2.4 & 2.5 \\ 1 & 3 & 1.3 \\ 1.2 & 3.2 & 3.4 \end{bmatrix} & k_0 \left[ \frac{Ft}{\text{sorozat}} \right] & \begin{matrix} t_{Evi}^S = i \\ \vdots \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{matrix} 1\dots & v & \dots w \\ \begin{bmatrix} 0.9 & 1.1 & 0.7 \\ 1.2 & 0.8 & 1 \\ 0.6 & 0.9 & 1.1 \\ 1.4 & 0.7 & 0.8 \\ 1.3 & 1 & 0.7 \\ 1 & 0.6 & 1.2 \\ 0.8 & 0.9 & 0.6 \\ 1.2 & 1 & 0.7 \end{bmatrix} & \text{[óra]} & k_{vi}^R = i \\ \vdots \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{matrix} 1\dots & v & \dots w \\ \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.6 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 1 & 1.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.4 & 1.1 \\ 0.9 & 0.3 & 0.1 \\ 0.9 & 0.5 & 0.6 \\ 0.7 & 0.3 & 0.8 \\ 0.1 & 1.1 & 0.9 \end{bmatrix} & \frac{k_0}{10} \left[ \frac{Ft}{\text{dbó}} \right] \end{matrix} \end{matrix}$$

Szerelősorok állásidejéből származó veszteségi költség:  $k_{wv}^S = \frac{1}{100} k_0 [0.6 \ 0.7 \ 0.8] [Ft / \delta]$

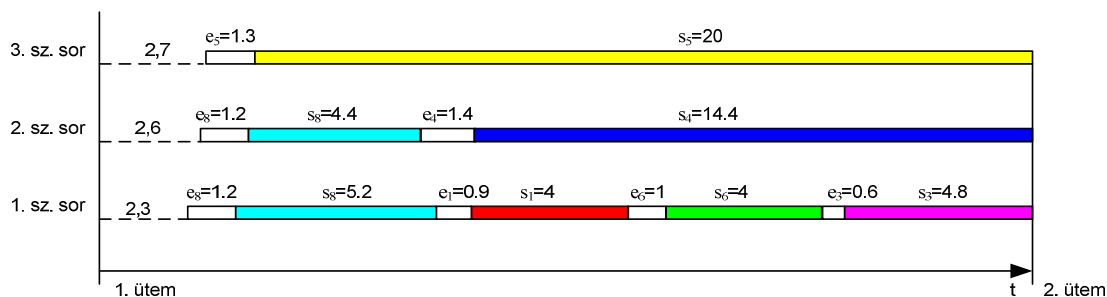
Olyan adatstruktúrát vettünk fel, amely a célul kitűzött különböző célfüggvények összehasonlításán kívül egyaránt alkalmas érzékenységi vizsgálatra, ill. a különböző optimalizálandó módszerek összehasonlítására is. Az előzőekben ismertetett számpélda bővített célfüggvénnyel történő megoldása során, a **b** esetre (4) vonatkozó Y hozzárendelési mátrixot tekintettük kiinduló adatnak, azaz adottnak tételeztük fel a szerelőüzemek felhasználókhöz történő hozzárendelését. Mivel ezen hozzárendelést már korábban elvégeztük, így ezt csak átvettük a [3] dolgozattól. A korábban ismertetett algoritmus segítségével ezen hozzárendelés a bővített költségfüggvények figyelembevételével a következőképpen módosult:

$$Y = \begin{matrix} \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ \epsilon \\ \vdots \\ r \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1^{0^0} & 0^{0^0} & 0.33^{0.67} & 1^{0^0} & 1^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 1^{0^0} \\ 0^{0.8^{0.2}} & 0^{0^1} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^1} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} \\ 0^{0^0} & 0^{0^1} & 0^{0^1} & 0^{0^0} & 0^{0^1} & 0.5^{0.5^0} & 0^{0^0} & 0.50^{0.5^0} \\ 0^{0^0} & 0^{0^1} & 0^{1^0} & 0.5^{0.5^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} \\ 1^{0^0} & 0.5^{0.5^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0.17^{0.83} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 1^{0^0} \\ 0.5^{0.5^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0.33^{0.67}} & 0.25^{75} & 0^{0^0} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Az Y háromdimenziós mátrixot úgy írjuk át a tömörebb ábrázolás érdekében, hogy  $Y = [y_{ei}^v]$ , vagyis a síkban az  $y_{ei}$  mátrix szerepel, azaz a mátrix sorai a felhasználókat jelentik, az oszlopok pedig a termékeket, valamint a v értéke kisebb számokkal a lapmélységet kifejezve oldalt kissé eltolva jelenik meg, tehát az első üzem a síkban, a második üzem az első kitévőben, míg a harmadik üzem a második kitévőben szerepel. Ebben a dolgozatban vizsgálódásunk tárgya a módosított hozzárendelés költségkomponenseinek meghatározása, mely során az első lépésben átvesszük a korábbi optimalizálás által kiadott Y hozzárendelési mátrixot [3], majd a második lépésben a korábbi dolgozatokban ismertetett algoritmus segítségével módosítjuk az Y hozzárendelési mátrixot a bővített célfüggvények figyelembevételével.

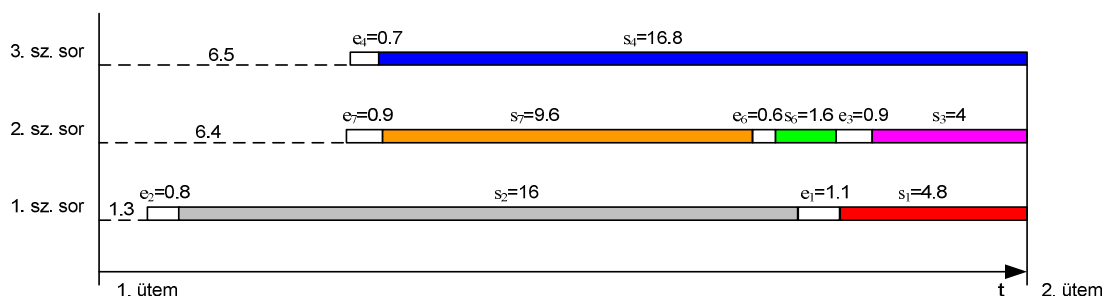
Az Y hozzárendelési mátrix segítségével meghatározható, hogy az egyes üzemek az egyes felhasználóknak termékeként mennyit szállítanak a bővített költségfüggvényeket figyelembe vevő optimalizálás során. Ezen Y mátrixot, mely az éves késztermék mennyiségeket tartalmazza a felhasználók és szerelőüzemek vonatkozásában, fel kell bontani 250 ütemre, vagyis napi beszállításokra. Jelen dolgozatban egyforma mennyiségű ütemekre bontjuk fel (egyenletes eloszlást tételezünk fel).

Az előző fejezetben ismertetett algoritmus segítségével megoldva a példát a következő 3 ábrán szemléltetjük az egyes szerelőüzemek szerelősorainak ütemenkénti kihasználtságát. A függőleges tengelyen a szerelősorokat, a vízszintes tengelyen az időt ábrázoltuk. Az ábrákon üres téglalappal vannak feltüntetve a szereléselőkészületi idők, színessel az egyes termékek szerelési idejei, míg egyenes vonallal a sorok állásidejei vannak reprezentálva:



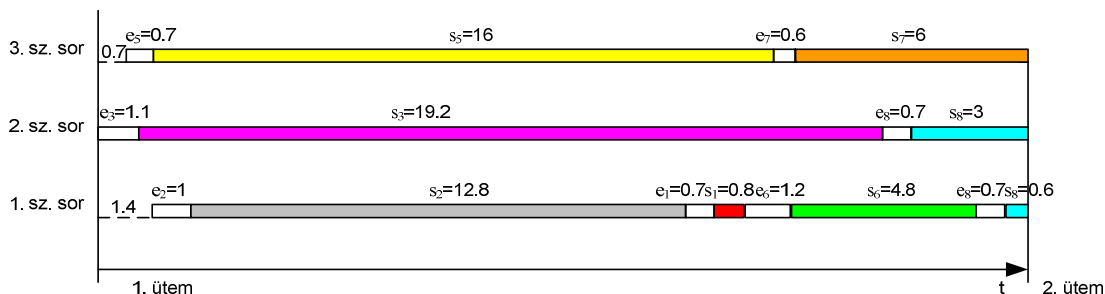
1. ábra: Az 1. üzem szerelősorainak első ütemre vonatkozó időbeni leterhelése

Az első üzem szerelősorainak diagramjából megállapítható, hogy mindhárom szerelősor hasonló kihasználtságot mutat. Az első sor a maga 21,7 órájával 90,42 %, a második sor (21,4 óra) 89,17 %, míg a 3. szerelősor 21,3 órával 88,75 %. Az első üzem teljes kihasználtsága 89,44 %. Látható, hogy a működő szerelősorok minimális számának teljesítése végett a 8. termék esetében meg kellett bontani a sorozatot.



2. ábra: A 2. üzem szerelősorainak első ütemre vonatkozó időbeni leterhelése

A második üzem három szerelősorának terhelési diagramjaiból megállapítható, hogy egyik szerelősor sincs 100 %-ig kihasználva. Az első sor teljesít a legjobban a maga 22,7 órájával (94,583 %), míg a második és a harmadik szerelősor nagyon rossz kihasználtságot mutat (17,6 óra) 73,33 %, illetve (17,5 óra), ami csak 72,916 %. Az üzem teljes kihasználtsága 80,27 %, ami a három szerelőüzem vonatkozásában a leggyengébb.



3. ábra: A 3. üzem szerelősorainak első ütemre vonatkozó időbeni leterhelése

A harmadik üzem második szerelősora 100 %-ig ki van használva. A harmadik sor a maga 23,3 órájával 97,083 %-os kihasználtságot mutat, míg legrosszabbul az 1. szerelősor teljesít a maga 22,6 órájával, ami 94,16 %. Az üzem teljes kihasználtsága 97,083 %, ami legjobb az üzemek közül. A működő szerelősorok minimális számának teljesítése végett a 8. termék esetében itt is meg kellett bontani a sorozatot.

Az ábrák segítségével könnyedén meghatározható az egyes késztermékek raktározási költsége, és a 2. fejezetben felvett fajlagos költségek felhasználásával a keresett célfüggvényértékek is kiszámíthatóak.



1. táblázat: Üzemenkénti és felhasználónkénti szállítási és szerelési költségek

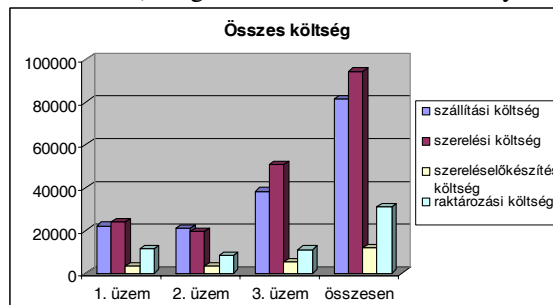
Vevők	Szállítási költség [k <sub>0</sub> ]				Szerelési költség [k <sub>0</sub> ]			
	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes
1.	2260	0	4800	7060	12900	0	6000	18900
2.	-	2100	6000	8100	-	3150	8250	11400
3.	10080	4000	10000	24080	5100	1350	15375	21825
4.	540	2950	0	3490	800	6000	0	6800
5.	8000	8100	16000	32100	4500	6600	10625	21725
6.	1320	3720	1580	6620	700	2400	10625	13725
Össz.	22200	20870	38380	81450	24000	19500	50875	94375

A szállítási költségek elemzése során a 4. felhasználó esetében találhatjuk meg a legkisebb értéket (3490 k<sub>0</sub>), míg a legnagyobb szállítási költséget az 5. felhasználónál realizálhatjuk (16000 k<sub>0</sub>). A szerelési költségek esetében is a 4. felhasználónál található a legkisebb érték (6800 k<sub>0</sub>), míg a legnagyobb költség a 3. felhasználó esetén adódik (21825 k<sub>0</sub>), melyet az 5. felhasználó szorosan követ (21725 k<sub>0</sub>). Mind a szállítási, mind a szerelési költség esetében a 3. szerelőüzemnél adódik az összköltségek vonatkozásában a legnagyobb arány (47,12 % és 53,91 %), míg a legkisebb a 2. üzemnél (25,62 % és 20,66 %) olvasható le.

2. táblázat: Üzemenkénti és felhasználónkénti szereléselőkészítési és raktározási költségek

Vevők	Szereléselőkészítési költség [k <sub>0</sub> ]				Raktározási költség [k <sub>0</sub> ]			
	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes
1.	1427	0	366,67	1793,67	6014,917	0	532	6546,917
2.	-	562,5	840	1402,5	-	741	2420	3161
3.	1175	300	2243,33	3718,33	1870,375	570	3949	6389,375
4.	250	1300,43	0	1550,43	360	3078	0	3438
5.	400,5	577,17	500	1477,67	2567,458	3228	2250	8045,458
6.	100	487,5	1450	2037,5	496	927	2070	3493
Össz.	3352,5	3227,6	5400	11980,1	11308,75	8544	11221	31073,75

A szereléselőkészítési költségek elemzésénél a 2. felhasználó esetében találhatjuk meg a legkisebb értéket (1402,5 k<sub>0</sub>), melyet szorosan követ az 5. és 4. felhasználó, ugyanakkor a legnagyobb előkészítési költséget a 3. felhasználónál realizálhatjuk (3718,33 k<sub>0</sub>). A raktározási költségek esetében a 2. felhasználónál található a legkisebb érték (3161 k<sub>0</sub>), melyet szorosan követ a 4. és 6. felhasználó, míg a legnagyobb költség az 5. felhasználó esetén adódik (8045,458 k<sub>0</sub>). A raktározási költségnél az 1. és 3. üzem jelenti a legnagyobb arányt (36,39 % és 36,11 %), míg a második üzem kisebb súllyal szerepel 27,5 %-kal.



4. ábra: Az összköltség üzemenkénti és komponensenkénti diagrammja

A raktározási költségek mindhárom üzemnél csökkentek, míg a szállítási költségek minden üzem esetén növekedtek. A szerelési költségek a 2. üzemnél nőttek, a harmadiknál nem változtak, míg az 1. üzemnél csökkentek. Az előkészületi költségek csak a 3. üzem esetében emelkedtek, a másik kettőnél csökkentek. A szerelősorok állásidejéből származó veszteségi költség összesen 77,1 k<sub>0</sub>, ami az egyes üzemek esetén a következőképpen alakul: 24,7 k<sub>0</sub>, 34,8 k<sub>0</sub> és 17,6 k<sub>0</sub>. Látható, hogy a legnagyobb arányban a 2. üzem szerepel (45,1 %), ami nem meglepő, hiszen ezen üzem szerelősorainak a kihasználtsága a legmagasabb.

náltsága volt a legrosszabb (80,27 %). Jelen példánál késve kiszállításból származó veszteségi költség nem volt, ugyanis egyenletes eloszlást (ütemenként az évi termelés 250-ed része) tételeztük fel.

3. táblázat: A hozzárendelés költségei termékenként

ermék	költségek [k <sub>0</sub> ]				
	szállítási	szerelési	előkészítési	raktározási	összesen
1.	7320	7350	1875	3788	20333
2.	11480	16000	1200	9416	38096
3.	7120	12300	1625	1518	22563
4.	6030	6800	1002,6	3456	17288,6
5.	20900	22750	802,5	5960	50412,5
6.	10800	9000	2100	3360	25260
7.	4840	9450	1075	2148	17513
8.	12960	10725	2300	1427,75	27412,75
Össz.	81450	94375	11980,1	31073,75	218878,85

A táblázatból megállapítható, hogy a legkisebb szerelési költség a 4. termék esetében áll fenn (6800 k<sub>0</sub>), ugyanakkor a legnagyobb szerelési költség az 5. termékénél (22750 k<sub>0</sub>) van. A szállítási költségek elemzése során a 7. termék esetén találhatjuk meg a legkisebb értéket (4840 k<sub>0</sub>), míg a legnagyobb szállítási költséget az 5. termék elosztása okozza (20900 k<sub>0</sub>). Végül a raktározási költségek tekintetében a legkisebb érték a 8. termékénél (1427,75 k<sub>0</sub>) lelhető fel, míg a legnagyobb érték a 2. termékénél (9416 k<sub>0</sub>) található. Ugyanezen értékek az összköltség tekintetében a 4. termék esetén a legkisebb, melyet szorosán követ a 7. termék, míg az 5. termék estén a legnagyobb, melyet messze lemaradva követ a 2. termék. A számértékekből az is nyilvánvalóan kitűnik, hogy az összköltségek vonatkozásában a legkisebb hányadot a szereléselőkészítési költségek teszik ki (5,5 %), szemben a raktározási (14,2 %), szállítási (37,2 %) és szerelési költségekkel (43,1 %). A szállítási költség a 6. és 8. termékénél teszi ki az összköltség legnagyobb százalékát, míg az összes többi termékénél a szerelési költségek okozzák az összköltség tekintélyes részét.

Összköltségek vonatkozásában a szállítási költség 3,67 %-kal nőtt, míg a szerelési költség alig (0,05 %), addig az előkészítési és raktározási költség jelentősen csökkent (8,02 %, 38,37 %), így a teljes összköltség 7,43%-kal javult. A 2. 7. és 8. termékénél növekedett az összköltség, míg a többi termék esetében csökkent.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tudományos dolgozatban vázolva lettek a bővített célfüggvény segítségével történő hozzárendelési lehetőségek és bemutatásra került a logisztikával integrált szerelésütemezés algoritmus. Végül sor került a bővített célfüggvényes optimalizálásra kidolgozott algoritmus optimum érzékenységi vizsgálatára, illetve a költségkomponensek arányainak elemzésére is.

#### 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] OLÁH, B., BÁNYAI, T., CSELÉNYI, J.: Logistical tasks of co-operative assembly plants. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on AED, Prague, Process Engineering Publisher, 2003. pp. 110.
- [2] OLÁH, B., BÁNYAI, T., CSELÉNYI, J.: Sensitivity analysis of optimal assignment of assembly plants and end users within the framework of products in a cooperative assembly system. Proceedings of microCAD 2004, Miskolc, University Press, 2004. pp. 97-102.
- [3] OLÁH, B., BÁNYAI, T., CSELÉNYI, J.: Comparison of direct and indirect distribution of a network-like operating logistics integrated assembly system. Production Systems and Information Engineering, Volume 4 (2006) Miskolc University Press, 2006. pp. 125-145.

# Alternáló mozgást végző dugattyúrúd tömítés vége-selemes modellezése

## FINITE ELEMENT MODELLING OF ALTERNANT MOVING ROD SEAL

PÁLFI László

gépészmérnök, Phd hallgató  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezet-tani Intézet  
H-1111, Budapest, Műegyetem rkp. 3., K. épület Mfsz. 84  
Tel/Fax.: (+36)-1-463-23-45 / (+36)-1-463-35-10  
palfi.laszlo@gszi.bme.hu

### ABSTRACT

*The main goal of this paper is to examine the different load cases of elastomeric seals, possess non-linear and time dependent material behaviour, with finite element method. We also present, in an example, how the friction can be taken into account, with a special focus on hysteresis and mixed friction.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A cikk nem-lineáris és időfüggő anyagi viselkedésű elasztomer tömítés különböző terhelési állapotait vizsgálja vége-selemes módszer segítségével. Egy példán keresztül bemutatásra kerül, hogy hogyan vehetjük számításba az elasztomer tömítések különböző súrlódási okait, különös tekintettel a hiszterézis és a vegyes súrlódási állapot okozta súrlódásra.*

**Kulcsszavak:** elasztomer tömítés, súrlódás, hiszterézis, nem lineáris anyagviselkedés, időfüggő anyagviselkedés

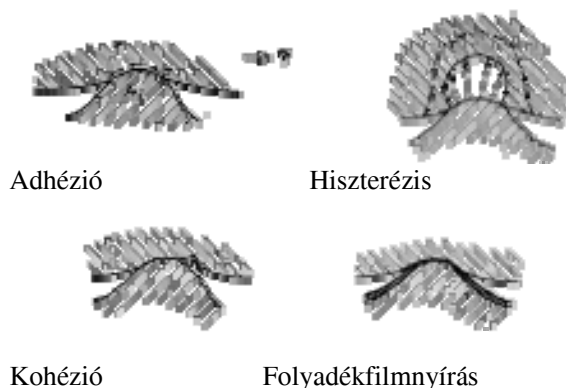
### 1. BEVEZETÉS

Az axiális mozgást végző dugattyúrúd tömítésekkel főként hidraulika és pneumatika munkahengerekben találkozhatunk. Ezen tömítéseknek élettartamuk során számos munkaciklust kell teljesíteniük meghibásodás nélkül. Ahhoz, hogy a dugattyúrúd tömítéseket megfelelően tudjuk adott élettartamra tervezni, elengedhetetlen, hogy ismerjük tribológiai viselkedésüket. Az elasztomerek tribológiája, nem csak az egymáson egymáshoz képes elmozduló testek mechanikai és fizikai tulajdonságaival foglalkozik, hanem azok kémiai, termomechanikai, mechano-kémiai és tribo-kémiai tulajdonságaival is.

### 2. AZ ELASZTOMEREK SÚRLÓDÁSÁNAK OKAI [1]

Az elasztomerek szakadási nyúlása elérheti az 1000%-ot, rugalmassági modulusuk megközelítőleg hat nagyságrenddel kisebb a fémekhez képest. A gumi Poisson's tényezője közelítőleg  $\nu=0,49$ , ami azt jelenti, hogy majdnem teljesen összenyomhatatlan.

Az axiális mozgást végző tömítések súrlódási viselkedésében a súrlódásnak négy okát lehet megnevezni: az adhézió, a hiszterézis, a kohézió és folyadékfilmnyírás okozta súrlódás (1. ábra).



1. ábra  
A gumik súrlódásának négy fő oka [1]

Az adhézió oka a felületi energia, amelyet a felületen lévő atomok szabad energiáinak összessége hoz létre. Ez a szabad energia magához köti a vele érintkező szilárd testet, de a környezetében lévő gáz és gőz molekulákat is. Eddig kutatások szerint a gumi-fém súrlódópár esetén az adhéziós erő növekedett, amikor növelték az érintkezés idejét, a hőmérsékletet, a terhelést vagy csökkentették a molekulasúlyt és a lágyítók mennyiségét.

A keresztkötéseket nem tartalmazó molekulalánc részek miatt a gumik alakváltozása időfüggő. A gumik alakváltozásuk közben a „belső súrlódásuk” révén energiát emésztnek fel, amit hő formájában közölnek, ez a hiszterézis.

A kohéziós súrlódás a másik három súrlódási formához képes elhanyagolhatóan kicsi az elasztomerek esetében.

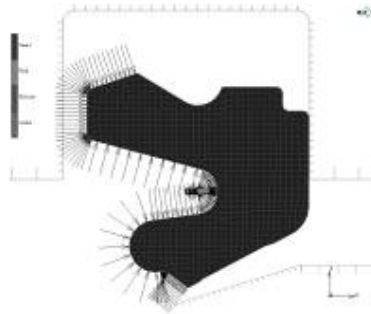
Folyadéksúrlódási állapot esetében az egymáson elmozduló súrlódó felületeket teljes egészében folyadékfilm választja el, súrlódási veszteség csak a folyadékban keletkezik, a folyadékfilm nyírása következtében. Kedvező, mert kicsi a súrlódás, a hőmérséklet állandósítható és kicsi a kopás. A folyadék filmnyírást a Newton törvénnyel írhatjuk le.

### 3. A VÉGESELEMES MODELL

A modellezés célja, hogy a terhelési esetekre megállapítsuk a tömítés deformált alakjait, nyúlásokat, és a feszültségi állapotokat.

A tömítés működése során a teljes súrlódási tényező tartalmazza az adhézió, a hiszterézis, a folyadékfilmnyírás és a vegyes súrlódási állapotból adódó hatásokat. Vegyes súrlódási állapot esetében foltokban kialakulhat gumi-fém érintkezés, ami adhéziós kapcsolathoz vezethet. A folyadékfilmnyírást és a vegyes súrlódást jellemző súrlódási tényezőt modellezés során előre be kell állítani. Ezt a súrlódási tényezőt  $e$  modellben  $\mu=0,01$ -re állítottam előzetes mérések alapján. A hiszterézisből származó súrlódási tényező a gumi veszteségi tényezőjéből fakad. Ezt a modellezés során az anyagi viselkedéssel időfüggésével lehet figyelembe venni. Az időfüggő anyagi viselkedést gumik esetében legjobban az általános Maxwell modell segítségével lehet modellezni. Ha a  $\mu=0$  súrlódási tényezőt beállítva végezzünk számítást a súrlódási tényező hiszterézis komponensét kapjuk meg közvetlenül.

A modellezés során a dugattyúrúd és a ház a gumitömítéshez képest sokkal merevebbek, ezért ezeket ideálisan merev testként modelleztem. A gumitömítés 21794 darab 8 csomópontos, Herrmann-típusú elemből [2] épült fel, amelyek összenyomhatatlan tulajdonsággal rendelkeznek. (2. ábra). A tömítés és környezetének geometriáját a 3. ábra mutatja.



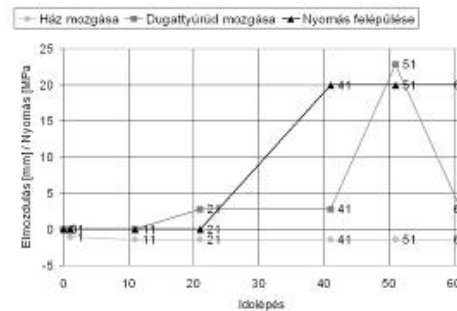
2. ábra,  
A végelelemes modell



3. ábra  
A tömítés beépítési környezete

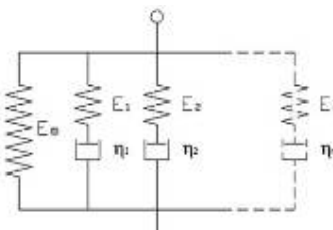
A modell négy terhelési esetet vesz figyelembe (4. ábra):

1. A tömítés házba beszerelését követő statikus (előfeszített) állapota. A beszerelés során a ház -Y irányba mozog egészen, míg el nem éri valós geometriai méretét.
2. A dugattyúrúd behelyezése a házba. A dugattyúrúd -X irányba elmozdul, miközben a tömítés alsó ajkát fel nem nyomja.
3. A nyomás ráadása a tömítésre. A dugattyúrúd beszerelését követően a tömített térben folyamatosan felépül a nyomás. A tömített térben az üzemi nyomás  $p = 20\text{MPa}$ .
4. A dugattyúrúd mozgatása axiális irányban. A beszerelést és a nyomásfelépülést követően a dugattyúrúd axiális mozgást végez  $v=100\text{ mm/s}$ -os sebességgel.



4. ábra  
A mozgásvezérlés diagramja

A gumi időtől független anyagi viselkedését a kétparaméteres Mooney-Rivlin anyagtörvénnyel vettem figyelembe. A modellben használt Mooney-Rivlin paraméterek:  $C_{01}=80\text{ MPa}$  és  $C_{10}=320\text{ MPa}$ . [3]. A viszkoelasztikus viselkedés leírásához általánosított Maxwell modellt alkalmaztam, melynek paraméterei feszültség relaxációs mérésrel meghatározott veszteségi tényező mestergörbére történő illesztésből származtak (5. ábra) [4]. (A mérések és a kapcsolódó számításokat elkészítésében és kiértékelésében Dr. Goda Tibor Főiskolai docens (BMF) és Felhő Dávid doktorandusz (BME) segítettek).

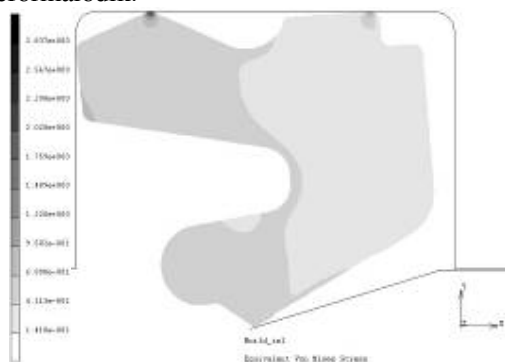


5. ábra  
A n-ágú általánosított Maxwell modell

#### 4. VEM EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

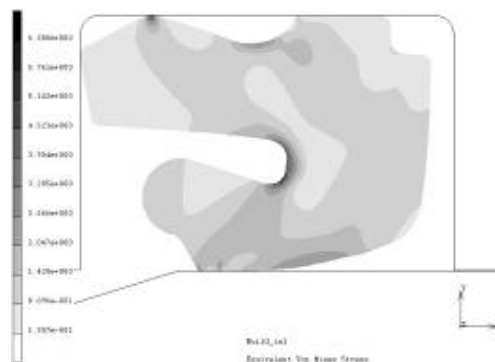
A modellezés során kapott feszültségi eredményeket a 6-8. ábrák mutatják. Jól látható, hogy a tömítés legnagyobb igénybevételnek a nyomás ráadását követően van kitéve, a maximális feszültség ekkor  $\sigma_{\max} = 65,8\text{MPa}$  (**Error! Reference source not found.**), ehhez tartozó legnagyobb deformáció a tömítés felső részén, a horonynál található ( $\varepsilon = 146\%$ ). A tömítés felső részének kialakításán a geometria változtatásával lehetne javítani, hogy elkerüljük a nagy nyúlásokat és a nagy lokális feszültség értékeket.

A dugattyúrúd mozgása során a tömítés ajka és alsó fele a dugattyúrúd elmozdulásának irányába deformálódik.



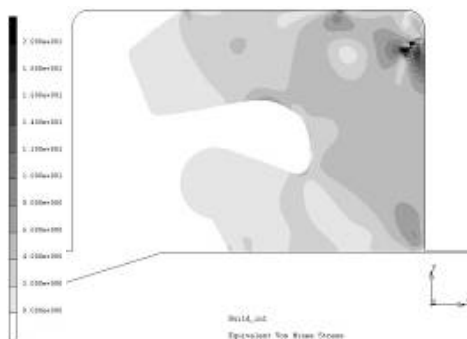
6. ábra

Mises szerinti egyenértékű feszültség eloszlás, a tömítés házba beszerelését követően  
( $\sigma_{\max} = 2,84\text{MPa}$ )



7. ábra

Mises szerinti egyenértékű feszültség eloszlás, a dugattyúrúd behelyezése a házba  
( $\sigma_{\max} = 6,38\text{MPa}$ )



8. ábra

Mises szerinti egyenértékű feszültség eloszlás, a nyomás ráadását követően ( $\sigma_{\max} = 65,8\text{MPa}$ )

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Goda Tibor Főiskolai docensnrk (BMF) és Felhő Dávid doktorandusznak (BME), akik a mérések és a kapcsolódó számításokat elkészítésében és kiértékelésében segítettek.

#### IRODALOM

- [1] Si-Wei Zhang, Tribology of Elastomer, University of Petroleum Beijing, People's Republic of China, 2004
- [2] MSC.Marc Volume B: Element Library, Chapter 3, Version 2001, April, 2001
- [3] MSC.Marc Volume A: Theory of User Information, Version 2001, April, 2001
- [4] Bodor Géza, Vas László M.: Polimerek anyagszerkeztana Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001

## A színes moiréjelenség alkalmazásának vizsgálata síkbeli elmozdulások esetén

### ANALYSIS OF COLOR MOIRÉ PHENOMENON FOR IN-PLANE DISPLACEMENT MEASUREMENTS

PAVELEVA Daria<sup>1</sup>, WENZEL Klára<sup>2</sup>, ANTAL Ákos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>doktorandusz hallgató, <sup>2</sup>egyetemi magántanár, <sup>3</sup>kutató  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
H-1521 Budapest, Műegyetem rkp. 1-3. E ép. III/15,  
tel.: +36 1 463-2412, fax: +36 1 463-3787, email: pavelyeva@mom.bme.hu

#### ABSTRACT

*Proposed method is disclosed for providing moiré in-plane displacement measurements of the diffusely reflective surface from a reference position. In the method special color coded patterns were used. Their application gives information about the direction of linear and rotational displacement of the object from only one moiré image.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Az ismertetésre kerülő módszert diffúzan reflektáló felületeken történő, referencia ponthoz viszonyított síkbeli elmozdulások vizsgálatára fejlesztettük ki. A módszer különlegessége az alkalmazott speciálisan kódolt színes rács. Segítségével az elmozdulás és az elfordulás irányáról egyetlen moiréképből nyerhetünk információt.*

**Kulcsszavak:** moirémódszer, ronchi rácsok, szögmérés, színinformáció, projekciós moiré

#### BEVEZETŐ

A moirétechnika jelenleg a térbeli felületek alak- és elmozdulásmérésének gyakran előnyben részesített módszere, fő alkalmazási területe a mechanikai feszültség mérése, rezgés analízis, síkbeli lineáris elmozdulás és szögelfordulás detektálása. Síkbeli mérések esetén más módszerrel kiegészítve a mérés pontossága jelentősen növelhető [1]. Az alkalmazott módszerek érintéssesek és érintésmentesek egyaránt lehetnek különböző érzékenységgel, azonban az esetek döntő többségében éppen egyszerűsége és olcsósága miatt síkbeli mérések esetén ott alkalmazzák, ahol közepes érzékenységre van szükség. Ahogy más módszereknek, a moirének is vannak hátrányai, mint például az elmozdulás nagyságának ismerete mellett az irányra vonatkozó információ hiánya. Általában erre a feladatra további érzékelőket alkalmaznak, ami jelentősen növeli a költségeket és bonyolítja a berendezést. Az alábbiakban egy új módszert ajánlunk és mutatunk be, amely alapja a színes moirémódszer. Segítségével a berendezés kiegészítése nélkül kapunk információt az elmozdulás irányáról.

#### ELMÉLET

##### A moiréjelenség

A moiré nem személynév, hanem egy francia eredetű – habos vagy lángmintát jelenő – szó. A moirémódszert redukált érzékenységű vizsgálatokra először Lord Rayleigh ajánlotta 1874-ben [2]. Magát a jelenséget két periodikus vagy kváziperiodikus struktúra egymásrahatásakor lehet megfigyelni. Amikor ez a két struktúra közel azonos vagy csak jelentéktelenül eltérő csíktávolságú és közel párhuzamos, akkor egy új struktúra – a moiréjelenség – keletkezik. Három fő típusát különböztetjük meg.

Az 1. ábrán látható struktúrák a moirécsíkok, melyek távolsága és iránya az egymásra helyezett struktúrák csíktávolságától és irányától függ [3].



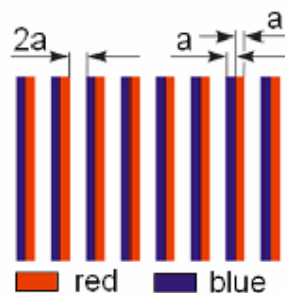
1. ábra

*Két egyenes csíkozat által létrehozott moiréképek. Két azonos rács elforgatva (a), különböző frekvenciájú rácsok elforgatás nélkül (b) illetve két különböző rács elforgatva (c).*

A gyakorlati alkalmazásokhoz egyenközű és fekete illetve átlátszó csíkozatú rácsokat alkalmaznak. Az ilyen típusú amplitúdó rácsokat gyakran Ronchi rácsoknak [4] nevezik első előállítójuk után.

### A színes moiréjelenség

Az alábbi módszer nagyon egyszerű, a színes felvételi eszközön kívül más, többlet berendezést nem igényel, a képek feldolgozásához szükséges összefüggések megegyeznek a hagyományos projekciós módszernél alkalmazottal. Az módszer alapja [5] egy feltételezés, mely szerint a színes rácsok alkalmazása feloldja a fentiekben említett ellentmondást. A színes rácsok speciálisan kódoltak: a fekete-fehér rács fekete része helyett egy, két színből álló rész kerül alkalmazásra, melynek szélessége megegyezik az átlátszó részével. A vörös (R: 255, G: 0, B: 0) és kék (R: 0, G: 0, B: 255) színekből álló rács képe a 2. ábrán látható.

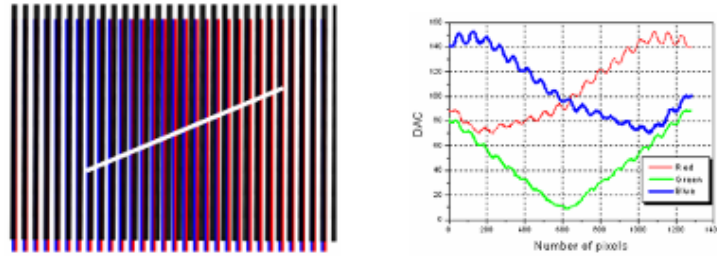


2. ábra

*Színes kódolású moirérács*

A színes moiréjelenség alkalmazásával a jelenség mentén színínger változást tudunk előidézni, ahogy ez a 3. ábra bal oldalán látható. A jelenség színkomponensekre bontásának eredménye a jobb oldali képen látható [6], amiből a színíngerek változása jól követhető.



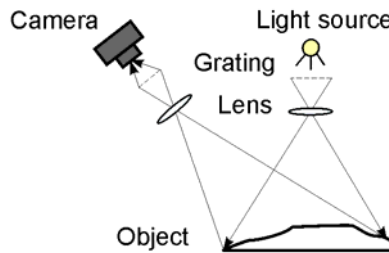


3. ábra

Egy hagyományos ronchi-rács és a leírt színes kódolású rács által keltett színes moirékép. A diagram a bal oldali ábrán látható egyenes mentén végzett mintavételezés alapján nyert vörös, zöld és kék színínger komponenseket mutatja DAC értékekben, mely 0 és 255 közötti egész értékeket vehet fel.

**Színes moiréjelenség alkalmazása síkbeli elmozdulás mérésére**

Mindkét módszer esetén a projekciós moiréelrendezés elvét alkalmazzuk, ahogy ez a 4. ábrán is látható. Színes kódolású rácsot képezünk le, vagy nyomtatunk a felületre és egy fekete-fehér rácson keresztül szemléljük.

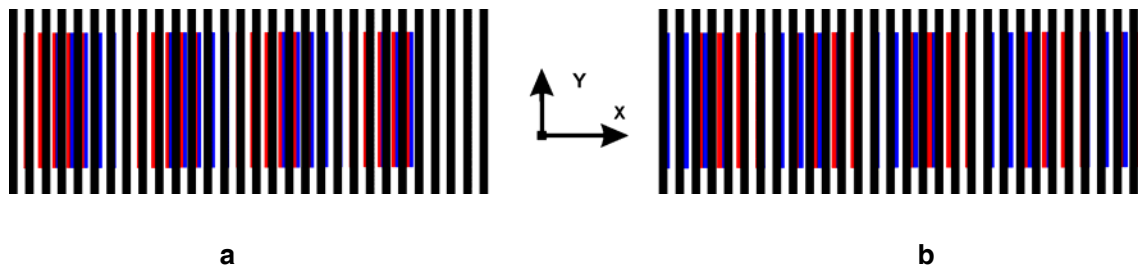


4. ábra

A projekciós elrendezés vázlata

**Lineáris elmozdulás**

A színes moiréjelenség alkalmazása lineáris elmozdulás – amibe a felületi nyúlás illetve az összetömrődés is beleértendő – mérésére az 5. ábra (a) és (b) részén látható. Az ábrákból jól látható, hogy a nyújtott illetve az összenyomott felület esetén a színek sorrendje eltérő. Hagyományos fekete-fehér moiréjelenség alkalmazása esetén az irány nem különböztethető meg.

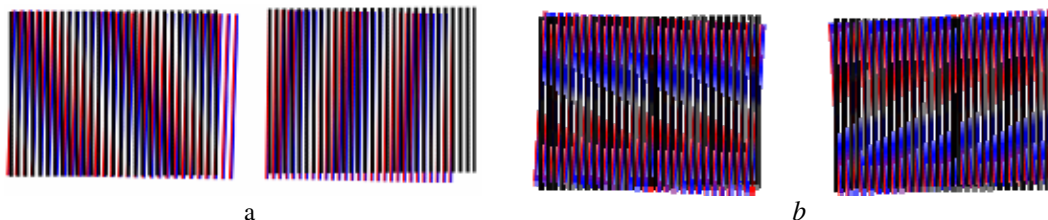


5. ábra

Színes moiréképek nyomott (a) illetve húzott (b) felületek esetén

**Szögelfordulás**

A szögelfordulás irányának meghatározása hasonló elvek alapján történik, mint lineáris elmozdulás esetén. Ebben az esetben két változat lehetséges, amikor a szögelfordulás mellett a felület még nyúlik, vagy összenyomódik, vagy csak tisztán elfordul. Ezen esetekhez tartozó moiréképek a 6. ábra (a) és (b) részén láthatók.



6. ábra

*Színes moiréképek, melyeken a felület a szögelfordulás mellett még nyúlik, vagy összenyomódik (a), vagy csak tisztán elfordul (b).*

Megvizsgálva a 6. ábra színes moiréképeit látható, hogy az azonos irányú és mértékű szögelfordulás alatt nyúlás (bal kép) illetve összenyomódás (jobb kép) esetén a színek sorrendje eltérő (a). A 6. ábra (b) részében tisztán elforduló felület esetén az ellentétes irányú elfordulásokhoz ellentétes szín-sorrend tartozik. Az elfordulás irányának meghatározása után annak mértékét a moiréképek feldolgozására hagyományosan alkalmazott összefüggések segítségével tudjuk elvégezni:

$$\Theta = p/P$$

ahol kis szögek esetén  $\Theta$  - az elfordulás szöge,  $p$  - az alaprács csíktávolsága,  $P$  - a moirécsíkok távolsága. Így a színes moiréképek alkalmazásával gyorsan és egyszerűen olvasható ki a teljes információ – a szög nagysága és iránya – egyetlen képből.

**KÖVETKEZTETÉSEK**

Elemeztük a színes moiréjelenség alkalmazásának lehetőségeit síkbeli elmozdulásokra, bemutattuk az elfordulás esetén jelentkező színes moirékép változatokat és azok értékelésének módját.

**IRODALMI HIVATKOZÁSOK**

- [1] M. Ya, Y. Xing, F. Dai, K. Lu, J. Lua: Study of residual stress in surface nanostructured AISI 316L stainless steel using two mechanical methods, *Surface and Coatings Technology* **168**, 148–155 (2003)
- [2] D. M. Meadows, W. O. Johnson, J. B. Allen: Generation of surface contours by moiré patterns, *Applied Optics* **9**, 942-947 (1970)
- [3] K. Patorski, M. Kujawinska: *Handbook of the moiré fringe technique*, Elsevier Science Publishers, New York, (1993)
- [4] V. Ronchi: Forty Years of History of a Grating Interferometer, *Applied Optics* **3**, 437-451 (1964)
- [5] K. Wenzel: Colour Moire patterns, *Image and Sound Technology* **38**, 52-53 (1992)
- [6] A. Antal, D. Paveleva: Projection method of resolving ambiguities by determining the order of colors in Moiré fringes, *Applied Optics* **44**, 7709-7713 (2005)

# Csőhibák héjelméleten alapuló szilárdságtani vizsgálata

## MECHANICAL ANALYSIS OF PIPELINE DAMAGES USING SHELL THEORY

Dr. Pere Balázs<sup>1</sup>, Dr. habil. Égert János<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi adjunktus, <sup>2</sup>egyetemi tanár

Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezettan és Mechanika Tanszék, H-9026 Győr, Egyetem tér 1.  
Tel.: +36-96-503400, e-mail: perebal@sze.hu, egert@sze.hu

### ABSTRACT

*Oil and gas pipelines often have welding failures and outer damages. It is very important to know that these failures and damages how influence the safe operation of pipes. In this article layered shell mechanical models are applied to clarify the strain and stress state in the neighborhood of three kinds of artificial damages. Three FE models are used for the investigation of the normal working conditions and an additional one for the experimental check. At the end some numerical results are shown for the three kinds of damages.*

### ÖSSZEFOGLALÁS

*Nagy átmérőjű olaj és gázvezetékeknél gyakran fordulnak elő hegesztésből származó hibák és külső hatásokból származó sérülések. Fontos kérdés annak eldöntése, hogy ezek a hibák, sérülések milyen kockázatot jelentenek a csővezeték biztonságos működése vonatkozásában. A cikk rétegelt héjmodell alkalmazásával kísérli meg három „mesterséges” hibahely környezetében kialakuló szilárdságtani állapotok tisztázását. Az üzemi körülmények vizsgálatára három, a kísérleti körülmények vizsgálatára egy végeelem modellt épít fel. Az előadás számítási eredményeket ismertet mindhárom hibatípusra.*

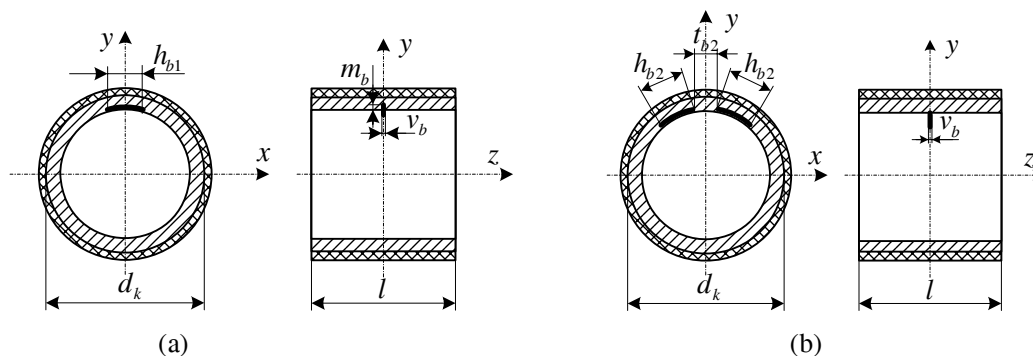
**Kulcsszavak:** Csőhibák, szilárdságtani vizsgálat, végeelem módszer

### 1. BEVEZETÉS

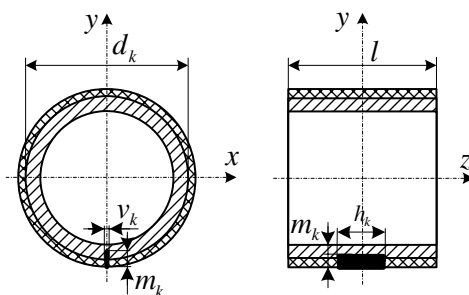
Földbe ágyazott olaj, vagy gázvezetékek hibái, sérülései leggyakrabban két okra vezethetők vissza. Az egyik ok a helyszíni hegesztések hibás kivitelezése, aminek következtében a vezeték körvarratainál jelenik meg hiba a cső belső felületén. A másik ok a csővezetékeken, vagy azok fölött végzett munkák, amelyek során a munkagép, ekevas, stb. okoz sérülést a cső külső felületén. Kérdés, hogy ezek a hibák, sérülések milyen kockázatot jelentenek a csővezeték biztonságos működésére nézve.

A kérdés megválaszolásához tisztázni kell a hibahely környezetében kialakuló szilárdságtani állapotokat (alakváltozásokat, feszültségeket). A munka keretében három mesterséges hiba környezetét vizsgáltuk meg végeelem módszerrel az I-DEAS programrendszer alkalmazásával. Ezeknek a mesterséges hibáknak a környezetében a későbbiekben nyúlásméréssel is meghatározunk diszkrét helyeken fajlagos nyúlás értékeket kísérleti körülmények között, amelyek a numerikus vizsgálatok hitelesítését teszik lehetővé.

## 2. A VIZSGÁLT MESTERSÉGES HIBÁK



1. ábra: A mesterséges varrathibák geometriája



2. ábra: A mesterséges külső sérülés geometriája

A vizsgált  $d_k = 323,9$  mm külső átmérőjű,  $t_a = 7,1$  mm falvastagságú acélcsövön  $t_a = 3,12$  mm-es kis sűrűségű polietilén (LDPE) szigetelőréteg van (1., 2. ábra). Az acélcső és a szigetelőréteg mechanikai anyagállandóit a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszéke bocsátotta rendelkezésre (1. táblázat).

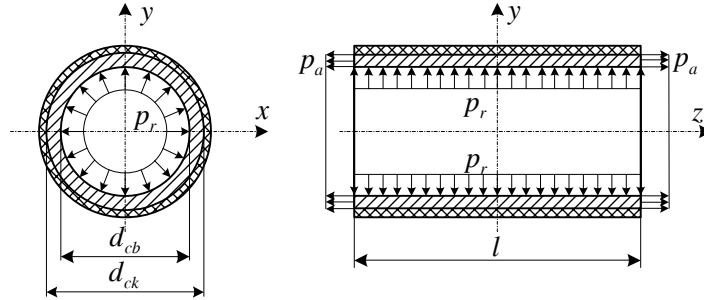
1. táblázat: Mechanikai anyagjellemzők

Anyag	E [MPa]	$\nu$ [-]	$R_{t0,5}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]
Acél	205 000	0,3	499	603
LDPE	527	0,31	-	12,8

A numerikus vizsgálatokat olyan mesterséges hiba- és sérülés geometriákra végeztük el, amelyek a tervezett kísérleteknél megfelelő pontossággal megvalósíthatók. Az 1.a ábrán látható egyszeres varrathiba hossza  $h_{b1} = 150$  mm, szélessége  $v_b = 1,5$  mm és mélysége  $m_b = 2; 4; 6; 7,1$  mm, az 1.b ábrán látható kétszeres varrathiba távolsága  $t_{b2} = 30$  mm, hosszúsága  $h_{b2} = 130$  mm, szélessége  $v_b = 1,5$  mm és mélysége  $m_b = 2; 4; 6; 7,1$  mm volt. A 2. ábrán látható külső sérülés hosszúsága  $h_k = 100$  mm, szélessége  $v_k = 2$  mm és mélysége  $m_k = 5,12; 7,12; 9,12; 10,22$  mm volt a végeelemes számításoknál.

A hibák, sérülés környezetében kialakuló szilárdságtani állapotokat kísérleti körülményekre és üzemi viszonyokra akarjuk meghatározni. A kísérlet során egy olyan kellően hosszú, mindkét végén lezárt csőszakaszt vizsgálunk, amelynek a közepén helyezkedik el a varrathiba, vagy a sérülés. Ennek a kísérleti modellnek a terhelése  $p_r = 63$  bar belső nyomás és a csővégekre ható nyomásból származó

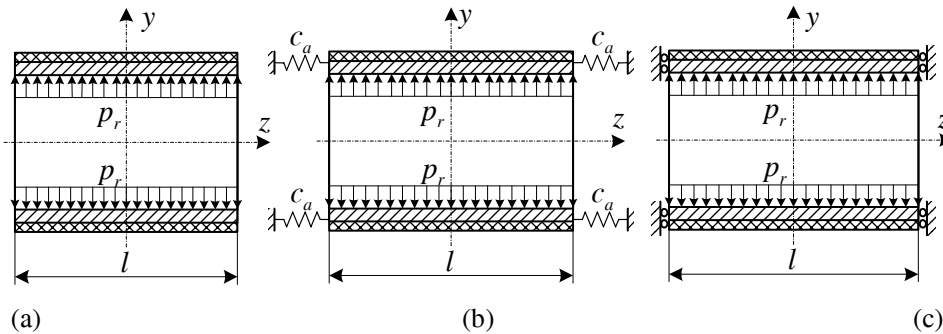
$$p_a = \frac{d_{cb}^2}{d_{ck}^2 - d_{ck}^2} p_r \text{ axiális terhelés (3. ábra).}$$



3. ábra: A kísérleti csőmodell

Az üzemi viszonyok szimulálására a 4. ábrán látható nyitott csövet, egy két végén axiális irányban rugalmasan megtámasztott csövet és egy két végén mereven megtámasztott modellt használtunk.

A 4.b ábrán látható rugalmas ágyazás  $c_a$  rugóállandóját a húzott-nyomott vékonyfalú cső összefüggéseivel állítottuk elő.



4. ábra: Az üzemi csőmodellek

A csövet a kísérleti és az üzemi viszonyok esetén is rétegzett héjelemekkel modelleztük. Rétegzett héjelemeknél a rétegszám és a rétegvastagságok megfelelő megválasztásával elérhető, hogy a hiba/sérülés mélységének a megváltoztatása a hibához/sérüléshez tartozó elemeken az egyes rétegek anyagi tulajdonságainak megváltoztatásával kezelhető.

Thickness	Angle	Ply	Material	Thickness	Angle	Ply	Material
3.12	+0	5	NYANYAG - (IZOTROP)	3.12	+0	5	NYANYAG - (IZOTROP)
1.1	+0	4	ACEL	1.1	+0	4	ACEL
2	+0	3	ACEL	2	+0	3	ACEL
2	+0	2	ACEL	2	+0	2	URSG
2	+0	1	ACEL	2	+0	1	URSG

Number of plies: 5  
Total thickness: 10.22 mm

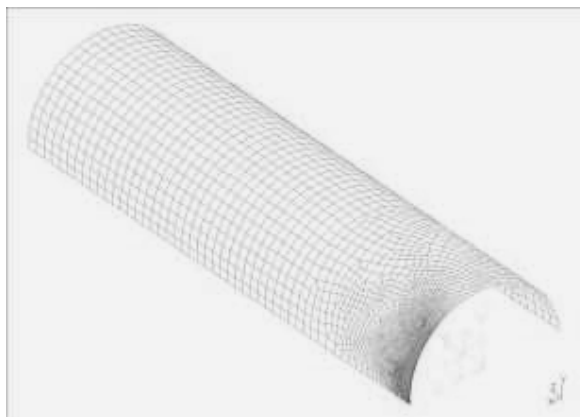
Number of plies: 5  
Total thickness: 10.22 mm

(a) (b)

5. ábra: A hiba/sérülés mélységének modellezése

Az 5.a ábrán egy olyan elem anyagának megadása látható, amely nincs a hiba helyén, az 5.b ábra pedig egy 4 mm-es belső (hegesztési) hibahelyen levő elem anyagmegadását mutatja be

### 3. A VIZSGÁLATHOZ HASZNÁLT VÉGESELEM-MODELLEK



6. ábra: Végeelem háló az egyszeres varrathibára

A végeelem hálókat úgy építettük fel, hogy kihasználtuk mind a három, a hiba/sérülés elhelyezkedésében különböző modell kétszeres síkbeli szimmetriáját. Így csak a vizsgált csőszakasz negyed részét kellett behálózni. A számítások pontossága érdekében a hálót mindhárom hiba esetén a hiba környezetében alaposan besűrítettük. A 6. ábra az egyszeres varrathiba esetén mutatja be a fentiek szerint kialakított végeelem hálózatot. A megoldott végeelem feladat méretét az egyes varrathibánál és a külső sérülésnél 15 ezer csomópont és 5 ezer héjelem jellemzi, míg a kettős varrathibánál a háló 33 ezer csomópontot és 11 ezer elemet tartalmazott. A különbség azzal magyarázható, hogy az első két esetben a végeelem modell csak a hiba/sérülés felét, míg az utóbbi esetben az egész hibát tartalmazza.

### 4. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

#### 4.1. A műanyag szigetelőréteg hatása

A műanyagréteg hatásának vizsgálatát egyszeres varrathibánál végeztük el és foglaltunk össze néhány számítási eredményt 2. táblázatban. A táblázat egy a hiba közelében levő pontban kapott értékeket tartalmazza.

2. táblázat: A szigetelő műanyagréteg hatása

Hibamélység ( $m_b$ )	Mennyiség/mértékegység	Műanyagréteg nélkül	Műanyagréteggel
2 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,088862	0,088757
	$\varepsilon_\varphi$ [1]	$5,7848 \cdot 10^{-4}$	$5,7797 \cdot 10^{-4}$
	$\varepsilon_z$ [1]	$1,3119 \cdot 10^{-4}$	$1,3084 \cdot 10^{-4}$
	$\sigma_{red}$ [MPa]	120,86	120,74
4 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,095645	0,095362
	$\varepsilon_\varphi$ [1]	$6,0555 \cdot 10^{-4}$	$6,0379 \cdot 10^{-4}$
	$\varepsilon_z$ [1]	$7,6731 \cdot 10^{-5}$	$7,7251 \cdot 10^{-5}$
	$\sigma_{red}$ [MPa]	124,52	124,12
6 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,13574	0,13426
	$\varepsilon_\varphi$ [1]	$6,8582 \cdot 10^{-4}$	$6,8412 \cdot 10^{-4}$
	$\varepsilon_z$ [1]	$8,3551 \cdot 10^{-5}$	$8,4909 \cdot 10^{-5}$
	$\sigma_{red}$ [MPa]	141,47	140,69

A 2. táblázatban található eredmények is igazolják azt az előzetes feltételezést, hogy a szigetelő műanyagrétegnek szilárdságtani szempontból nincs számottevő hatása.

#### 4.2. Az üzemi modellekkel kapott eredmények összehasonlítása

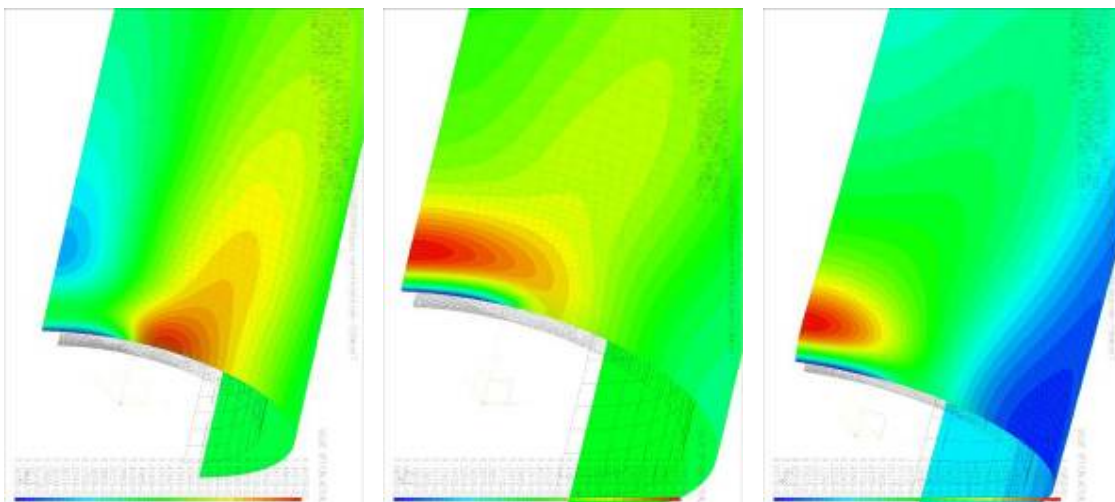
A 4. ábrán látható üzemi modelleket is az egyszeres varrathiba esetén hasonlítottuk össze. Itt azt a kérdést kellett eldönteni, hogy modellezhető-e a meghibásodott/megsérült vezeték üzemi viszonyai nyitott csőmodellel (4.a ábra), vagy a két végén axiális irányban rugalmasan ágyazott csőmodellel (4.b ábra), miközben tudjuk, hogy a cső tengelyirányú alakváltozása nagymértékben korlátozott.

3. táblázat: Az üzemi csőmodellek eredményei

Hibamélység ( $m_b$ )	Mennyiség/mértékegység	Nyitott	Rugalmasan ágyazott	Mereven megtámasztott
2 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,10350	0,097770	0,094973
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$8,5193 \cdot 10^{-4}$	$8,1662 \cdot 10^{-4}$	$7,9967 \cdot 10^{-4}$
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$-2,3919 \cdot 10^{-4}$	$-3,0744 \cdot 10^{-5}$	$4,2525 \cdot 10^{-5}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	173,40	164,51	160,92
4 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,10372	0,099037	0,097445
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$8,5417 \cdot 10^{-4}$	$8,4597 \cdot 10^{-4}$	$8,4212 \cdot 10^{-4}$
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$-2,3938 \cdot 10^{-4}$	$-4,6412 \cdot 10^{-5}$	$1,2599 \cdot 10^{-4}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	172,87	170,95	201,60
6 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,10471	0,11201	0,11585
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$8,3251 \cdot 10^{-4}$	$9,8225 \cdot 10^{-4}$	$1,0950 \cdot 10^{-3}$
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$-2,4637 \cdot 10^{-4}$	$-2,1203 \cdot 10^{-4}$	$3,7921 \cdot 10^{-4}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	171,82	198,55	220,35

A 3. táblázat eredményeit áttekintve megállapítható, hogy kis hibamélység esetén a nyitott modellel, míg nagyobb hibamélység esetén a mereven megtámasztott modellel kapunk kritikusabb értékeket. Arra való tekintettel, hogy megítélésünk szerint a két végén megtámasztott modell (4.c ábra) pontosabban leírja a valóságos üzemi viszonyokat és nagyobb mélységű varrathiba, tehát veszélyesebb esetben nagyobb  $\sigma_{red max}$  értéket szolgáltat, ezért a továbbiakban az üzemi viszonyok modellezésére ezt a modellt használtuk.

Az üzemi viszonyok modellezésére használt mindhárom modelnél (4. ábra) azt tapasztaltuk, hogy a szilárdságtani jellemzők eloszlása a cső felületén a hibamélység növekedésével átrendeződik, így ezzel az egyes mennyiségek szempontjából kritikus pontok helye is megváltozik. Ezt az átrendeződést a sugárirányú elmozduláson szemléltetik a 7.a-c ábrák.



(a) hibamélység 2 mm

(b) hibamélység 4 mm

(c) hibamélység 6 mm

7. ábra: A sugár irányú elmozdulások eloszlása egyszeres varrathibánál

A sugár irányú elmozdulás maximuma a 7. ábrán látható módon kis hibamélységnél a hiba végénél lép fel. Ez a maximumhely a hibamélység növekedésével a hiba közepe mellé kerül.

#### 4.3. A csőhiba/sérülés körüli szilárdságtani állapot kísérleti körülmények között

4. táblázat: A hibatípusok kritikus értékei kísérleti körülmények között

Hibamélység ( $m_b$ )	Mennyiség/mértékegység	Egyszeres varrathiba	Kétszeres varrathiba	Hosszirányú hiba
2 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,088832	0,088994	0,10035
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$7,6205 \cdot 10^{-4}$	$7,6127 \cdot 10^{-4}$	$2,5028 \cdot 10^{-3}$
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$2,0608 \cdot 10^{-4}$	$2,0484 \cdot 10^{-4}$	$5,7855 \cdot 10^{-4}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	154,76	154,18	230,29
4 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,095645	0,096400	0,178300
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$8,3405 \cdot 10^{-4}$	$8,2869 \cdot 10^{-4}$	$1,7023 \cdot 10^{-2}$
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$2,9119 \cdot 10^{-4}$	$3,0841 \cdot 10^{-4}$	$1,7923 \cdot 10^{-3}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	286,14	284,76	632,88
6 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,13574	0,13127	0,56446
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$1,3590 \cdot 10^{-3}$	$1,3089 \cdot 10^{-3}$	0,10170
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$7,7822 \cdot 10^{-4}$	$7,5107 \cdot 10^{-4}$	$4,1072 \cdot 10^{-2}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	273,47	263,34	1869,8

A kísérleti viszonyok modellezése a 3. ábrán látható modellel történt. A 4. táblázat a számítások eredményeit foglalja össze a három mesterséges hibatípusra és vizsgált hibamélységre. Ebből az látható, hogy a varrathibáknál – különösen 4 és 6 mm-es hibamélységeknél - lényegesen kisebb alakváltozási és redukált feszültség értékek lépnek fel, mint a hosszirányú hibánál. A három, különböző típusú hiba/sérülés közül tehát a hosszirányú jelenti a legnagyobb veszélyt. A varrathibáknál a  $\sigma_{red max}$  minden esetben az anyag folyáshatára alatt marad. Ezzel szemben hosszirányú hibánál – mint ahogyan azt a táblázat is kiemeli – a folyáshatárt lényegesen meghaladó redukált feszültségek lépnek fel, ami azt jelenti, hogy képlékeny alakváltozás alakul ki.

#### 4.4. A csőhiba/sérülés körüli szilárdságtani állapot üzemi körülmények között

5. táblázat: A hibatípusok kritikus értékei üzemi körülmények között

Hibamélység ( $m_b$ )	Mennyiség/mértékegység	Egyszeres varrathiba	Kétszeres varrathiba	Hosszirányú hiba
2 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,094973	0,095083	0,106130
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$7,9967 \cdot 10^{-4}$	$8,0082 \cdot 10^{-4}$	$2,5416 \cdot 10^{-3}$
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$-1,9947 \cdot 10^{-4}$	$-1,8673 \cdot 10^{-4}$	$3,1292 \cdot 10^{-4}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	160,92	161,03	238,1
4 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,097445	0,097889	0,182780
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$8,4212 \cdot 10^{-4}$	$8,3885 \cdot 10^{-4}$	$1,7047 \cdot 10^{-2}$
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$-8,4609 \cdot 10^{-4}$	$-8,3434 \cdot 10^{-4}$	$1,3992 \cdot 10^{-3}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	201,60	199,43	640,2
6 mm	$u_{Rmax}$ [mm]	0,11585	0,11083	0,56404
	$\varepsilon_{\varphi max}$ [1]	$1,0950 \cdot 10^{-3}$	$1,0803 \cdot 10^{-3}$	0,10180
	$\varepsilon_{z max}$ [1]	$-7,5773 \cdot 10^{-4}$	$-7,3172 \cdot 10^{-4}$	$-4,1836 \cdot 10^{-2}$
	$\sigma_{red max}$ [MPa]	220,35	217,40	1876,5



Az 5. táblázat a 4.c üzemi csőmodellel végzett számítások eredményeit foglalja össze a három mesterséges hibatípusra és vizsgált hibamélységre. Az üzemi körülmények között ébredő  $\sigma_{red\ max}$  redukált feszültség maximumok nagysága közel akkora, mint a kísérleti viszonyok között. A redukált feszültségeket eredményező szilárdságtani jellemzők ( $u_{Rmax}$ ,  $\epsilon_{\phi\ max}$ ,  $\epsilon_{z\ max}$ ) azonban a két esetben jelentősen eltérnek. A hosszirányú sérülés ebben az esetben is egyértelműen veszélyesebb, mint a varrathibák. A 4 és 6 mm-es hosszirányú hibánál fellépő, az anyag folyáshatárát lényegesen meghaladó  $\sigma_{red\ max}$  értékek a további modellezésnél és vizsgálatoknál rugalmas-képlékeny anyagtörvény alkalmazását teszik szükségessé.

A cikkben ismertetett numerikus vizsgálatokra a GVOP-AKF - 3.1.1.-2004-05-0215/3.0 projekt keretében került sor.

## 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Reddy J.N.: Mechanics of laminated composite plates and shells, Theory and Analysis, CRC Press, 2004.
- [2] Bathe K.J.: Finite Element Procedures, Prentice Hall International Editions, 1996.
- [3] I-DEAS User's Guide, UGS PLM Solution Inc., 2006.
- [4] Budinas R. G.: Advanced Strength and Applied Stress Analysis, Engineering Mechanisc Series, Mc Graw-Hill International Edition, 1999.
- [5] Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S.: Lemezek és héjak elmélete, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [6] Ponomarjov S.D.: Szilárdsági számítások a gépészetben, 3. kötet: Lemezek, héjak, vastagfalú csövek, érintkezési feszültség, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1965.

## Az eloid kúpkerék illusztrálása a fogazógépen való lefejtésekor a generáló síkkerék segítségével

### GENERATION OF ELOID BEVEL-GEAR ON TOOTH-CUTTING MACHINE WITH THE GENERATING FACE-GEAR

Drd. POPA-MÜLLER Izolda

Sapientia-Erdélyi Magyar Tudományegyetem. Marosvásárhely  
Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék,  
Segesvári út. 1.C, tel:0265-208170, fax: 0265-206211, office@ms.sapientia.ro

#### ABSTRACT

*This paper discusses the analytical determination of the cutting-tools and of the bevel-gear, with MathCad, Autolisp. To understand the process of gear-cutting, the imaginary face-gear has an important role in the cutting of the bevel-gear, not only in processing but also in defining of parameter: the tool's profile and the described curve.*

*Simulation of the possibilities of the movements in the generation of the eloid bevel-gear surfaces on the Oerlikon-Spiromatic Machine, are realized in Inventor Studio.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A dolgozatban a szerszám és az eloid kúpfelületek analitikusan vannak meghatározva, felhasználva a MathCad, Autolisp programokat.*

*A fogazás működésének megértése érdekében fontos szerepe van a síkkeréknek.*

*A fogazógépen levő mozgási lehetőségek szimulálása segítséget nyújt az eloid fogazás működésében, amelyet az Autodesk Inventor Release 10, Inventor Studio modulja biztosít.*

#### 1. AZ ELOID FOGAZAT

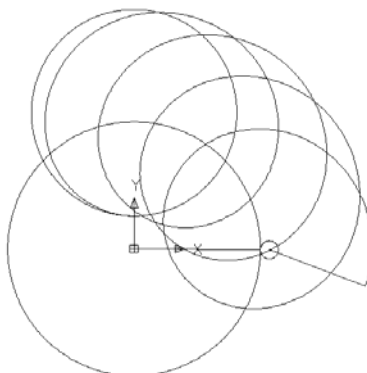
Az eloid fogazat fogirányvonala hurkolt epiciklois.

A fogaskerék adatai:

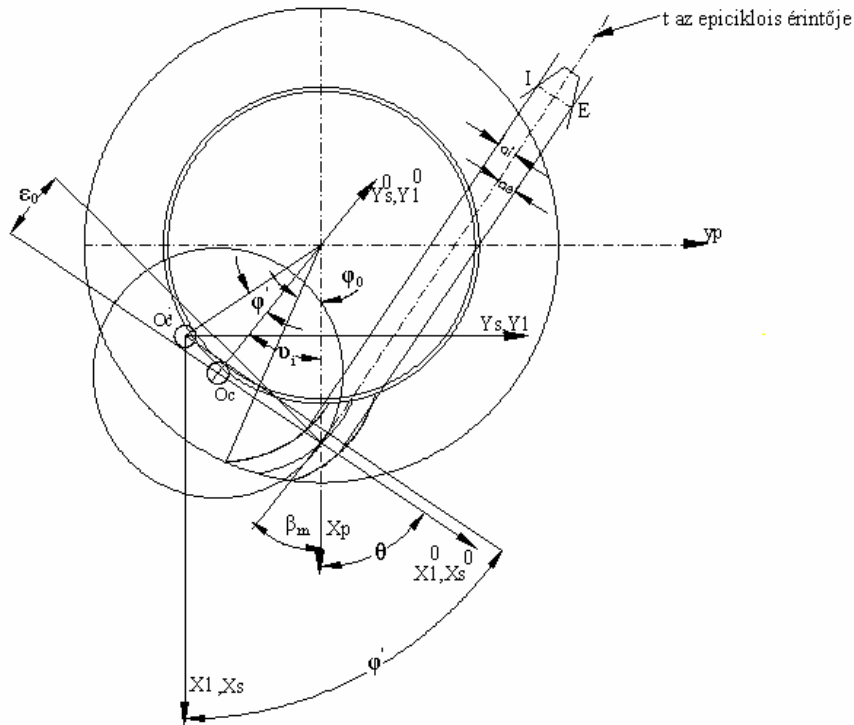
$$z_1 = z_2 = 30, z_0 = 42.42, \delta_1 = \delta_2 = 45^\circ$$

$$r_r = 11.24, R_s = 129.29$$

(1.1.)



1.ábra.  
Hurkolt epiciklois



2.ábra.

Paraméterek ábrázolása a síkkerék és a szerszám kapcsolásakor

Geometriai paraméterek:

$$\varphi_0 = 38^\circ 99, \theta_0 = 55^\circ 98, \varepsilon_0 = 34^\circ 02, \nu_i = 2.12 \quad (1.2.)$$

Síkkerék generálásához szükséges csúszásmentes legördülés feltétele:

$$r_r \cdot \varphi' = R_b \cdot \varphi \quad (1.3.)$$

A hurkolt epiciklois egyenlete

$(R_s - a_i)$  konkáv fogoldalnak,  $(R_s + a_e)$  konvex fogoldalnak,

$$\begin{cases} x_p(\varphi) = R_s \cdot \cos(\theta_0 - R_b/r_r) + (R_b + r_r) \cdot \cos(\varphi_0 + \varphi) \\ y_p(\varphi) = R_s \cdot \sin(\theta_0 - R_b/r_r) - (R_b + r_r) \cdot \sin(\varphi_0 + \varphi) \end{cases} \quad (1.4.)$$

Fogdőlésszög:

$$\operatorname{tg} \beta_m |(\varphi = 0) = \frac{y_p'}{x_p'} = 39^\circ 36 \quad (1.5.)$$

A konkáv és konvex fogoldalok távolságai:  $a_i = 5.85, a_e = 5.93$

Konkáv és konvex fogfelület belső, külső szögparamétereinek meghatározása:

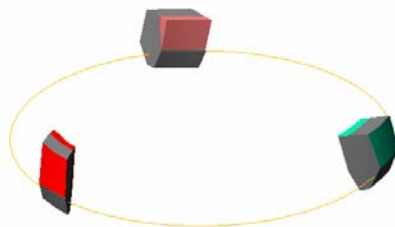
$$\begin{aligned} \varphi_1' &= -0.027[\text{rad}], \quad \varphi_2' = 0.028[\text{rad}] \\ \varphi_1' &= -0.028[\text{rad}], \quad \varphi_2' = 0.028[\text{rad}] \end{aligned}$$

## 2. A SZERSZÁM MODELLJE

A generáló síkkerék analitikus egyenlete

$$\left\{ \begin{array}{l} x_p = x_s \cdot \cos(\theta_0 - \varphi') + (R_b + r_r) \cdot \cos(\varphi_0 + \frac{r_r}{R_b} \cdot \varphi') \\ y_p = x_s \cdot \sin(\theta_0 - \varphi') - (R_b + r_r) \cdot \sin(\varphi_0 + \frac{r_r}{R_b} \cdot \varphi') \\ z_p = u \end{array} \right. \quad (1.6.)$$

A marófejen elhelyezkedett kés modell az elméleti síkkerék foga, amely a generáló síkkerék negatívja.



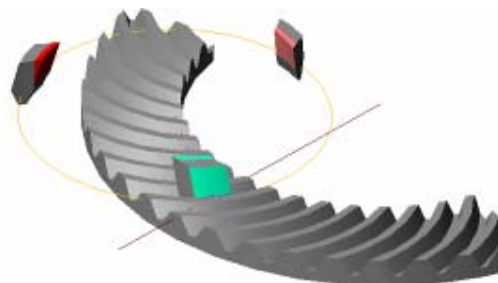
3.ábra.

Marófejen elhelyezkedett kések

## 3. A SÍKKERÉK GENERÁLÁSA

Síkkerék alakú késfejjel, folyamatos műveletben előállított eloidfogazat képzelt fogirányvonala hurkolt epiciklois.

A gördülőkörön csoportosan elhelyezett szerszámok kései a síkkerék egy-egy foghézagait vágják ki, kivonás módszerével



4.ábra.

Síkkerék generálása

## 4. A KÚPKERÉK GENERÁLÁSA

A kúpkerek fogfelületének generálásához a szerszámfej kései kivonás módszerével forgácsleválasztást végeznek.

A legördülés egyenlete:

$$\varphi_1 = \varphi_b \cdot \frac{z_0}{z_1} \quad (1.7.)$$

A kúpfelület analitikus egyenlete:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_p (\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_p \cdot \sin \delta_1 + \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_p) + y_p (-\cos \varphi_1 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_p + \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_p) - \\ & z_p \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \delta_1 \\ y_1 &= x_p (-\sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_p \cdot \sin \delta_1 + \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_p) + y_p (\sin \varphi_1 \cdot \sin \delta_1 \cdot \sin \varphi_p + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_p) + \\ & z_p \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \delta_1 \\ z_1 &= x_p \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos \varphi_p - y_p \cdot \cos \delta_1 \cdot \sin \varphi_p + z_p \cdot \sin \delta_1 \end{aligned} \quad (1.8.)$$



5.ábra.  
Kúpkerék generálása

## 5. KÚPKERÉK GENERÁLÁSA AZ OERLIKON – SPIROMATIC GÉPEN

A fogazógépen megmunkált kúpkerék fogazata úgy keletkezik, hogy a késfej a gördülőkörön csúszás nélkül legördül a kúpkerékhez tartozó képzelt síkkerék alapkörén. A késfejbe befogott betétkéscsoportoknak a gördülőkörön számított kerületi osztása és a képzelt síkkerék alapkörön értelmezett osztása egyenlő.

$$\frac{r_r}{R_b} = \frac{z_s}{z_0} \quad (1.9.)$$

Használva a tangenciális előtölést a késfejet fokozatosan közelítjük a munkadarabhoz, az alapkörhöz érintőleges irányban. A fogásmélység függ a tangenciális előtölés mértékétől. A csúszásmentesség érdekében a tangenciális előtölés értékét nemcsak a gördülőkörhöz hanem az alapkör és a kúpkerék elfordulásába is beszámítjuk.

$$\varphi_b = \varphi_r \cdot \frac{r_r}{R_b} + \varphi_{\tan g}, \quad \varphi_1 = \varphi_s \cdot \frac{z_s}{z_1} + \varphi_{\tan g} \cdot \frac{z_0}{z_1} \quad (1.10.)$$

A szimulálást az AutoDesk Inventor Release10 –es Inventor Studio moduljában valósítottam meg.



6.ábra.  
Kúpkerék generálásának szimulálása az Oerlikon Spiromatic gépen

## IRODALOM

- [1] Botez, E. Maşini-unelte, vol I.Cinematica, Editura tehnică, Bucureşti, 1969, pag. 519-542
- [2] Botez, E., Angrenaje Elemente de calcul şi proiectare, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1953
- [3] Barone, S., Borgianni, L., Culla, C., Pieve, M. Digital simulation procedures to create 3D solid models of gear geometries, XII ADM International Conference- Italia, 53-60,2001
- [4] Brauer, J., Andersson, S. Simulation of wear in gears with flank interference-a mixed FE and analytical approach, Wear, 1216-1232, 2003
- [5] Hollanda, D. Bazele Aşchierii şi Generării Suprafeţelor, Vol II, Ed. Universitatea "Petru Maior" Târgu-Mureş, 1996
- [6] Hollanda, D., Aşchiere şi Scule Aşchietoare, Institutul de Învăţământ Superior, Tg-Mureş, 1982
- [7] Litvin, F.L., Argentieri, G. M., Donno, De., Hawkins, M. Computerized design, generation and simulation of meshing and contact of face worm-gear drives, Comput.Methods Appl. Mech.Engrg, 785-801, 2000
- [8] Lăzărescu, I., calculul şi construcţia sculelor aşchietoare, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1962
- [9] Picoş, C.ş.a. Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin aşchiere, Editura Universitas, Chişinău, 1992, pag. 156-163
- [10] Pozdîrcă, A., ş.a. Inventor-Modelare parametrică, Ed. Universităţii "Petru-Maior", Târgu-Mureş, 2004
- [11] Sauer, L., Scule pentru danturare, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1962
- [12] Weck, M., Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme Band 1, Verlag GmbH, Düsseldorf, 1991

# Többszintes, tömbtárolásos automatizált parkolórendszerek magas tárolótéri kihasználtságot biztosító diszponálási stratégiák esetén az elérhető teljesítőképessége és energiaszükséglete

## WORKING CAPACITY AND ENERGY CONSUMPTION OF BLOCK-STORING ALLOCATION STRATEGY PROVIDING HIGH STORAGE UTILISATION IN MULTI LEVEL, BLOCK-STORING AUTOMATED CAR PARKING SYSTEMS

RÁDAI Levente<sup>1</sup>, Prof. Dr. CSELÉNYI József<sup>2</sup>, Dr. habil ILLÉS Béla<sup>3</sup>

<sup>1</sup> doktorandusz, <sup>2</sup> egyetemi tanár, <sup>3</sup> tanszékvezető egyetemi docens  
Miskolci Egyetem - Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék  
3515 Miskolc, Egyetemváros, Tel.: +36-46-565-150, fax: +36-46-563-399  
Honlap: <http://www.alt.uni-miskolc.hu/>, E-Mail: [radai@iit.uni-miskolc.hu](mailto:radai@iit.uni-miskolc.hu)

### ABSTRACT

*Nowadays the demand for parking space in the busy city centres grows with the growth of car traffic. It is expedient to build Automated car Parking Systems on the straitening free city centre area for new parking slots and for increasing the capacity of the streets. This article deals with the working capacity and energy consumption of block storage control strategies of block storing APS using at high storage utilisation.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Napjainkban a zsúfolt nagyvárosokban a folyamatosan növekvő gépkocsiforgalommal arányosan növekszik a parkolóhelyek iránti igény. A fennmaradó szűkös belvárosi területeken automatizált parkolóházak segítségével új parkolóhelyek létesíthetők, valamint növelhető az utcák átbecsátóképessége. Ezen dolgozat tömbtárolásos automatizált parkolóházak magas tárolótéri kihasználtságú időszakban alkalmazható irányítási stratégiai teljesítőképességének és energiaigényének meghatározásával foglalkozik.*

**Kulcsszavak:** tömbtárolás, irányítási stratégiák, teljesítőképesség, időigény, magas kihasználtság

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a nagy forgalmú belvárosi területeken egyre dinamikusabban terjednek az automatizált, számítógépes irányítású, gépesített gépkocsi tároló rendszerek, melyek segítségével a parkoló gépkocsi tárolása jó alapterület- és térkihasználással oldható meg a rendelkezésre álló szűkös területeken. Ezek számos más előnyt is nyújtanak a környezetvédelem, a közlekedés, a biztonság és a kényelem használat területén is. A gépesített parkolórendszerek közül a legnagyobb alapterület és térfogatkihasználással a többszintes, tömbtárolásos gépi parkolórendszerek rendelkeznek, hátrányuk azonban a telepítendő gépkocsi-mozgató berendezések nagy száma és költsége mellett, hogy nem biztosítanak közvetlen hozzáférést a tárolószinteken az egyes gépkocsikhoz, mely adott esetekben növelheti a kitarolási igények kiszolgálási idejét.

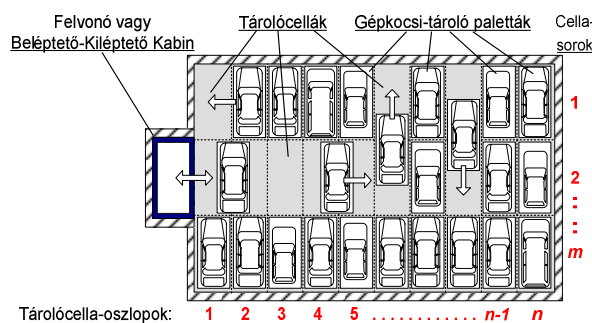
Korábbi publikációkban kifejtésre kerültek a fejraktár kialakítású, tömbtárolásos gépesített parkolórendszerek tárolótéri diszponálási stratégiáinak több változata. Jelen dolgozat célja, hogy megadja ezen diszponálási stratégiák közül a magas tárolótéri kihasználtságot biztosító diszponálási stratégiák esetén az elérhető maximális teljesítőképességet és energiaszükségletet. Ehhez röviden összefoglalja a magas tárolótéri kihasználtságot biztosító diszponálási stratégiák főbb elveit és működését, bemutatja teljesítőképesség és energiaszükséglet analitikus meghatározásának módját, valamint az ezekkel számított értékek alakulását a betárolások és kitarolások során mozgatott palettákat akadályozó paletták számának függvényében.

## 2. A 100%-HOZ KÖZELI KIHASZNÁLTSÁG ESETÉRE KIDOLGOZOTT DISZPONÁLÁSI STRATÉGIÁK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

A tárolásinti diszponálási stratégiák kidolgozásánál a gépkocsivezetők minimális várakozási idejének, valamint a minimális üzemeltetési költségek célfüggvényeit vettük figyelembe.

A gépkocsivezetők beléptetésre, illetve kiléptetésre való várakozási ideje más-más rendszerjellemzőktől függ. Míg beléptetésnél a gépkocsivezetőnek csak a fogadókabin felszabadulását kell megvárnia, addig kiléptetésnél az erre vonatkozó igény bejelentése után meg kell várnia, hogy a rendszer a gépkocsiját a tárolótérből a kiléptető kabinba szállítsa. Ez jóval több időt vehet igénybe, mint a beléptetésre való várakozás ideje, mely elsősorban a rendszer kialakításától függ. A beléptetési várakozási idők a kiszolgáló berendezések számának és manipulációs sebességének növelése mellett ideiglenes tárolósorok telepítésével is csökkenthetők. Kiléptetésnél viszont ez a lehetőség kevésbé hatékony, mert csak a gépkocsivezető kérésére célszerű a kitárolást megkezdeni. Ezért célszerű a többszintes, osztott kiszolgálású, dinamikus tárolású automatikus parkolórendszerekben a gépkocsikat a tárolótérbe való betárolás során a gépkocsivezető által megbecsült és a beléptetésnél megadott parkolási idő szerint rendezni, melynek előnye, hogy a paletták a várható kitárolási időpont közeledtével közelednek a felvonóhoz, tehát gyorsabban teljesíthető lesz a majdan jelentkező kitárolási igény. Természetesen ez közelítő időtartam, pontosan kevés gépkocsivezető tudja betartani, így az erre alapozott diszponálási stratégiák elsősorban olyan forgalmi környezetekben alkalmazhatók hatékonyan, ahol a parkolási időket a gépkocsivezetők jól meg tudják becsülni (pl. irodaházak, lakóközpontok, ahol a munkakezdéshez, ill. -befejezéshez igazodik a bemenő, illetve kimenő forgalom), valamint ahol hosszúak – 8-10 óra, napok, hetek – a parkolási idők (pl. vasútállomások, repülőterek).

A diszponálási stratégiák alkalmazásához minimum 3 szabad tárolócellára van szükség: egy a kombinált ciklusban működő felvonók kirakodásához, kettő pedig a rendező mozgásokhoz.



1. ábra

A tömbtárolásos automatizált gépkocsi tárolórendszer felépítése

## 3. A DISZPONÁLÁSI STRATÉGIÁK TELJESÍTŐKÉPESSÉGE ÉS ENERGIASZÜKSÉGLET MEGHATÁROZÁSA

A be- ill. kitárolási teljesítőképességet a be-, ill. kitárolások átlagos ciklusideje határozza meg:

$$Q_{be} = \frac{3600}{t_{be}} \left[ \frac{db}{óra} \right], \text{ ill. } Q_{ki} = \frac{3600}{t_{ki}} \left[ \frac{db}{óra} \right] \quad (1)$$

ezért az (1) alapján a továbbiakban a betárolások és a kitárolások átlagos ciklusidejét vizsgáljuk.

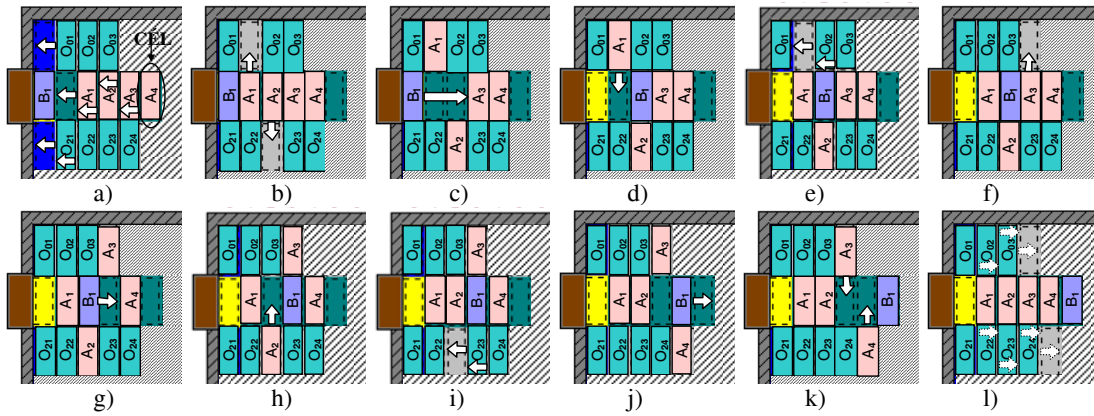
Az energiafelhasználás vizsgálatánál elegendő az elmozdulásokat figyelembe vennünk, mert feltételezzük, hogy az erőszükséglet a palettamozgatáson belül közel azonos.

## 4. BETÁROLÁS UTÁNI MOZGÁSOK IDŐ- ÉS ENERGIAIGÉNYE

A paletták tehát minden tárolósorban a parkolási idő szerint vannak rendezve, melyet a gépkocsivezető a belépéskor közöl a rendszerrel. A tárolási cellát az újonnan betárolt paletta részére úgy kell választani, hogy ez a rendezettség továbbra is fennálljon, valamint a betárolt paletta tárolási helyre történő mozgását akadályozó paletták átrendezését is e kritérium szerint kell megvalósítani.



A betárolt paletta kiválasztott célhelyre történő juttatása magas tárolótéri kihasználtság esetén a célhely és a betárolt paletta közötti akadályozó paletták oldalra történő mozgatásával érhető el. A 2. ábra bemutatja ezen elveket megvalósító mozgássorozatot. Ez alapján meghatározható a közel 100%-os kihasználtság esetén alkalmazható betárolási stratégia maximális idő- és útigénye.



2. ábra

Betárolás utáni mozgások stratégiája 100%-hoz közeli kihasználtság esetén

A 2. ábra alapján a stratégia mozgási folyamata 3 részre bontható:

Kezdeti folyamat (2/a-2/c)

$$t_I^B = [t_y + t_x + 2t_y]$$

$$s_I^B = [(3 + n_A)s_y + 2s_x + 2s_y]$$

Ciklikus folyamat (2/d-2/g)

$$t_C^B(n_A) = [(n_A - 2)(t_x + t_y + t_x + t_y)]$$

$$s_C^B(n_A) = [(n_A - 2)(s_x + 2s_y + s_x + s_y)]$$

Befejező rendezés (2/h-2/k)

$$t_F^B = [t_y + t_x] + (t_y)$$

$$s_F^B(n_A) = [s_y + 2s_x] + (2n_A - 1)s_y$$

ahol:

- $n_A$ : akadályozó paletták száma, ahol  $n_A \geq 1$ ,
- $t_x, t_y$ : x vagy y irányú egy cellányi elmozdulás időigénye,
- $s_x, s_y$ : x vagy y irányú egy cellányi elmozdulás útigénye.

Mivel a kezdeti és a záró folyamat kettő akadályozó palettának az elmozdítását teljes egészében magában foglalja. Ciklikus folyamat csak ennél több paletta esetén jelenik meg, annak idő- és útigényének képleteiben a ciklusok száma az akadályozó paletták függvényében:

$$n_C^B = n_A - 2 \quad (2)$$

Kettőnél kevesebb paletta esetén viszont a záró folyamat kissé torzul, mivel már a kezdeti ciklus 3. lépésében eléri a betárolt paletta a kijelölt tárolási helyét, de a záró ciklus 1. lépése még tartalmaz egy y irányú elmozdulást. Így  $n_A = 1$  esetén a műveleti idő módosul az alábbira:

$$t_\Sigma^B = [2t_x + 3t_y] + (t_y) \quad (3)$$

Az útigény számításánál ez viszont nem jelenik meg, mert a ciklusszám negatív lesz, így ellensúlyozza a záró ciklus azon elemeit, amelyek a képletben megjelennek, de a valóságban nem zajlanak le. Az előzőek alapján a legnagyobb műveleti idő és összes elmozdulás a következők szerint alakul:

$$t_\Sigma^B(n_A) = [2n_A(t_x + t_y) - 2t_x] + (t_y) \quad (4)$$

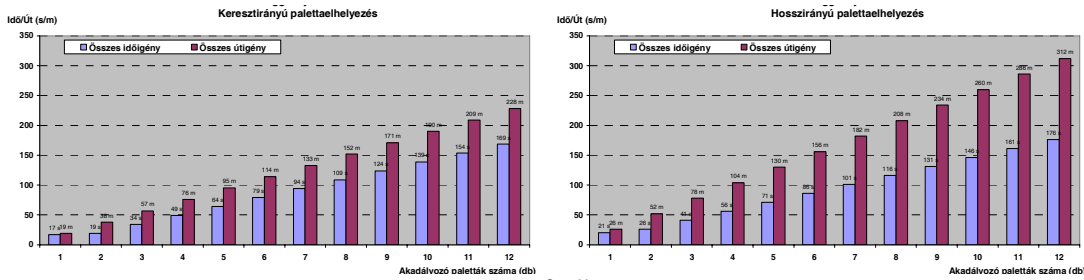
$$s_\Sigma^B(n_A) = [2n_A(s_x + 2s_y)] + (2n_A s_y - s_y) \quad (5)$$

Kerek zárójelbe foglalva jelennek meg azok a tagok, melyek a felzárkóztató mozgások esetén jelennek meg, összhangban a szaggatott vonallal jelzett nyilakkal. Ezekre nincs szükség, elhagyásukkal a

következő műveletek első lépéseikor energia spórolható meg. Jelzésük csak azért fontos, mert ezekkel térhet vissza az adott tárolóblokk a maximális kihasználtság melletti lehetséges legrosszabb kezdeti állapotba, melyet a mozgási algoritmusok leírásánál, illetve a képletek felírásánál feltételeztünk. Ezért a meghatározott képletek a lehetséges legnagyobb értékeket adják, de szerencsés esetekben alacsonyabb értékek is kiadódhatnak.

A 3. ábra bemutatja a közel 100%-os kihasználtság esetén alkalmazott diszponálási stratégia maximális idő- és útigénye keresztirányú (bal oldali), illetve hosszirányú (jobb oldali) tárolási módnál az akadályozó paletták számának függvényében. Ehhez az alábbi alapadatok kerülnek felhasználásra:

Keresztirányú	$t_x=5,5$	$t_y=2,0$	$s_x=5,5$	$s_y=2,0$
palettaelhelyezésnél:	$s$	$s$	$m$	$m$
Hosszirányú	$t_x=2,0$	$t_y=5,5s$	$s_x=2,0$	$s_y=5,5$
palettaelhelyezésnél:	$s$		$m$	$m$



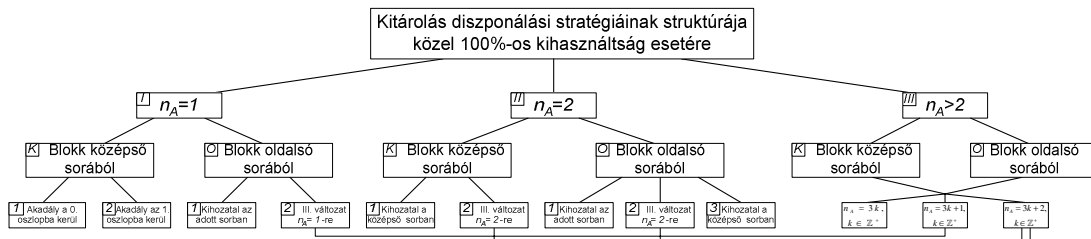
3. ábra

Közel 100%-os kihasználtság esetén alkalmazott diszponálási stratégia idő- és útigénye keresztirányú, illetve hosszirányú tárolási módnál az akadályozó paletták számának függvényében

Ez alapján megállapítható, hogy az idő- és útigény lineárisan alakul az akadályozó paletták számának növekedésével kivéve az időigény első szakaszát. Hosszirányú tárolási módnál az útigény függvénye jóval meredekebben emelkedik, mint a keresztirányú tárolás idő- és útigénye. Az időigények függvényében a kétféle tárolási módnál nincs jelentősebb eltérés.

### 5. KITÁROLÁSI DISZPONÁLÁSI STRATÉGIA IDŐ- ÉS ÚTIGÉNYE

A parkolási idő szerinti rendezettség miatt azok a gépkocsik helyezkednek el közelebb a felvonókhoz, amelyek kitérőlését várhatóan korábban kell elvégeznie a rendszernek. Így minél pontosabban érkezik a gépkocsivezető a gépkocsijáért, annál kevesebb akadályozó paletta lesz a gépkocsit tároló paletta útjában a felvonó felé. A felvonóhoz való előrehozatal során több stratégia kerülhet alkalmazásra attól függően, hogy hány paletta akadályozza a kitérőlandó mozgását. A lehetséges, ill. vizsgálandó mozgásváltozatokat a 4. ábra mutatja be. A kettőnél több akadályozó palettára vonatkozó változatok bizonyos esetekben alkalmazható oldalsó sorból történő előrehozatal esetén egy és kettő, valamint középső sorból történő előrehozatal esetén két akadályozó palettára is.

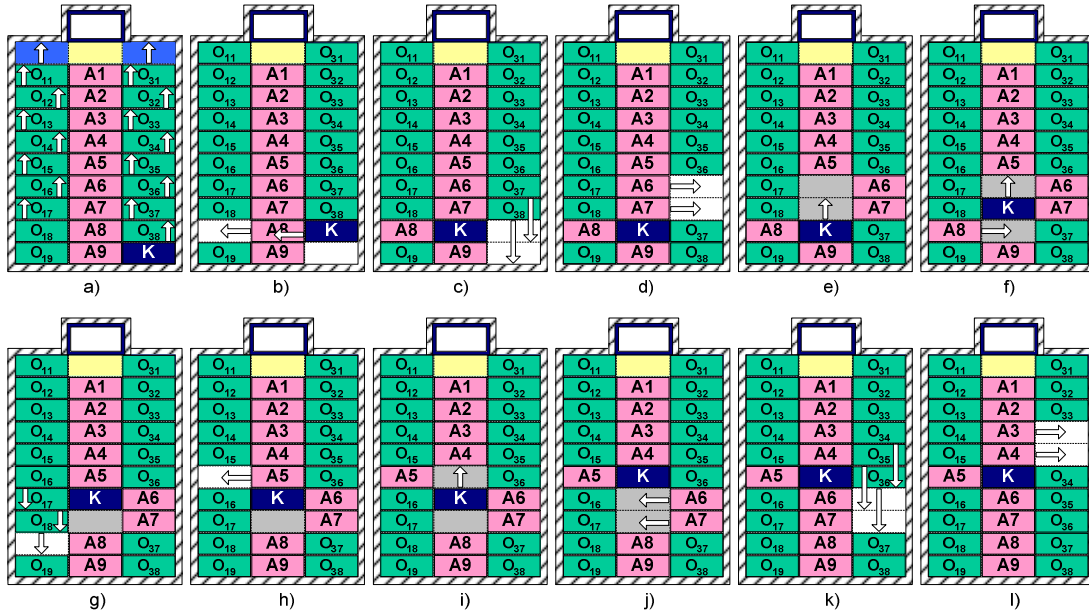


4. ábra

Lehetséges tárolótéri kitérőlési mozgásváltozatok 100%-hoz közeli kihasználtság esetére

Ezen stratégiák közül az egy és kettő akadályozó paletta esetén alkalmazható változatok idő- és útgénye a hely szűke miatt egy későbbi publikációban kerülnek bemutatásra, de a konferencián elhangzó előadásban szerepelni fognak.

Az 5. ábra bemutatja kettőnél több akadályozó paletta esetén alkalmazott kitárolási stratégiákat megvalósító mozgássorozatot. Ez alapján meghatározható a közel 100%-os kihasználtság esetén alkalmazható betárolási stratégia maximális idő- és útgénye.



5. ábra

Kitárolás oldalsó sorból kettőnél több akadályozó paletta esetén

A maximális műveleti idő és összes elmozdulás kettőnél több akadályozó paletta esetén maximális alapterület-kihasználás mellett:

$$t_{\Sigma}^n = t_l^n + n_{C_A}^n \cdot t_A^n + n_{C_B}^n \cdot t_B^n + s_F^n \quad (6)$$

$$s_{\Sigma}^n = s_l^n + n_{C_A}^n \cdot s_A^n + n_{C_B}^n \cdot s_B^n + s_F^n \quad (7)$$

ahol:	<i>Kezdeti lépés</i>	<i>„A” ciklus</i>	<i>„B” ciklus</i>
<i>Időigény</i>	$t_l^n = t_y$	$t_{C_A}^n = 2t_x + 3t_y$	$t_{C_B}^n = 2t_x + 2t_y$
<i>Útgény</i>	$s_l^n = (2n_A - 1)s_y$	$s_A^n = 4s_x + 7s_y$	$s_B^n = 2s_x + 5s_y$
<i>Ciklusszám</i>	-	$n_{C_A}^n = \left( \frac{n_A + 1}{3} \right)_{Entier}$	$n_{C_B}^n = \left( \frac{n_A - 3}{3} \right)_{Entier}$

Az akadályozó paletták száma szerint 3 osztályba sorolhatók a kitároláshoz való előrehozatal mozgásváltozatai (3. ábra), mert a mozgások során kitárolandó által szabadon hagyott cella is felhasználásra kerül, ezáltal kétféle ciklus jelenik meg az algoritmusban, egyikben csak egy akadályozó paletta kerül kikerülésre, a másikban kettő. Emiatt a mozgások másképpen fejeződnek be, ha az akadályozó paletták száma  $3k$ ,  $3k+1$ , illetve  $3k+2$ ,  $k \in \mathbb{Z}^+$  alakú. Így illetve a befejező rendezések:

$$t_F^n = \begin{cases} \lceil 2t_x + t_y \rceil + (2t_y), & \text{ha } n_A = 3k; \\ t_x + t_y + \max(t_x + (t_y), (t_y)), & \text{ha } n_A = 3k + 1, \\ t_x + t_y, & \text{ha } n_A = 3k + 2, \text{ ahol } k \in \mathbb{Z}^+, \end{cases}$$

és útígénye: 
$$s_F^n = \begin{cases} [2s_x + 5s_y] + 2s_x + (2s_y), & \text{ha } n_A = 3k; \\ [3s_x + 3s_y] + s_x + (2s_y) + (s_y), & \text{ha } n_A = 3k + 1, \\ [s_x + s_y] + 2s_x + (s_x + 2s_y), & \text{ha } n_A = 3k + 2, \text{ ahol } k \in \mathbb{Z}^+. \end{cases}$$

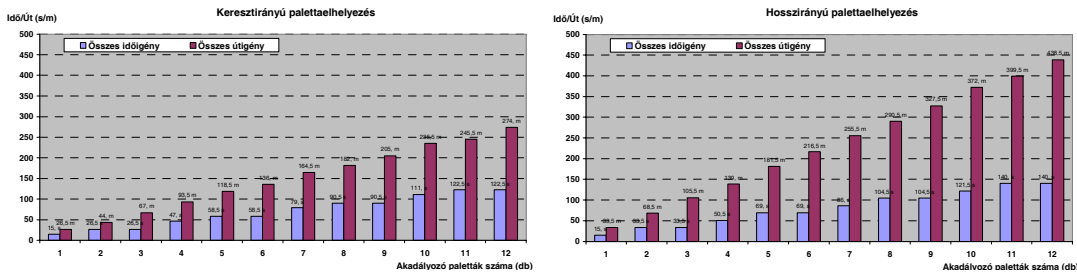
Az előzőek alapján az alábbi képleteket kapjuk a stratégia maximális út- és időigényére:

$$t_\Sigma^n = t_y + \left(\frac{n_A + 1}{3}\right)_{Entier} \cdot (2s_x + 2s_y) + \left(\frac{n_A - 3}{3}\right)_{Entier} \cdot (2s_x + 3s_y) + \begin{cases} [2t_x + t_y] + (2t_y), & \text{ha } n_A = 3k, \\ t_x + t_y + \max(t_x + (t_y), (t_y)), & \text{ha } n_A = 3k + 1, \\ t_x + t_y, & \text{ha } n_A = 3k + 2, \text{ ahol } k \in \mathbb{Z}^+. \end{cases} \quad (8)$$

$$s_\Sigma^n = (2n_A - 1)s_y + \left(\frac{n_A + 1}{3}\right)_{Entier} \cdot (4s_x + 7s_y) + \left(\frac{n_A - 3}{3}\right)_{Entier} \cdot (2s_x + 5s_y) + \begin{cases} [2s_x + 5s_y] + 2s_x + (2s_y), & \text{ha } n_A = 3k; \\ [3s_x + 3s_y] + s_x + (2s_y) + (s_y), & \text{ha } n_A = 3k + 1, \\ [s_x + s_y] + 2s_x + (s_x + 2s_y), & \text{ha } n_A = 3k + 2, \text{ ahol } k \in \mathbb{Z}^+. \end{cases} \quad (9)$$

A képletekben zárójel nélkül szerepelnek a tárolási idő szerinti rendezettség visszaállításakor megjelenő tagok, összhangban a szűrkével jelzett nyilakkal, melyek csak esetlegesen jelentkeznek attól függően, hogy a tárolási idő szerinti rendezettség sérült-e a mozgások során. A kerek zárójelbe foglalt tagok pedig az esetleges felzárkóztatás esetén jelentkeznek.

A következő diagramokban bemutatásra kerülnek a kettőnél több akadályozó paletta esetén alkalmazott diszponálási stratégia idő- és útígénye keresztirányú, illetve hosszirányú tárolási módnál viszsza rendezéses esetben. Az ehhez használt alapadatok megegyeznek a betárolás idő- és útígényénél használt értékekkel.



6. ábra

Közel 100%-os kihasználtság esetén alkalmazott diszponálási stratégia idő- és útígénye keresztirányú, illetve hosszirányú tárolási módnál az akadályozó paletták számának függvényében

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy az idő- és útígény függvényei közel lineárisan emelkednek az akadályozó paletták számának növekedésével. A lineáristól való eltérést a befejező mozgások okozzák. Az útígény keresztirányú tárolás esetén körül-belül kétszer nagyobb meredekséggel emelkedik, hosszirányú tárolás esetén viszont már körül-belül háromszor nagyobb az emelkedés. A keresztirányú tárolás útígényének függvényéhez képest közel 50%-kal nagyobb a hosszirányú tárolás útígényének függvénye. Az időfüggvények viszont közel azonos meredekséggel emelkednek. Ezek alapján megállapítható, hogy a magas kihasználtság esetére kidolgozott kitérési stratégia alkalmazásának a keresztirányú tárolási mód a kedvezőbb.

### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat bemutatja a tömbtárolásos parkolórendszerek tárolótéri diszponálási stratégiáinak 100%-hoz közeli kihasználtság esetére kidolgozott változatainak maximális teljesítőképességének és energiaszükségletének alakulását a betárolások és kitérési mozgások során mozgatott palettákat akadályozó paletták számának függvényében. Ezek alapján megállapítható, hogy a magas kihasználtság esetére kidolgozott diszponálási stratégiák alkalmazása a keresztirányú tárolási mód a kedvezőbb.

*Jelen kutatómunka a K63591 számú OTKA projekt támogatásával valósult meg.*

## 6. IRODALOM

- [1] Burján Tamás: Optimierung des Materialflusses von einem Parkhaus. Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék, 1996;
- [2] Cselényi J.: Automatizált parkolórendszerek tervezésének és irányításának néhány kérdése. Logisztikai Évkönyv '98, Magyar Logisztikai Egyesület, Logisztikai Fejlesztési Központ, pp. 19-24. ISSN 1218-3849, Budapest, 1998;
- [3] J. Cselényi: Design of Automated Car Parking Systems. Proceeding of The International Regional DAAAM-CEEPUS Workshop, 27-29 May, Miskolc, Hungary, 1999, pp. 139-146, ISBN 3-901509-14-3, University of Miskolc;
- [4] V. Sadowsky: Leistungsbestimmung von automatischen Parksystemen am Beispiel eines Palettenverschiebesystems mit Hilfe der Simulation. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen, Fakultät Maschinenbau, Universität Dortmund, 1999;
- [5] J. Cselényi, B. Illés, L. Rádai: Some Questions About the Control Strategies of Automated Car Storing Systems. Manufacturing Engineering, Journal of Faculty of Manufacturing Technologies, Technical University of Košice, ISSN 1335-7972, 2/2004, pp. 79-82;
- [6] L. Rádai, J. Cselényi, B. Illés: Block-storage allocating strategies of multi-level block-storing automated car parking systems in case of low and high storage utilization. Miskolcer Gespräche 2006, 13-14. September 2006, Universität Miskolc, 2006 (under publishing)
- [7] L. Rádai, J. Cselényi, B. Illés: Working capacity and energy consumption of block-storing allocation strategy providing high storage utilisation in multi level, block-storing automated car parking systems. microCAD2007 International Conference, Section N2, Material Flow and Logistical University of Miskolc, 22-23. March, 2007 (under publishing)

# Légrugó numerikus vizsgálata végeelem-módszerrel

## NUMERICAL ANALYSIS OF AN AIRSPRING BY FEM

Dr. SZABÓ Tamás

Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezettan és Mechanika Tanszék, Magyarország,  
H-9026 Győr, Egyetemter 1. Tel.: +36 96 503 400, Fax: +36 96 503 491, Email: sztamas@sze.hu

### ABSTRACT

*An axially symmetric model of an air-spring is analyzed numerically by FEM. The elastic part of the spring is a fiber reinforced rubber composite. The problem is strongly nonlinear due to incompressibility of the rubber, large displacements, large deformations and unilateral contact. The analysis is performed by p-version of the FEM. The characteristic curve, i.e. force versus displacement graphs of the air-spring are determined in addition to the contact pressures for different inflation pressure values and fiber orientations.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A légrugó tengelyszimmetrikus modelljét végeelem-módszerrel vizsgáljuk. A légrugó rugalmas eleme két ellentétes orientációjú betéttel erősített gumi kompozit. A feladat erősen nemlineáris részben a gumi összenyomhatatlanságából adódóan, részben a nagy elmozdulás nagy alakváltozás következtében, illetve az egyoldalú érintkezés feladat miatt. Vizsgálatainkhoz a p-verziós végeelem módszert alkalmazzuk. Meghatározásra kerül a légrugó karakterisztikus görbéje, azaz az erő elmozdulás diagram és az érintkezési nyomáeloszlás is különböző terhelés és szálorientáció esetén.*

**Kulcsszavak:** gumi kompozit, végeelem-módszer, érintkezési feladat, nagy alakváltozás

### 1. BEVEZETÉS

A járművekben a légrugókat napjainkban széles körben alkalmazzák. A rugalmas elem anyaga szálerősített gumi kompozit. A légrugók karakterisztikája belsőnyomással könnyen vezérelhető a kívánt célnak megfelelően. Ezért gyakran alkalmazzák mechatronikai rendszerekben aktív elemként, azaz aktuátorként is.

A cikk egy légrugó tengelyszimmetrikus végeelem vizsgálatát mutatja be. A feladat mechanikai szempontból erősen nemlineáris, mert a gumi kompozit elmozdulása és alakváltozása is nagy, a gumi, mint térfogatállandó anyag nemlineárisan viselkedik ([1],[5],[7]), továbbá az egyoldalú érintkezési feladat még kis elmozdulások esetén is nemlineáris ([4]). Ezért a terhelés hatására kialakuló elmozdulás csak iteratív eljárással határozható meg.

A kifejlesztett célprogrammal tengelyszimmetrikus geometriai- és szerkezeti kialakítású légrugók szilárdsági analízise végezhető el jelenleg a súrlódás és kopás elhanyagolásával. A vizsgálat során, meghatározásra kerül a légrugó karakterisztikája (erő-elmozdulási diagram) különböző állandó belső nyomás mellett, valamint az érintkezési nyomás függvény is. A légrugó numerikus elemzésével kapott adatokra támaszkodva a tervező mérnök nyomon követheti a szerkezeti változtatások hatását, illetve a módosításokkal elérheti a kívánalmaknak legjobban megfelelő karakterisztikát.

### 2. A MODELL ELMÉLETI ALAPJAI

A gumi kompozit két különböző – gumi és szálerősített réteg – tartományát más-más módon írjuk le. A gumi tartomány alakváltozási energiáját és az összenyomhatatlanságot egy Hu-Washizu-féle funkcionállal ([1]) — három független mezőt tartalmaz —, míg a szálerősített réteg alakváltozási

energiáját a Green-Lagrange alakváltozási tenzorral fejezzük ki. A funkcionál felírása előtt bevezetünk egy néhány alapvető kontinuummechanikai mennyiséget.

A feladat tengelyszimmetrikus az azonosító koordináta-rendszert nagy betűvel  $\mathbf{R} = \mathbf{R}(R, \Phi, Z)$ -vel jelöljük, míg a vonatkoztatási rendszert kisbetűvel  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(r, \phi, z)$ . Az elmozdulási vektort jelölje  $\mathbf{u} = \mathbf{u}(u, v, w)$ . Az  $\mathbf{F}$  alakváltozási gradiens és  $J$  fajlagos térfogatváltozás

$$\mathbf{F} = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{R}}, \quad J = \det \mathbf{F}, \quad \mathbf{F} = \mathbf{F}_{Vol} \hat{\mathbf{F}}, \quad \mathbf{F}_{Vol} = J^{1/3} \mathbf{I}, \quad \hat{\mathbf{F}} = J^{-1/3} \mathbf{F} \quad (1)$$

ahol az alakváltozási gradienst felbontjuk egy  $\mathbf{F}_{Vol}$  izotróp és egy  $\hat{\mathbf{F}}$  un. deviátoros részre.

A  $\mathbf{C}$  Cauchy-Green-féle alakváltozási tenzor, valamint a  $\hat{\mathbf{C}}$  deviátoros megfelelője

$$\mathbf{C} = \mathbf{F}^T \mathbf{F}, \quad \hat{\mathbf{C}} = \hat{\mathbf{F}}^T \hat{\mathbf{F}}, \quad \hat{I}_{\hat{\mathbf{C}}1} = \hat{C}_{11} + \hat{C}_{22} + \hat{C}_{33}, \quad \hat{I}_{\hat{\mathbf{C}}2} = \frac{1}{2} (\hat{I}_{\hat{\mathbf{C}}1}^2 - \hat{\mathbf{C}} : \hat{\mathbf{C}}) \quad (2)$$

ahol  $\hat{I}_{\hat{\mathbf{C}}1}, \hat{I}_{\hat{\mathbf{C}}2}$  a deviátoros Cauchy-Green-féle alakváltozási tenzor első és második skaláris invariánsa.

A Green-Lagrange-féle alakváltozási tenzor

$$\mathbf{E} = \frac{1}{2} (\mathbf{F}^T \mathbf{F} - \mathbf{I}). \quad (3)$$

A gumi kompozittra vonatkozó módosított Hu-Washizu-féle funkcionál

$$\Pi_{HW}^m(\mathbf{u}, \bar{J}, \bar{p}) = \beta \left\{ \int_V \hat{W}(\hat{\mathbf{C}}) dV + \int_V U(\bar{J}) dV + \int_V \bar{p}(J - \bar{J}) dV \right\} + (1 - \beta) \int_V \mathbf{E} : \mathbf{D} : \mathbf{E} dV - \int_V \mathbf{p} \mathbf{n} \cdot \mathbf{u} dV \quad (4)$$

ahol  $\bar{J}, \bar{p}$  rendre a független mezővel közelített fajlagos térfogatváltozás és a hidrosztatikus nyomás, ha  $\beta = 1$  tiszta gumi tartomány,  $\beta = 0$  szálérősített betét tartomány,  $\hat{W}$  a Mooney-Rivlin-féle alakváltozási energia sűrűség függvény  $\hat{W} = \mu_{10} (\hat{I}_{\hat{\mathbf{C}}} - 3) + \mu_{01} (\hat{I}_{\hat{\mathbf{C}}}^2 - 3)$ ,  $U$  a térfogat állandóságot biztosító büntetőfüggvény  $U(\bar{J}) = \frac{K}{50} (\bar{J}^5 + \bar{J}^{-5} - 2)$  ([3]),  $\mathbf{D}$  a szálérősített réteg homogenizált anyag-állandóinak negyedrendű tenzora,  $p$  az  $\mathbf{n}$  normális irányú nyomás a légrugó belső és külső felületén.

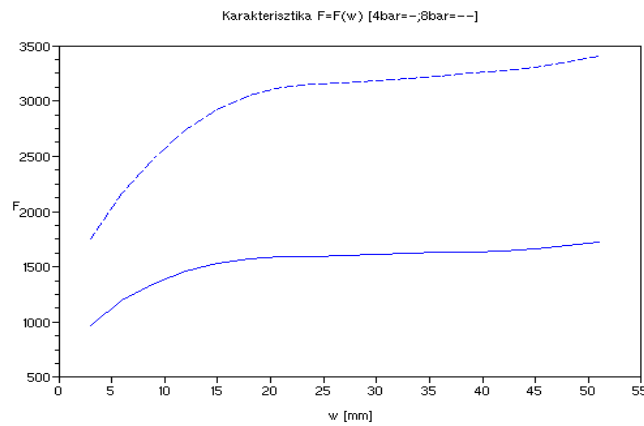
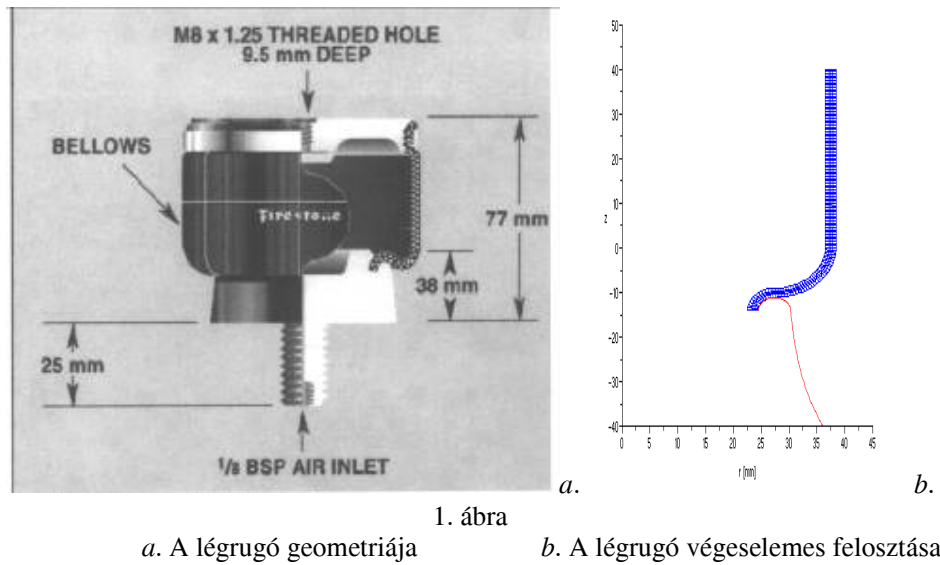
Négy csomópontú  $p$ -verziós elemekkel diskretizáljuk a (4) funkcionált ( $p=1-4$ , [6]). A légrugó keresztmetszete mentén négy tartományt különböztetünk meg. A belső légzáró réteg gumi, ezt követi két ellentétes  $\alpha$  orientációjú szálérősített réteg, majd a külső védő gumi réteg. Az anyagi rétegeket külön-külön elemréteggel fedjük le. Az egyoldalú normál érintkezési feladathoz a [2] hivatkozásban részletezett három csomópontú elemet alkalmazzuk.

A fent bemutatott elméletre alapozva végeelem célprogram került kidolgozásra. A program hatékony működését numerikus példán keresztül szemléltetjük.

### 3. NUMERIKUS SZÁMÍTÁSOK

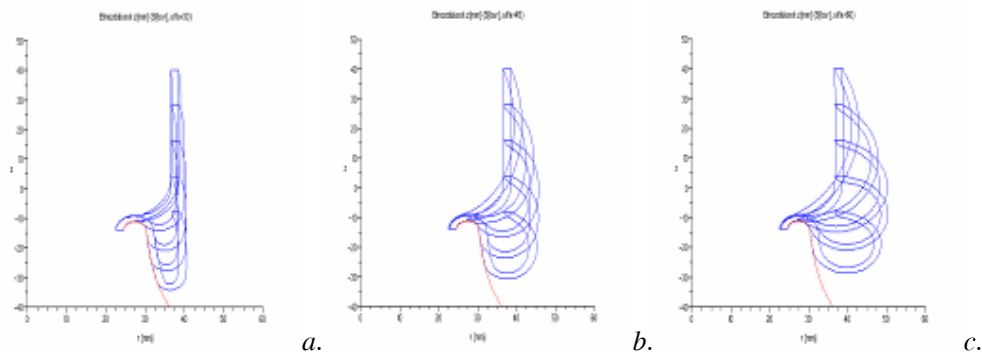
Az 1.a. ábra egy Firestone légrugót szemléltet a geometriai adatokkal. A szálérősített réteg vastagsága és a szálátmérő  $0.334 \text{ mm}$ . A betétréteget alkotó anyagok jellemzői:  $E_f = 114100 \text{ MPa}$ ,  $E_g = 10 \text{ MPa}$ ,  $\nu_f = 0.3$ ,  $\nu_g = 0.49$ . A gumi Mooney-Rivlin állandói  $\mu_{10} = 0.8333 \text{ MPa}$ ,  $\mu_{01} = 0.1388 \text{ MPa}$ . A rugalmas elem végeelemes felosztását az 1.b. ábra mutatja. Hely hiányában itt a  $p=1$ , azaz lineáris approximációra mutatunk be eredményeket.

Rugó karakterisztikára vonatkozó összehasonlító számítási eredményeket láthatjuk a 2. ábrán  $p=4 \text{ bar}$  és  $p=8 \text{ bar}$  belső nyomásnál, amikor a betétek vágási szögei  $\alpha = \pm 36^\circ$ . Kétszeres belső nyomásnál a nemlineáris karakterisztika jó közelítéssel kétszeres értéket vesz fel.



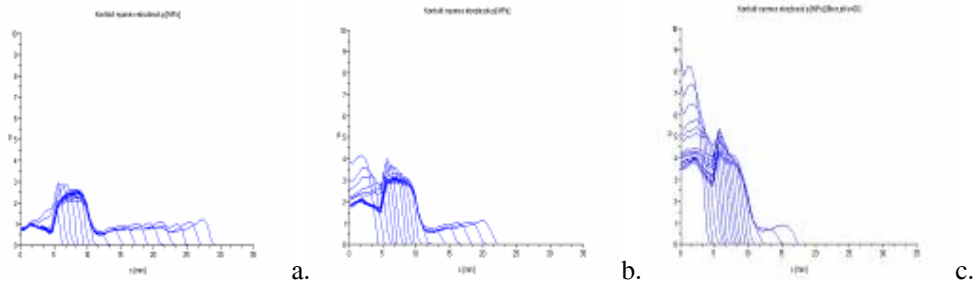
A légrugó karakterisztikái  $p=4$  [bar] és  $p=8$  [bar] belső nyomásnál ( $\alpha = \pm 36^\circ$ )

Megvizsgáltuk  $p=8\text{bar}$  belső nyomásnál a betétek vágási szögeinek ( $\alpha = \pm 30^\circ$ ,  $\alpha = \pm 45^\circ$ ,  $\alpha = \pm 60^\circ$ ) a karakterisztikára és az érintkezési nyomásra gyakorolt hatását.



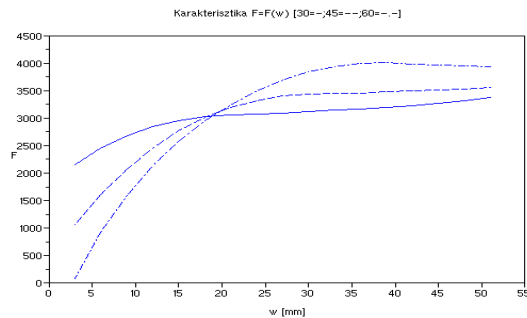
A légrugó elmozdulásai  $p=8$  [bar] a.  $\alpha = \pm 30^\circ$  b.  $\alpha = \pm 45^\circ$  c.  $\alpha = \pm 60^\circ$





4. ábra

$p=8$  [bar] belső nyomásnál a kontakt nyomások a.  $\alpha = \pm 30^\circ$  b.  $\alpha = \pm 45^\circ$  c.  $\alpha = \pm 60^\circ$



5. ábra

A légrugó karakterisztikái  $p=8$  [bar] belső nyomásnál ( $\alpha = \pm 30^\circ$ ,  $\alpha = \pm 45^\circ$ ,  $\alpha = \pm 60^\circ$ )

A 3-5. ábrák alapján látható, hogy a betétek vágási szöge erősen befolyásolja a légrugó terhelt alakját, az érintkezési nyomás eloszlását és az erő-elmozdulási görbét is. Ha a vágási szög  $\alpha = \pm 60^\circ$  a légrugónak egy lágyulási szakasza is van, amely instabilitást eredményezhet.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott légrugó vizsgálata alapján megállapítható, hogy a légrugók tervezésekor igen fontos a betétek vágási szögének helyes megválasztása a kívánt karakterisztika elérésére céljából. Hely hiányában itt nem vizsgáltuk az acél alkatrészek a felfekvési geometriájának hatását, amely egy alakoptimalizálási feladatra vezet.

#### IRODALOM

- [1] Bone, J. – Wood, R.D.: Nonlinear continuum mechanics for finite element analysis. Cambridge University Press, 1997.
- [2] Criesfield, M. A.: Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures. John Wiley&Sons, New York, 1997.
- [3] Hartmann, S. Neff, P.: *Polyconvexity of generalized polynomial-type hyper elastic strain energy functions for nearly incompressibility*. International Journal for Solids and Structures, 2003/40, pp. 2767-2791.
- [4] Páczelt, I. – Baksa A.: *Examination of contact optimization and Wearing problems*. Journal of Computational and Applied Mechanics 2002/3. No.1., pp. 61-84.
- [5] Simo, J. C. – Taylor, R. L.: *Quasy incompressible finite elasticity in principal stretches*. Continuum basis and numerical algorithms. Comput. Methods Appl. Mech. Engng. 1991/85, pp. 272-310.
- [6] Stenberg, R. – Suri, M.: *Mixed hp finite element methods for problems in elasticity and Stokes flow*. Numer Math. 1996/72, pp. 367-389.
- [7] Szabó, B. A. – Babuska, I. – Chayapathy B. K.: *Stress computation for nearly incompressible materials by p-version of the finite element method*. Int. J. num. Meth. Engng, 1989/Vol. 28, pp. 2175-2190.

## Villamos mozdony rendellenes kerékkopásainak csökkentése

### DECREASE OF ABNORMAL WHEEL WEAR IN AN ELECTRIC RAILWAY ENGINE

SZAUTER Ferenc, Dr. NAGY Vince, Dr. BOZÓKY László, Dr. DÖME Béla

Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

#### ABSTRACT

*The reasons for abnormal wear in the wheels of railway engines were determined based on examinations, measurements, and evaluation. Applying the results obtained during the investigation, it was possible to determine a series of actions that moderated wheel wear in railway engines.*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*Vizsgálatok, mérések és elemzések alapján feltárássra kerültek a villamos mozdonyok rendellenes kerékkopásait előidéző okok. Az eredmények felhasználásával volt kidolgozható a rendellenes kerékkopások mérséklésére irányuló intézkedéssorozat.*

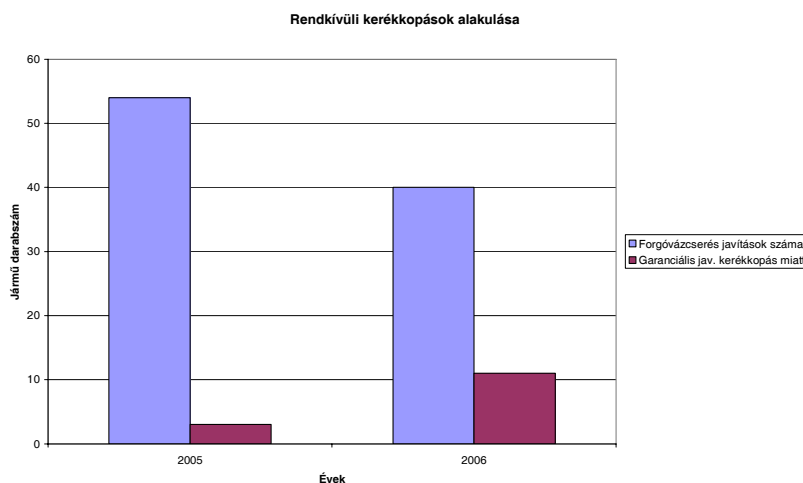
**Kulcsszavak:** villamos mozdony, kerék, kopás

Ezen tanulmány a következő kutatás-fejlesztési programot tűzte ki célul:

- A rendkívüli mértékű kerékkopások megfigyelése, elemzése és értékelése
- A rendellenes kerékkopások és a jármű mozgásjellemzői közötti összefüggések feltárása
- A rendellenes kerékkopásokat előidéző okok feltárása
- A rendellenes kerékkopásokat okozó műszaki paraméterek elemzése, értékelése

Javaslat a rendellenes kerékkopások csökkentésére irányuló új üzemeltetési és fenntartási technológiára.

#### A RENDKÍVÜLI MÉRTÉKŰ KERÉKKOPÁSOK MEGFIGYELÉSE, ELEMZÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE

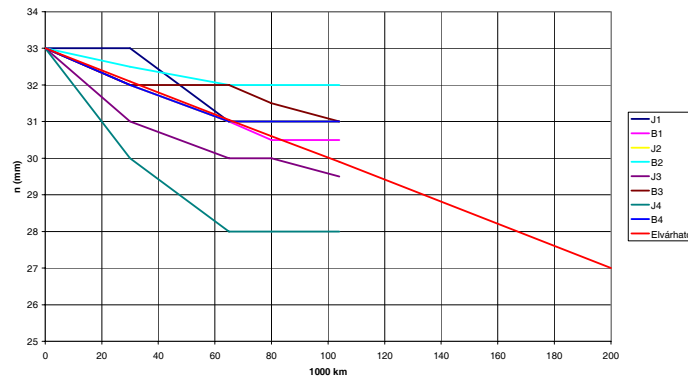


1. ábra

Rendkívüli kerékkopások darabszáma forgóváz cserés javítás után

A rendkívüli kopások csak a nyomkarima vastagságnál ( $n$ ) jelentkeztek, így ezeket az értékeket rajzoltuk fel a futásteljesítmény függvényében, ahol a kopásváltozást jelentő egyenesek meredeksége a kopási sebességet adja mm/1000 km-ben.

A kopási sebesség diagramokat járművenként az összes kerék nyomkarima vastagságára felrajzoltuk. A kopási sebesség diagramok a 2. ábrán láthatók. Az ábrákba berajzoltuk a jelenlegi átlagos kopásnak megfelelő kopási sebesség egyenesét is „Elvárható” jelöléssel. Így rögtön kitűnnek az átlagosnál gyorsabban, vagy esetleg lassabban kopó kerekek.



2 ábra  
Kerékkopási diagramok

## A RENDELLENES KERÉKKOPÁSOK FELTÁRÁSÁRA A JÁRMŰ MOZGÁSJELLEMZŐINEK MÉRÉSE

A rendellenes kerékkopás a nyomkarima vastagság erőteljes csökkenéséből áll, így mindenek előtt keresztirányú mozgásjellemzőket kell mérni. A szekrény és forgóváz keret relatív helyzetét 2 útdóval, dinamikus viselkedésüket pedig gyorsulásmérővel tudjuk meghatározni.

Ezek alapján a mérendő paraméterek:

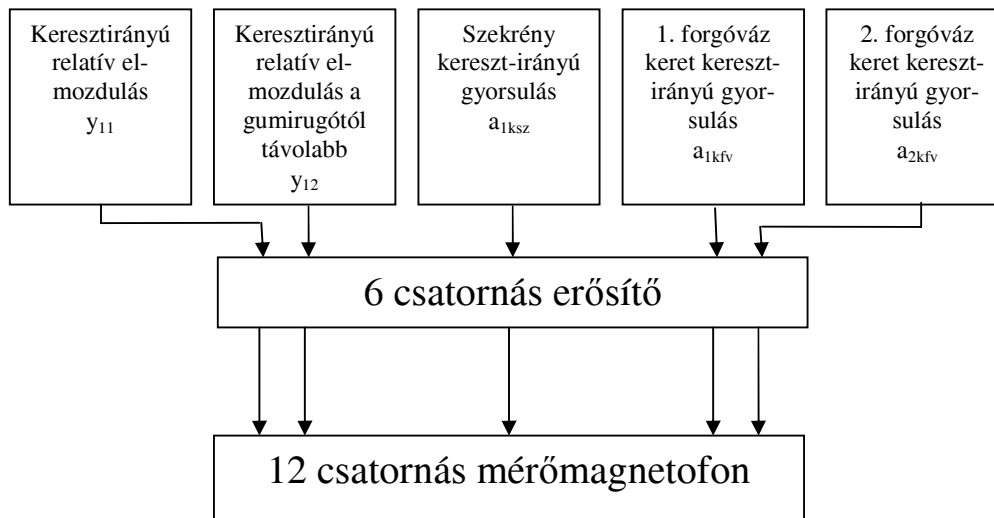
- $y_{11}$ : járműszekrény és forgóvázkeret keresztirányú relatív elmozdulása a gumirugónál (1. forgóváz)
- $y_{12}$ : járműszekrény és forgóvázkeret keresztirányú relatív elmozdulása a gumirugótól távolabb (1. forgóváz)
- $a_{1ksz}$ : járműszekrény keresztirányú gyorsulás a gumirugónál (1. forgóváz)
- $a_{1kfv}$ : forgóváz keret keresztirányú gyorsulás a gumirugónál (1. forgóváz)
- $a_{2kfv}$ : a második forgóváz forgóvázkeretén keresztirányú gyorsulás a gumirugónál (2. forgóváz)



Járműszekrény és forgóvázkeret közötti relatív elmozdulás mérése



A felműszerezett 1-es forgóváz



3. ábra  
A mérés blokkvázlata

### MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A mozdonyoknál jelentkező rendellenes kerékkopások okainak feltárására irányuló járműdinamikai mérés kapcsán a mérési eredmények elemzése alapján a következő megállapítások és következtetések tehetők:

- Vontatási üzemmódban és gépmenetben is a forgóváz nyugodtan fut, egyenes pályán a forgóváz és így a kerékpárok keresztirányú mozgása is megfelelő. Ívben haladáskor a járműszekrény a forgóvázhoz képest keresztirányban kilendül, de az ívet elhagyva a szekrény-forgóváz kapcsolat geometriája visszaáll a kitérés előtti helyzetre.
- A szekrény és a forgóváz relatív elmozdulását regisztráló útdók mérési eredményei alapján a forgóváz elmozdulása a szekrény alatt nem a forgóváz képzeletbeli középpontja körüli elfordulás. A forgóváz képzeletbeli középpontjától különböző távolságban elhelyezett útdók közel azonos elmozdulásokat mértek.
- A járműszekrényen és a forgóvázkereten keresztirányban elhelyezett gyorsulásadók alakra és nagyságra nézve is közel azonos gyorsulás-idő függvényt mértek.
- Megállapítható, hogy keresztirányban gyakorlatilag a járműszekrény és forgóváz között viszonylag merev kapcsolat van, melynek az oka minden bizonnyal a szekrény és forgóváz közötti gumirugó és a beépített lengéscsillapító.

### A VILLAMOS MOZDONYOK RENDELLENES KERÉKKOPÁSAIT ELŐIDÉZŐ OKOK FELTÁRÁSA

A villamos mozdonyok rendkívüli kerékkopásaira irányuló vizsgálataink, járműdinamikai méréseink alapján a rendkívüli kerékkopások jellemző okait az alábbiakban fogalmazhatjuk meg.

A mozdony 1-2 kerekénél jelentkező, a többi kerékhez képest lényegesen intenzívebb nyomkarima vastagság csökkenés közvetlen kiváltó fő oka, hogy az adott kerékpár nem a vontatási középnek megfelelő helyen fut. A kerékpárok futási helyzetét a következők határozhatják meg:

- főegységek tömegközéppont helyei,
- egymással kapcsolódó főegységek geometriai értékei (geometriai kimérések)
- főegységek közötti erőkapcsolatok (rugók, ingák, lengéscsillapítók)

A magas átlagéletkorú járműveknél, a sok fődarab csere mellett olyan javítások is előfordultak (például hegesztés, forgácsolás) melyek a tömegközéppontokat, geometriai értékeket módosíthatja.

A jármű üzeme és karbantartása szempontjából alapvetően 3 fő csoportra oszthatjuk a rendkívüli mértékű keréknyomkarima kopásokat befolyásoló tényezők tárgyalását

- a jármű átalakításával kapcsolatos okok (konstrukciós okok)
- forgóváz cserével kapcsolatos okok (javítási, kimérési technológia)
- üzemeltetési okok

### **AZ ÁTALAKÍTOTT V43 SOROZATÚ MOZDONYOK RENDELLENES KERÉKKOPÁSAIT ELŐIDÉZŐ OKOK FELTÁRÁSA**

A V43 sor. mozdonyok rendkívüli kerékkopásaira irányuló vizsgálataink, járműdinamikai méréseink alapján a rendkívüli kerékkopások jellemző okait az alábbiakban fogalmazhatjuk meg.

A mozdony 1-2 kerekénél jelentkező, a többi kerekhez képest lényegesen intenzívebb nyomkarima vastagság csökkenés közvetlen kiváltó fő oka, hogy az adott kerékpár nem a vontatási középnek megfelelő helyen fut. A kerékpárok futási helyzetét a következők határozhatják meg:

- főegységek tömegközéppont helyei,
- egymással kapcsolódó főegységek geometriai értékei (geometriai kimérések)
- főegységek közötti erőkapcsolatok (rugók, ingák, lengéscsillapítók)

A 40 éves átlagéletkorú V43 sorozatú járműveknél, a sok fődarab csere mellett olyan javítások is előfordultak (például hegesztés, forgácsolás) melyek a tömegközéppontokat, geometriai értékeket módosíthatja.

A jármű üzeme és karbantartása szempontjából alapvetően 3 fő csoportra oszthatjuk a rendkívüli mértékű keréknyomkarima kopásokat befolyásoló tényezők tárgyalását

- a jármű átalakításával kapcsolatos okok (konstrukciós okok)
- forgóváz cserével kapcsolatos okok (javítási, kimérési technológia)
- üzemeltetési okok

### **ÖSSZEGZÉS**

A vizsgálat, a mérések és elemzések alapján tett megállapítások és javaslatok összegzése a vilamos mozdonyok rendellenes kerékkopásainak mérséklésére a következők:

- A rendellenes kerékkopásának legfőbb oka a járműszekrény, forgóváz és kerékpár főegységek tömeg-, geometriai- és erőkapcsolatának nem szimmetrikus jellege.
- A forgóvázcsere javítás után jelentkező rendkívüli kerékkopás (nyomkarima élesedés) kezelésére alkalmazott beavatkozás (kihajtó csőkardán mellékelés, csapágyhézag állítás) a rendkívüli kerékkopásokat mérsékli
- Megállapítást nyert, hogy keresztirányban gyakorlatilag a járműszekrény és forgóváz között viszonylag merev kapcsolat van, melynek az oka minden bizonnyal a szekrény és forgóváz közötti gumirugó és a beépített lengéscsillapító.
- Megállapítható, hogy a végrehajtott konstrukciós változtatásoknak megfelelően nem került módosításra minden esetben a javítási technológia.
- Nagyobb gondossággal és a megengedett tűrések szigorú betartásával kell eljárni a geometriai és erőkapcsolati elemek kimérésénél, ellenőrzésénél.
- Ki kell dolgozni a főkeret és a forgóváz szekunder rugózáshoz kapcsolódó helyeinek kimérési elveit és módszereit, és ezt a gyakorlatban is alkalmazni kell, valamennyi forgóvázcsere alkalmával.

## A tervezési folyamat költségszempon t u elemzése

### DEVELOPMENT PROCESS ANALYSIS IN COST ASPECTS

SZEGHŐ Krisztina

PhD hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezzetani Intézet (GSZI),  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. I/5., Tel.: +36 (1) 463-2538, Fax: +36 (1) 463-3505,  
E-mail: szegho.krisztina@gszi.bme.hu, Web: http://www.gszi.bme.hu

#### ABSTRACT

*The well-known question is at the beginning of the product development process: How can I develop a „good product” in less time and with low cost? A new method for optimising the product development process to reduce product costs in the early product development phase has to be found. The new, to be developed structure should include all important factors (costs, risks) whose modification and optimisation has a positive influence on the product development process. Such approach has a global impact in the company and necessarily involves collaboration between different actors since the early design phase.*

*A systematically planned, introduced and used PLM system, that also considers preventive risk and cost management already in the early product development phase of a product, leads to a more rapid and complete provision of information, to secure decisions and processes and so to a reduction of both caused and planned costs, which arise during the following phases of the manufacturing process.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Egy, a terméktervezési folyamat elején felmerülő, már jól ismert kérdés: Miként lehet a legrövidebb idő alatt, alacsony költségekkel „Jó Terméket” tervezni? A kutatás célja, egy új módszer kifejlesztése, mely segítségével a termékalköltségek minimalizálására törekedve, a terméktervezés folyamata a tervezés korai szakaszában optimalizálható. Az újonnan kifejlesztett módszer, struktúra minden olyan lényeges tényezőt tartalmaz (költséget és időt egyaránt), melyek módosítása, optimalizálása pozitív hatással van a terméktervezés folyamatára. A kutatás globális hatással lenne a vállalatokra és a tervezési folyamat korai szakaszában részt vevő szereplők/személyek közötti együttműködést erősítené.*

*Ezt biztosítja egy szisztematikusan megtervezett, bevezetett és alkalmazott PLM-rendszer, mely a tervezési folyamat korai szakaszában megjelenő kockázati- és költségmenedzsment fontos szerepét is figyelembe veszi, valamint gyorsabb és teljesebb információhalmazt eredményez. Ennek feldolgozása megalapozza a jó döntéseket, célravezető folyamatokat, valamint a tervezési folyamat későbbi fázisai-ban felmerülő tervezett költségcsökkentést.*

**Kulcsszavak:** Frontloading, Költségmenedzsment, Költségoptimalizálás, Konceptcionális Termékstruktúra, Általános Költségstruktúra

#### 1. BEVEZETÉS

A tervezési folyamat fontos része a vállalati folyamatoknak. Az eredménye szellemi termék, ami egy termékleírás t jelent minden hozzátartozó dokumentummal, leírással, specifikációval, digitális modellekkel és a fejlesztéshez tartozó egyéb információkkal (gépek, szerszámok, berendezések, üzemek... stb. szükségletével). A tervezési idő csökkentési kényszere és a termék mielőbbi piacra kerülésének követelménye egy megváltozott helyzetet eredményezett a termékfejlesztésben. A műszaki folyamatok menedzsereinek feladata egy komplex környezetben jobb, gyorsabb költséghatékonyabb és

ennek eredményeképpen kevesebb erőforrást igénylő innovatív termék definiálása annak érdekében, hogy a vállalat sikeres piaci résztvevő maradjon.

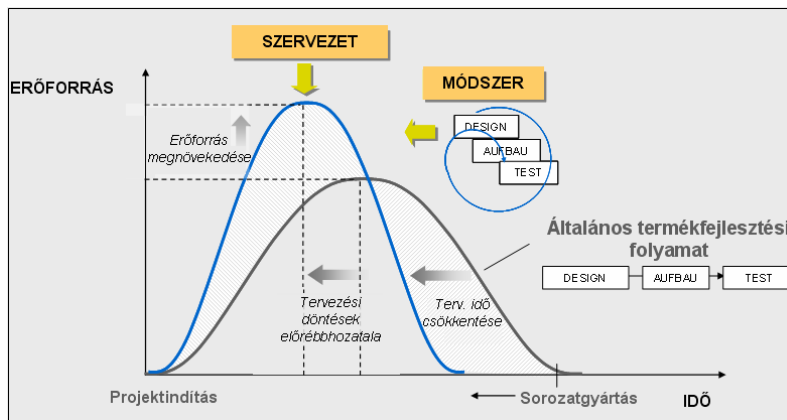
Az utóbbi években folyamatosan változott a mérnöki tevékenységek tartalma, és így a mérnöki felelősség területe is. A mérnök fejlesztésben és tervezésben játszott szerepe a kreatív tevékenységi körök, az információ, dokumentáció és kommunikáció területére helyeződött át. A mérnökök az egyre növekvő párhuzamos tevékenységek miatt több folyamatban is részt vesznek, így pl. Supply Chain Management, műszaki dokumentáció, költség-, minőség- és kockázati menedzsment... stb.

## 2. A TERVEZÉSI FOLYAMAT OPTIMALIZÁLÁSA

### 2.1. Frontloading

A növekvő termék és folyamatkomplexitás jobb módszereket, folyamatokat és számítógépes megoldásokat kíván meg a termékelőállítás folyamatán belül. A virtuális termékfejlesztés és a Cross Enterprise Engineering alkalmazása a korai fejlesztési fázisokban lerövidíti az innovációs folyamatot (idő) ezzel egyidőben növeli a minőséget (funkció) és csökkenti a költségeket.

Az a felismerés, miszerint a termékfejlesztési folyamat során a megismételt illetve újragondolt tervezési módszerek és folyamatok befolyásolják a legnagyobb mértékben a termékköltség alakulását, azt eredményezi, hogy a virtuális termékfejlesztés módszerei már a koncepcióképzés korai szakaszába integrálódnak. Ezt az elméletet hívják (az angol kifejezéssel élve) Frontloading-nak.



1. ábra

*A korai termékfejlesztési szakasz módszeres támogatásának előnyei*

Ez a módszer az eredmény szempontjából a kritikus részfolyamatokat előrébb hozza, és eredményeit a termékelőállítási folyamatnak abban a fázisában lehet alkalmazni, ahol:

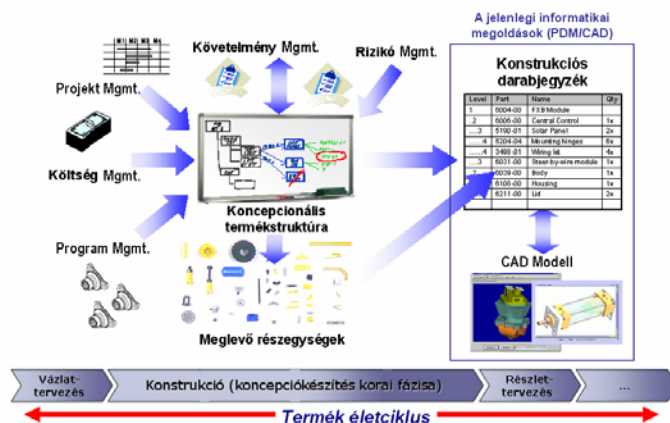
- a termék és a projektköltségek 70%-át határozzák meg
- a változtatások költsége még alacsony és
- a költségcsökkentés lehetőségei magasak.

### 2.2. Konceptcionális termékstruktúra

A konceptcionális termékstruktúra képezi a kutatás magját, amely egy termék vagy termékcsoporthoz ír le egy absztrakt, generikus szinten. Ez a nézőpont a funkcionális szerelési vagy egy másik szabadon választható nézőpontot követhet. A konceptcionális termékstruktúra nem alkatrészekből áll, hanem komponensekből, ahol minden komponens egy alkatrész generikus reprezentációját adja a megfelelő jellemzőkkel.

Mivel egy termék továbbfejlesztése során a generikus struktúra ideális esetben nem vagy csak kicsit változik a konceptcionális termékstruktúra egy lehetséges stabil reprezentációnak tekinthető. Ahogy korábban említettük a konceptcionális termékstruktúra különböző szemléletmódokat követhet, így más alkalmazási területekre is könnyen adaptálható. Ha pl. a konceptcionális termékstruktúra a

funkcionális nézőpontot követi, akkor támogatni tudja a komplex és/vagy eltérő termékváltozatokat is, amely így támogatja a követelmények funkcionális rendszerben történő leképezését.



2. ábra  
Konceptcionális termékstruktúra

A termékstruktúra generikus részeinek szigorú szabályok szerinti felépítése ideális kapcsolatteremtő eszköz a termékelőállítási folyamat korai fázisában szükséges információk számára – pl. a követelmények egyszerűen köthetők a konstrukciós darabjegyzékhez (Engineering BOM).

### 3. CÉLKITŰZÉS

#### 3.1. Termékinformációk fontossága

Egy korai preventív/megelőző költségmenedzsment mindig fontos szerepet tölt be a terméktervezés folyamata során. A megvalósíthatósági tanulmányok (mikor és hogyan oldható meg a feladat a rendelkezésre álló kapacitásokkal) illetve az összehasonlító költségszámítások mellett a saját-, külső-tervezésre illetve saját-, külső fejlesztésre vonatkozó jól megalapozott tervezési döntésre már a koncepcionális szakaszban szükség van. További fontos információ lehet a saját-, külsőgyártás eldöntése szempontjából, hogy a termékportfolióban milyen hasonló alkatrészeket alkalmaznak, illetve hogyan alakulnak így a költségek. Az alkatrészek átgondolt újraalkalmazása, a darabszámot és a darabköltséget pozitívan befolyásolja és ez alapján a terméket költség alapján is lehet optimalizálni. A költségek szempontjából fontos, hogy a koncepcionális szakaszban további fontos információk is rendelkezésre álljanak, pl. Szerszámköltség, anyagköltség, gyártásköltség... stb.

A korábbiakkal ellentétben a tervezéshez szükséges információk belső (logisztika, beszerzés, pénzügy... stb.) és külső (beszállító, szabadalom... stb.) információk csatornákon keresztül összegyűjthetők. Ezen rendelkezésre álló információk felhasználása, melyek a terméktervezés korai szakaszában definiált követelményekből tevődnek össze, nagymértékben segítik és javítják a mérnök tervezési és döntési folyamatát. Mindemellett ezen információk birtokában csökkenthetők azok a hibák, amelyek a termék át- ill. újratervezését kívánják meg és többletköltséggel, idővesztéssel járnának.

#### 3.2. Általános költségstruktúra

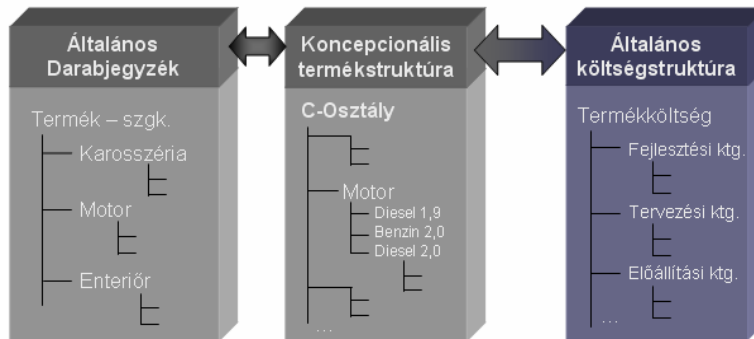
Az előzetes, korai költségkalkuláció új módszerének kidolgozásával lehetőség nyílik a termék-költségek szabályos időközönkénti ellenőrzésére és irányítására. A Target Cost Management (= célköltség menedzsment) elméletére épül, mely egy a piaci és vevői igényeken alapuló kalkulációs módszer. A termékorientált költség meghatározást illetve az előállt költségek irányítását támogatja. Mindkét módszer, a költségkalkuláció új modellje és a Target Costing is erősen piac- és vevőorientált. Mindkettő a termékfejlesztési folyamat korai szakaszában törekszik a költségek csökkentésére.

Az alapvető különbség a két módszer között az időbeliségben rejlik. A célköltség menedzsment esetében a piaci és a vevői igények felmérése után határozzák meg a termék előállításának maximális költségét. Az újonnan kifejlesztett módszer a termékköltséget a terméktervezési folyamat összes szakaszában analizálja (konceptiókészítés, tervezési költség, előállítási költség, gyártási költség... stb.).



Így kerül megvalósításra a költségkalkuláció időbeli kiterjesztése a termék teljes életciklusára vonatkozóan.

Ezen új ismeretek birtokában felépíthető egy általános költségstruktúra. A kidolgozásra kerülő általános költségstruktúra alapján lehetőség nyílik a tervezés korai fázisában definiálni, optimalizálni és redukálni a költségtényezőket.



3. ábra

*A konceptcionális termékstruktúra és a költségstruktúra összekapcsolása*

A kutatás egy másik fontos része, választ találni arra, hogy milyen megoldással lehet az újonnan kifejlesztett általános költségstruktúrát a konceptcionális termékstruktúrával összekapcsolni. Minden esetben úgy kell felépíteni a költségmodellt, hogy a költségfaktorok közötti kapcsolatok, alárendeltségi viszonyok egyértelműen megjelenjenek.

### 3. KONKLÚZIÓ

Összefoglalóan megállapítható, hogy az utóbbi 20 év alatti tervezési folyamat rohamos változása eredményeként a jövőben a termékfejlesztési folyamat szükségszerűen a Frontloading szakaszával bővíthető. A kutatás legfontosabb célja, hogy támogassa a komplex termékek továbbfejlesztésének felgyorsítását a termék életciklusának szűkítése nélkül. Ennek értelmében a folyamatosan létrehozott termékkel kapcsolatos információkat már az innovációs projekt korai fázisában rendszerezetten rendelkezésre kell bocsátani. Így a termék életciklus "zárttá" válik, a folyamat során létrejövő termék-információkat célzottan összegyűjti és felgyorsítja a termék előállítás folyamatát.

A fő cél egy aktív költségtervezési- és optimalizálási módszer kifejlesztése, mely a termékfejlesztés korai fázisában már alkalmazható és a tervezési folyamatot egészében végigkíséri. Így lehetőség nyílik arra, hogy a konceptcionális szakaszban a végső termék költségeiről egy előzetes képet kapjunk. A költségorientált tervezés, azonban nem azt jelenti, hogy a termék minősége romlik. Sokkal inkább új módszerek és eszközök alkalmazását jelenti, melyek lehetővé teszik a műszakilag is kiváló minőségű termék megtervezését és előállítását és ezzel egyidőben versenyelőnyhöz is jutnak az alacsony termékköltségeknek köszönhetően.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] K. Ehrlenspiel, A Kiewert, U. Lindemann. Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, Springer-Verlag 2005.
- [2] Burger Anton. Kostenmanagement, 3. Auflage, Oldenbourg 1999.
- [3] Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner. Frontloading – Ein Potential für die Optimierung des Produktentwicklungsprozesses, interne Unterlage; Universität Kaiserslautern, 2005.
- [4] Eigner, M., Zagel, M., Weidlich, R. The Conceptual Product Structure as Backbone of the Early Product Development Process, Proceedings ProSTEP iViP Science Days 2005, Darmstadt.
- [5] Mathias Zagel. Übergreifendes Konzept zur Strukturierung variantenreicher Produkte und Vorgehensweise zur iterativen Produktstruktur-Optimierung, Dissertation, Kaiserslautern, September 2006.
- [6] M. Myrup Andreasen, Lars Hein. Integrated Product Development, The Institute for Product Development, IPU 2000.

# Pontfelhő alapú felületillesztés és testmodellezés összehasonlítása

## COMPARISON OF POINTCLOUD BASED SURFACE FITTING AND SOLID MODELING

SZIKSZAY-MOLNÁR Gergely

PhD hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezettani Intézet  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. MG. Épület

Tel: (06 1) 463-1473 Email: szikszay-molnar.gergely@gszi.bme.hu Web: www.gszi.bme.hu

### ABSTRACT

*The aim of this paper is to introduce and compare the measured pointcloud or mesh based intelligent surface fitting and solid modeling techniques. This paper is describing the semiautomatic “engineered like” analytic and freeform NURB Surfacing and the parametric solid reverse modeling. In addition it points to the advantages and disadvantages of the two innovative methods.*

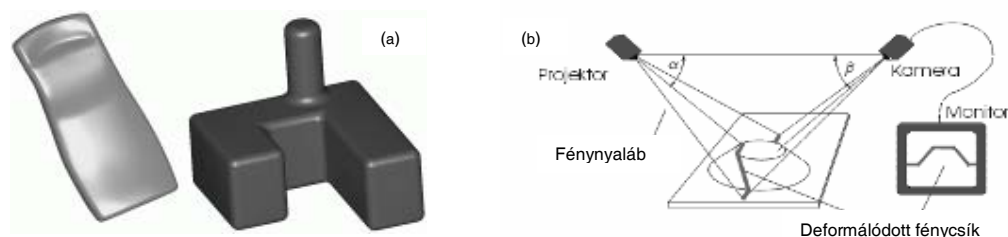
### ÖSSZEFOGLALÓ

*A jelen cikk célja bemutatni és összehasonlítani a mért, háromdimenziós digitális pontfelhő vagy poligonháló alapú, intelligens felületillesztés és testmodellezés technikáit, azok alkalmazási lehetőségeit, előnyeit és hátrányait. Ezen két innovatív modellezési eljárással új lehetőségek nyíltak a Reverse Engineering felhasználásában, ugyanakkor ezek összehasonlítása, a különböző eredmények feltárása eddig nem történt meg.*

**Kulcsszavak:** Felületdigitalizálás, pontfelhő, felületillesztés, testmodellezés, reverse engineering

### 1. BEVEZETÉS

A pontfelhő alapú CAD modellezés legnagyobb alkalmazási területe az autóiipar, itt a gyors tervezés- fejlesztés igénye és az autóiipar tőkeerőssége már több mint egy évtizede motiválja a nagyszűrűségű pontfelhő produkálására képes koordinátamérőgépek, 3D szkennerek és pontfelhő alapú CAD rendszerek (Reverse Engineering) fejlesztését. A gyors tervezést e technikák két helyen segítik,



1. ábra

(a) Szabadformájú és analitikus modellek (b) A háromszögletes elv

elsősorban a formatervezők által készített agyagmodellek bedigitalizálása során, másodsorban a beszállítók dokumentáció nélküli, referenciadarab utáni gyártásában, továbbá konkurens gyártók termékeinek lemásolása és áttervezése során, mely eljárást meglepően elterjedten használnak. Az említett

alkalmazási területekből következik, hogy a számítógéppel digitalizálandó és modellezendő fizikai tárgyak, alkatrészek formájukat tekintve igen különbözőek lehetnek. Ezen különbségek két nagy kategóriába csoportosíthatók, miszerint megkülönböztetünk dominánsan szabadformájú és/vagy komplikáltabb analitikus felületekkel rendelkező alkatrészeket, másfelől meg prizmatikus és/vagy egyszerűbb primitív felületekből álló darabokat. (1/a. ábra) Az alkatrészek ilyen csoportosítása fontos az alábbiakban bemutatott két CAD modellező eljárás előnyeinek és hátrányainak bemutatásához.

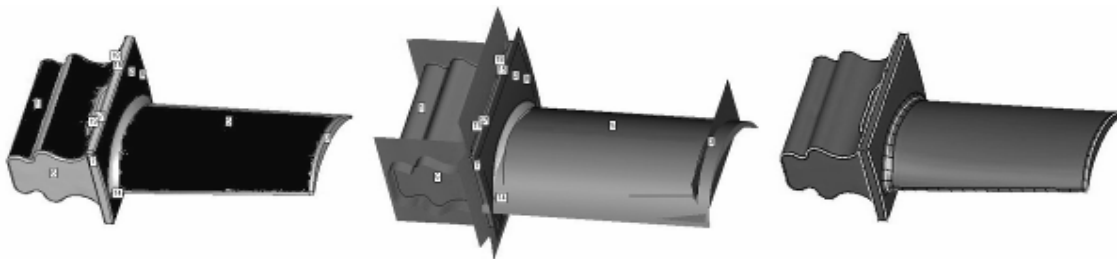
## 2. MÉRT, HÁROMDIMENZIÓS PONTFELHŐ VAGY POLIGONHÁLÓ LÉTREHOZÁSA

A 3D-s digitális pontfelhő egy adathalmaz, mely egy virtuális modell tér adott koordinárendszerében néhány, vagy akár több millió pont x-y-z koordinátáit tartalmazza. Ezek a pontok a legtöbb esetben egy tárgy (alkatrész, testrész stb.) felületét reprezentálják valamilyen sűrűségben, pontosságban. A pontfelhő adatai a számítógép memóriájából kiolvasva megjeleníthetők a monitoron, továbbá ezek a pontinformáció adatok elmenthetőek szabványos módon ASCII formátumban, ilyenkor egy lista készül, melynek minden sora egy-egy pont koordinátáit tartalmazza a legtöbb esetben szünetjellel elválasztva. Pontfelhő generálható bármilyen szintén virtuális CAD modell felületére, de jelen esetben a meglévő fizikai tárgy felületéről mért pontfelhővel foglalkozunk. A mért pontfelhő adatokat sok 3D szkennelkező szoftver alapbeállításban háromszögelt poligonhálóként jeleníti meg és menti el. Ez esetben vagy a pontfelhő minden pontja egy-egy háromszög csúcspontnak felel meg, vagy különböző matematikai algoritmusok alapján ritkítva jelenik meg. Egy tárgy felületének háromdimenziós bedigitalizálására több módszer létezik. A legrégebbi eljárás a CNC gépre szerelt tapintófejes mechanikus pásztázás, vagy a mérőgéppel, esetleg többszögletes manuális mérőkarral történő pásztázás, pontmérés. Ennek alternatívája a különböző háromszögeléses elven (1/b. ábra) működő optikai szkennerek. A strukturált fénycsíkok elvén működő szkennerek [1] különböző vastagságú fénycsíkokat (Moiré topográfia és szürkeárnyalatok is) vetítenek a felületre, melyet egy másik pontban elhelyezett kamera lefényképez, a felületen elhajlott sötét-világos fény kontúrja a képen szoftveresen felismerhető, a kontúrvonal formájából és a műszer geometriájának ismeretéből háromszögeléses elven számítható a felszín a kép felbontása szerint pontról pontra. A lézeres szkennerek egy típusa kisteljesítményű lézer pontot vagy csíkot vetít a felületre, melyet szintén egy másik pontban elhelyezett digitális kamerával (Position Sensitive Detector) követnek, de ez esetben nem készül fénykép, hanem a csík a detektor felületén való elhelyezkedéséből számítja a gép a felület koordinátáit. A testről a fény az érzékelő felületén különböző helyre verődik vissza, a fénynek az érzékelő lapkán lévő felületi pozíciójából számítható a felület geometriája. A lézer szkennelkező fejet egy héttengelyes mérőkarral vagy egyéb pozíciómeghatározó rendszerrel szerelve, a gépet vezérelten vagy a fejet kézben tartva használhatjuk.

## 3. PONTFELHŐ ALAPÚ GÖRBE ÉS FELÜLETILLESZTÉS

A pontfelhő alapú görbe és felületillesztéses modellezési eljárás lépései a következők. Az erre alkalmas CAD rendszerbe beolvasott pontfelhőt a felhasználó vizuálisan elemzi és a pontmodellen potenciális elsődleges és másodlagos felületrészeket definiál, a modellt szegmentálja. Elsődleges felületelem lehet a már említett primitíveken túl egyszerűbb és nagyobb görbék által meghatározható kihúzások, söprések vagy akár teljesen szabadformájú felületek, melyeket kisebb, általában valamilyen lekerekítési de szintén akár szabadformájú felületrészek kötnek össze, mint másodlagos felületek. A felhasználó az elsődleges és másodlagos felületeket határoló görbéket illeszt a felületelem szerinti jellemző helyekre (mint pl. elhúzás vagy söprés kontúrja és útvonala vagy a felületelem határoló és meghatározó görbék), a görbék készülhetnek a felhasználó által a pontfelhő pontjaira klikkelve, vagy félautomatikus módon, pl. élre vagy a pontfelhő szélére illesztve (feature curves, boundary curves). Következő lépésként az adott elsődleges felületrészt meghatározó pontokat kijelölve, a felhasználó azokra illeszt a felületelemet a típusát meghatározva, ilyenkor általában a létrejött felület négy oldalú és részben vagy egészben túlnyúlik az alatta elterülő, a felületelemet meghatározó pontthalmaz határain. Az elsődleges felületelemek létrehozása után a másodlagos felületek létrehozása és ezzel párhuzamosan az említett túlnyúló felületrészek levágása (trimming) történik. A vágás történhet az egymást keresztező felületek vagy a felületet határoló pontadat alapú görbék által, de sok esetben a másodlagos

felületelemek létrehozása és a velük történő vágás az alattuk elterülő pontfelhőtől független CAD alaksajátosságokkal történik (mint pl. lekerekítés, letörés, blending stb.). Az ilyen módon létrehozott felületek már teljesen befedhetik és formájukat tekintve reprezentálhatják az alattuk elterülő ponthalmaz formáját. Ezután a modell felületétől elvárt belső és csatlakozó folytonossági beállításokat (kontinuitást) és a felület szépítését kell elvégezni (fearing és matching), ez a lépés a felületmodellező rendszer funkcionalitásától függően történhet, és legtöbb esetben sok felhasználói munkát igényel. Itt kell megemlíteni, hogy a legtöbb pontfelhő alapú felületmodellező B-spline (néha Bezier) görbéket és NURB felületeket készít melyek folytonosságát parametrikus (C0, C1, C2) vagy geometria (G0, G1, G2) folytonossággal és azok fokával jellemezzük [2]. Így beszélhetünk két felület pozícionális, tangenciális és görbületi folytonosságáról, melyek beállítása történhet automatikusan vagy manuálisan (3. ábra). Pontfelhő alapú görbe és felületillesztés módszerével szép struktúrájú és jó minőségű felületek is készíthetők, ezért az autóiiparban ez a módszer a legelterjedtebb. Másik előnye, hogy gyakorlatilag bármilyen modell létrehozható, a rendszerben rugalmasan kombinálva alkalmazhatóak az analitikus és szabadformájú felületek. Hátránya, hogy a felületmodell létrehozása időigényes, és a módszer hordozza a felületmodellezés általános hátrányait, mint a forma és paraméterek későbbi változtatásának korlátozott lehetősége, vagy a felületek egymástól, görbektől vagy ponthalmaztól függésének menedzselési problémái, továbbá a szerkesztési munka folyamatának (history) visszakovethetlensége, stb.. A pontfelhő alapú felületmodellező szoftverek legizgalmasabb fejlesztési területe a fenti hátrányok kiküszöbölése és az intelligens, félig automatikus felületmodellezési eljárás kifejlesztése. Itt a program a pontfelhő geometriát matematikai úton analizálva a pontfelhő görbületei és a potenciális felületek



2. ábra

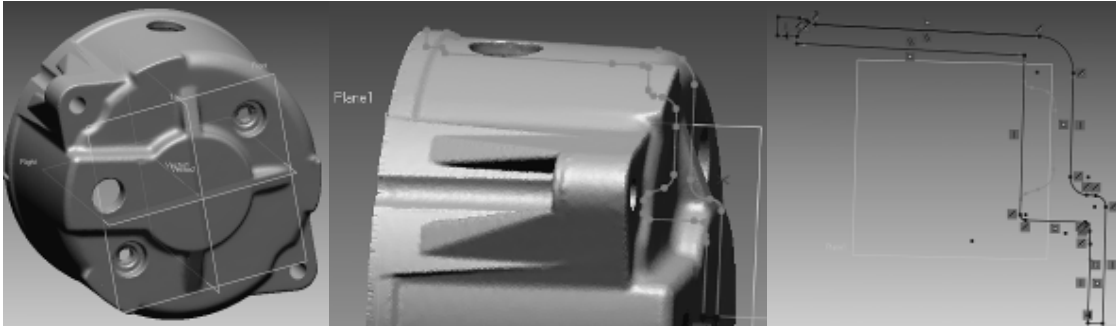
*Automatikusan szegmentált-klasszifikált, illesztett és vágott felületmodell*

komplikáltsága szerint automatikusan szegmentálja, ez alapján elkülönítve az elsődleges és másodlagos felületek ponthalmazait. Ezen ponthalmazok típusát felismeri (klasszifikálja), pl. sík, henger, szabadformájú, lekerekítés, stb.. Majd ezekre megilleszti a különböző felületeket típusuk szerint, végül egymáshoz vágja és illeszti az elvárt folytonossággal őket (2. ábra). A rendszer egyelőre automatikusan módon csak egyszerűbb formák megbízható létrehozására képes, a mérnöki szemmel történő struktúra meghatározása még nem helyettesíthető szoftveres módon.

#### 4. PONTFELHŐ ALAPÚ TESTMODELLEK LÉTREHOZÁSA

Több ipari alkalmazás, de leginkább a létrehozott modell áttervezési igénye esetén zárt, tömör testmodellre (solid) van szükség. Szolid létrehozására legegyszerűbb megoldás egy felületmodell tömör testté konvertálása. Ennek legfontosabb feltétele, hogy metsződő felületek nélküli, „vízhatlan”, zárt felületmodellt kell inputként használni, mely létrehozása komplikált geometriák esetén nem mindig sikerül, főleg, ha sok vágott felületelem van a modellben. Természetesen az így létrehozott testmodell szerkesztési paramétereit és szerkesztési történetiséget nem tartalmaz. Paraméteres testmodell létrehozására több módszer létezik, a létrehozás módja gyakorlatilag az adott szoftver tudásához köthető, és a paraméteresség is csak az adott rendszeren belül használható, az ismert konverziós problémák miatt. A pontfelhő vagy poligonháló alapú testmodellezés (Reverse Modeling) eljárása a nagyon hasonló az ismert kétdimenziós profil skicc alapú, és egyéb alaksajátosság létrehozó testmodellezéshez, de legfontosabb különbség, hogy az alaksajátosságok formáit és méreteit a pontfelhőn approximálva határozzuk meg [4]. Ilyenkor például egy útvonal mentén söpört profil alapú alkatrész pontfelhőjének egy keresztmetszetében meghatározott munkasíkon dolgozva, a munkasík által kimet-

szett keresztmetszeti pontokra illesztjük a profil görbéit. A söprés útvonal görbáját (2D-s esetben) egy másik munkasíkon, az ezzel metszett pontfelhő pontokra illesztve adjuk meg, majd az útvonalon seperve létrehozuk a tömör testet (3. ábra). A további alaksajátosságok típusát, formáját és méretét is a pontfelhő vagy poligonháló alapján, de manuálisan szerkesztve hozzuk létre. Fontos megjegyezni, hogy az útvonal és profil görbéinek vagy az egyéb alaksajátosságoknak később adhatunk kerekített értékű



3. ábra  
Forgatási tengely és profil skicc létrehozása

méret kényszereket vagy egyéb geometriai kényszereket. Ez esetben viszont számolni kell azzal, hogy a skicelt profil és az ebből létrehozott alaksajátosság már többé nem feltétlen fedi teljesen a mért pontfelhőt, ugyanakkor jól használható, „egészséges” modellt kapunk. Emiatt az ilyen szoftverek egyik legfontosabb funkciója a létrehozott CAD modell és a mért adatok eltéréseinek vizsgálati lehetősége.

## 5. ÖSSZEHASONLÍTÁS

A két eljárás lépéseiből, sajátosságaiból következik azok előnye és hátránya. A félautomatikus felületillesztéssel komplexebb geometriák is, igen gyorsan felépíthetők, egy átlagos alkatrész elkészíthető akár fél óra alatt. És bár ma már ez a modell strukturált és kényszerekkel rendelkező, mérnöki igényeknek megfelelő felületeket tartalmaz, mégiscsak egy felületmodellt kapunk, ami tömör tárgyak reprezentálására és főképp áttervezésére nem a legmegfelelőbb. Ugyanakkor szabadformájú felületekkel rendelkező darabokhoz és lemezalkatrészekhez kifejezetten használható. A testmodellező eljárás jóval időigényesebb, a pontfelhőn történő munka és a folyamatos eltérésellenőrzés miatt a klasszikus testmodellezésnél is lassabb. Ezzel a módszerrel azonban bármilyen alaksajátosságokra épülő alkatrész felszerkeszthető, és történetiséggel rendelkező paraméterezett modellt kapunk, amely nagyon könnyen és rugalmasan áttervezhető. További előny, hogy a metszeti profil skiccek létrehozása lehetséges zajos és helyenként lukas mérési modellen is, míg a felületillesztés igényli az előkészített, zárt pontfelhőt vagy poligonhálót. Megjegyzendő, hogy mindkét módszer esetén, az arra alkalmas szoftverek ára hasonló árszinten mozog (10K Euro).

## 7. IRODALOM

- [1] Bernd Breuckmann – Bildverarbeitung und optische Messtechnik, Francis Verlag - München; 1993
- [2] [www.cad.com](http://www.cad.com)
- [3] [www.geomagic.com](http://www.geomagic.com)
- [4] [www.rapidformXOR.com](http://www.rapidformXOR.com)

## Polimerek folyásának tanulmányozása spirál szerszám alkalmazásával

### INVESTIGATION OF FLOW PROPERTIES OF POLYMERS BY SPIRAL MOULD

SZŰCS András<sup>1</sup>, Dr. habil BELINA Károly<sup>2</sup>

<sup>1</sup>főiskolai tanársegéd, <sup>2</sup>főiskolai tanár  
Kecskeméti Főiskola, Fém- és Műanyagfeldolgozó Technológiai Intézet  
Műanyag- és Gumitechnológiai Szakcsoport  
H-6000 Kecskemét Izsáki út 10.  
Tel: (+36)-76-516-390, Fax: (+36)-76-516-399,  
email: belina.karoly@gamf.kefo.hu, www.gamf.hu

#### SUMMARY

*Flow properties of polyethylene were determined by two different methods. Standard melt flow index measuring device was used to determine the viscosity of polyethylene melt using different loads. Spiral mould was designed and manufactured in order to determine the viscosity of the polymers at higher shear rates. Preliminary experiments were carried out applying different injection parameters to measure the flow behaviour of polyethylene melt. It was found that the mould is suitable for the determination of the viscosity of polymer melt at high shear rates.*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

*Polietilén folyóképességét határoztuk meg két különböző módszerrel. Szabványos folyási mutatószám mérő berendezéssel meghatároztuk a polietilén ömledék viszkozitását különböző terhelésekkel. Spirál kiképzésű fröccsöntő szerszámot terveztünk és készítettünk el, amellyel nagyobb deformációsebesség tartományban határozható meg a polimerek viszkozitása. Az előzetes kísérletek során különböző fröccsöntési paraméterekkel meghatároztuk a polietilén ömledék folyóképességét. Megállapítottuk, hogy a spirál szerszám alkalmas a polimer ömledékek viszkozitásának meghatározására nagy deformáció-sebességek mellett.*

**Kulcsszavak:** polietilén ömledék, spirál szerszám, viszkozitás

#### 1. BEVEZETÉS

A polimerek feldolgozása az esetek döntő többségében ömledék állapotban történik. A polimer ömledékek nem newtoni folyadékok, ezért viszkozitásuk a nyomás, hőmérséklet és molekulaméret mellett a deformáció-sebesség függvénye is.

$$\eta = f(T, p, M_w, \dot{\gamma}) \quad (1)$$

A polimerek folyóképességét az ipari gyakorlatban a folyási mutatószámmal jellemezzük. Ez egy szabványos körülmények között meghatározott mérőszám, amely megmutatja a 10 perc alatt kifolyt anyagmennyiséget. Mivel a szabvány meghatározott terhelést ír elő, kapott eredmény nem ad információt arra, hogy mennyire érzékeny az anyag folyása a terhelés megváltozására. A feldolgozás során a polimer ömledék különböző keresztmetszeteken áramlik át, ami egyben azt is jelenti, hogy az áramlási sebessége megváltozik. A nem newtoni jelleg miatt ez azt is jelenti, hogy a viszkozitása is változik. Ez természetesen szerkezetváltozást jelent, ami megváltoztatja a makroszkópos tulajdonságokat.

A polimer ömledékek folyásának jellemzésére a folyásgörbét használjuk. Ez a nyírófeszültség és a deformáció-sebesség közötti összefüggést mutatja, amelynek meghatározásához különböző típusú viszkozimétereket használunk. Ezek a mérőberendezések azonban nem tudják mérni a nagy deformáció-sebességű tartományt. Kutatásunk arra irányul, hogy fröccsöntő berendezés alkalmazásával, a gyakorlatban alkalmazott tartományban mérjük a polimerek folyóképességét. Erre a célra egy speciális fröccsöntő szerszámot készítettünk, amelyben a szerszámüreg kiképzése spirálcsatorna volt (1. ábra)

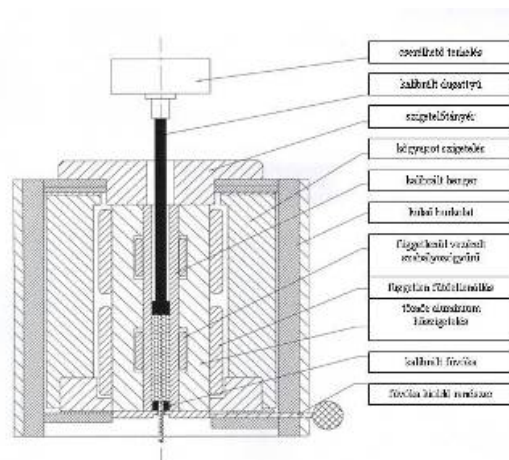


1. ábra  
Arburg fröccsöntő gépre szerelt spirál szerszám

Ebben a közleményünkben MFI berendezéssel és a spirál szerszámban meghatározott viszkozitás adatokat hasonlítjuk össze. A méréseket polietilénnel végeztük.

## 2. KÍSÉRLETI RÉSZ

A vizsgálatokhoz TIPOLEN FS 381-10 (TVK RT) polietilént használtunk. Az MFI mérést Ceast MFI berendezéssel végeztük (2. ábra) 210 °C és 230 °C-on végeztük.



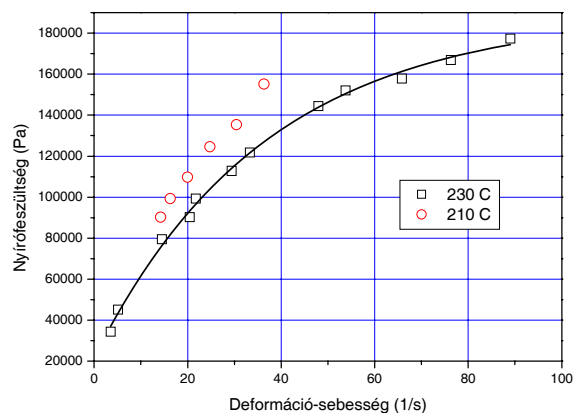
2. ábra  
Ceast MFI mérő berendezés vázlata

A fröccsöntést Arburg Allrounder 270 U fröccsöntő berendezéssel végeztük. A folyóképességet 210 °C és 230 °C ömledék hőmérséklettel végeztük. Az ömledéken ható nyírófeszültséget a fröccsgép

által kijelzett nyomásból számítottuk ki. A deformáció-sebességet a spirálcatorna geometriai méretéből, a kifröccsöntött anyagmennyiségéből, valamint a fröccöntési sebességéből határoztuk meg.

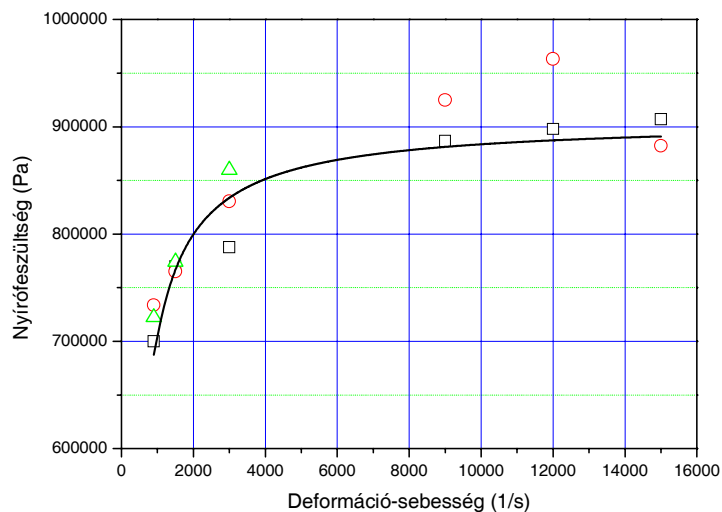
### 3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

Az MFI mérés eredményeit a 3. ábrán mutatjuk be. Mindkét hőmérsékleten jól megfigyelhető, hogy a vizsgált polimer ömledék pszeudoplasztikus viselkedést mutat, azaz a viszkozitása csökken a deformáció-sebesség növelésével.



3. ábra  
FA 381-10 polietilén folyásgörbéi 210 °C és 230 °C-on

A 3. ábra szemléletesen mutatja a hőmérséklet hatását az ömledék viszkozitására. Magasabb hőmérsékleten a viszkozitás csökken, amit a kisebb görbemeredekség mutat. A spirál szerszámban meghatározott folyásgörbe két nagyságrenddel nagyobb deformáció-sebesség tartományban van, mint az MFI mérésé (4. ábra).

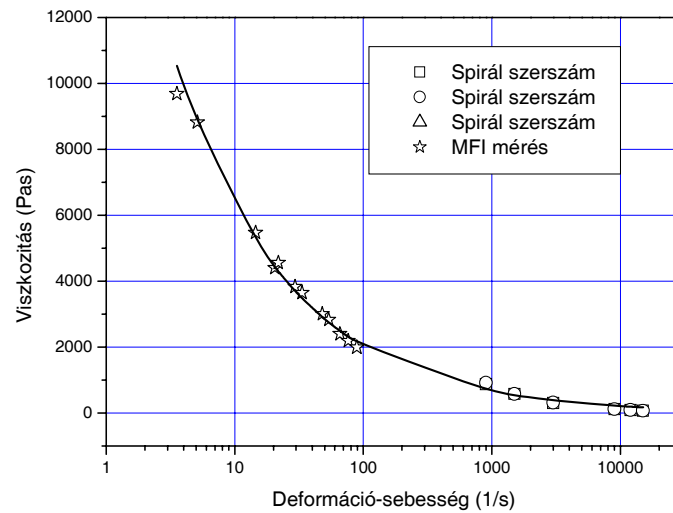


4. ábra  
A spirál szerszámban meghatározott folyásgörbe 230 °C-on



A két módszerrel mért viszkozitás értékeket a 5. ábrán mutatjuk be. A spirál szerszámban a mérések nagyon jól reprodukálhatók. Az ábrázolt három párhuzamos mérés gyakorlatilag egybe esik. A bemutatott adatokat 230 °C-os ömledék hőmérsékletű mérésekből számítottuk ki.

Meglepő módon a két módszerrel meghatározott értékek egy görbére illeszthetők. A fröccsöntés során a polimer ömledéket 40 °C-os szerszámba nyomjuk, ezért folyamatosan hűl. Nem szabad azonban elfeledkezni, hogy a folyamat nagyon gyors, azaz a másodperc tört része alatt megy végbe. Mivel a polimerek rossz hővezető képességűek, ezért a hűlésből adódó viszkozitás növekedés elhanyagolhatóan kicsi lehet. A hűléssel szemben hat a nyírásból adódó felmelegedés is. Valószínűleg a két hatás kompenzálja egymást. Természetesen a kompenzáció – ha feltételezésünk helyes – csak bizonyos paraméter tartományban működik. Ennek eldöntésére folynak a további kísérletek.



5. ábra

*A polietilén ömledék meghatározott viszkozitás görbéje*

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Közleményünkben bemutattuk, hogy az általunk elkészített spirál szerszám alkalmas polimer ömledékek folyási tulajdonságainak meghatározására. Kimutattuk, hogy az MFI berendezéssel meghatározott viszkozitás görbe és a spirál szerszámban meghatározott viszkozitás értékek egy görbére esnek. Valószínűnek tartjuk, hogy a kísérleti paraméterek véletlen kombinációja vezet erre az eredményre.

## Termelő vállalatok készáru raktározása egy részének outsourcingba adási vizsgálata bérraktározási lehetőségek felhasználása esetén

### OUTSOURCING POSSIBILITIES FOR PART OF FINISHED GOODS STORAGE ACTIVITY OF PRODUCTION COMPANIES BY RENTED WAREHOUSE

TAMÁS Péter<sup>1</sup>, Dr. Prof. Em. CSELÉNYI József<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD. hallgató, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz., 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399,

e-mail: [tamaspeti@uni-miskolc.hu](mailto:tamaspeti@uni-miskolc.hu), honlap: [www.uni-miskolc.hu](http://www.uni-miskolc.hu)

<sup>2</sup>egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tsz., 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel: 36/46 565-111, fax: 36/46 563-399,

e-mail: [cseleenyi@snowwhite.alt.uni-miskolc.hu](mailto:cseleenyi@snowwhite.alt.uni-miskolc.hu), honlap: [www.uni-miskolc.hu](http://www.uni-miskolc.hu)

#### ABSTRACT

*In this paper we show a method with which we can analyse giving into outsourcing in the case of a part of finished goods storage. We compare with two various where one of those customer catering from own warehouse and other of those the customer catering from rented warehouse. This method based on compare with total expenditures.*

#### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a termelő vállalatok a **költséghatékonyabb** gazdálkodás érdekében folytatott **line-production** (karcsúsítás) egyik fontos eszköze a logisztikai **outsourcingba** (vállalkozásba) adás. A **logisztikai outsourcing** növekedésében jelentős szerepet játszik az, hogy az utóbbi időszakban hazánkban is kialakultak olyan logisztikai szolgáltató vállalatok, amelyek magas szakmai színvonalon, gazdaságosabban tudnák ellátni a termelő vállalatok bizonyos logisztikai tevékenységeit, ha ezeket a feladatokat átvállalják. A termelő vállalatok között előforduló logisztikai tevékenységek közül leggyakrabban:

- a beszerzési logisztika
- elosztási logisztika
- üzemrészek, technológiai folyamatok

közötti szállítási- raktározási anyagmozgatás teljes vagy részleges outsourcingba adása fordul elő.

Az **outsourcing-ba** adásnál a vállalatnál az előny két részből származhat:

- a kiadott logisztikai szolgáltatást az **outsourcing-ba vevő szolgáltató** kisebb költséggel végzi el,
- a vállalatnál a **magasabb** szintű szolgáltatás gyűrűző hatásaként **árbevétel-növekedés**, ill. **veszteség csökkenés** érhető el, azaz a **szállítási határidők teljesítéséből, megbízhatóságának növekedéséből:**

- nagyobb **szállítási készség**,
- kevesebb **minőségi reklamáció**,
- **kisebb készletszint**,
- a dinamikusan változó felhasználói igényhez való **nagyobb rugalmasság** adódik.

**Milyen jellegű logisztikai szolgáltatásokat tudhat** egy logisztikai szolgáltató **outsourcingban:**

- kedvezőbb logisztikai jellemzőkkel,
- kisebb költségráfördítással biztosítani?

Általában az outsourcing akkor lehet kedvezőbb, ha:

- egy-egy vállalat **logisztikai erőforrás kapacitás-szükséglete időben jelentős ingadozást, szórást mutat**, amit a „logisztikai szolgáltató” azért tud optimálisan kezelni, mert általában hasonló logisztikai szolgáltatást egyidejűleg több más megbízónak is végez, és az ezeknél ugyancsak jelentkező kapacitás-szükséglet ingadozások együttesen általában kiegyenlítik bizonyos mértékig **az összkapacitás-szükségletet**,

- magasabb színvonalú logisztikai szolgáltatást a vállalat csak **beruházással** – tárgyi, vagy szellemi -, tud elérni, ugyanakkor az outsourcingba vevő logisztikai szolgáltatónál mindezek rendelkezésre állnak, a beruházás elhalasztható, ami akkor indokolt különösen, ha:

- a logisztikai szolgáltatási igény hosszabb távon való jelentkezése nem garantált,
- a szükséges beruházási forrás jelen időpontban nem teremthető meg **kedvező feltételek** mellett

## 2. A DOLGOZAT CÉLJA

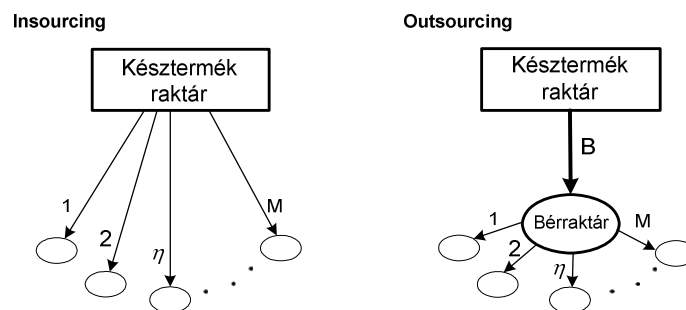
Az előző dolgozatainkban [6], [7], [8] bemutattunk egy többparaméteres döntési modellt, amely segítségével meghatározható az outsourcingba adás döntése, mind az elosztási logisztikai rendszer egészére és részeire (szállítási-, raktározási- feladatok) vonatkozóan is. A korábbi dolgozatok újszerűsége abban is megmutatkozik, hogy olyan elemzési módszert is bemutat, melynek kiválasztott értékei adják a többparaméteres döntési modell paramétereit.

Ebben a dolgozatban, azt a módszert mutatjuk be, amellyel vizsgálható az outsourcingba adás azon esete, amikor a felhasználók egy részének késztermékkel való ellátása közvetett úton – egy a felhasználókhöz közeli bérraktárból – történik.

## 3. KÉSZÁRU RAKTÁROZÁS OUTSOURCINGBA ADÁSÁNÁL A BÉRRAKTÁROZÁS LEHETŐSÉGÉNEK FIGYELEMBEVÉTELE

A készáru raktározásból történő feladatoknál szükséges megvizsgálni, hogy milyen előnyökkel jár, ha távolabbi felhasználókat egy közelebbi **bérraktárból** látnak el. Különösen előnyös lehet, ha JIT elvű beszállítást kell alkalmazni egyidejűleg kis mennyiségek beszállításával. Ugyanakkor előfordulnak olyan esetek is, amikor a felhasználó és a beszállító közötti távolság kizárja a JIT elvű beszállítások saját raktárból való teljesítésének lehetőségét (pl: gyártással szinkron folyamatos ellátás), ebben az esetben csak egy közelebbi raktár igénybevétele (bérraktározás) nyújthat megoldást a beszállító számára.

Vizsgáljuk meg a két esetet (1. ábra):



1. ábra Vizsgált változatok

Outsourcing esetében nem kerül a késztermék betárolásra, a termelésből közvetlenül a kiszállítási rakodóhelyre kerül. A két változat összehasonlításánál abból a feltételből indulunk ki, hogy mindkét esetben azonos mennyiségben kerülnek a termékek felhasználókhöz beszállításra. A vizsgálat során mindkét esetben meghatározásra kerülnek a termékek gyártási tevékenység befejezésétől a vevőkhöz való eljuttatásig felmerülő költségei, melyek összevetésével kiválasztható a legkedvezőbb változat.

**Három költséget kell vizsgálni:**

- . raktározási költség:  $K_T$
- . rakodási költség:  $K_R$
- . szállítási költség:  $K_S$

**3.1. Raktározási költség:**

A **raktározási költség** meghatározásánál mindkét esetben az adott járat által kiszállítandó termék mennyiségének átlagos raktározási idejét szükséges figyelembe venni, mivel a termelésből való beérkezés és a raktárból való kiszállítás (bérraktározás esetén bérraktárba be- és onnan kiszállítás) közötti idő ER- ként eltérő lehet. A fajlagos raktározási költség az eltérő adottságokból (gépek kihasználtsága, raktározási irányítási rendszer stb.), eredően nagy valószínűséggel a vizsgált esetekben különböző.

**Átlagos tárolási idő** meghatározása:

$$\bar{t}_{T\gamma\eta\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^R q_{B\gamma\eta\varepsilon i} \cdot (t_{T\gamma\eta\varepsilon i}^{be} - t_{T\gamma\eta\varepsilon i}^{ki})}{\sum_{i=1}^R q_{B\gamma\eta\varepsilon i}} \quad (1)$$

ahol:

- $\bar{t}_{T\gamma\eta\varepsilon}$   $\varepsilon$  . ütem  $\eta$  . járatának  $\gamma$  . terméke esetén adódó átlagos tárolási idő
- $q_{B\gamma\eta\varepsilon i}$   $\varepsilon$  . ütemben az  $\eta$  . járat  $\gamma$  . termékének  $i$  . időpontban a raktárba(saját v. bér) belépő mennyisége
- $t_{T\gamma\eta\varepsilon i}^{be}$   $q_{B\gamma\eta\varepsilon}$  termék(ek) raktárba való beszállítási időpontja
- $t_{T\gamma\eta\varepsilon i}^{ki}$   $q_{B\gamma\eta\varepsilon}$  termék(ek) raktárból való kiszállítási időpontja

**Saját raktározás (insourcing)** esetén:

$$K_T^O = \sum_{\varepsilon=1}^M \sum_{\eta=1}^{N_{\varepsilon} \leq n} \sum_{\gamma=1}^P k_{T\gamma}^I \cdot q_{B\gamma\eta\varepsilon}^I \cdot \bar{t}_{T\gamma\eta\varepsilon}^{-I} \quad [\text{Euro}] \quad (2)$$

ahol:

- $k_{T\gamma}^I$   $\gamma$  . termék fajlagos tárolási költsége  $\left[ \frac{\text{Euro}}{\text{ER} \cdot \text{Ó}} \right]$
- $q_{B\gamma\eta\varepsilon}^I$   $\eta$  . járat  $\varepsilon$  . üteme esetén  $\gamma$  terméktípusból kiszállított ER- ok mennyisége
- $\bar{t}_{T\gamma\eta\varepsilon}^{-I}$   $\eta$  . járat  $\varepsilon$  . üteme esetén kiszállított  $\gamma$  . termék átlagos tárolási ideje

**Bérraktározás (outsourcing)** esetén:

$$K_T^O = \sum_{\varepsilon=1}^M \sum_{\eta=1}^{N_{\varepsilon} \leq n} \sum_{\gamma=1}^P k_{T\gamma}^O \cdot q_{B\gamma\eta\varepsilon}^O \cdot \bar{t}_{T\gamma\eta\varepsilon}^O \quad [\text{Euro}] \quad (3)$$

ahol:

- $k_{T\gamma}^O$   $\gamma$  . termék fajlagos tárolási költsége  $\left[ \frac{\text{Euro}}{\text{ER} \cdot \text{Ó}} \right]$
- $q_{B\gamma\eta\varepsilon}^O$   $\eta$  . járat  $\varepsilon$  . üteme esetén  $\gamma$  . terméktípusból bérraktárból kiszállított ER- ok mennyisége

- $t_{\gamma\eta\epsilon}^{-0}$   $\eta$ . járat  $\epsilon$ . üteme esetén bérraktárból kiszállítandó  $\gamma$ . termék átlagos tárolási ideje

### 3.2. Rakodási költség meghatározása:

Abban az esetben, ha a vevők nem a teljes (nagyobb méretű) ER- kat, hanem kisebb vagy kommissiózott ER- okat igényelnek, szükség lehet az ER- ok megbontására, melynek következtében mindkét változat esetén a rakodási műveletek száma is növekszik.

#### Saját raktározás (insourcing) esetén:

$$K_R^I = \sum_{\gamma=1}^P 2k_{R\gamma} (\delta_\gamma + 1) \sum_{\epsilon=1}^{N_\gamma} q_{B\epsilon\gamma}^I \quad [\text{Euro}] \quad (4)$$

ahol:

- $k_{R\gamma}$   $\gamma$ . termék fajlagos rakodási költsége  $\left[ \frac{\text{Euro}}{\text{ER}} \right]$
- $q_{B\epsilon\gamma}^I$   $\epsilon$ . ütemben  $\gamma$ . termékből kiszállított termékek mennyisége
- $\delta_\gamma$  azt veszi figyelembe, hogy az ER- ok megbontásra kerülnek és így a rakodási műveletek száma is növekszik ( $\delta_\gamma \geq 1$ )

#### Bérraktározás (outsourcing) esetén:

$$K_R^O = \sum_{\gamma=1}^P 3k_{R\gamma} (\delta_\gamma + 1) \sum_{\epsilon=1}^{N_\gamma} q_{B\epsilon\gamma}^O \quad [\text{Euro}] \quad (5)$$

ahol:

- $k_{R\gamma}$   $\gamma$ . termék fajlagos rakodási költsége  $\left[ \frac{\text{Euro}}{\text{ER}} \right]$
- $q_{B\epsilon\gamma}^O$   $\epsilon$ . ütemben  $\gamma$ . termék esetén bérraktárból kiszállított termékek mennyisége
- $\delta_\gamma$  azt veszi figyelembe, hogy az ER- ok megbontásra kerülnek és így a rakodási műveletek száma is növekszik ( $\delta_\gamma \geq 1$ )

**Általában:**  $k_{R\gamma}^I = k_{R\gamma}^O = k_{R\gamma}$  (abban az esetben, ha különböznek a rakodások fajlagos költségei (telephelyen és bérraktárban is történik rakodás) akkor a fajlagos költségek relatív rakodási gyakorisággal súlyozott összege adja a használandó költséget)

### 3.3. Szállítási költségek

#### A szállítás fajlagos költsége:

$$k_{S\eta\gamma} = k_{S0}^X + \frac{k_{S1}^X \cdot q_{B\eta\gamma}}{C_{0X}} \quad \left[ \frac{\text{Euro}}{\text{km}} \right]$$

ahol:

- $k_{s0}^x$  X típusú jármű fajlagos szállítási költsége terheletlen állapotban való futás esetén
- $k_{s1}^x$  X típusú jármű fajlagos szállítási költségének terheléstől függő komponense

**Saját raktározás esetén (insourcing):**

$$K_S^I = \sum_{\varepsilon=1}^{M_1} \sum_{\eta=1}^{N_\varepsilon} l_\eta^I (k_{s0}^x + k_{s1}^x \cdot \frac{\sum_{\gamma=1}^P q_{\gamma\eta\varepsilon}^I}{C_{0x}}) \quad [\text{Euro}] \quad (6)$$

ahol:

- $q_{B\gamma\eta\varepsilon}^I$        $\varepsilon$  . ütem  $\eta$  . járatában  $\gamma$  . termékből kiszállított mennyiség
- $l_\eta^I$              $\eta$  . járat úthossza (saját raktártól a vevőig)

**Bérraktározás esetén (outsourcing):**

$$K_S^O = \sum_{\varepsilon=1}^M l_B \cdot (k_{s0}^x + k_{s1}^x \cdot \frac{\sum_{\gamma=1}^P q_{\gamma B\varepsilon}^O}{C_{0x}}) + \sum_{\varepsilon=1}^{M_2} \sum_{\eta=1}^{N_\varepsilon} l_\eta^O (k_{s0}^x + k_{s1}^x \cdot \frac{\sum_{\gamma=1}^P q_{\gamma\eta\varepsilon}^O}{C_{0x}}) \quad [\text{Euro}] \quad (7)$$

ahol:

- $q_{\gamma B\varepsilon}^O$          $\varepsilon$  . ütem B. járatában  $\gamma$  . termék esetén telephelyről kiszállított mennyiség
- $q_{\gamma\eta\varepsilon}^O$          $\varepsilon$  . ütem  $\eta$  . járatában  $\gamma$  . termék esetén bérraktárból kiszállított mennyiség
- $l_B$             telephely és a bérraktár közötti szállítási útvonal hossza
- $l_\eta^O$              $\eta$  . járat hossza (bérraktártól a vevőig)

### 3.4. Döntés módszerének bemutatása

**Outsourcingba adás eldöntése a késztermék-raktározás egy részére vonatkozóan:**

Összköltség **outsourcing** esetén:

$$K^O = K_T^O + K_R^O + K_S^O \quad (8)$$

Összköltség **insourcing** esetén:

$$K^I = K_T^I + K_R^I + K_S^I \quad (9)$$

Abban az esetben ha

$$K^O > K^I \quad \text{outsourcing, egyébként az insourcing a kedvezőbb}$$

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat bevezető részében összefoglalja, hogy milyen jellegű logisztikai feladatoknál jöhet szóba az outsourcing, illetve milyen előnyöket lehet a logisztikai outsourcinggal elérni. A dolgozat röviden utal arra, hogy az eddig végzett kutatómunka során az elosztási logisztika területén milyen eredmények születtek. Ez a dolgozat részletesen bemutatja azt a számítási módszert és eljárást, amely alapján eldönthető, hogy milyen esetekben optimális a bérraktározás igénybevételével az outsourcingba adás.

Jelen kutatómunka a K63591 számú OTKA projekt támogatásával készült.

## 5. IRODALOM

- [1] **Prof. Dr. Cselényi J., Dr. Illés B.:** *Logisztikai rendszerek I. Tankönyv*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004.
- [2] **Prof. Dr. Cselényi J., Dr. Illés B., Bálint R.:** *Mikor és milyen mértékben válhat gazdaságossá egy hálózatszerűen működő, karbantartást végző vállalat logisztikai tevékenységének az outsourcingja*, Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék, tanszéki jelentés, Miskolc 2006
- [3] **Prof. Dr. Cselényi J., Bálint R., Tamás P.:** *Csomagoló anyagokat gyártó vállalat késztermék tároló rendszerének és kiszállítási rendszerének felülvizsgálata és logisztikai központ által outsourcingban való optimális működtetésének kifejlesztése*, Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék, tanszéki zárójelentés, Miskolc 2006. július 21.
- [4] **Simoni B., Huber E.:** *Logistic-Outsourcing mit System – Dritte richting auswahlen. = Schweizer Maschinenmarkt*, 100. k. 15. sz. 1999. ápr. p. 16-21
- [5] **Tamás P.:** *Dunapack Rt. nyíregyházi gyárának késztermék raktározási és elosztási rendszerének vizsgálata különös tekintettel az outsourcingba adás szempontjából*, Diplomamunka, Konzulens: Prof. Dr. Cselényi József, Miskolc 2006.
- [6] **Péter T., József Cs., Richárd B.:** *Mathematical model for outsourcing possibilities of finished product storage of a paper factory*, 2nd Management of Manufacturing System Conference, 28th September 2006, Slovakia, pp. 184-188
- [7] **Cselényi J., Bálint R., Tamás P.:** *Egy papíripari termékeket gyártó vállalat elosztási logisztikája, outsourcingba adásának vizsgálata*, Logisztikai Évkönyv 2006 (MLE), ISSN 1218-3849, pp. 115-124
- [8] **Tamás P., Cselényi J., Bálint R.:** *Papíripari vállalat kiszállítási csatornáinak outsourcingba adási vizsgálatának matematikai modelljei*, MIBE 2006

## Robotizált ruhaipari tervezés

### ROBOTIZED PLANNING IN TEXTILE INDUSTRY

Dr. TAMÁS Péter<sup>1</sup>, Dr. SOMLÓ János<sup>2</sup>

<sup>1</sup>tudományos munkatárs, <sup>2</sup>egyetemi tanár  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Gépészmérnöki Kar Gépészeti Informatika Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3-9. Tel: 36-1-4632495

#### ABSTRACT

*The difficulty of the human body's geometry and the random connection between the cloths and body is a challenge for information systems in garment trade. The aim of our project was the realization of a robotized system for the garment measurements, planning and quality control. The article outlines the basic hardware and software developments. These can be used in other fields like intelligent assembling, environment protection and recycling, etc.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Az emberi test bonyolult, mozgás közben változó geometriája, a test és a ruha közötti véletlen elemektől is függő kapcsolat speciális feladatokat ró a ruhaipari informatikai rendszerekre. Projektünk célja olyan robotizált rendszer kialakítása, amely amellelt, hogy biztosítja a ruhaipari méretvételet, tervezést és a gyártási minőségellenőrzést, egyéb speciális célokra is alkalmazható például: intelligens szerelés, környezetvédelem és az újrahasznosítás.*

**Kulcsszavak:** Robotika, 3-D pásztázás, Képfeldolgozás, Ruhatervezés, Térbeli geometriai modellezés

#### 1. AZ EMBERI TEST FELÜLETÉNEK MÉRÉSE

Az emberi test felületének bonyolultsága, a hajlatok feltérképezése lehetségesnek tűnik gépipari mérőberendezések alkalmazásával. Azonban, egy kicsit részletesebb vizsgálat rávilágít, hogy a feladat speciális megfontolásokat igényel. A ruhaipari igények, ezek között jelentős mértékben a pontosság, alternatív megoldásokat részesít előnyben.

#### 2. A MÉRŐRENDSZER KIALAKÍTÁSA

Mérőrendszerünket két összekapcsolt, robot berendezésből alakítottuk ki. Az egyik egy mérőkabin, amelynek a feladata a testfelület pontjainak tömeges mérése, a másik egy 6-tengelyes ipari robotra szerelt távolságmérő, melynek feladata pontos méretek meghatározása a test takart felületein.

##### 2.1. Mérőkabin kialakítása

A mérőkabin kerete számítógéppel vezérelt módon mozgatható. A mozgó keretre szerelt vonalsugárzók végigpásztázzák az emberi test felszínét. A mozgó keretre szerelt fényképezőgépek rögzítik a vonalsugárzók által megvilágított testfelület képét, és továbbítják a vezérlő számítógépre. A vezérlő számítógép feldolgozza a rögzített képeket, és a feldolgozott képek alapján meghatározza a testfelület jellemző pontjait.

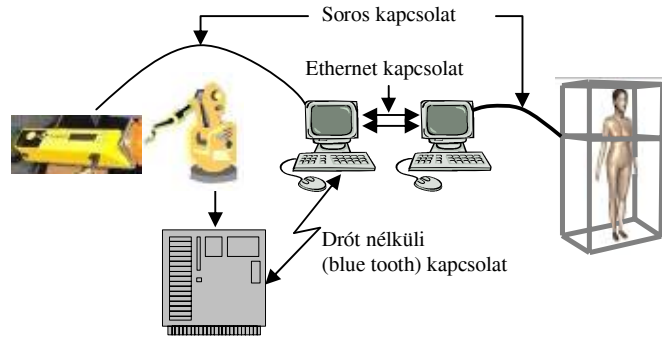
##### 2.2. Pozíciómérés 6-tengelyes ipari robottal

A fentiekhez hasonló elvet megvalósítandóan egy 6-tengelyes ipari robotra lézeres távolságmérőt szereltünk. A robot önállóan pozícionálhatja a mérőberendezést és pontosítja a testfelület adatait.



### 2.3. A kétféle mérőberendezés összekapcsolása

A keretvezérlő és a robotvezérlő számítógépeket összekapcsolásával azok együttműködését biztosíthatjuk. Gyorsíthatjuk a mérést, ha a keret által meghatározott pontok mellé kiegészítésként csatoljuk a robottal mért pontokat. A keret nem tud képet alkotni a test rejtett felületeiről, például a hajlatokban. A robotra vár azon felületi elemek adatainak meghatározása is, ahol a keret valamilyen takarási, vagy képfeldolgozási okból nem tud mérni.



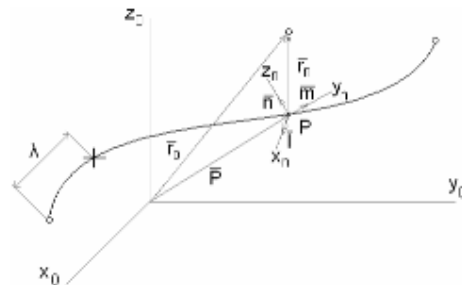
1. ábra  
A mérőberendezés kialakítása

### 3. A BERENDEZÉS VEZÉRLÉSE

A mérőkeret egytengelyes robot, melynek vezérlése nem okoz gondot. Több figyelmet kell fordítani az ipari robot vezérlésére.

#### 3.1 A mozgástervezés parametrikus módszere

Az 2. ábra a robot munkakoordináta-rendszerének mozgását szemlélteti a világkoordináta-rendszerben.



2. ábra  
A mozgástervezés parametrikus módszere

Az ábrán az  $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  jelölés helyett  $\underline{x} = (x_0, y_0, z_0, x_4, x_5, x_6)^T$  jelölésre tértünk át egyben feltételezve, hogy a robot a 6-szabadságfokú (6D). További részletekre a későbbiekben térünk ki. Azt az ortogonális koordináta-rendszert, amely a munkavégző eszközt hordozza  $(x_n, y_n, z_n)$  munkakoordináta-rendszernek nevezzük. Valamely szerszám munkapontja az  $x_n, y_n, z_n$  koordináta-rendszer egy vektorával jellemezhető  $(\bar{r}_n = (x_n, y_n, z_n)^T)$ . Az  $x_n, y_n, z_n$  tengelyek egységvektorait  $\bar{l}, \bar{m}, \bar{n}$  alkotják. A munkapontot a világkoordináta-rendszerben az  $\bar{r}_0 = (x_0, y_0, z_0)^T$  vektor adja meg.  $\bar{r}_0$  és  $\bar{r}_n$  ugyanazt a pontot jellemzi. A munkapont mozgását a mozgástervező szakember a világkoordináta-rendszerben határozza meg. A robot azonban a technológiai műveletet a munkakoordináta rendszerben valósítja meg. Nyilvánvalóan az  $\bar{r}_6$  vektor a munkakoordináta-rendszer központját jellemző P pontba mutató  $\bar{P}$  és az  $\bar{r}_n$  vektorok összege. A robottechnikában az  $\bar{r}_0$  és  $\bar{r}_n$  vektorok kap-

csolatának jellemzésére homogén koordináta-vektorokat és homogén transzformációs mátrixokat alkalmaznak.

Ennek alapján 6D esetben

$$\overline{\mathbf{R}}_0 = \overline{\mathbf{T}}_{0,6} \overline{\mathbf{R}}_6 \quad (1)$$

ahol

$$\begin{aligned} \overline{\mathbf{R}}_0 &= (x_0, y_0, z_0, 1)^T \\ \overline{\mathbf{R}}_n &= (x_n, y_n, z_n, 1)^T \end{aligned} \quad (2)$$

a homogén koordináta-vektorok

$$\overline{\mathbf{T}}_{0,6} = \begin{pmatrix} l_x & m_x & n_x & P_x \\ l_y & m_y & n_y & P_y \\ l_z & m_z & n_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

a homogén transzformációs mátrix. [1,2]

Könnyen belátható, hogy a korábban bemutatott  $\underline{\mathbf{x}} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  vektor az adott esetben felépíthető, mint (6D-s esetben)  $\underline{\mathbf{x}} = (P_x, P_y, P_z)^T$ , és három független az  $l_x, l_y, l_z, m_x, m_y, m_z, n_x, n_y, n_z$  mennyiségek közül. (az  $\overline{\mathbf{l}}, \overline{\mathbf{m}}, \overline{\mathbf{n}}$  ortogonális egységvektorok, amelyek összetevői között csak 3 független lehet.) Legyenek például ezek a független összetevők  $n_x, n_y$  és  $l_x$ . Akkor

$$\underline{\mathbf{x}} = (P_x, P_y, P_z, n_x, n_y, l_x)^T \quad (4)$$

A  $\overline{\mathbf{T}}_{0,6}$  homogén transzformációs mátrix elemei, a  $\underline{\mathbf{q}} = (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6)^T$  mennyiségek a csuklókoordináták függvényei. Így a homogén transzformációs mátrix meghatározza a robot direkt geometriai egyenleteit. Ezek invertálásával megkapjuk az inverz geometria egyenleteit. Az előbbi elemekkel felírva

$$\begin{aligned} q_i &= h_i(P_x, P_y, P_z, n_x, n_y, l_x) \\ i &= 1, 2, 3, 4, 5, 6 \end{aligned} \quad (5)$$

határozzuk meg a térben (a világkoordináta-rendszerben) befutandó pályát, a pályahossz vagyis a 2.2.3.1 ábrán szemléltetett  $\lambda$  paraméter függvényében! Könnyen belátható, hogy a (2.2.3.9) össze-függés jobb oldalán szereplő mennyiségek, bármilyen formájú (numerikus, analitikus) megadásuk esetén nehézség nélkül átalakíthatóak  $\lambda$  függvényeivé. Így felépíthetjük a

$$q_i = q_i(\lambda) = f_i(\lambda) \quad (6)$$

függvényeket. Ez a pályatervezés parametrikus módszere. A pályamenti sebességek meghatározása a tervezés utolsó lépése, amely lehetőséget nyújt az egyes hajtások

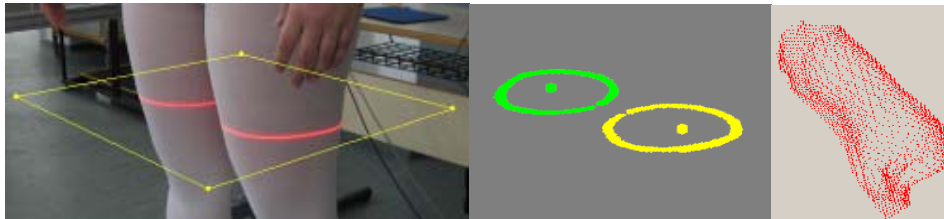
$$q_i = q_i(t) = g_i(t) \quad (7)$$

bemenőjeleinek meghatározására és így a tervezett mozgások megvalósítására. Ez a pálya és trajektória tervezési probléma jelentős kutatási terület, amelynek eredményei igen hatékony, gyors pásztázási megoldásokhoz vezethetnek. A fenti területekről részletesebb információt az [1,2] munkák adnak.

#### 4. AZ ADATOK FELDOLGOZÁSA

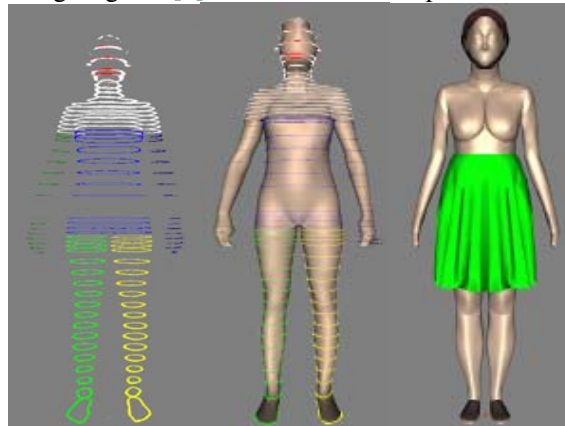
A fényképek feldolgozásakor a feladat egy síkgörbe pontjainak meghatározása térbeli fényképfelvétel alapján. A fényképen a síkgörbe pontjai egyértelműen meghatározhatók a képfeldolgozás eszközeivel [3]. A kérdés azonban az, hogyan lehet következtetni a pont eredeti helyzetére a fényképfelvétel alapján. A fényképezett sík és a fénykép pontjai között a kölcsönösen egyértelmű leképezést nemlineáris függvénnyel jellemezhetjük. A függvény zárt alakjának felírásához szükségesek a fényképezőgép paraméterei, a gép és a sík egymáshoz képest való pontos elhelyezkedése, amely paraméterek sok esetben nem meghatározhatók, ezért a iteratív kalibráció módszeréhez folyamodhatunk.

A fényképezőgépek a felvételeket JPG-állományokba mentik. A JPG-állományok adatait képtároló komponensekbe töltve a képek a memóriában DIB (*Device Independent Bitmap*) formában hozzáférhetők. A bitkép pontjait a képpontok színét azonosító tömbbe másolhatjuk, ahonnan a képpontok színeinek RGB összetevői kinyerhetők. A lézer vonalsugárzók által megvilágított felületdarab képét keressük, meghatározzuk a test felületi görbéjének képét. Ilyen esetekben azt vizsgáljuk, hogy a piros összetevő mennyire domináns a képpontban (3. ábra bal oldala és középső képe). A távolságmérő közvetlenül szolgáltatja a felületi pontok térbeli koordinátáit, mint ahogyan az a 3. ábra jobb oldalán látható egy orr pontjai esetén látható. A mérés hibája 1 mm alatt marad.



3. ábra  
Geometriai adatok mérése

Ahhoz, hogy a mért geometriai adatokat ruhatervezéshez használhassuk, a pontfelhő pontjait testrészenként kell osztályoznunk (4. ábra bal oldala), és a testrészek felületeit interpolációval kell közelítenünk (4. ábra középső kép). Ezzel lehetővé válik a virtuális ruhapróba [4, 5]. A megjelenítés az Open GL grafikus rendszer segítségével [6] történt Borland Delphi rendszerben [7].



4. ábra  
A pontfelhő pontjai és a test közelítő felületei a térben és a virtuális ruhapróba

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ruhaipari vállalatok versenyképességének fontos összetevője műszaki fejlettségük színvonala. A tervezés rugalmassága megfelelő matematikai modellek kialakításával és adataik feltöltésével lehetséges. Két berendezést alakítottunk ki, a 3-D pásztázási feladatok megoldására, amelyek külön-külön és együttműködve is alkalmasak a modellek adatainak szolgáltatására. A berendezések megadják tervezési szoftverjeinknek azokat az adatokat, amelyekkel az egyedi ruhatervezés változatos megoldásait szolgáltatni tudjuk.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Somló, Lantos, P.T.Cat, Advanced Robot Control. Akadémiai Kiadó.1997,
- [2] Fu, Gonzales, Lee, Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence Mc Graw-Hill 1987.
- [3] Gácsi Zoltán: Sztereológia és képelemzés WellPress Kiadó Kft. 2001.
- [4] House, D. H., Breen, D. E.: Cloth Modelling and Animation, pp. 19-107, 197-214. Peters, A. K. 2000
- [5] Tamás, P., Halász, M., Gráff, J.: 3D Dress Design, AUTEX World Textile Conference, Portorož, Slovenia. 2005 pp 436-440
- [6] T. McReynolds, D. Blythe: Advanced Graphics Programming Using OpenGL, Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics and Geometric Modelling 2002
- [7] J. Kuzmina, P. Tamás, B. Tóth: Programozzuk Delphi 7 rendszerben! Computer Books Budapest 2003

# FELÜLETEK VIRTUÁLIS MODELLEZÉSE

## VIRTUAL SURFACE MODELLING

TEUTAN Emil Octavian, ORBÁN György

Kolozsvár

### ABSTRACT

*It presents a mathematical model to calculate the longitudinal and transversal section curved of a surface defined by nodes. The definition of this curves as exactly as it possible make possible to have the virtual model of the surface which is base of the comand of CNC tool-mashine work process.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A jelen dolgozat egy matematikai modellt állít fel a diszkrét pontok (csomópontok) által meghatározott felületek hosszanti- és keresztmetszeti- görbéinek meghatározására.*

*Ezen görbék minél pontosabb meghatározása lehetővé teszi tetszőleges felület virtuális modellezését, amely a CNC szerszámgépek vezérlésének alapját képezi az illető felület megmunkálásánál.*

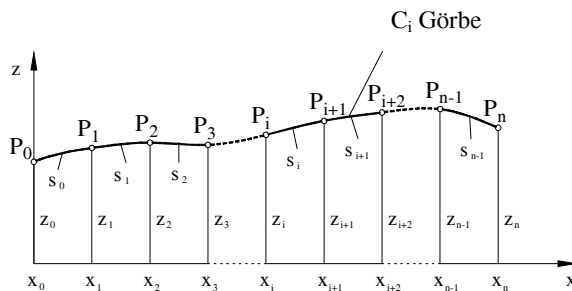
### BEVEZETÉS

A szakirodalomban különbözőképpen határozzák meg egy pont által a térben leirt nyomvonalat, amely többszöri egymásutáni alkalmazás eredményeképpen bonyolult felületeket hoz létre és ennek virtuális modelljét állapítja meg.

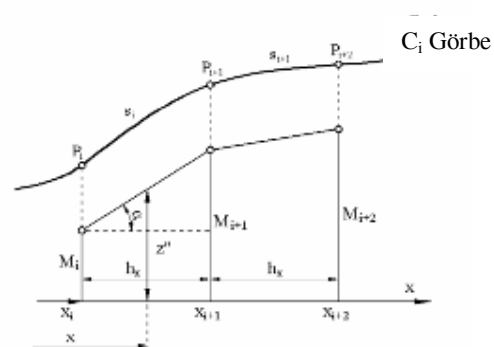
Az első módszerek, ilyenek a Ferguson vagy Coons [1] által leirtak egy magas fokú matematikai felkészülést és jelentős munkaráfordítást igényeltek. A Bezier [2] által leirt módszer pedig a felületek származtatásának matematikai modelljét alapozza meg.

Ennek érdekében kiindulva egy diszkrét pontokból álló nyomvonalból, melyeket mérésekkel határozzunk meg, egy lehetséges módszer a Spline interpolációs görbe lenne, amely hátránya, hogy a görbe ıve függ a szélső pontok elsőrendő deriváltjától.

Itt bemutatunk egy olyan interpolációs módszert, mely a „natural spline” [3] variánsn alapszik és e szerint a Spline görbe két szélső feltétel értelmében a másodrendő deriváltak (görbületek) a szélső pontokban nullák, s ezek a nyomvonal ıvét nem befolyásolják.



1. ábra Spline görbe



2. ábra

### MATEMATIKAI MODELL A NYOMVONAL MEGHATÁROZÁSÁRA

Tekintsünk  $n+1$  adott pontot, melyeket az 1. ábrán  $P_i$  -vel jelölünk, ahol  $i=0, \dots, n-1$ . A pontokat páronként egy-egy egymáshoz csatlakozó harmadrendű algebrai görbével kötjük össze, melyek csatlakozási pontokban egymáshoz simulnak és  $c_i$  harmadrendű Spline síkgörbét képeznek.

A  $c_i$  görbe előállításához szükség van előzőleg a harmadrendű  $s_i(x)$ ,  $i=0, \dots, n-1$  egymáshoz simuló görbevek meghatározására, azaz hogy:

- az  $s_i(x)$  görbe menjen át a  $P_{i-1}, P_i$  pontokon, ahol  $i=0, \dots, n$ ,
  - az  $s_i(x)$  és  $s_{i+1}(x)$  görbéknek közös érintője legyen a  $P_{i+1}$  pontban, ahol  $i=0, \dots, n-1$ ,
  - az  $s_i(x)$  és  $s_{i+1}(x)$  görbéknek közös görbülete legyen a  $P_{i+1}$  pontban, ahol  $i=0, \dots, n-1$ ,
- Az  $s_i(x)$  görbéket a következő alakú összefüggéssel adjuk meg:

$$z_i(x) = A_i x^3 + B_i x^2 + C_i x + D_i \quad (1)$$

Ahol az együtthatók valós számok, melyeket az adott feltételek és adatok alapján kell meghatározni. Ezeknek az együtthatóknak a meghatározásánál ismeretlennek tekintjük a csomópontokban a másodrendű deriváltakat, melyeket  $M_i$  -vel jelölünk, ahol  $i=0, \dots, n-1$ . Ezek lineárisan változnak az  $x_i - x_{i+1}$  intervallumon belül a 2-es ábra szerint.

Ily módon felírható:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M_{i+1} - M_i}{h_x} = \frac{z'' - M_i}{x - x_i} \quad (2)$$

$$z'' = M_i \frac{x_{i+1} - x}{h_x} + M_{i+1} \frac{x - x_i}{h_x} \quad (3)$$

A (3) összefüggéssel megadott  $z''(x)$  függvény kétszer integrálható, mivel az  $i=0, \dots, n-1$  intervallumban folytonos és az első integrálás után kapjuk hogy:

$$z' = -M_i \frac{(x_{i+1} - x)^2}{2h_x} + M_{i+1} \frac{(x - x_i)^2}{2h_x} + C_1 \quad (4)$$

A második integrálás után pedig hogy:

$$z = M_i \frac{(x_{i+1} - x)^3}{6h_x} + M_{i+1} \frac{(x - x_i)^3}{6h_x} + C_1 x + C_2 \quad (5)$$

A  $C_1$  és  $C_2$  integrálási állandókat a 4 és 5 összefüggésekből úgy határozzuk meg, hogy az  $x = x_i$  és  $x = x_{i+1}$  -re az  $s_i(x)$  görbe áthaladjon a  $P_i$  és  $P_{i+1}$  pontokon, azaz a  $z$  koordináta felvegye a  $z = z_i$  és  $z = z_{i+1}$  értékeket.

$$z_i = M_i \frac{h_x^2}{6} + C_1 x_i + C_2 \quad (6)$$

$$z_{i+1} = M_{i+1} \frac{h_x^2}{6} + C_1 x_{i+1} + C_2 \quad (7)$$

Ezután az  $s_i(x)$  görbeiv  $P_{i+1}$  jobboldali végpontjában a (4) képlettel meghatározott deriváltat egyenlővé tesszük az  $s_{i+1}(x)$  görbe baloldali deriváltjával a  $P_{i+1}$  pontban.

Kapjuk hogy:

$$M_{i+1} \frac{h_x}{2} + \frac{z_{i+1} - z_i}{h_x} - \frac{M_{i+1} - M_i}{6} h_x = -M_{i+1} \frac{h_x}{2} + \frac{z_{i+2} - z_{i+1}}{h_x} - \frac{M_{i+2} - M_{i+1}}{6} h_x \quad (8)$$

Rendezve a fenti összefüggést, írhatjuk hogy:

$$\frac{h_x}{6} M_i + \frac{2h_x}{3} M_{i+1} + \frac{h_x}{6} M_{i+2} = \frac{1}{h_x} [(z_{i+2} - z_{i+1}) - (z_{i+1} - z_i)] \quad (9)$$

Ahol  $i=0, \dots, n-2$

A (9) képlet segítségével  $n-1$  lineáris egyenletet, azaz egy lineáris egyenletrendszer kapunk. Az  $n+1$  darab  $M_i$  ismeretlen meghatározásához még két szélsőérték feltétel kikötésére van szükség, azaz hogy a  $P_0$  és  $P_n$  pontban a görbületeket képviselő másodrendű deriváltak nullával legyenek egyenlők, azaz  $M_0=0$  és  $M_n=0$ ,

A (9) egyenletrendszer mátrix alakja:

$$\begin{pmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \dots \\ \dots \\ M_{n-3} \\ M_{n-2} \\ M_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ \dots \\ c_{n-4} \\ c_{n-3} \\ c_{n-2} \end{pmatrix} \quad (10)$$

ahol:  $c_i = \frac{1}{h_x^2} [(z_{i+2} - z_{i+1}) - (z_{i+1} - z_i)]$

Mivel a rendszer mátrixa n-1 -ed rendű tridiagonálisan szimmetrikus mátrix, a rendszer a Gauss -féle kiküszöbölési módszerrel könnyen megoldható az  $M_1, M_2, \dots, M_{n-1}$  ismeretlenekben. Az  $M_0, M_n$  ismeretleneket az (5) és (6) alapján határozzuk meg.

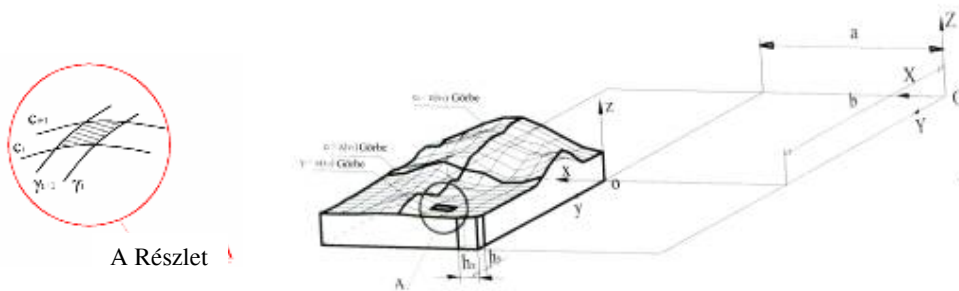
Az  $M_i$  értékek meghatározása után az (5) összefüggésbe helyettesítjük a  $C_1$  és  $C_2$  állandók kiszámított értékeit és így megkapjuk az  $s_i(x)$  görbe egyenletét.

$$z_i(x) = x^3 \left( \frac{M_{i+1}}{6h_x} - \frac{M_i}{6h_x} \right) + x^2 \left( \frac{M_i x_{i+1} - M_{i+1} x_i}{2h_x} \right) + x \left[ \frac{M_{i+1} x_i^2 - M_i x_{i+1}^2}{2h_x} + \frac{z_{i+1} - z_i}{h_x} + \frac{(M_i - M_{i+1})h_x}{6} \right] + \left[ \frac{M_i x_{i+1}^3 - M_{i+1} x_i^3}{6h_x} + \frac{z_i x_{i+1} - z_{i+1} x_i}{h_x} - (M_i x_{i+1} - M_{i+1} x_i) \frac{h_x}{6} \right] \quad (11)$$

A (11) összefüggés alakja az  $s_i(x)$  görbe egyenletében szereplő együtthatók egyszerű kiszámítását teszi lehetővé.

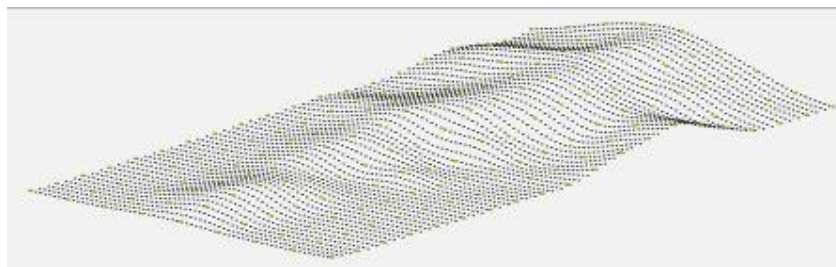
### PONTRÁCS SEGÍTSÉGÉVEL ÉRTELMEZETT FELÜLET MEGHATÁROZÁSA

Ha veszünk két egymásra merőleges síkban fekvő  $\gamma_i = z_i(y)$  és  $c_i = z_i(x)$  egyenletekkel adott közös csomópontokkal rendelkező Spline görbét egy térbeli, közös csomópontokkal bíró ekvidisztáns görberácsot képezhetünk. E rács által meghatározott felület neve Coons felület, mely a 3.ábrán látható.



3. ábra Kétszeresen harmadrendű Spline felület

Alkalmazásként a Vlegyásza hegység topografikus térképéből indultunk ki. Egy téglalap alakú területre korlátozódunk. A nivógörbéket olyan pontok halmazával közelítjük meg, melyeknek térbeli koordinátáit az ArchiCAD számítógépes program segítségével határozzuk meg. Egy másik topografikus program segítségével a csomópontokat ( az adott esetben  $9 \times 20 = 180$ ) pontot egy térbeli derékszögű koordináta-rendszerben helyezük el. Az így kapott, diszkrét görbékkel jellemzett felületet, axonometrikusan a 4. ábra mutatja be.[7]



4. ábra Diszkrét görbékkel ábrázolt felület.

## KONKLÚZIÓK

Különálló (diszkrét) pontok (csomópontok) által jellemzett görbét egy, a „natural spline” [3] módszeren alapuló eredeti eljárás segítségével valósítjuk meg. A használt matematikai modell megfelel a felületek általános származtatási modelljének, mivel a használt síkbeli Spline görbék párhuzamosak egymással.

Az a tény, hogy a használt görbeseregek ortogonálisok, lehetővé teszi a Spline felületek illetve Coons felületek elemeinek meghatározásához szükséges kényelmetlen és hosszadalmas számítások elkerülését, lényegesen redukálva a szükséges számításokat.

## IRODALOM

1. Faux, I.D., Pratt M.J., Computation Geometry for design and Manufacture, Ellis Horwood, Chichester UK, 1979.
2. Bèzier, P., Courbes et surfaces. Mathematiques et C.A.O., vol.IV, Hermes, Paris, 1987.
3. De Boor, C., A., - A Practical Guide to Spline, Applied Mathematical Sciences, vol. 27, Springer – Verlag, pag.54-57, 1987.
4. Ahlberg, J., H., Nilson, E., N., Walsh, J., L.,- The Theory of Splines and their Applications, New-York and London Academic Press, 1967.
5. Maros, D., - Mecanisme, Lito IPC-N, pag. 156-160, 1980.
6. Démidomich, B., Maron, L., - Éléments de calcul numérique (traduit du russe), Éditions Mir, Moscou, 1979
7. Teutan, E.O., Contributions regarding the study of the Tetrobot structures type. Applications in engineering, PHD Thesis, 2006



# Rácsos tartó modellezése

## MODELING OF TRUSS-GIRDER

Dr. habil. TIMÁR Imre<sup>1</sup>, HORVÁTH Pál<sup>2</sup>, LISZTES István<sup>2</sup>

<sup>1</sup>intézetvezető, <sup>2</sup>adjunktus

Pannon Egyetem Gépészmérnöki Intézet, H-8200 Veszprém, Egyetem u 10.  
tel.: 00-36-88-62-45-25, fax: 00-36-62-41-20,  
timari@almos.vein.hu, www.mk.uni-pannon.hu

### ABSTRACT

Last year (OGÉT 2006) we showed structural optimisation of truss-girder. Since that time we have produced a model structure of small size in its design following, the similarity principle. On the basis of the elaborated theoretical model we have made the stability and frequency calculations, which we have compared with measured values. We have found that the differences between the model calculations and measured values are acceptable.

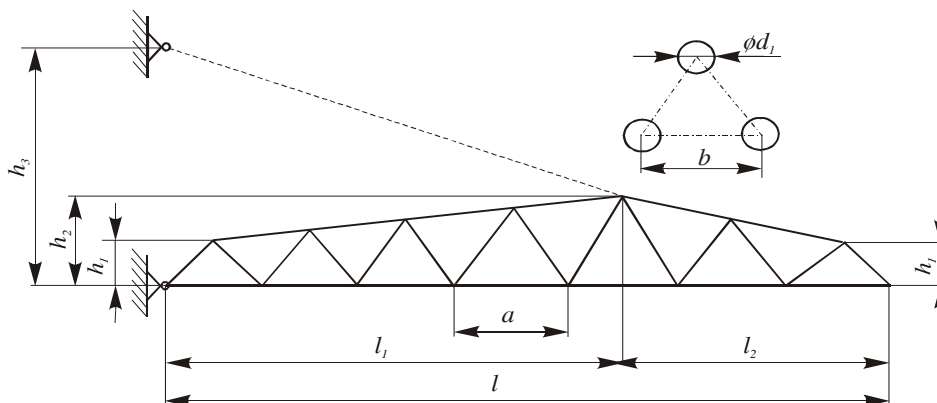
### ÖSSZEFOGLALÓ

Az elmúlt alkalommal (OGÉT 2006) rácsos tartó optimalizálását mutattuk be, amelynek hasonlóságelmélet segítségével elkészítettük a kisméretű modelljét. A modell alapján elvégeztük a szilárdsági és frekvenciaszámításokat, amelyeket mérésekkel ellenőriztünk. Megállapítottuk, hogy a modellre vonatkozó számítási és mérési eredmények közötti eltérés elfogadható mértékű.

**Kulcsszavak:** optimális méretezés, genetikus algoritmus, rácsos tartó, sajátfrekvencia, hasonlóságelmélet

### 1. A MODELL MÉRETÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Az elmúlt OGÉT-en rácsos tartó (változó geometriájú darugém) genetikus algoritmussal való optimalizálását ismertettük [1]. Az optimális darugém méretek alapján, hasonlóságelmélet felhasználásával [3] meghatároztuk egy geometriailag hasonló darugém főméreteit:  $a$ ,  $l$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $b$ ,  $h_1$ ,  $d_1$  és  $v_1$  (1. ábra), ahol  $v_1$  a  $d_1$  jelű rúd falvastagsága. A modell további méreteit számítással határoztuk



1. ábra  
A gém modell vázlatja

meg. Természetesen a korlátozási feltételeken és a célfüggvényen is bizonyos mértékben változtatni kellett [2], [4]. A célfüggvénynek a tömeget választottuk, mert annak értékét pontosan mérhetjük. A korlátozási feltételnél elhagytuk a frekvenciakorlátozást, mert az túl merev szerkezetet eredményezett volna.

A szélső szál fajlagos nyúlását választottuk a hasonlóság alapjának. A gém-hajlításnál használhatjuk a hajlított rúdra vonatkozó képletet

$$\varepsilon = \frac{M_h}{K_x E}, \quad (1)$$

ahol  $M_h$  a hajlítónyomaték,  $K_x$  a gém keresztmetszeti tényezője,  $E$  a rugalmassági tényező. Így az egyenlet

$$\frac{Fl}{K_x E} = \frac{F'l'}{K_x'} = \frac{F c_F l c_l}{K_x c_K E} \quad (2)$$

alakú, ahol  $F$  a gémvégi függőleges terhelés,  $l$  a gém hossza. A vessző nélküli rész az eredeti méretre, míg a vesszős a modellre vonatkozik. A  $c_F$ ,  $c_l$  és  $c_K$  a megfelelő méretek közötti transzformációs tényezők. A (2) baloldali értékei az eredeti programban számított optimális értékek. Az  $F'$  értékét 1055 N-nak, az  $l'$ -ét pedig 1532 mm-nek felvéve,  $c_F = 0,03$ -ra és  $c_l = 0,078$ -ra adódik. Az egyszerűsítést elvégezve

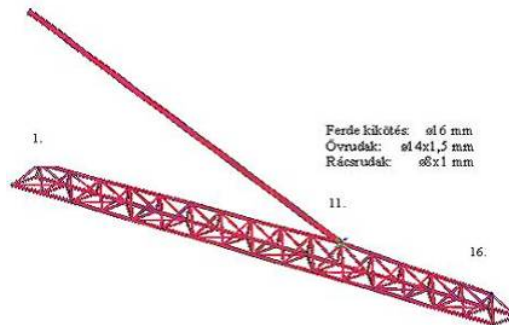
$$\frac{c_F c_l}{c_K} = 1, \quad (3)$$

amiből  $c_K = 0,00234$ -t kapjuk. Az optimált gém keresztmetszetének másodrendű nyomatéka  $I_x = 2,11424 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$ . Ebből  $K_x = 2,033 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$  és  $K_x' = 4 \cdot 808 \text{ mm}^3$ . A modellgém főtartó övrúdjai-nak  $\emptyset 14 \times 1,5$  mm-es MSZ 2898/1/2-80 szerinti hidegen húzott precíziós acélcsővet választottunk, amelynek szilárdsági adatai az S235-ös anyagével közel azonosak. Így a gémmodell  $h$  magassága a következő képletből számítható:

$$K_x' = \left[ \frac{3(14^4 - 11^4)\pi}{64} + 12\pi \cdot 1,5 \frac{2}{3} h_1^2 \right] \frac{3}{2h_1}, \quad (4)$$

ahonnan  $h_1 = 56$  mm.

A fentieket figyelembe véve elvégeztük a modell számítását, azonban a korlátozási feltételeket a gyárthatóság miatt úgy változtattuk, hogy minden rácsrúd azonos méretű csőből legyen. A válaszható tartomány az  $\emptyset 10 \times 1$  mm, az  $\emptyset 8 \times 1$  mm és az  $\emptyset 6 \times 1$  mm-es hidegen húzott acélcső. A modellgém szélessége  $b = 90$  mm, míg a megfogás méretarányai hasonlóak az eredeti gémhez. Gyártástechnológiai okok miatt  $h_1 = 60$  mm-t választottunk a gém minimális magasságának, míg  $h_2 = 60 \div 140$  mm-t tartományt a maximális méretre. Az optimalás után a modell méreteire a következő eredményeket kaptuk:  $l = 1536$  mm,  $l_1 = 1008$  mm,  $l_2 = 524$  mm,  $h_2 = 82$  mm, míg a rácsrúd  $\emptyset 8 \times 1,5$  mm. A terhelés nagysága 1055 N. Az így kapott modell a 2. ábrán látható.



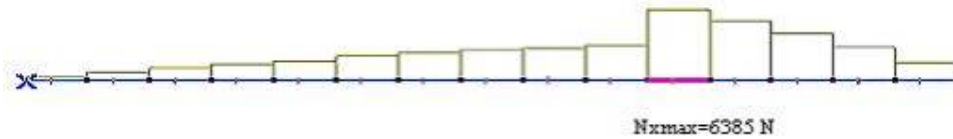
2. ábra

A modell axonometrikus képe és méretei

A modellt CO<sub>2</sub> védőgázos hegesztéssel készítettük el, hogy a hőbevitel a lehető legkisebb legyen.

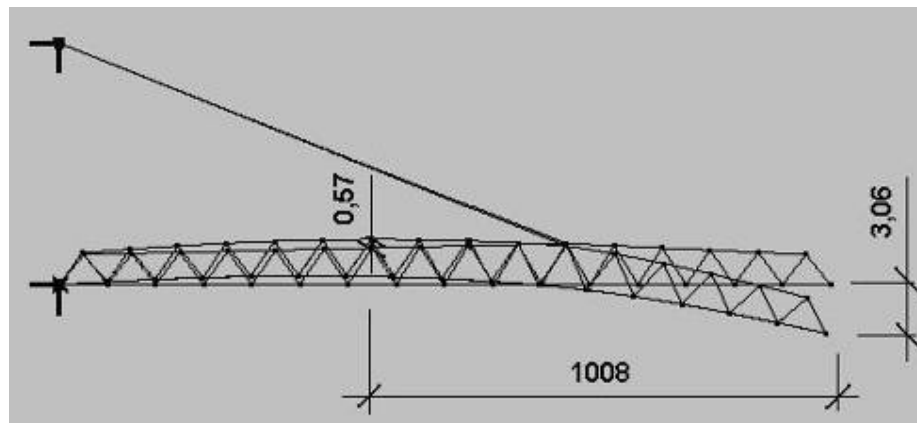
## 2. A SZÁMÍTOTT ÉRTÉKEK BEMUTATÁSA

A modell rúdjaiban terhelés hatására fellépő erőket, a lehajlást, illetve a sajátfrekvenciák értékeit az AxisVM 7 programmal kiszámoltuk és a lengésképek közül az első kettőt kirajzoltattuk. (3-6. ábrák).

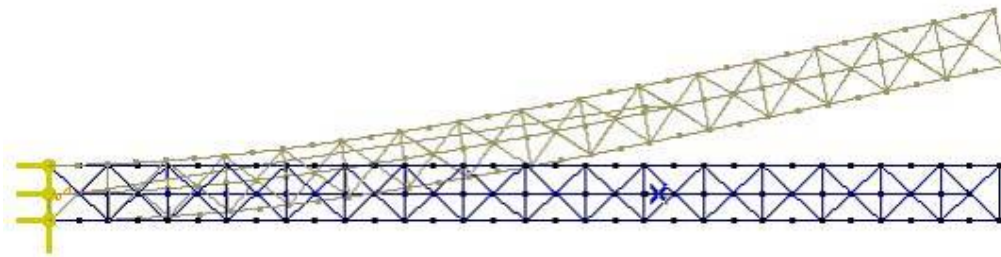


3. ábra  
A felső övrúdban ható erők

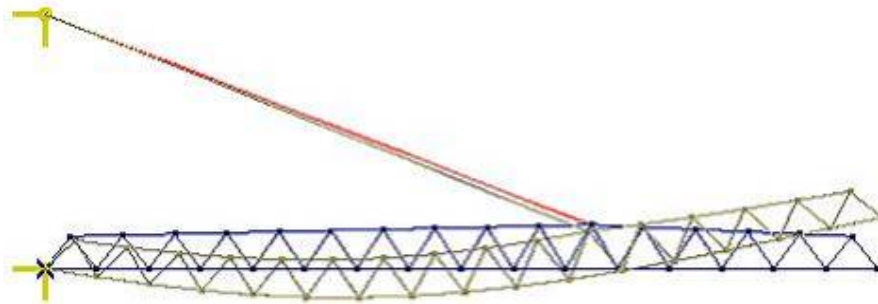
(A téglalap méretek a rúdban ható erővel arányosak)



4. ábra  
A terhelés hatására létrejött görbült alak



5. ábra  
A vízszintes síkbeli első lengés képe



6. ábra  
A függőleges síkbeli első lengés képe

Szerkezetek viselkedésénél fontos lehet a sajátfrekvencia értéke, ezért helyeztünk hangsúlyt a számítására és mérésére.

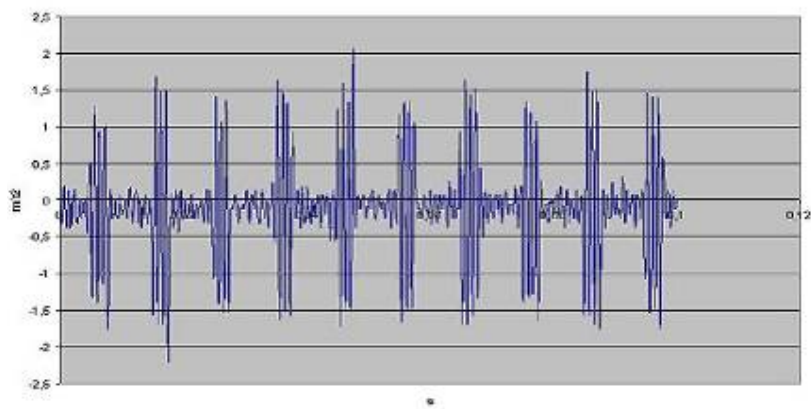
### 3. A MÉRÉS ÉS KIÉRTÉKELÉS

Az elkészült modellen növekvő terhelés hatására feszültség és lehajlás mérést végeztünk, valamint mértük a sajátfrekvenciát [5]. A mérőműszer Hottinger HBM Spider 8 készülék volt, amelynek szoftvere a CATMAN program. A műszer 8 csatornás mérésre képes. Mi a méréshez 3 csatornát használtunk. Mindegyik mérést fél Wheatstone-híd kapcsolással végeztük. A nyúlásméréshez így két nyúlásmérő bélyeget használtunk, az egyiket a mérendő pontra (11. csomópont) ragasztottuk, míg a másikat egy állandó feszültségű helyre. (A csomópontokat a felső övön számoltuk, a 2. ábrának megfelelően.) A teljes hidat a számítógép alakította ki és így adta a mért eredményt. Az elmozdulás mérés eszköze a WI/10 mm-T jelű műszer, amelyik 10 mm távolság mérésére képes. A fenti két mérést 50 Hz mérőfrekvenciával végeztük. A sajátfrekvenciát B12 jelű gyorsulás jeladó felhasználásával 4800 Hz mérőfrekvencián mértük (7. ábra). A függőleges síkbeli hajlító lengéseket 0,1 s-ig mértük és a megszámlolt lengések tízszerese adta az eredményt. Erre azért volt szükség, mert a nagy frekvencia miatt az adatgyűjtő hamar megtelt, és ábrázolás is jobban áttekinthető. A vízszintes síkbeli lengéseknél, ahol a frekvencia lényegesen kisebb a 0,2 s-os mérésidő bizonyult megfelelőnek, így itt a megszámlolható lengések ötszöröse adja a sajátfrekvencia értékét. A sajátfrekvencia mérést több helyen, hússzor megismételve azonos eredményt kaptunk. A 8. ábrán a hajlító lengések képe látható és 0,1 s alatt 10 lengés számlolható, így a mért sajátfrekvencia értéke 100 Hz, míg az Axis-sal számolt 105,50 Hz. Az eltérés, a számított és mért eredmény között, 5,5 %, melynek az oka lehet a hegesztések mérete és a megfogás merevsége. A számított tömeg  $m_{sz} = 3,78$  kg, a mért modell tömege  $m = 4$  kg.

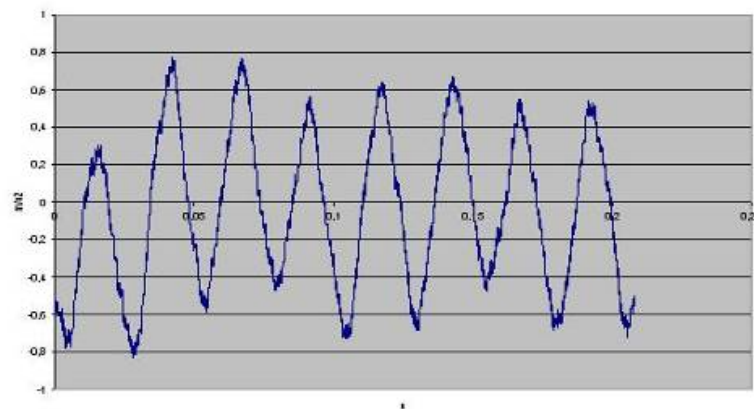
A 9. ábrán 7,8 lengés számlolható, így ennek ötszöröse 39 Hz a vízszintes lengések sajátfrekvenciája. Itt az AxisVM 7-el számolt érték 30,1 Hz, tehát az eltérés 23 %-os. Ennek oka a megfogásban keresendő. Ezért a megfogást rugalmasabbra változtattuk, amelynek ismertetésétől helyhiány miatt eltekintünk. A feszültségek és lehajlások méretét az 1. táblázat tartalmazza.



7. ábra  
Az elkészített modellszerkezet és a mérés



8. ábra  
A függőleges síkban mért hajlítási sajátfrekvencia gyorsulásmérővel mért értékei [ $m/s^2$ ]



9. ábra  
A vízszintes síkban mért hajlítási sajátfrekvencia gyorsulásmérővel mért értékei [ $m/s^2$ ]

1. táblázat A maximális terhelésnél mért feszültségek és lehajlások átlaga és szórása

mértékegység	MPa	5. csp. [mm]	MPa	11. csp. [mm]	MPa	16. csp. [mm]
átlag	108,9	-0,21	108,5	-3,09	108,9	-4,67
szórás	0,67718	0,02538	0,82232	0,17165	1,76048	0,08651

Megj.: A feszültséget minden esetben a maximális feszültségű helyen (11. csp.) mértük.

A maximális terhelésű rúdon a feszültség  $\sigma_{sz} = 108,46$  MPa, míg a 60 mérés átlaga  $\sigma_m = 108,84$  MPa, tehát az eltérés 0,45 %, ami nagyon jó eredmény. Az elmozdulásoknál az eltérés nagyobb, amelynek oka a hegesztési méret, illetve a megfogások merevsége.

Azért, hogy a hegesztési varrat mérete miatti súlynövekedést is figyelembe vehessük elvégeztük a számítás ismét. A számított és mért tömeg között az eltérés 0,22 kg, amelyet megoszló terhelésként helyeztünk el mind a három övrúdon. Így a terhelés növekedés  $0,477$  N/m övenként. Az eredmények:

- lehajlás a gém végén: 5,63 mm,
- maximális feszültség: 131,9 MPa,
- hajlító sajátfrekvencia a vízszintes síkban: 29,43 Hz,
- hajlító sajátfrekvencia a függőleges síkban: 103,2 Hz.

Ekkor a lehajlás számított és mért értéke között az eltérés 15 %, míg a maximális feszültség jelentősen megnőtt. A sajátfrekvenciák csökkentek ami várható is a növekvő tömeg hatására, de nem közelítették meg jobban a mért eredményt. Így megállapíthatjuk, hogy az eltérést a számított és mért érték között a megfogás rugalmassága okozza, amely még a függőleges és vízszintes irányban is eltér a számításnál alkalmazott értéktől.

*Ennek ellenére a modellszerkezet elkészítése nagyon hasznos volt, mert információt adott arról, hogy figyelembe kell venni a felfüggesztés rugalmasságát és látható, hogy a modell nem egy kicsinyített daru, hanem a hasonlóságelmélet alapján elkészített szerkezet. Ezt igazolja, hogy a terhelés/tömeg arány a modellenél a valóságos gém értékének hétszerese.*

## IRODALOM

- [1] Timár, I., Horváth, P., Lisztes, I.: *Rácsos tartó optimalása*. OGÉT 2006, Marosvásárhely, 2006, április 27- 30, p.: 336-340.
- [2] Timár, I., Horváth, P., Borbély T.: *Optimization of a welded I-section frame with size limitation*. Metal Structures, Rotterdam, Millpress, 2003, p.: 183-188.
- [3] Szűcs, E.: *Hasonlóság és modell*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- [4] Orbán, F.: *Minimum volume design pipeline bridges*. Publ. Univ. of Miskolc Series c. Mechanical Engineering, 47 (1997), p.: 193-200.
- [5] Jármái, K., Iványi, M.: *Gazdaságos fémszerkezetek analízise és tervezése*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001.

## A réteg-rugalmas féltér rendszer kvázistatikus hőrugalmasságtani feladata

### THE QUASISTATIC PROBLEM OF THERMOELASTICITY FOR LAYER-HALFSPACE SYSTEM

TIMÁR Imre<sup>1</sup>, TURCSIN Igor<sup>2</sup>, SZULIM Georgij<sup>3</sup>, SCSUKIN Valentyin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pannon Egyetem, Veszprém,

<sup>2</sup> Ivan Franko Nemzeti Egyetem, Lviv, Ukrajna

<sup>3</sup> Ukrán Tudományos Akadémia, Matematikai Modellezési Központ, Lviv

#### ABSTRACT

*The Laguerre polynomials method and the Fourier integral transformation was developed to analyse the centrally symmetric quasistatic problem of thermoelasticity for system „layer-halfspace” under symmetric impulsive thermal loading. We also studied the nondimensional tangential stresses on the interface of elastic layer and halfspace induced by the heat flux in square form.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A Laguerre-polinomok és Fourier integrál-transzformáció módszerével vizsgálja a réteg-rugalmas féltér rendszerben a síkbeli kvázistatikus hőrugalmassági állapotot szimmetrikus impulzus-szerű hevítés esetén. A féltér és a bevonat határán bemutatja a dimenziótlan feszültségek változását.*

**Kulcsszavak:** rugalmas féltér, impulzusos hevítés, dimenziótlan feszültségek

#### 1. BEVEZETÉS

A műszaki gyakorlat és a modern gépipar számos területére jellemző, hogy a hagyományos anyagok mellett új szerkezeti anyagokat fejlesztenek ki és széles körben alkalmazzák őket. Az egyik új perspektivikus anyagcsoportot a kompozitok képezik, melyeknél a rétegek sajátosság elrendeződésével és lényegesen eltérő fizikai-mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezen anyagok gyártástechnológiájánál és üzemi körülményeik között gyakran előfordul a helyi magas hőmérsékletű hevítés [1, 2], ami az érintkezési felületeken és a felfekvési zónák környezetében nagy feszültség szinteket eredményez. Az időben váltakozó nagy intenzitású hőterhelés közepette üzemelő, szakaszosan homogén felépítésű szerkezeti elemek és készülékek szükséges szilárdságának és megbízhatóságának előrejelzése céljából hatékony módszert kell kifejleszteni a kompozit hőmérséklet mezőinek és hőfeszültségi állapotának vizsgálatára.

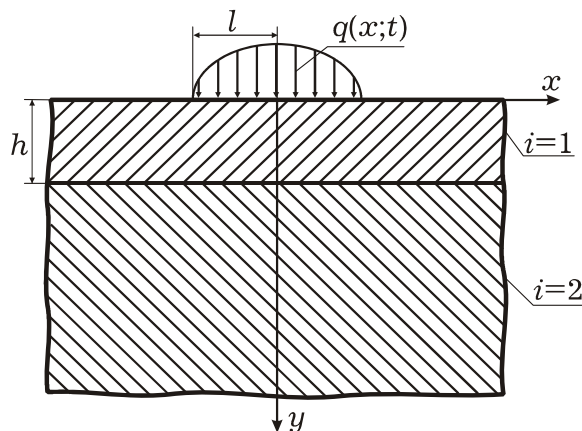
Célul tűztük ki, hogy olyan analitikus módszert dolgozzunk ki és numerikusan teszteljünk, ami alkalmas a rétegezett testek és közegek kvázistatikus hőrugalmasságtani feladatainak megoldására.

#### 2. A PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA ÉS MEGOLDÁSA

A továbbiakban az *1. ábrán* látható  $h$  vastagságú rugalmas réteget vizsgáljuk, amelyik eltérő hőfizikai jellemzőkkel rendelkező szilárd testen nyugszik, melyet rugalmas féltérnek tekintünk.

A réteg szabad felületét meghatározott időpillanattól kezdődően szimmetrikus eloszlású, impulzus-szerű hőforrás elkezdi hevíteni. A réteg és a féltér közti termomechanikai érintkezést ideálisnak, kezdeti hőmérsékletüket és feszültségi állapotukat zérusnak tekintjük. Ezenkívül feltételezzük, hogy a

hőforrások mérete egyik irányban lényegesen nagyobb, mint a rétegvastagság, és emiatt ebben az irányban a hőmérséklet és a feszültségi állapot változását elhanyagoljuk.



1. ábra  
A réteg-rugalmas féltér kialakítása

Ily módon a hővezetési probléma az alábbiak szerint fogalmazható meg

$$\Delta T^{(i)} = \tilde{a}_i^{-1} \partial_\tau T^{(i)}, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

$$T^{(i)}(\eta, \zeta, 0) = 0, \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

$$\tilde{\lambda}_T^{(1)} \partial_\zeta T^{(1)} = -q(\eta, \tau), \quad \zeta = 0, \quad (3)$$

$$T^{(2)} = 0, \quad \zeta \rightarrow \infty, \quad (4)$$

$$T^{(1)} = T^{(2)}; \quad \tilde{\lambda}_T^{(1)} \partial_\zeta T^{(1)} = \tilde{\lambda}_T^{(2)} \partial_\zeta T^{(2)}, \quad \zeta = 1. \quad (5)$$

A továbbiakban a függvények és mennyiségek 1-es indexe a rétegre a 2-es indexe a féltérre vonatkozik.  $T^{(i)}(\eta, \zeta, \tau)$  a hőmérséklet,  $\eta = x/h$ ,  $\zeta = y/h$ ,  $\tau = a_0 t/h^2$ ,  $\tilde{a} = a_i/a_0$ ,  $\Delta = \partial_{\eta\eta}^2 + \partial_{\zeta\zeta}^2$  a

Laplace operátor,  $\tilde{\lambda}_T^{(i)} = \lambda_T^{(i)}/\lambda_T^{(0)}$ ,  $q(\eta, \tau) = \frac{q(\eta)S_+(\tau_0 - \tau)S_+(\tau)}{\lambda_T^{(0)} h}$ ,  $\lambda_T^{(i)}$ ,  $a_i$  a hővezetési

illetve a hőmérsékletvezetési tényező,  $\tilde{l} = l/h$ ,  $l$  a felsáv hosszúsága, melyen a hőforrások elhelyezkednek,  $q(\eta)$  a forrás sűrűségek eloszlási törvénye,  $\lambda_T^{(0)}$ ,  $a_0$  a numerikus analízisnek megfelelően választott méretek.

Az (1)-es egyenletekre, a (3)-as és (4)-es peremfeltételekre, valamint az (5)-ös illesztési feltételekre alkalmazva az  $\eta$  [3] változó szerinti cos Fourier és a  $\tau$  [4] változó szerinti Laguerre integráltranszformációt, felhasználva a zérus kezdeti feltételeket (2) megkapjuk az alábbi differenciálegyenleteket



$$d_{\gamma}^2 \bar{T}_n^{(i)} - \omega_i^2 \bar{T}_n^{(i)} = \beta_i \sum_{m=0}^{n-1} \bar{T}_m^{(i)}, \quad i=1,2; \quad (6)$$

$$\tilde{\lambda}_T^{(1)} d_{\zeta} \bar{T}_n^{(1)} \Big|_{\zeta=0} = -\bar{q}_n(\xi); \quad \bar{T}_n^{(2)} \Big|_{\zeta \rightarrow \infty} = 0, \quad (7)$$

$$\bar{T}_n^{(1)} = \bar{T}_n^{(2)}; \quad \tilde{\lambda}_T^{(1)} d_{\zeta} \bar{T}_n^{(1)} = \tilde{\lambda}_T^{(2)} d_{\zeta} \bar{T}_n^{(2)}, \quad \zeta=1, \quad (8)$$

ahol a (6)-(9) összefüggésekben

$$\bar{T}_n^{(i)}(\xi, \zeta) = \int_0^{+\infty} e^{-\lambda\tau} \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} T^{(i)}(\eta, \zeta, \tau) \cos(\eta\xi) d\eta \right] L_n(\lambda\tau) d\tau$$

a Lagerre és Fourier transzformált,  $L_n(\cdot)$  a Lagerre polinomok,  $\omega_i = \sqrt{\xi^2 + \beta_i}$ ,  $\beta_i = \lambda/\tilde{\alpha}_i$ ,  $\lambda$  a léptékszorzó.

A (6)-(8) transzformáltak megoldása a [2] alapján a következő

$$\bar{T}_n^{(i)}(\xi, \zeta) = \sum_{j=0}^n \left[ A_{n-j}^{(i)}(\xi) G_j^{(i)}(\xi, \zeta) + B_{n-j}^{(i)}(\xi) W_j^{(i)}(\xi, \zeta) \right], \quad i=1,2; \quad n=0,1,2,\dots, \quad (9)$$

ahol

$$G_j^{(i)}(\zeta, \omega_i) = e^{-\omega_i \zeta} \sum_{k=0}^j a_{j,k}^i \frac{(\omega_i \zeta)^k}{k!}; \quad W_j^{(i)}(\zeta, \omega_i) = e^{\omega_i \zeta} \sum_{k=0}^j a_{j,k}^i \frac{(-\omega_i \zeta)^k}{k!}, \quad (10)$$

és  $a_{j,k}^i(\xi)$ -ák kielégítik az alábbi rekurziós összefüggéseket

$$a_{j,k+1}^i = 0.5 \left( a_{j,k+2}^i - \frac{\beta_i}{\omega_i^2} \sum_{m=k}^{j-1} a_{m,k}^i \right), \quad (11)$$

$a_{0,0}^i(\xi) \equiv 1, a_{j,0}^i \equiv 0, j=1,2, \dots$ , esetén.

Az  $A_n^{(i)}, B_n^{(i)}$  ismeretleneket a (7)-(8)-as feltételeknek megfelelően lehet meghatározni

Ekkor a kiinduló feladat (1)-(5) megoldását Lagerre polinomok szerinti sor alakjában lehet meghatározni

$$T^{(i)}(\eta, \zeta, \tau) = \frac{\lambda}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{T}_n^{(i)}(\xi, \zeta) \cos(\xi\eta) d\xi \right] L_n(\lambda\tau). \quad (12)$$

A kompozitban a hőmérsékletmező (12) által előidézett feszültségi állapotot annak feltételezésével határozzuk meg, hogy határfelület terhelésmentes és a végtelenben az elmozdulások, valamint a feszültségek zérussal egyenlők.

A  $\theta^{(i)}(\eta, \zeta, \tau) = \text{div} \vec{U}^{(i)}$  és  $w^{(i)}(\eta, \zeta, \tau)$  forrásfüggvényeket illetően a feladat lényege abban áll, hogy minden egyes rétegre vonatkozóan meg kell határozni a két Poisson-egyenlet megoldását

$$\Delta \theta^{(i)} = \tilde{\alpha}_T^{(i)} \frac{1+v_i}{1-v_i} \Delta T^{(i)}, \quad i=1,2; \quad (13)$$

$$\Delta w^{(i)} = -\frac{1}{1-2v_i} \partial_{\zeta} \theta^{(i)} + \tilde{\alpha}_T^{(i)} \frac{2(1+v_i)}{1-2v_i} \partial_{\zeta} T^{(i)}, \quad i=1,2; \quad (14)$$

zérus kezdeti feltételek

$$\theta^{(i)}(\eta, \zeta, 0) = w^{(i)}(\eta, \zeta, 0) = 0, \quad i = 1, 2; \quad (15)$$

a végtelenben érvényes feltételek

$$\theta^{(M)} = 0, \quad w^{(M)} = 0, \quad \zeta \rightarrow \infty, \quad (16)$$

valamint az érvényes peremfeltételek és az illesztési feltételek mellett

$$\sigma_{\zeta\zeta}^{(1)}(\eta, 0, \tau) = 0; \quad \sigma_{\eta\zeta}^{(1)}(\eta, 0, \tau) = 0,$$

$$\begin{aligned} u^{(1)}(\eta, 1) &= u^{(2)}(\eta, 1), \quad w^{(1)}(\eta, 1) = w^{(2)}(\eta, 1), \\ \sigma_{\eta\zeta}^{(1)}(\eta, 1) &= \sigma_{\eta\zeta}^{(2)}(\eta, 1), \quad \sigma_{\zeta\zeta}^{(1)}(\eta, 1) = \sigma_{\zeta\zeta}^{(2)}(\eta, 1), \end{aligned} \quad (17)$$

ahol  $\tilde{\alpha}_T^{(i)} = \alpha_T^{(i)} / \alpha_T^{(0)}$ ,  $\tilde{E}_i = E_i / E_0$ , továbbá  $\alpha_T^{(i)}$  az  $i$ -edik réteg lineáris hőtágulási együtthatója,  $E_i$  a rugalmassági modulusza és  $\nu_i$  a Poisson tényezője.

Miután a (13)-(14)-es egyenletekre és a (16)-(17)-es feltételekre alkalmazzuk a Laguerre-Fourier-féle integrál-transzformációt peremérték feladatok sorozatát kapjuk a megfelelő transzformált peremfeltételekkel és illesztési feltételekkel

$$d_{\zeta\zeta}^2 \bar{\theta}_n^{(i)} - \xi^2 \bar{\theta}_n^{(i)} = \tilde{\alpha}_T^{(i)} \frac{1 + \nu_i}{1 - \nu_i} \left( d_{\zeta\zeta}^2 \bar{T}_n^{(i)} - \xi^2 \bar{T}_n^{(i)} \right), \quad i = 1, 2; \quad (18)$$

$$d_{\zeta\zeta}^2 \bar{w}_n^{(i)} - \xi^2 \bar{w}_n^{(i)} = -\frac{1}{1 - 2\nu_i} d_{\zeta} \bar{\theta}_n^{(i)} + \tilde{\alpha}_T^{(i)} \frac{2(1 + \nu_i)}{1 - 2\nu_i} d_{\zeta} \bar{T}_n^{(i)}, \quad i = 1, 2 \quad (19)$$

A (18)-(19)-es egyenletek megoldását a következő alakban lehet felírni

$$\bar{\theta}_n^{(i)}(\xi, \zeta) = C_n^{(i)}(\xi) \exp(\xi\zeta) + D_n^{(i)}(\xi) \exp(-\xi\zeta) + \tilde{\alpha}_T^{(i)} \frac{1 + \nu_i}{1 - \nu_i} \bar{T}_n^{(i)}(\xi, \zeta) \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \bar{w}_n^{(i)}(\xi, \zeta) &= F_n^{(i)}(\xi) \exp(\xi\zeta) + H_n^{(i)}(\xi) \exp(-\xi\zeta) - \\ &- \frac{\zeta}{2(1 - 2\nu_i)} \left[ C_n^{(i)}(\xi) \exp(\xi\zeta) + D_n^{(i)}(\xi) \exp(-\xi\zeta) \right] + \frac{\tilde{\alpha}_T^{(i)} (1 + \nu_i)}{\beta_i (1 - \nu_i)} d_{\zeta} \bar{T}_n^{(i)}(\xi, \zeta) \end{aligned} \quad (21)$$

ahol  $\tilde{T}_n^{(i)}(\xi, \zeta) = \bar{T}_n^{(i)}(\xi, \zeta) - \bar{T}_{n-1}^{(i)}(\xi, \zeta)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ ;  $\tilde{T}_0^{(i)}(\xi, \zeta) = \bar{T}_0^{(i)}(\xi, \zeta)$ .

Figyelembe véve a (22)-(23)-as összefüggéseket és a (18)-as feltételeket kapjuk, hogy

$$C_n^{(M)} = F_n^{(M)} \equiv 0. \quad (22)$$

A transzformált peremfeltételeket és az illesztési feltételeket kielégítve a  $C_n^{(1)}$ ,  $D_n^{(i)}$ ,  $F_n^{(1)}$ ,  $H_n^{(i)}$  ismeretlenek meghatározásához algebrai egyenletek sorozatát kapjuk

$$\left[ d_{k,l} \right] \left\{ C_n^{(1)}, D_n^{(1)}, F_n^{(1)}, H_n^{(1)}, D_n^{(2)}, H_n^{(2)} \right\}^T = \{ f_{n,k} \}. \quad (23)$$

Miután a (23)-as egyenletrendszerből meghatározzuk az összes ismeretlent, előállítjuk a (11)-(17)-es feladat megoldását a következő alakban

$$\theta^{(i)}(\eta, \zeta, \tau) = \lambda \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \int_0^{\infty} \bar{\theta}_n^{(i)}(\xi, \zeta) \cos(\xi\eta) d\xi \right] L_n(\lambda\tau), \quad (24)$$

$$w^{(i)}(\eta, \zeta, \tau) = \lambda \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \int_0^{\infty} \bar{w}_n^{(i)}(\xi, \zeta) \cos(\xi\eta) d\xi \right] L_n(\lambda\tau), \quad (25)$$

$$u^{(i)}(\eta, \zeta, \tau) = \lambda \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \int_0^{\infty} \xi^{-1} \left[ \bar{\theta}_n^{(i)}(\xi, \zeta) - d_\gamma \bar{w}_n^{(i)}(\xi, \zeta) \right] \sin(\xi\eta) d\xi \right] L_n(\lambda\tau). \quad (26)$$

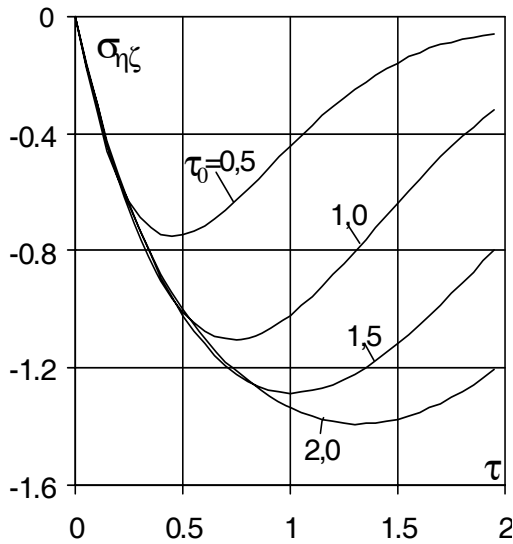
### 3. ALKALMAZÁS

A kidolgozott módszert egy kerámia bevonatos alumínium féltér vizsgálatán mutatjuk be. Adatok:  $\alpha_2 = 11,9 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ ,  $\lambda_T^{(2)} = 36 \text{ W/mK}$ ,  $\alpha_T^{(2)} = 8,0 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ ,  $E_2 = 343 \text{ GPa}$ ,  $\nu_2 = 0,33$ ,  $a_1 = 90,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\lambda_T^{(1)} = 222 \text{ W/mK}$ ,  $\alpha_T^{(1)} = 23,60 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ ,  $E_1 = 70 \text{ GPa}$ ,  $\nu_1 = 0,33$  [2].

A 2. és 3. ábra a dimenziótlan nyírőfeszültségek változását mutatja a féltér és a bevonat határvonalán  $\zeta = \zeta_1 = 1.25$  esetén,  $\tau_0$  időtartamú

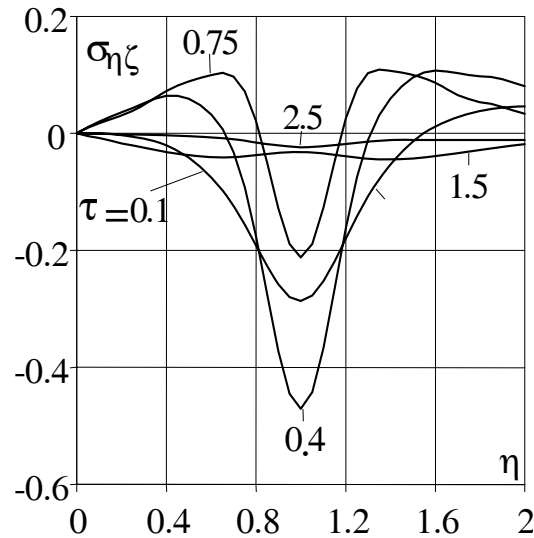
$$q^*(\eta, \tau) = q^* S_+(1 - |\eta|) S_+(1 - \tau_0) S_+(\tau)$$

derékszögű négyszög alakú hőáram hatásakor.



2. ábra

A dimenziótlan tangenciális feszültségek változása az érintkezési felületen különböző impulzus-időtartamok esetén



3. ábra

A dimenziótlan tangenciális feszültségek változása az érintkezési felületen különböző dimenziótlan időértékek esetén

A 2. ábra nyírőfeszültségek változását mutatja a  $\tau$  változó függvényében különböző időtartamú impulzusok esetén, ha  $\gamma = 1$ . Látható, hogy a nyírőfeszültségek maximális értéküket az impulzus hatásának befejeződése előtt érik el, jóllehet ezen maximum elérési ideje az impulzus időtartamától függ (a közölt  $\tau_0$  értékeknél a maximum elérésének ideje sorrendben  $0.9\tau_0$ ,  $0.75\tau_0$ ,  $0.7\tau_0$ ,  $0.65\tau_0$ ). A  $\tau_0$  növelésével párhuzamosan nő a nyírőfeszültségek érté-

kének maximuma is. A növekedés ugyancsak függ a  $\tau_0$ -tól. A  $\tau_0$  kétszeresére növelésekor ( $\tau_0 = 0.5$ -ről  $\tau_0 = 1.0$ -re) a maximum 53 %-kal nő, míg  $\tau_0 = 1.0$ -ről  $\tau_0 = 2.0$ -re növeléskor csupán 25 %-kal.

A 3. *ábra* a nyírófeszültségek változását mutatja a féltér és a réteg határvonalán különböző  $\tau$  dimenziótlan időértékek esetén, a  $\tau_0 = 0.4$ . Az ábráról látható, hogy a feszültségek maximális értéküket a hevítési zóna határán érik el ( $\gamma = 1$ ), miközben a hevítés szélének közelében levő kis tartományt leszámítva az átmeneti periódus folyamán a nyírófeszültségek előjelet váltanak.

### IRODALOM

1. Matysiak S., Wozniak Cz.: On the modelling of heat conduction problem in laminated bodies. Acta mechanica, 65(1986), p.: 223–238.
2. Koljano, Ju. M.: Metodü teploprovodnosti i termouprugosti. Kiev, Naukova Dumka, 1992.
3. Galazjuk, V. A.: Metod polinomov Csebiseva-Lagerra v Smeshanoj zadacse dlja linejnogo differencial' nogo uravnenija vtorogo potjadka v csasticsnüh proizvodnüh s postojannümi koefficientami. Doklady A. N. USzSzR. Ser. A, 1981., No. 1., p.:3-7.
4. Sneddon, I.: Preobrazovaniaja Fur'e. Moskva, Izdatel'stvo inostranoj literaturü, 1955.
5. Timár, I., Sulym, G., Turchyn, I., Shchukin, V.: Laguerre polynomials method in the dynamic problem of elasticity for a multilayered half-space. GÉP, 2005, No. 6, p.: 5–9.

*A munka az UKR 18/2004. számú „Alakváltozó szilárd testek mechanikája” című Tét együttműködés keretében készült.*

## Megoldások néhány felület és testmodell adatátvitelre CAD alkalmazások között

### SOLUTIONS TO SOLVE SOME DATA EXCHANGE PROBLEMS BETWEEN CAD APPLICATIONS REGARDING SURFACE AND SOLID MODELS

Dr. TOLVALY-ROȘCA Ferenc

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem,  
Műszaki és Humán Tudományok Tanszék, Gépészmérnöki Tanszék  
Șos Sighișoarei 1.C, Tg. Mureș / Corunca,  
tel: 0265-208170, fax: 0265-206211, tferi@ms.sapientia.ro

#### ABSTRACT

*Data exchange between various CAD software's is an important part in engineering design. There are a number of graphical file exchange formats (also some standardized formats). Using them to exchange graphical data's, can cause some further problems. Many CAD software use a limited graphic exchange format to import secondary graphical data's. The use of a limited number of such files, can cause many problems in use of the imported 3D surfaces or solids.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A CAD programokkal való mérnöki tervezés fontos jellemzője a grafikai adatok megoszthatósága. Létezik egy pár adatmegosztásra használt file-rendszer (köztük szabványosítottak is). Ezeknek alkalmazása azonban gondokkal is járhat. Sok CAD szoftver csak kevés számú ilyen formátumnak a használatát engedi meg. Korlátozott grafikai adatátviteli file formátumok alkalmazása, sok későbbi gondok forrása lehet az átvitt felületek vagy testek alkalmazása során.*

**Kulcsszavak:** CAD grafikai adatátvitel, hibák, megoldások, testműveletek

#### 1. BEVEZETŐ

A számítógépes tervezés fontos tényezője az adatok megoszthatósága és cseréje azonos vagy különböző CAD programok felhasználói között. Minden modern számítógépes tervezői programban meg van oldva a legmagasabb szinten a grafikus adatok, testek, alegységek megoszthatósága, ugyanolyan vagy akár más típusú szoftvert használókkal is.

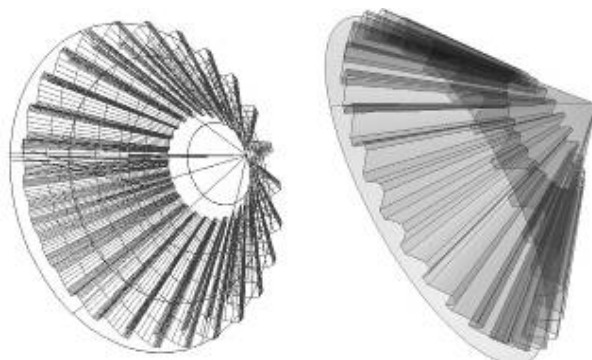
Köztudott azonban, hogy sok szoftverfejlesztő cégre, bizonyára marketing meggondolásából, jellemző, hogy alacsonyabb verziójú programváltozataik nem olvassák, vagy legalább is nem engedik szerkeszteni a magasabb verzióban készített munkákat. Ha különböző programok közötti adatsere lehetőséget vizsgáljuk, megfigyelhető, hogy viszonylag jól meg van ez is oldva, de sokszor tapasztalhatók adatátvitelből fakadó, azonnali vagy későbbi gondok. Ilyen, gyakran használt átviteli file formátumok az IGES (Initial Graphic Exchange System), STEP (szabványosított, ISO 10303-21 Clear Text Encoding of the Exchange System) vagy SAT állományokon keresztül. Ez utóbbi az ACIS (3D ACIS® Modeler) rendszer file rendszere. Maga az ACIS a legtöbb CAD / CAM / CAE / CAPP program kerneljének (az Aerospace Industries által kidolgozott grafikai eljárások magja) az állománya, ezért egyik legáltalánosabban használható adatátviteli file rendszer. Sajnálatos módon nem minden CAD programban található meg a SAT típusú állományok beillesztésének lehetősége (lásd Mechanical Desktop).

Az IGES rendszer a legelső grafikai adatátviteli rendszer, viszonylag jól használható szinte minden esetben, de komplex felületek átvitelre igen alkalmas. Ha nem áll a felhasználó rendelkezésére SAT átvitel akkor az ilyen típusú átvitelt vagyunk kénytelenek alkalmazni testek átvitelére is.

Az IGES használatára felületek esetében példa látható a jelen dolgozatban. Ha testeket akarunk megosztani, átvinni, akkor is valószínűleg sok általános esetben meg fog felelni a kitűzött célok elérésében. Azonban bizonyos alkalmazások esetében, mint például Autodesk AutoCAD, Mechanical Desktop vagy AutoCAD Mechanical estében komoly gondokba ütközhet a felhasználó. Egy ilyen hiba, amely az Autodesk hivatalos honlapján is megtalálható, éppen az IGESIN utasítás után jelentkező hibüzenet, amely a programok képtelenségét jelenti testműveletek (Union, Intersection, Subtract) elvégzésére az így kapott testekkel. Ez általában kis keresztveződesi térfogattal rendelkező testek esetében áll fenn, ilyenkor a program jelenti, hogy nem képes kiszámítani a keresztveződesi térfogatot. A jelen dolgozat bemutat néhányat a fent említett gondok közül, megoldást is kínálva néhányukra, mint például merev testek ismételt kivonása Autodesk Mechanical Desktop környezetben.

## 2. FELÜLETEK ÁTVITELE IGES-EL, AUTODESK MECHANICAL DESKTOPBÓL INVENTORBA

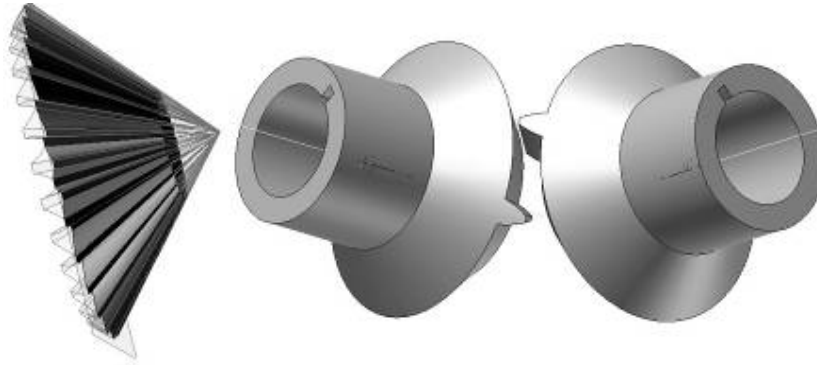
Az Autodesk Mecahnical Desktop-ban nincs meg a lehetősége az ACIS féle állomány beszurásának, itt csak az erre a célra alkalmas kiterjesztések között a STEP és IGES található meg. Kimentésnél ellenben megtalálható az ACIS SAT állományának kiválasztási lehetősége.



1. ábra  
Felületek átvitel előtt (Mechanical Desktop) és után (Inventor)

Ha adott egy Mechanical Desktop-ban található komplex felületeket tartalmazó állomány az IGES opció teljesen kielégítő eredményeket biztosít, az IGES opciók helyes alkalmazása mellett. Például ha szükség van egy rendkívül pontosan megépített egyenesfogú kúpfogaskerékhajtás kinematikai parametrikus modellezésére, ezt legkönnyebben Inventor-ban lehetne megvalósítani. Ehhez a fogakat burkoló felületek rendkívüli pontosan és egyszerűen megépíthetőek Mechanical Desktop környezetben egy AutoLisp programmal (1. ábra bal oldali kép). A testmodellezés köztudottan sokkal könnyebb és ergonomikusabb, a szerelési modellezés pedig kiváló Inventor-ban. Ide kell átvinni a felületi modelleket. Ekkor alkalmazható az Export – Iges opció Mechanical Desktop-ban. Kiválasztandó az átvitt felülettípus valamint a kimentett modell méretei. A bemutatott esetben a fogfelületek építéskor ezek vágva voltak a láb- illetve a fejkúpokkal. Ezért feltétlenül szükséges a Trimed surface opció megjelölése, ellenkező esetben az Inventor-ban bevitt felületek nem lesznek felhasználhatók külön-külön is. A kimentett felületek Inventor-ban az Insert – Iges utasítással importálhatók (1. ábra jobboldali kép).

A felületek étvitele után, ezeket használhatjuk testmodellek vágására, és az így nyert testek használhatók tovább bármilyen szerelési modellezési eljárásra is (2. ábra).

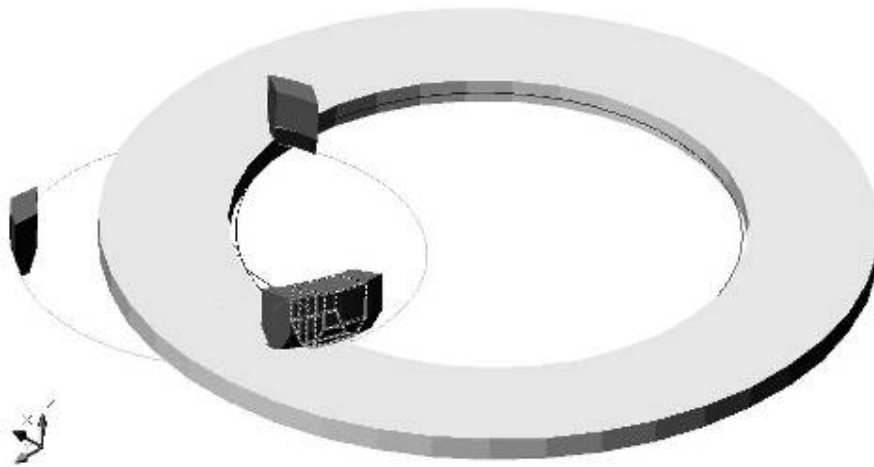


2. ábra

*Az Inventorba beszúrt felületek, nem okoznak hibákat a testmodellek további használatában*

### 3. MEREV TESTEK ÁTVITELE IGES-EL

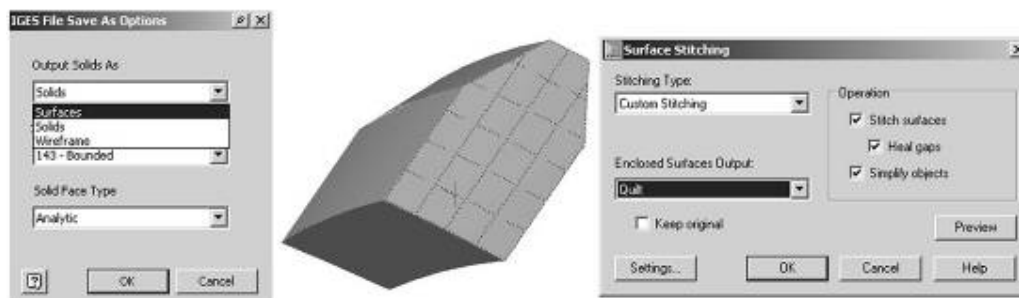
Egy AutoLisp alkalmazással síkkerék-generálás a cél a lépésekben való kivonás módszerével Mechanical Desktop-ban. A fogazó szerszámokat egy külső programból (Inventor) kell importálni. A fentiekben elmondottak alapján, rendelkezésre csupán STEP vagy IGES lehetősége áll. A már beillesztett 3 kést és az alkalmazás képe a 3. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a várt sorozatos anyageltávolítás nem következett be, csupán egy alkalommal (amikor nagy volt a kereszteződési térfogat), a program ezután a “The Boolean operation on solids failed. Inconsistent edge-face relationships.” Üzenettel nem képes további kivonási műveletekre, a fent említett okok miatt.



3. ábra

*A SUBTRACT művelet sorozatos végrehajtásának csődje*

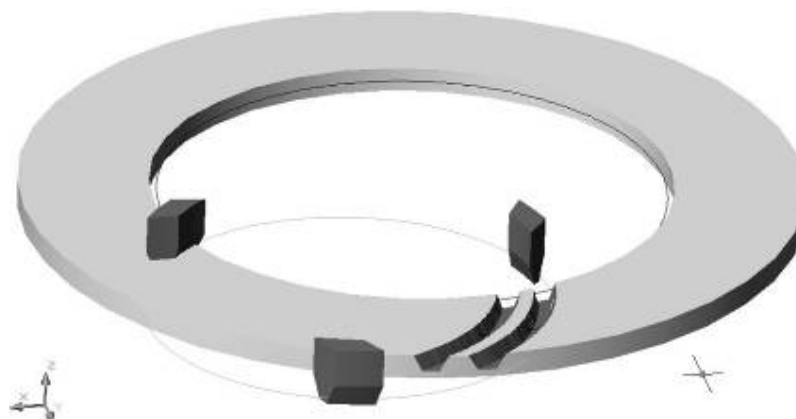
A fent említett hiba jelezve van az Autodesk honlapján is, de mégis szükség van a program sikeres futtatására is. Ennek alapján megoldás lehetősége nincs testmodell átvitelére IGES-el! A megoldás egy újabb műveletsorozat beiktatása, amely során az Inventor-ból nem testnek, hanem felületnek vannak kimentve a kések. Ez az IGES export művelet beállítás megfigyelhető a 4. ábra bal oldali képén. Most már beszúrható egy új Mechanical Desktop lapra az így nyert IGES állomány. Rendkívüli fontos, hogy új lapra szúrjuk immár be, egyébként az előző hibák ismét jelentkezni fognak. A beillesztett felületek még mindig



4. ábra  
IGES opciók, a vágófelület és felületek összevarrásának művelete

hibások lehetnek (numerikus szempontból), ezért szükséges ezek összefűzése és az esetleges hibák javítása. Ez a Surface menü Stitching utasításával lehetséges, vigyázva, hogy Custom opció legyen kijelölve, a Heal Gap lehetőség kipipálva és az Enclosed Surface Output-nak pedig Quilt legyen megjelölve. Az így nyert felület immár egy összefüggő felület, ami az Inventor-ban létező test borítófelülete (4.ábra középső képe). Az Surface Stitching művelet helyes opciói a 4.ábra jobboldali képén láthatók. Az így nyert felület egy elemi test elmetszésére lesz használva, vigyázva, hogy a felület nyitott része a testen kívül maradjon, egyebként a vágás eredménytelen lesz. A vágás a Surface menü, Edit Solid utasításával történik, kijelölve először a testet és utána a vágófelületet. Az így létrejött test tiszta Mechanical Desktop test, egyszerű Copy – Paste párossal beszűrhető a 3.ábrán látható modellbe. Ha a kések azonosak, Array-al sokszorozhatók, ha különbözőek, akkor mindegyikkel megismételjük a fentebb leírt műveletet.

Az AutoLisp program újravégzése után az eredmény most már a helyes, a szerszám sorozatos költöztetése és kivonása a síkkerék megmunkálását modellezi (5.ábra).



5. ábra  
Az síkkerék generálása céljából írt program, immár, hibamentes futtatása



## A hatékonyság függvényegyenleteiről II.

### ABOUT THE FUNCTIONAL EQUATIONS OF EFFICIENCY II

TUZSON Ágnes

PhD, egyetemi docens  
Miskolci Egyetem Matematikai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros  
tel.: 36/46/565-111/12-79  
mattagn@uni-miskolc.hu

#### ABSTRACT

*The goal of the paper is to give a generalized model of the technical efficiency of production processes on the base of a system of functional equations. In the second part the solution of the system is also given.*

**Keywords.** Technical efficiency, equation of translation, Cauchy's equations.

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A dolgozat célja termelési folyamatok technikai hatékonyságának függvényegyenletekkel történő modellezésének egy általánosítása és az adódó függvényegyenlet-rendszer megoldása.*

**Kulcsszavak.** Technikai hatékonyság, translációs egyenlet, Cauchy-féle függvényegyenletek.

#### 1. A MODELL

Tekintsünk egy olyan termelési folyamatot, melyben a  $k$  ( $k \in \mathbf{R}_+$ ) különféle terméket (outputot)  $x_1, x_2, \dots, x_k$  mennyiségben az  $l$  ( $l \in \mathbf{R}_+$ ) különböző inputféléesség  $y_1, y_2, \dots, y_l$  mennyiségeinek felhasználásával az  $m$  különféle keresztmetszet  $z_1, z_2, \dots, z_m$  időtartamú igénybevételével állít elő. A folyamat technikai hatékonyságán azt az  $\mathbf{u} := (\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) = (u_1, \dots, u_n)$  változótól függő  $T: \mathbf{R}_+^n \rightarrow \mathbf{R}_{\alpha\beta}$  ( $n = k + l + m$ ) minden skalárváltozójában szigorúan monoton és folytonos függvényt értjük, mely minden  $t, t_i \in \mathbf{R}_+$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) mellett kielégíti a

$$T(\mathbf{u}) = T(t\mathbf{u}) \quad (1)$$

$$T(u_1, \dots, t_i u_i, \dots, u_n) = H_i[T(\mathbf{u}), t_i], \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.1-2.n)$$

függvényegyenlet-rendszert.

Az (1) függvényegyenlet azt a tényt fejezi ki, hogy a vizsgált termelési folyamatokat azonos körülmények között  $t$ -szer megismételve (ekkor  $t$  egész) az eljárás hatékonysága nem változik. Más értelmezésben: ha két eljárás azonos termékeket azonos alapanyagokból állít elő és a jellemző mennyiségek aránya megegyezik, akkor a két eljárás azonos hatékonyságú ( $t$  nem feltétlenül egész).

A  $H_1, \dots, H_n: \mathbf{R}_{\alpha\beta} \times \mathbf{R}_+ \rightarrow \mathbf{R}_{\alpha\beta}$  ún. emlékező függvények az  $\mathbf{u}$  vektor komponenseiben bekövetkező változásoknak a teljes rendszer hatékonyságra gyakorolt hatását fejezik ki, monotonitásuk iránya értelemszerűen következik az  $i$  index értékéből.

## 2. A MEGOLDÁS

Az (1)-(2.1-2.n) függvényegyenlet-rendszer megoldásával összefüggésben négy állítást fogalmazzunk meg. A (2.1-2.n) egyenletek azonos szerkezetéből következik, hogy ha létezik megoldásuk, akkor azok hasonló alakúak. Először ezen egyenletek közül kiválasztjuk például az  $r$ -ediket, és a benne szereplő ismeretlen  $H_r$  függvényre vonatkozó állítást fogalmazzunk meg. Második lépésként a (2.1-2.n) egyenletek közül tetszőlegesen kiválasztott egyenletpár megoldásai között fennálló kapcsolatokat tisztázzuk. Ezután a (2.1-2.n) egyenletrendszer megoldására vonatkozó tételt mondjuk ki. Végül megadjuk a teljes (1)-(2.1-2.n) függvényegyenlet rendszer megoldását.

**1. Segéd-tétel.** Ha a  $T : \mathbf{R}_+^n \rightarrow \mathbf{R}_{\alpha\beta}$  és a  $H_r : \mathbf{R}_{\alpha\beta} \times \mathbf{R}_+ \rightarrow \mathbf{R}_{\alpha\beta}$  függvény

(i) változóinak parciálisan folytonos és szigorúan monoton függvénye, továbbá

(ii) eleget tesz a (2.r) függvényegyenletnek,

akkor

$$H_r(v, w) = h_r[h_r^{-1}(v) + \ln w], \quad (v \in \mathbf{R}_{\alpha\beta}, w \in \mathbf{R}_+)$$

alakú, ahol  $h_r : \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}_{\alpha\beta}$  folytonos és szigorúan monoton, egyébként tetszőleges függvény.

**Bizonyításvázlat.** Bármely  $t_r, z_r \in \mathbf{R}_+$  mellett

$$T(u_1, \dots, (t_r, z_r)u_r, \dots, u_n) = H_r[T(u_1, \dots, z_r u_r, \dots, u_n), t_r] = H_r[H_r[T(\mathbf{u}), z_r], t_r]$$

illetve

$$T(u_1, \dots, (t_r, z_r)u_r, \dots, u_n) = H_r[T(\mathbf{u}), t_r, z_r]$$

A két egyenlet összehasonlításából adódó

$$H_r[H_r[T(\mathbf{u}), z_r], t_r] = H_r[T(\mathbf{u}), t_r, z_r]$$

egyenletet az

$$\ln H_r[\exp \ln H_r[e^{\ln T(\mathbf{u})}, e^{\ln z_r}], e^{\ln t_r}] = \ln H_r[e^{\ln T(\mathbf{u})}, e^{\ln z_r + \ln t_r}]$$

alakba átírva és bevezetve a  $p := \ln T(\mathbf{u})$ ,  $q := \ln z_r$ ,  $s := \ln t_r$ ,  $H(p, q) := \ln H_r(e^p, e^q)$  helyettesítéseket, a tranzláció

$$H[H(p, q), s] = H(p, q + s)$$

egyenletéhez jutunk. E függvényegyenlet megoldása az egyenletben szereplő változók felsorolt tulajdonságai valamint az ismeretlen  $H$  függvény szigorú monotonitása és parciális folytonossága esetén

$$H(p, q) = h[h^{-1}(p) + q],$$

ahol  $h : \mathbf{R} \rightarrow (\ln \gamma, \ln \delta)$  folytonos, szigorúan monoton, egyébként tetszőleges függvény. Visszatérve az eredeti változókra és bevezetve a  $v := e^p$ ,  $w := e^q$  és  $h_r(x) := \exp h(x)$  jelöléseket, a segéd-tétel állítását kapjuk.

**2. Segéd-tétel.** A (2.1.i) és a (2.1.j) egyenletből álló rendszert egyidejűleg kielégítő  $H_i$  és  $H_j$  függvény között fennáll a

$$H_j(v, w) = H_i(v, w^{a_{ij}})$$

összefüggés, ahol  $a_{ij}$  zérustól különböző tetszőleges valós konstans.

**Bizonyításvázlat.** Az 1. Segédtelet felhasználva írhatjuk, hogy

$$\begin{aligned} T(u_1, \dots, t_i u_i, \dots, t_j u_j, \dots, u_n) &= h_i [h_i^{-1}(T(u_1, \dots, u_i, \dots, t_j u_j, \dots, u_n)) + \ln t_i] = \\ &= h_i [h_i^{-1} \circ h_j [h_j^{-1}(T(\mathbf{u}) + \ln t_j)] + \ln t_i] \\ T(u_1, \dots, t_i u_i, \dots, t_j u_j, \dots, u_n) &= h_j [h_j^{-1}(T(u_1, \dots, t_i u_i, \dots, u_j, \dots, u_n)) + \ln t_j] = \\ &= h_j [h_j^{-1} \circ h_i [h_i^{-1}(T(\mathbf{u}) + \ln t_i)] + \ln t_j] \end{aligned}$$

A jobb oldalak megegyezését figyelembe véve és bevezetve az  $f(x) := h_i^{-1} \circ h_j(x)$  függvényt illetve a  $p := h_j^{-1}(T(\mathbf{u}))$ ,  $q := \ln t_j$ ,  $s := \ln t_i$  jelöléseket, az

$$f(p+q)+s = f[f^{-1}[f(p)+s]+q]$$

egyenletet kapjuk. Tekintettel arra, hogy ezen egyenlet bal oldala  $p$ -ben és  $q$ -ban szimmetrikus, ezért a jobb oldala is az, tehát

$$f^{-1}[f(p)+s]+q = f^{-1}[f(q)+s]+p.$$

Megmutatjuk, hogy ez az egyenlet tulajdonképpen a Cauchy-féle függvényegyenletek egyike. Legyen ugyanis  $x := f(p)$ ,  $y := f(q) \Rightarrow p = f^{-1}(x)$ ,  $q := f^{-1}(y)$ , és így

$$f^{-1}(x+s)+f^{-1}(y) = f^{-1}(y+s)+f^{-1}(x).$$

Vegyük ezt az egyenletet az egyébként megengedett  $y=0$  érték mellett és legyen  $b := f^{-1}(0)$ . Ekkor

$$f^{-1}(x+s)+b = f^{-1}(s)+f^{-1}(x) \Rightarrow f^{-1}(x+s)-b = (f^{-1}(s)-b) + (f^{-1}(x)-b),$$

ahonnan a  $\varphi(u) := f^{-1}(u)-b$  helyettesítéssel a  $\varphi(x+s) = \varphi(x) + \varphi(s)$  Cauchy-féle függvényegyenlet adódik, melynek nemtriviális folytonos megoldásai a  $\varphi(x) = dx$  ( $d \neq 0$ ) függvények. A keresett  $f^{-1}$  függvény tehát csak lineáris függvény lehet, azaz

$$f^{-1}(x) = \frac{1}{a_{ij}} x + b$$

alakban is felírható, mert a szigorú monotonitás miatt a lineáris tag együtthatója nem lehet zérus. Az  $f^{-1}(x) = h_j^{-1}[h_i(x)]$  függvényről a  $h_i$  és  $h_j$  függvényre visszatérve rövid számolás után a segédtelet állításához jutunk

$$H_j(v, w) = h_j[h_j^{-1}(v) + \ln w] = \dots = h_i[h_i^{-1}(v) + \ln w^{a_{ij}}] = H_i(v, w^{a_{ij}}).$$

A bizonyítás során az is kiderül, hogy  $h_j(y) = h_i[(y-b)a_{ij}]$ , azaz  $H_j(v, w) = h_i[h_i^{-1}(v) + a_{ij} \ln w]$  is igaz.

A (2.1-2.n) egyenletrendszer megoldása a következő lépés.

**3. Segédtelet.** Ha a feltételeknek eleget tevő  $H_1, \dots, H_n : \mathbf{R}_{a\beta} \times \mathbf{R}_+ \rightarrow \mathbf{R}_{a\beta}$  függvények kielégítik a (2.1-2.n) egyenletrendszert, akkor

$$\begin{aligned}
 H_1(v, w) &= h[h^{-1}(v) + \ln w], \\
 &\vdots \\
 H_r(v, w) &= h[h^{-1}(v) + a_r \ln w], \\
 &\vdots \\
 H_n(v, w) &= h[h^{-1}(v) + a_n \ln w]
 \end{aligned}$$

alakúak, ahol  $h_r: \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}_{\alpha\beta}$  folytonos és szigorúan monoton, egyébként tetszőleges függvény; az  $a_2, \dots, a_n$  értékek pedig rögzített, zérustól különböző valós állandók.

**Bizonyításvázlat.** A 2. Segédtelet alkalmazva az egyenletekre, továbbá bevezetve az  $a_r := a_{1r}$  ( $r = 2, \dots, n$ ) állandókat, a  $H_r$  függvények kifejezhetők  $H_1$  segítségével

$$\begin{aligned}
 H_2(v, w) &= H_1(v, w^{a_2}) = h_1[h_1^{-1}(v) + a_2 \ln w], \\
 &\vdots \\
 H_r(v, w) &= H_1(v, w^{a_r}) = h_1[h_1^{-1}(v) + a_r \ln w], \\
 &\vdots \\
 H_n(v, w) &= H_1(v, w^{a_n}) = h_1[h_1^{-1}(v) + a_n \ln w]
 \end{aligned}$$

A  $h(t) := h_1(t)$  helyettesítéssel a segédtelet állítását kapjuk.

**Tétel.** A z (1)-(2.1-2.n) függvényegyenlet-rendszert kielégítő  $T$  függvény a felsorolt feltételek mellett

$$T(\mathbf{u}) = h \left[ a + \ln \prod_{r=1}^n u_r^{a_r} \right]$$

alakú, ahol  $h: \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}_{\alpha\beta}$  folytonos és szigorúan monoton, egyébként tetszőleges függvény; az  $a \in \mathbf{R}_{\alpha\beta}$ ,  $a_2, \dots, a_n \in \mathbf{R} \setminus \{0\}$  értékek konstansok az  $1 + \dots + a_k + \dots + a_n = 0$  megszorítással.

**Bizonyításvázlat.** Az  $a := h^{-1}[T(\mathbf{1})]$  jelölés bevezetésével minden  $\mathbf{u} > \mathbf{0}$  mellett írhatjuk, hogy

$$\begin{aligned}
 T(\mathbf{u}) &= T(u_1 \cdot 1, \dots, u_r \cdot 1, \dots, u_n \cdot 1) = H_n[T(u_1, \dots, u_r, \dots, u_{n-1}, 1), u_n] = \\
 &= H_n[H_{n-1}[T(u_1, \dots, u_r, \dots, u_{n-2}, 1, 1), u_{n-1}], u_n] = \dots = \\
 &= H_n[H_{n-1}[\dots H_2[H_1[T(\mathbf{1}), u_1], u_2], \dots, u_{n-1}], u_n] = \\
 &= H_n[H_{n-1}[\dots H_2[h(a + \ln u_1), u_2], \dots, u_{n-1}], u_n] = \\
 &= H_n[H_{n-1}[\dots H_3[h(a + \ln u_1 + a_2 \ln u_2), u_3], \dots, u_{n-1}], u_n] = \dots = \\
 &= h(a + \ln u_1 + a_2 \ln u_2 + \dots + a_n \ln u_n) = h \left[ a + \ln \prod_{r=1}^n u_r^{a_r} \right].
 \end{aligned}$$

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] Aczél: Lectures on Functional Equations and Their Applications, Academic Press, New York & London, 1966.
- [2.] Eichhorn: Theorie der homogenen Produktionsfunktion, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1970.

# Az élhang aeroakusztikai szimulációja

## AEROACOUSTIC SIMULATION OF THE EDGE TONE

VAIK István<sup>1</sup>, Dr. PAÁL György<sup>2</sup>

<sup>1</sup>doktorandusz, <sup>2</sup>egyetemi docens

Budapesti Műszaki Egyetem, Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp.3.  
T: +36-1-463-2991; F: +36-1-463-2991; E-mail: paal@hds.bme.hu; Honlap: www.hds.bme.hu

### ABSTRACT

*The reduction of noise in our everyday life requires the understanding of its generation and propagation. Aeroacoustic sources are among the most complicated noise sources and their simulation still presents a challenge. In this paper recent results of the developed numerical aero-acoustic simulation algorithm are presented. A commercial CFD code was used to carry out high precision unsteady flow simulations in 2D for the well known low Mach number edge tone flow field. Adopting Lighthill's analogy, noise sources were calculated from the flow field and then an in-house acoustic code was used to compute the acoustic field.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*A mindennapi életünkben előforduló zaj csökkentésének előfeltétele a zaj keletkezésének és terjedésének megértése. Az áramlási eredetű zajforrások a legkomplikáltabbak közé tartoznak és szimulációjuk még mindig rendkívül nehéz. Ebben a cikkben egy nemrégiben kifejlesztett aeroakusztikai szimulációs algoritmust mutatunk be. Nagy pontosságú instacionárius áramlásszimulációkat hajtottunk végre egy kereskedelmi szoftver felhasználásával két dimenzióban, a jól ismert kis Mach számú élhang példáján. Lighthill analógiáját felhasználva kiszámítottuk a zajforrásokat az áramlási mezőből, majd egy házi készítésű akusztikus szoftverrel számoltuk az akusztikai mezőt.*

**Kulcsszavak:** Élhang, aeroakusztika, dipólus, instacionárius áramlás, hidrodinamikai módus

### 1. BEVEZETÉS

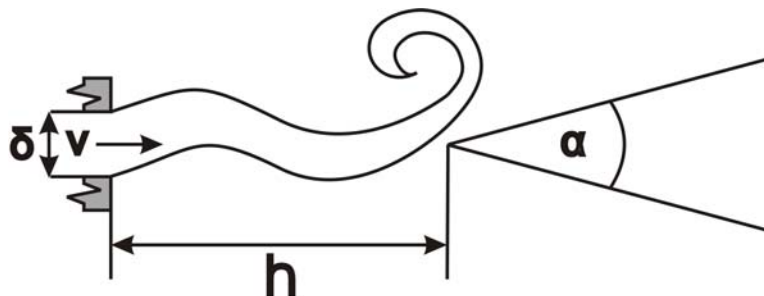
Mindennapi életünk egyik legzavaróbb tényezője a környezeti zaj. E zaj jelentős része áramlási eredetű (pl. repülőgépek, autók, szellőző rendszerek, stb.). Ahhoz, hogy a zajt csökkenthessük, meg kell értenünk keletkezésének és terjedésének fizikáját. A probléma kezelésénél több nehézség merül fel; az egyik legnagyobb az, hogy több nagyságrendnyi különbség van az akusztikai nyomás illetve az áramlásban mért nyomásingadozások között.

A mai számítógépes erőforrások már elég gazdaságossá teszik a CAA-módszerek használatát (CAA = Computational Aeroacoustics). Ezek közül az egyik csoport az új n. hibrid módszerek [1]. Lényegük az, hogy először megoldják az áramlási problémát, majd az eredmények alapján az áramlási mezőben akusztikai forrástagokat definiálnak. Ezután az akusztikai problémát már egy sokkal nagyobb térben oldják meg úgy, hogy a forrástagokat egy inhomogén hullámeqyenlet-megoldóba helyettesítik be.

Ez a cikk egy nemrégiben kifejlesztett hibrid számítási algoritmus eredményeit közli, amelyet az alacsony Mach számú élhang-konfiguráció példáján mutatunk be. Az áramlást egy kereskedelmi szimulációs szoftver segítségével számítjuk (ANSYS CFX [2]). Az akusztikai forrástagokat Lighthill elmélete alapján számítjuk [3,4] és egy kereskedelmi interpolációs szoftver (MpCCI [5]) segítségével interpoláljuk őket minden időlépésben a valamivel durvább akusztikai hálóra. Ezekből a forrástagokból az akusztikai mezőt egy, az erlangeni partneregyetemünkön kifejlesztett házi szoftver felhasználá-

sával számítottuk (CFS++ [6]). Ez a szoftver a végelem módszert használja és mind az idő, mind a frekvenciatarományban képes dolgozni.

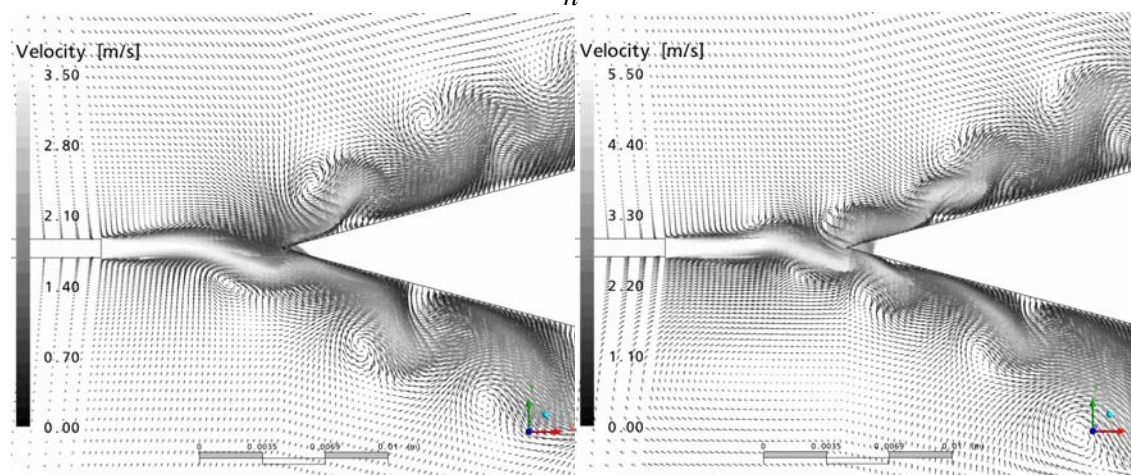
Az élhang az egyik legegyszerűbb aeroakusztikai áramlás, és mégis figyelemre méltóan bonyolult viselkedésre képes. Egy sík szabadsugár egy, a fúvókával szemben szimmetrikusan elhelyezkedő éknek ütközik, és spontán módon periodikusan lengeni kezd [7]. A periodikus áramlás az ék falán periodikus erőt eredményez, ami dipólus hangforrás kialakulásához vezet. Az élhang többek között néhány fúvós hangszernek (orgonasíp, furulya) az aeroakusztikai alapját képezi.



1. ábra. Az élhang felépítése és főbb paramétereit  
2.

Az 1. ábra mutatja az élhang főbb paramétereit, azaz a fúvóka-ékcsúcs távolságot ( $h$ ), a kiömlés átlagsebességét ( $v$ ) és a fúvóka szélességét ( $\delta$ ). Vannak másodlagos paraméterek is, amik az áramlást befolyásolják, mint a kiömlési sebességprofil, az ék, illetve a fúvóka pontos alakja, stb. A lengés frekvenciáját az (1) egyenlet írja le, ahol az  $n$  kitevő az irodalomban  $3/2$  és  $1$  között változik. A szerzők tapasztalata szerint az  $n = 1$  kitevő áll közelebb a valósághoz.

$$f = C \frac{v}{h^n} \quad (1)$$



2. ábra. Az élhang 1. (bal oldal) és 2. (jobb oldal) módusának kvalitatív megjelenése

A frekvencia (1) szerint folytonosan változik egy bizonyos paramétertartományon belül, de bizonyos paraméterhatárok elérése után ugrásszerűen egy kvalitatív más áramlási módusba kerül [7]. A módushatárokkal kapcsolatban több szerző hiszterézisről is beszámol. Az 1. és 2. módus különböző kvalitatív megjelenését a 2. ábra mutatja.

## 2. NUMERIKUS MÓDSZEREK, PARAMÉTEREK

### 2.1. Áramlástan szimuláció

A geometriát, és a numerikus hálót az ANSYS ICEM szoftver segítségével készítettük, míg a szimulációkat az ANSYS CFX szoftver segítségével végeztük. Itt hely hiányában nem tudunk minden részletre kitérni, több információ található pl. [8]-ban. A szimuláció kétdimenziós, de mivel a szoftver csak három dimenziót tud kezelni, egy cellaréteg vastagságú háromdimenziós hálót készítettünk, amelynek tetején és alján szimmetria-peremfeltételt írtunk elő. A geometria viszonylagos egysz-

erősége miatt blokkstruktúrált hexagonális hálót használtunk. Gondos hálótanulmányt készítettünk, melynek eredményeképpen a végső háló 36300 elemet tartalmazott. Mivel az áramlás lamináris, nem használtunk turbulenciamodellt. Mind az időbeli, mind a térbeli diszkretizáció másodrendű volt. A szimuláció időbeli hosszát elsősorban a kívánt frekvenciafelbontás határozta meg. Egy áramlási szimuláció hossza három nap és három hét között változott. A frekvenciát egy tetszőleges változó időjeléből FFT segítségével határoztuk meg.

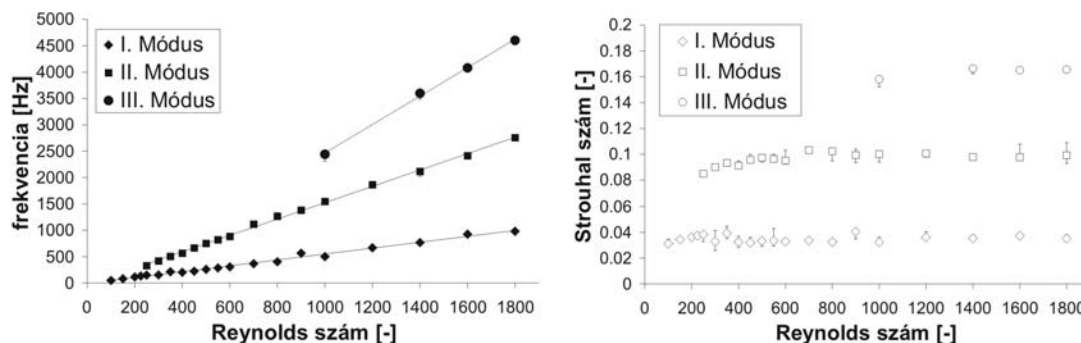
## 2.2. Akusztikai szimuláció

Az akusztikai szoftver leírását pl. [6]-ban találhatjuk meg. A szoftver tisztán kétdimenziós, tehát az áramlási tartomány egyik határolósíkján számítottuk a forrástagokat. Ezeket interpoláltuk az akusztikai hálóra, ami durvább, mint az áramlási háló. Minden szimulációnál más hálót használtunk, mivel a várható hangfrekvencia is más volt. Ökölszabályként elfogadhatjuk, hogy kb. 20 csomópont jutott egy hullámhosszra. Az időtartománybeli szimulációknál nagyon nagy volt az akusztikai tartomány, mert a peremről való visszaverődést nem sikerült teljesen elkerülni, míg a frekvenciatartományban való szimulációknál lényegesen kisebb tartományt használtunk, mivel ott a visszaverődésmentes peremfeltétel tökéletesen működik.

## 3. EREDMÉNYEK

### 3.1. Áramlási szimuláció

A rendkívül sok érdekes áramlási jelenségből csak egy párat tudunk felvillantani. Sikerült az első három módus létezését numerikusan rekonstruálni, és ezek az (1) egyenletnek engedelmeskednek. A 3. ábrán a frekvenciák, illetve a Strouhal számok Reynolds számtól való függését láthatjuk egyenletes sebességprofil esetén. Érdekes az, hogy az új módusok megjelenésekor a régi módusok továbbra is fennmaradnak, és amplitúdójuk sem csökken észrevehetően. Ez a parabolikus profil esetén másképp van: az új módus megjelenése után röviddel a régi módusok eltűnnek.



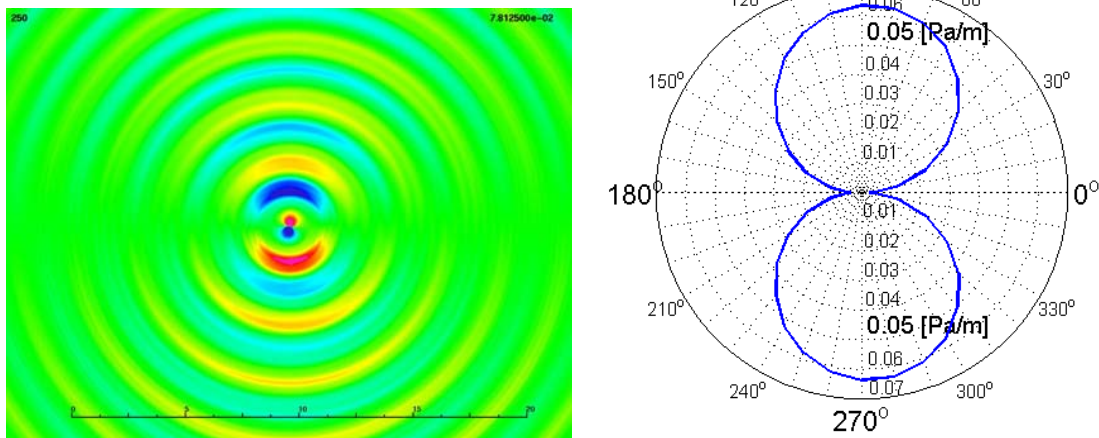
3. ábra. A frekvencia (bal oldal) és a Strouhal szám (jobb oldal) a Reynolds szám függvényében, egyenletes sebességprofil esetén. A különböző módusok párhuzamosan léteznek.

### 3.2. Akusztikai szimuláció

Az akusztikai szimulációk közül az időtartományban végzettek közül mutatunk egy példát, valamint a hangszórás iránykarakteristikáját (4. ábra). Az iránykarakterisztika tökéletesen visszaadja az elmélet illetve kísérletek által jóslott dipólus alakot. A hullámok terjedésében pedig ez az alak fejeződik ki. A színes képen megfigyelhető a két oldal tökéletesen ellentétes fázisa, valamint a közeli térben jelentkező apró aszimmetria, ami az ék falainak ferdeségéből adódik. A bemutatott kép a legegyszerűbb esetre vonatkozik, hiszen itt csak egy módus van jelen. Nagyobb Reynolds számnál a hullámfrontok képe bonyolultabb, hiszen különböző frekvenciájú hullámok szuperponálódnak.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Áramlástechnikai illetve akusztikai szimulációkat mutatunk be amelyek némi betekintést adtak a) az éhang akusztika nélkül is rendkívül komplex és izgalmas viselkedésébe; b) az erlangeni egyetemmel közösen kifejlesztett hibrid algoritmus alkalmazhatóságába illetve az eredmények korrektségébe. A következő lépésben 3 dimenziós illetve turbulens áramlások aeroakusztikáját fogjuk szimulálni.



4. ábra. Hullámterjedés (bal oldal) és iránykarakterisztika (jobb oldal).  $Re = 225$

## IRODALOM

- [1] Pantle, I., Magagnato, F., Gabi, M. (2005): Hydro-Acoustic Flow Computations Based on Computational Aero-acoustics (CAA) Methods, *Proc. Rio2005 Inter Noise Conference, 07-10 August 2005*
- [2] <http://www.ansys.com/cfx>
- [3] Lighthill, M. J. (1952): On sound generated aerodynamically I. General theory, *Proc. Roy. Soc. Lond., A* 211, 564-587.
- [4] Lighthill, M. J. (1952): On sound generated aerodynamically II. Turbulence as a source of sound, *Proc. Roy. Soc. Lond., A* 222, 1-22.
- [5] <http://www.mpcci.org>
- [6] Kaltenbacher, M., Hauck, A., Hofer, M., Mohr, M., Zhelezina, E., (2005): CFS++: Coupled Field Simulation, LSE, University of Erlangen
- [7] Powell, A., (1961): On the edge tone, *J. Acoust. Soc. Am.*, 33, 395-409.
- [8] Vaik, I., Paál, G., (2006): Unsteady flow phenomena in the edge tone, *Proceedings of CMFF'06, Budapest, September 6-9 2006*



# Új eszközök és sajátosságok a 3D modellezéshez AutoCAD 2007-ben

## NEW TOOLS AND FEATURES TO 3D MODELING IN AUTOCAD 2007

Dr. VARGA Tibor

Computer Studio Kft., 9012 Győr, Ybl Miklós u. 7.,  
Tel.: 36 96 449 361, E-mail: vargat@kabelnet.hu

### ABSTRACT

*The AutoCAD 1. version was published 25 years ago by Autodesk Inc. The role of mechanical engineers were fundamental in determine of principles of developing. In the meantime the original principles were supplemented and accordingly the functions of software wevr enlarged. In these time the AutoCAD is a general purpose basis software for engineers, using in every fields of technical practise. The new versions were published year by year always contain new tools, functions and professional contains. The most important tools and features in AutoCAD 2007 are the results of software developing serviced the 3D modeling some presented in this lecture.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Az AutoCAD 1. verzióját közel 25 évvel ezelőtt tette közzé az Autodesk Inc. A gépészmérnökök szerepe meghatározó volt a fejlesztési alapelvek lefektetésében Az eredeti alapvetések időközben kiegészültek, és ennek megfelelően a szoftver szolgáltatásai is bővültek. Ma már az AutoCAD egy általános mérnöki alapszoftver, amelyet használnak a műszaki élet minden részterületén. Az évről-évre megjelenő újabb verziók mindig tartalmaznak új kezelőelemeket, szolgáltatásokat, szakmai tartalmakat. Az AutoCAD 2007-ben legjelentősebb újdonságok a 3D modellezést szolgáló fejlesztések eredményei, amelyek közül néhányat az előadásban bemutatunk.*

### BEVEZETÉS

A kezdetben síkbeli műszaki rajzok készítésére alkalmas AutoCAD-hez 1990-ben tettek közzé egy szilárdtest modellezésre szolgáló kiegészítést, az Advanced Modeling Extension-t. Az AutoCAD R12-höz még csak kiegészítésként telepített AME R2.1-vel már bonyolult 3D modellezési feladatokat is meg lehetett oldani. Az AutoCAD R13-ban először alkalmazott új geometriai mag alkalmas volt arra, hogy a 3D modellezésre szolgáló parancsok nagyobb részét integrálják a főprogramba, így az AME-t 1994-től már nem kellett és nem is lehetett használni. A következő AutoCAD verziók fejlesztésének fókuszában nem a 3D modellezés állt egészen az AutoCAD 2007-ig, amelyben a legtöbb újdonság a 3D modellezéshez kapcsolódik. Az összehasonlító 1. táblázat szemléletesen mutatja a lényeges fejlődést az előző verziókhöz képest.

## 1. ÚJ ESZKÖZÖK ÉS ALAKSAJÁTÓSÁGOK

Az AutoCAD 2007 indítása után megjelenő kezelőfelületen szembevető a változás, amelyen a 3D modellezési műveletek indítására szolgáló eszközöket az ún. műszerfalon (DASHBOARD) helyezték el (1. ábra). A műszerfal, amely a képen a 3D Modeling munkatér jobb oldalán van rögzítve, szükség esetén áthelyezhető, és a tartalmát is átszervezhetjük. A műszerfalon kibontva látható az ötféle megjelenítési mód beállítására szolgáló ikon. A grafikus ablakban koncepcionális megjelenési módban láthatók az előre definiált alaptestek, a függőleges vonaltól balra a hagyományosak, jobbra az

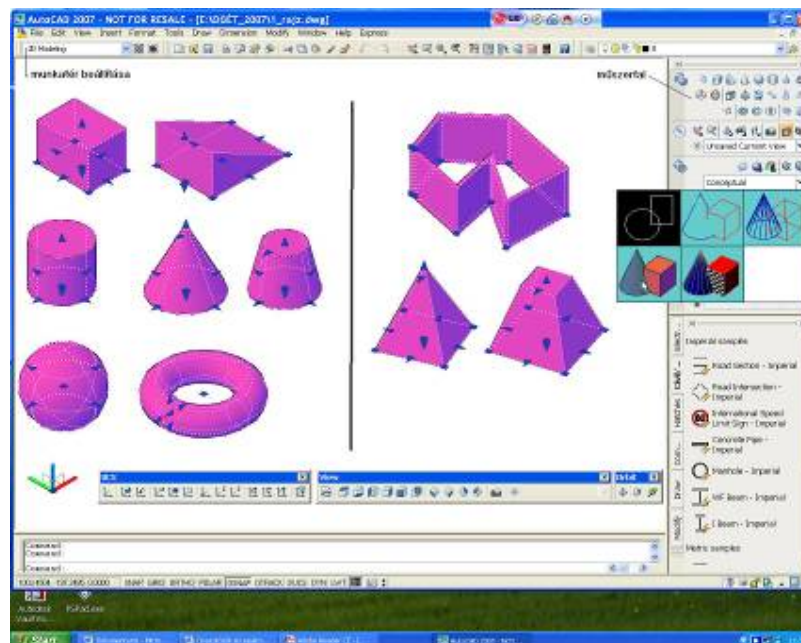
AutoCAD 2007-ben újak. A hagyományosak létrehozására a BOX, WEDGE, CYLINDER, CONE, SPHERE, TORUS, az újakéra a POLISOLID és PYRAMID parancsok szolgálnak.

Az alaptesteken látható fogópontokat a grafikus kurzorral megfogva az egér mozgatásával egy szem-pillantás alatt átalakíthatjuk, vagy áthelyezhetjük a modelleket.

3D parancsok és funkciók az AutoCAD verziókban

1. táblázat

LEGEND	AutoCAD 2002	AutoCAD 2004	AutoCAD 2005	AutoCAD 2006	AutoCAD 2007
✓ Feature supported					
✳ New feature					
★ Improved feature					
<b>CONCEPTUAL DESIGN</b>					
Solids—Create and Edit	✓	✓	✓	✓	★
Orbit	✓	✓	✓	✓	★
Real-Time Feedback While Modeling					✳
Helix					✳
Sweeps and Lofts					✳
Polysolid (3D Polyline)					✳
Face, Edge, Vertex Manipulation					✳
Dynamic User Coordinate System (UCS)					✳
Work in Perspective View					✳
Section Planes/Cuts					✳
Flatten 3D Geometry Into 2D					✳
Interference Checking					✳
Walk-Through Navigation					✳
Cameras					✳
<b>PRESENTATIONS</b>					
Photo-Real Rendering	✓	✓	✓	✓	★
Display Modes (Visual Styles, Transparency, Edge Effects)					✳
Transparent Solids					✳
Real-Time Shadows					✳
Drag-and-Drop Materials					✳
Animations					✳

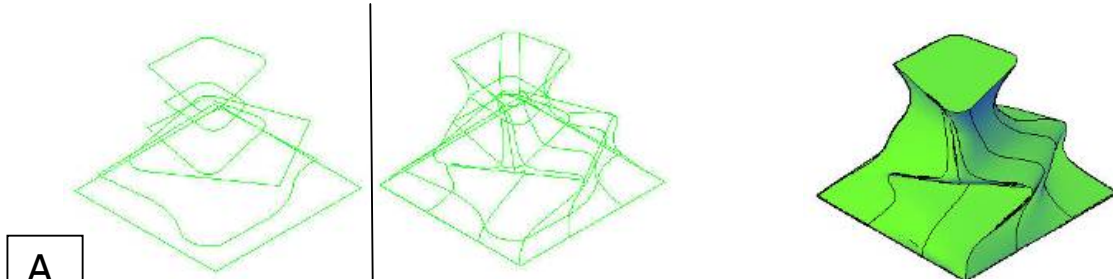


1. ábra  
Az AutoCAD 2007 kezelőfelülete az alaptestekkel

### 1.1. Síkbeli alakzatokból készített 3D modellek

Az alaptesteken kívül zárt síkbeli alakzatokból és lemezekből készíthetünk 3D modelleket. Az AutoCAD-ben olyan új parancsok jelentek meg erre a célra, amelyek eddig csak a csúcscategóriás 3D-s szoftverek alkatrészmodellező moduljaiban álltak rendelkezésre. Ilyenek a LOFT (PÁSZTÁZÁS) és SWEEP (SÖPRÉS).

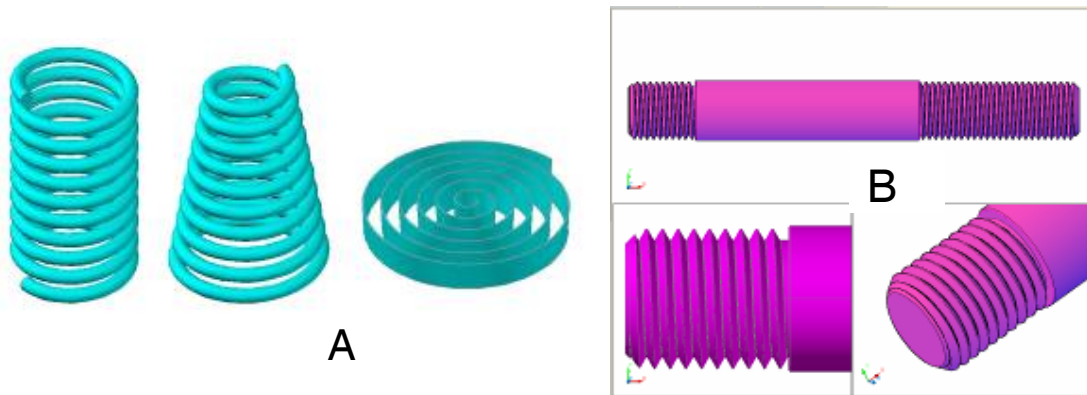
A 2. ábrán egy szabálytalan alakzat látható, amelyet a LOFT paranccsal készítettünk.



2. ábra

*Szabálytalan alakzat szintvonalai, drótváz modell és koncepcionális árnyalt modell*

A SWEEP paranccsal készített modelleket, hengeres és kúpos csavarrugót, továbbá spirálrugót mutatunk be a 3. ábra A részletén. A B részleten három nézetablakban egy tócsavar látható, amelyet szintén a SWEEP paranccsal készítettünk. A söprési művelethez szükséges csavarvonalat a HELIX paranccsal rajzoltuk, amely új parancs az AutoCAD 2007-ben.



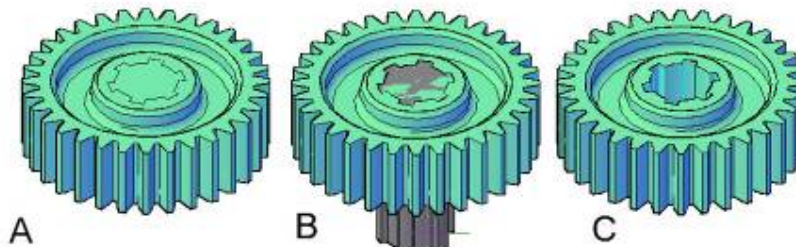
3. ábra

*Söpréssel készített gépészeti alaksajátosságok*

Különösen hasznos az új PRESSPULL (NYOMÁSHÚZÁS) parancs, amely a következő műveleteket végzi el:

- kattintásra (nyomásra) lemezzé alakítja a síkbeli alakzatot,
- az egér mozgatására (húzásra) létrehozza a térbeli modellt,
- kivonja a létrehozott alaksajátosságot, ha egybeesik már létező modellel.

A 4. ábrán egy bordástengelyre húzható fogaskerék furat készítésének három fázisát mutatjuk be. Az agy homloksíkján a bordásfurat kontúrja látható (A részlet), amelynek belsejébe kell kattintani. Ez után keresztülhúzzuk a fogaskeréken a készülő alakot (B részlet), amelyet egérkattintással vonunk ki a tömör fogaskerékből. A kész bordásfurat a C részleten látható.

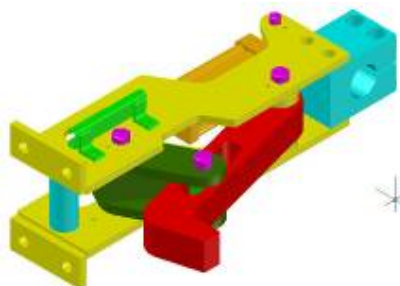


4. ábra

Bordás furat készítésének fázisai PRESSPULL paranccsal

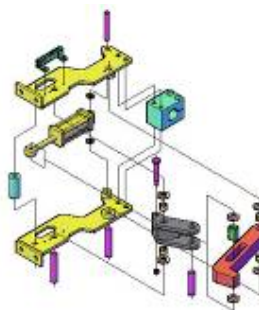
## 2. ÖSSZEÁLLÍTÁS MODELLEZÉS AUTOCAD 2007-BEN

Az összeállítás modellezéshez használt műveletek közül a 3D MOVE és 3D ROTATE kezdeményezhető a műszerfalról. Nagymértékben megkönnyíti a több alkatrészből álló modellek összerakását a dinamikus UCS, amely szintén az AutoCAD 2007 új funkciója. Az 5. és 6. ábrán AutoCAD-ben készített összeállítás modelleket mutatunk be.



5. ábra

Kilincsszerkezet



6- ábra

Kilincsszerkezet robbantott ábrája



7. ábra

Vegyipari berendezés

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az előadásban röviden áttekintettük az AutoCAD 2007-nek néhány, a 3D modellezést szolgáló újdonságát. Példákkal szemléltettük, hogy milyen modelleket tudunk készíteni az új parancsok segítségével. A 3D modellezést szolgáló eszközöknek csak a töredékét tudtuk érinteni. Az AutoCAD 2007 többi eszközének megismerése és használatba vétele is jelentősen hozzájárulhat a mérnöki tevékenység színvonalának növeléséhez.

# Stabilitás vizsgálata környezetbarát esztergálás során fellépő rezgési jelenségek esetén

## STABILITY EXAMINATION OF VIBRATION PHENOMENA OCCURRING AT ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TURNING

Dr. VARGA Gyula<sup>1</sup>, RÁCZKÖVI László<sup>2</sup>

egyetemi docens<sup>1</sup>, egyetemi hallgató<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ME, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros, +36-46-565-111/15-21  
gyulavarga@uni-miskolc.hu

<sup>2</sup>ME, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros

### ABSTRACT

*Present paper deals with vibration occurring in the case of turning. The vibration appearing during metal cutting is simulated by a one-degree of freedom mechanical model. In this case the exciting force is taken from the variation of the cutting force on the thickness of the chip. The variation of chip thickness can be expressed by the delay. After it, we are dealing with the stability of solvation of the differential equation.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Jelen dolgozat az esztergálás során fellépő rezgések vizsgálatával foglalkozik. A forgácsolás során fellépő rezgéseket egy szabadságfokú mechanikai modellen szimuláljuk. Ebben az esetben a gerjesztő erőt forgácsvastagság szerinti variációjának segítségével írtuk fel. A forgácsvastagság variációja pedig a késleltetéssel fejezhető ki. A továbbiakban a differenciálegyenlet megoldásának stabilitását vizsgáljuk.*

**Kulcsszavak:** Környezetbarát fémgörgetés, egy szabadságfokú rezgő rendszer, stabilitás

### 1. BEVEZETÉS

A gépészet egyik nagy kihívást jelentő feladata a rezgő rendszerek stabilizációja kis csillapítással és nagy időkésleltetéssel. A forgácsolás során megfigyelhető rezgéseket a rendszer lengése okozza. A fellépő rezgéseknek az alábbi káros hatásai vannak:

- rontja a munkadarab felületének minőségét
- a szerszám töréséhez vezethet
- határt szab a forgácsolási teljesítménynek
- stb.

Egy rendszer lengő mozgását okozó gerjesztő erőt a nyugvásbeli és a mozgásbeli súrlódási tényezők különbsége okozza. A forgácsolás folyamatában elsődleges és másodlagos gerjesztő erőket különböztetünk meg.

### 2. ELMÉLETI HÁTTÉR

Napjainkban ismét kezd újjáéledni az érdeklődés a forgácsolási folyamatok dinamikai modellezése iránt. Ennek több oka is van. Egyrészt jelentősen növekedett a forgácsolás sebessége, új anyagok jelentek meg valamint az egyre pontosabb megmunkálás iránti igény. A környezetbarát megmunkálásnál, a hűtő-kenő folyadékok minimalizálása, illetve elhagyása szintén megváltoztatta a dinamikai folyamatokat, így további vizsgálatok szükségesek.

Másrészt az elmúlt két évtizedben a nemlineáris dinamikában történt előrelépés lehetőséget nyújtott a fémforgácsolás vizsgálatánál a komplexebb modellek alkalmazására. Harmadrészt megújult az érdeklődés mind a matematikusok mind a gépészmérnökök között a fémforgácsolás folyamatának modellezésére.

A gépészetben egyik fontos kutatási feladat a rezgő rendszerek stabilizációja kis gerjesztéssel és nagy időkésleltetéssel. Erre példa, hogy 1941-ben Schlippe és Dietrich a rugalmas gumival gördülő kerék modellezését végezte el. Minorsky 1942-ben a repülőgép stabilizációs problémát vizsgálta, míg Tobias 1965-ben, Tlustý és társai 1962-ben, Stépán 1989-ben az ún. regeneratív hatások jelenléte a szerszámgépek rezgésében témával kapcsolatos cikkeket publikált. A parametrikus gerjesztés matematikai leírásának ötlete régebbi, mint az időkésleltetésé. Előbbi a 19. század közepére nyúlik vissza mikor Mathieu deriválta híres skaláris másodrendű differenciálegyenletét, amikor a membránok elliptikus rezgését tanulmányozta. Napjainkban mind a késleltetett rezgés mind a paraméteresen gerjesztett rezgés meglehetősen jól megértett és ezek gépészeti modelljei is megjelentek.

A környezetbarát módon elvégzett esztergálási folyamatok során fellépő rezgést a késleltetett differenciálegyenlet segítségével nagyon jó közelítéssel lehet le írni. A megmunkálás során fellépő öngerjesztett rezgés a regeneratív hatás egy fajtája. A forgácsvastagság variációján keresztül a változó forgácsoló erő hatással van a szerszámra és ennek variációja az erőnek függ a szerszám rezgésétől.

Ezekben a rendszerekben van egy hosszú idejű késleltetés amely fordított arányban áll a forgácsolási sebességgel. Az elmélet továbbfejleszthető a marás esetére is.

Jelen dolgozat az esztergálás során fellépő rezgések vizsgálatával foglalkozik. A forgácsolás során fellépő rezgéseket egy szabadságfokú mechanikai modellen szimuláljuk. Ezután megoldottuk a felírt differenciálegyenletet numerikusan és MathCad program segítségével is. A konkrét megoldásokat grafikonon ábrázoltuk az idő függvényében és fázisfázison is. Végül a fogásmélység és a munkadarab szögsebességének függvényében ábrázoljuk a stabilitási diagramot. A valóságot megközelítő, a késleltetett differenciálegyenletet alkalmaztuk a rezgés leírására. Az esztergálás folyamatát egy szabadságfokú modellel szimuláljuk.

### 3. FORGÁCSOLÁSI FOLYAMAT VIZSGÁLATA KÉSLELTETETT DIFFERENCIÁLEGYENLET SEGÍTSÉGÉVEL

Az egyik legjelentősebb hatás, amely a rossz felületi minőséget okozza a forgácsolás folyamata során a késleltetésből eredő rezgés. A külső zavarások következtében a szerszám csillapított rezgésbe kezd így rontva a munkadarab felületi minőségét. A munkadarab egy körülfordulása után a forgácsvastagság változni fog a szerszámnál. Így a forgácsoló erő nem csak a szerszám és a munkadarab pillanatnyi pozíciójától függ, hanem az elmozdulás késleltetett értékétől is.

Ennek a késleltetésnek a hossza a munkadarab egy körülfordulásának időperiódusa amit  $\tau$  görög betűvel jelölünk. Ez az úgynevezett regeneratív hatás. A megfelelő matematikai modell a késleltetett differenciálegyenlet. A jelenség tanulmányozására egy egyszerű egy szabadságfokú modellt alkotunk. Habár a modell csak egy szabadságfokú, a késleltetés miatt a fázistér végtelen dimenziójú.

Shi és Tobias (1984) valamint Kalmár-Nagy és alkalmazottai kísérleti eredményei világosan mutatják egy véges amplitúdójú instabilitás létezését, amely a szerszámnak egy instabil periodikus mozgása az aszimptotikusan stabil pozíciója körül összhangban a stacionárius forgácsolással.

A dolgozat ezen részében bemutatjuk a késleltetés egy szabadságfokú mechanikai modelljét. Felírjuk a késleltetett differenciálegyenletet és lineáris módszer alkalmazásával meghatározzuk a stabilitási karakterisztikát.

#### 3.1. A mechanikai modell

Az 1. ábra a regeneratív szerszámrezgés egy szabadságfokú mechanikai modelljét mutatja, ortogonális forgácsolás esetében.

Az ortogonális forgácsolási modell a legegyszerűbb, amelyen még meg lehet magyarázni az alapvető stabilitási problémákat és nemlineáris rezgéseket, amelyek ennél a rendszernél felmerülnek. Az  $x(t)$  általános koordináta zérus értéke esetén a szerszám él helyzete úgy van beállítva, hogy az  $F$  forgácsoló erő  $x$  irányú  $F_p = F_x$  komponense egyensúlyban van a rugóerővel miközben a  $h$  forgácsvastagság állandó  $h_0$  értékű. Ez az állandó állapotú forgácsolás esete.

A fenti modell rezgését leíró mozgásegyenletet az alábbi formában írhatjuk fel:

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \frac{1}{m}\delta F_x \quad (1)$$

ahol:

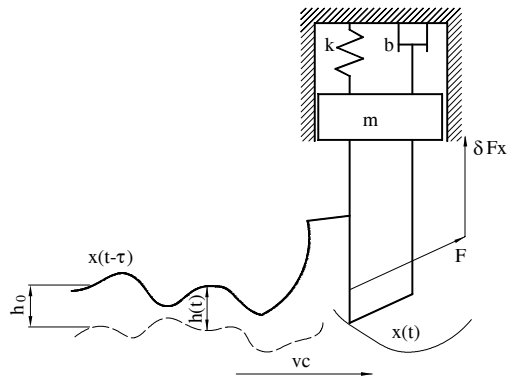
-  $\delta F_x$  : a forgácsoló erő variációja,  
és bevezetett jelölések:

$$\frac{b}{m} = 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n$$

$$\frac{k}{m} = \omega_n^2$$

amelyekben:

- m a rezgő tömeg
- k a rugóállandó
- b a csillapítás
- $\zeta$  a relatív csillapítási tényező
- $\omega_n$  a csillapítatlan szabadrezgés körfrekvenciája, 1/s



1. ábra  
Egy szabadságfokú mechanikai modell [9]

A forgácsoló erő  $\delta F_x$  variációjának meghatározása a forgácsoló erőnek a technológiai paramétereiktől függő kifejezését igényli, elsődlegesen  $h$  forgácsvastagság függvényében amely függ a szerszám  $\epsilon$  irányú helyzetétől. Ennek figyelembevételével a forgácsolóerőt a Kinzle-féle hatványkitevős összefüggéssel határozzuk meg

$$F_x = k_{c1.1} \cdot h^{x_F} b^{y_F} \quad (2)$$

ahol

- $k_{c1.1}$  a fajlagos forgácsoló erő főértéke,  $N/mm^2$
- $x_F, y_F$  a forgácsvastagság és a forgácsszélesség hatványkitevői
- b a forgácsszélesség, mm
- h a forgácsvastagság, mm

Acél forgácsolásakor jó közelítéssel az alábbi értékek érvényesek:

$$x_F \approx 3/4$$

$$y_F \approx 1,0$$

A levezetés mellőzésével az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + (\omega_n^2 + \frac{k_1}{m})x - \frac{k_1}{m}x_\tau = \frac{k_1}{8h_0m}((x - x_\tau)^2 - \frac{5}{12h_0}(x - x_\tau)^3) \quad (3)$$

Vezessük be az alábbi dimenziótlanított időt  $\bar{t}$  és elmozdulást  $\bar{x}$

$$\bar{t} = \omega_n t \quad \bar{x} = \frac{5}{12h_0}x$$

és a dimenziótlanított bifurkáció paramétert  $p = k_1/(m\omega_n^2)$ .

Ezeket a fenti (3) egyenletbe behelyettesítve és elhagyva a felülvonásokat az alábbi egyenletet nyerjük:

$$\ddot{\bar{x}} + 2\zeta\omega_n\dot{\bar{x}} + (1 + p)\bar{x} - p\bar{x}_\tau = \frac{3p}{10}((\bar{x} - \bar{x}_\tau)^2 - (\bar{x} - \bar{x}_\tau)^3) \quad (4)$$

### 3.2. A lineáris stabilitási analízis

A stacionárius esztergálásra vonatkozó stabilitás analízis a (4) egyenlet triviális megoldásának a megkeresését jelenti. A nem zérus megoldás szükséges feltétele, hogy a karakterisztikus polinom nullával legyen egyenlő. Így a (4) egyenletnek megfelelő karakterisztikus egyenlet:

$$\lambda^2 + 2\zeta\lambda + (1 + p) - pe^{-\lambda\tau} = 0 \quad (5)$$

Tegyük fel, hogy a karakterisztikus egyenletnek egy pár tisztán képzetes gyöke van. Ez azt jelenti, hogy a (4) egyenlet megoldása stabilis, de nem aszimptotikusan stabil. Az egyensúlyi helyzetet ebben az esetben centrumnak nevezzük.

Ahhoz, hogy a stabilitási karakterisztikát megkapjuk, helyettesítsük be a (5) egyenletbe a  $\lambda = i\omega$ ,  $\omega > 0$  [6]

Ekkor az alábbi egyenletet kapjuk:

$$1 + p - \omega^2 - p \cdot \cos \omega\tau + i(2\zeta\omega + p \sin \omega\tau) = 0$$

Ez a komplex egyenlet két valós egyenlettel ekvivalens:

$$1 - \omega^2 + p(1 - \cos \omega\tau) = 0 \quad (6)$$

$$2\zeta\omega + p \sin \omega\tau = 0 \quad (7)$$

A (6) és az (7) egyenletekből kiküszöbölve a trigonometrikus kifejezéseket, az alábbi összefüggést kapjuk p-re:

$$p = \frac{(1 - \omega^2)^2 + 4\zeta^2\omega^2}{2(\omega^2 - 1)}$$

Az összefüggésből látszik, hogy  $\omega > 1$  kell legyen, és akkor  $p > 0$ .

Az alábbi trigonometrikus összefüggés segítségével

$$\frac{1 - \cos \omega\tau}{\sin \omega\tau} = \tan \frac{\omega\tau}{2}$$

a (6) és az (7) egyenletekből meghatározható a késleltetés is:

$$\tau = \frac{2}{\omega} \left( j\pi - \arctan \frac{\omega^2 - 1}{2\zeta\omega} \right) \quad j=1,2,\dots$$



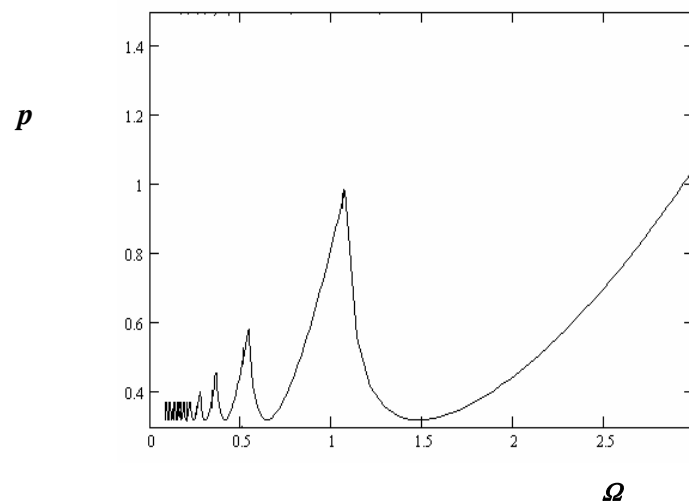
ahol  $j$  jelenti a  $j$ -ik görbét jobbról a stabilitási karakterisztikán ( $j$ -nek nagyobbak kell lenni nullánál mert  $\tau > 0$ ).

Végül a  $\tau$  ismeretében  $\Omega$  - ra kapjuk:

$$\Omega = \frac{2\pi}{\tau} = \frac{\omega\pi}{j\pi - \arctan \frac{\omega^2 - 1}{2\zeta\omega}} \quad j = 1, 2, \dots$$

A 2. ábra a stabilitási karakterisztikát szemlélteti. A görbe alatti terület a stabil tartomány, itt a karakterisztikus egyenlet gyökei tisztán képzetesek. A görbe feletti terület az instabil tartomány.

Ez a stabilitási görbe jól ismert pl. Tobias 1965-ben publikált szerszámrezgésekkel foglalkozó könyvéből. Azonban ez a diagram kísérletileg csak a forgácsoló sebesség közepes értékére van meghatározva. A valóságos esztergályozási folyamat valamivel jobb stabilitási tulajdonságokat mutat mind alacsony mind nagy sebességű forgácsolás esetén. Ennek a kísérleti megfigyelésnek a magyarázatára Tobias bevezette az úgynevezett dinamikus forgácsolás elméletét, amelyben a mozgásegyenletet kibővítette egy kiegészítő csillapítással, amely fordítottan arányos a forgácsolási sebességgel. Ez a hatás esztergálásnál nagyon csekély, valamivel erősebb marás esetében és nagyon erős fúrásnál. Ennek a kiegészítő csillapításnak a kvantitatív meghatározása meglehetősen bonyolult és nem ad egy univerzális módszert, amely pontos előrejelzést nyújt a regeneratív forgácsolásról kis és nagy sebességeknél. A komplex forgácsoló erő együttható bevezetésének ötlete nyújthat jobb kvantitatív egyezést az elmélet és a kísérlet között (Tlustly, 1978), de a kísérleti meghatározása ennek a forgácsoló erő együtthatónak a forgácsoló sebesség, a frekvencia, a homlokszög stb. függvényében bonyolult és az eredmény még mindig nem megbízható az összes forgácsolási folyamatra [9].



2. ábra  
Számítással adódó klasszikus stabilitási karakterisztika

A 2. ábrán látható, hogy a stabilitási karakterisztikának minimuma van. Ahhoz, hogy megtaláljuk ezt az értéket a  $dp/d\omega = 0$  egyenletet kell megoldani.

Ha ezt megteesszük, azt találjuk, hogy:

$$\omega = \sqrt{1 + 2\zeta}$$

Ha ezt visszahelyettesítjük akkor kapjuk, hogy:

$$p = 2\zeta(\zeta + 1)$$

$\omega = \sqrt{1+2\zeta}$  - t beírva  $\tau$  és  $\Omega$  kifejezésébe az alábbi összefüggést kapjuk:

$$\tau = \frac{2(j\pi - \arctan(\frac{1}{\sqrt{1+2\zeta}}))}{\sqrt{1+2\zeta}} \quad j = 1, 2, \dots$$

$$\Omega = \frac{\sqrt{1+2\zeta}\pi}{j\pi - \arctan(\frac{1}{\sqrt{1+2\zeta}})} \quad j = 1, 2, \dots$$

Így a (5) karakterisztikus egyenlet gyökei meghatározásra kerültek.  $p = 0$ -ra a (5) egyenletnek két gyöke van ( $\lambda_{1,2} = -\zeta \pm i\sqrt{1-\zeta^2}$ ) és ezek a bal komplex félsíkon helyezkednek el.

$P$  értékének növekedése azt eredményezi, hogy a karakterisztikus gyökök a mínusz komplex végtelen felé tartanak. Így kis  $p$  értékekre a karakterisztikus gyökök a bal komplex félsíkon maradnak.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A valóságot jól megközelítő mechanikai modellt állítottunk fel. Az erre felírt késleltetett differenciálegyenlet stabilitását vizsgáltuk meg. A kapott eredményt a stabilitási karakterisztikával szemléltettük.

Készült a T 42843 sz. „Gépipari környezetkímélő megmunkálási eljárások vizsgálata, modellezése” című OTKA támogatásával.

#### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Dudás I.: Gépgyártástechnológia I. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2002
- [2] Dudás I.: Gépgyártástechnológia II. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2001
- [3] Moon, F. C., Nagy-Kalmár T.: Nonlinear models for complex dynamics in cutting materials, The Royal Society 10.1098/rsta.2000.0751
- [4] Fridrik L.: Forgácsolás I. (Forgácsoláselmélet), Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1992
- [5] Nagy-Kalmár T., Stépán G., Moon F. C.: Sub-critical Hopf Bifurcation in the Delay Equation Model for Machine Tool Vibrations, Nonlinear Dynamics 26: 121-142, 2001
- [6] Nagy-Kalmár T., Pratt J. R., Davies M. A., Kennedy M. D.: Experimental and analytical investigation of the sub-critical instability in metal cutting, Proceedings of DETC'99, 17th ASME Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada, USA
- [7] Rontó M., Mészáros J., Raisz Péterné, Tuzson Á.: Differenciál- és integrálegyenletek komplex függvénytan variációszámítás, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998
- [8] Stépán, G.: Delay-differential Equation Models for Machine Tool Chatter in Nonlinear Dynamics of Material Processing and Manufacturing, Ed.: F. C. Moon, John Wiley & Sons, New York, 1998, 165 – 192.
- [9] Stépán, G., Insperger, T., Szalai R.: Delay, parametric excitation, and the nonlinear dynamics of cutting processes, International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 15, N
- [10] Victor H.: Schnittkraftberechnungen für das Abspannen von Metallen Wt-Y. ind., Fertig. 59, 1969., Nr. 7, pp. 317-327
- [11] Varga, G., Ráczkövi L., Sovilj B.: Examination of Stability of Chatter when Turning, MicroCAD 2007, Proceedings of International Scientific Conference, Section L: Production Engineering, Manufacturing Systems, March 22-23, 2007, University of Miskolc, Miskolc, Hungary, pp.: 185 - 190., ISBN 978 963 661 742-4Ö, ISBN 978-963 661 753 0

## Felületen bevonatolt szerszámok súrlódási tényezőjének mérése szalaghúzó próbával

### DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF FRICTION OF SURFACE-COATED TOOLS WITH STRIP DRAWING PROBE

Dr VÉGVÁRI Ferenc

főiskolai tanár  
Kecskeméti Főiskola GAMF Kar

#### ABSTRACT

*In the application of sheet metal forming technologies the value of the coefficient of friction has a very important role. In most of the cases we try to decrease the friction force because it has unfavourable effect on deformability. On the other hand in some cases larger coefficient of friction values are favourable for technological parameters. We have only few data about the value of the coefficient of friction present at surface coated tools. We carried out experiments on tools coated with different materials, and determined the coefficient of friction arising on the surface of the tools, with strip drawing probe. We compared the*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A lemezfeldolgozó technológiák alkalmazásakor is jelentős szerepet játszik a súrlódási tényező mértéke. A legtöbb esetben a fellépő súrlódó erőt igyekszünk csökkenteni, mert kedvezőtlenül befolyásolja az alakíthatóságot. Egyes esetekben viszont kedvezően hat a technológiai paraméterekre a nagyobb mértékű súrlódási tényező. A felületen bevonatolt szerszámok esetén kevés adat áll még rendelkezésünkre az itt jelentkező súrlódási tényező mértékéről. Munkánkban szalaghúzó próbával vizsgáltuk a különböző bevonattal ellátott szerszámok felületén fellépő súrlódási tényezőit. Méréseink során összehasonlítottuk a felületen bevonatolt szerszámok súrlódási tényezőit.*

**Kulcsszavak:** szalaghúzó próba, TiAlN-bevonat, TiCN-bevonat, CrN-bevonat

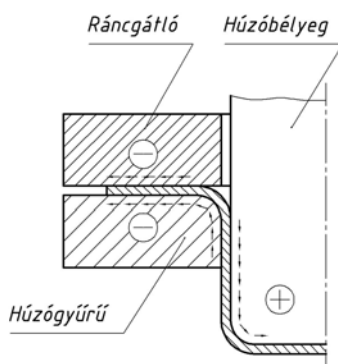
#### BEVEZETÉS

A képlékenyalakítás során a fellépő alakítóerő nagyságát, az alakítandó anyag helyes, vagy helytelen irányba áramlását jelentősen befolyásolja az alakítandó anyag és a szerszám felülete közt jelentkező súrlódóerő nagysága. A képlékenyalakítás területén is egyre nagyobb mértékben kezd elterjedni a felületen bevonatolt szerszámok használata. A felületen pár  $\mu\text{m}$  vastagságban kialakított TiAlN, TiCN, CrN, stb. rétegek lényegesen megnövelik a szerszám keménységét és kopásállóságát. A felületi bevonatok viszont befolyásolják a szerszám felületén fellépő súrlódási viszonyokat. Általában nagyobb súrlódási tényezőt biztosítanak, ami kedvezőtlenül befolyásolja a lemezalakítás folyamatát. Újabban folynak kísérletek arra, hogy a felvitt bevonatok egyre kisebb súrlódási tényezőt biztosítsanak, ezzel is hozzájárulva a szerszám élettartamának növeléséhez. Egyes helyeken, mint például a textiliparban nem alkalmazható kenőanyag, mert szennyezné a textíliát. Itt elsőrendű feladat a felület kopásállósága mellett a minél kisebb száraz súrlódási tényező biztosítása.

A Kecskeméti Főiskola GAMF Karán mintegy 25 éve foglalkozunk a súrlódási tényező mérésével. A mérésekhez három különböző eljárást is alkalmazunk. Célul tűztük ki a bevonatolt szerszámok esetén is a súrlódási tényező mérését. Jelen munkánkban a súrlódási tényező meghatározását az ún. szalaghúzó próbával végeztük. A szerszámok felületére felvitettünk TiCN, TiAlN, CrN bevonatokat és megmértük a súrlódási tényezőket.

## 1. A SÚRLÓDÁS SZEREPE A KÉPLÉKENY ALAKVÁLTOZÁSBAN

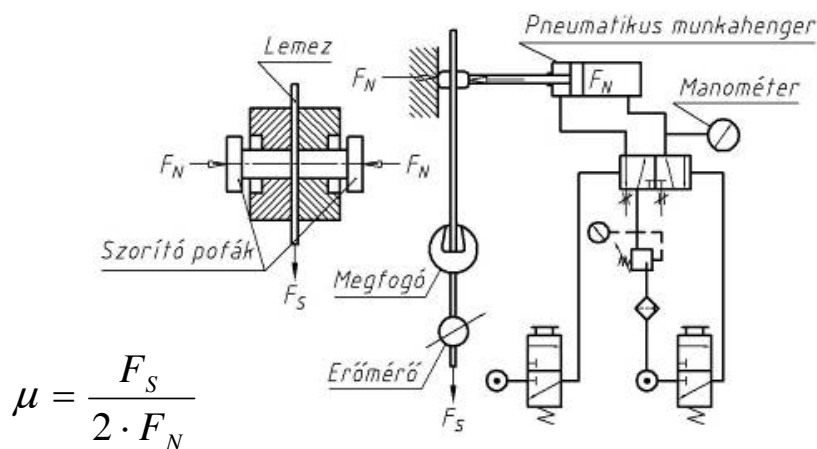
A képlékenyalakításban fontos szerepet játszik a súrlódás. Legtöbb esetben akadályozza az anyag képlékeny alakváltozását, megnöveli az alakító erőt. Ezekben az esetekben arra törekedünk, hogy csökkentjük a súrlódási erőt. Ez elérhető a felületi érdesség csökkentésével, illetve megfelelő kenőanyag megválasztásával. Előfordul viszont olyan eset is, mikor a cél a súrlódási tényező növelése, mert ezáltal nő az alakíthatóság mértéke. Irodalmi adatok alapján [1] mélyhúzásnál a ráncgátló és a húzógyűrű felületén kis súrlódást kell biztosítani, míg a bélyeg felületén törekedni kell a súrlódási tényező növelésére, mert ezáltal csökken a lemez húzó igénybevétele és nő az egy műveletben elérhető húzási viszony (1. ábra).



1. ábra  
Súrlódás szerepe mélyhúzásnál

## 2. SZALAGHÚZÓ PRÓBA

A szalaghúzó próba során a próbatest egy olyan anyagból készült szalag, amelynek a felületén a súrlódási tényezőt meg akarjuk határozni. A szalagot a kiválasztott kenőanyaggal bekenjük. Pneumatikus hengerrel két oldalról adott mértékű erővel összeszorítjuk. A szalagot húzzuk a szorítópofák között, miközben mérjük a húzóerőt. A mért erők ismeretében a súrlódási tényező értéke meghatározható (2. ábra).

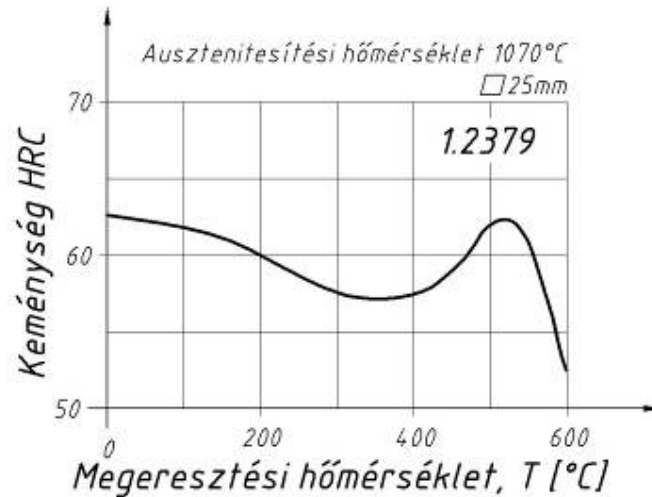


2. ábra  
Szalaghúzó próba

### 3. KÍSÉRLETEK LEÍRÁSA, MÉRÉSI EREDMÉNYEK

#### a) A szerszámok anyagának megválasztása a PVD eljárásokhoz.

A különböző PVD eljárások hőmérséklete 200-500 °C közt van. A zömítópofák anyagának olyan acélt kell választani, amely képlékenyalakító eljárásoknál alkalmazott, kellő keménységű és kopásállóságú. A megeresztési hőmérsékletének magasabbnak kell lennie, mint a PVD eljárások hőmérséklete. A választás a 1.2379 anyagminőségre esett, mert ez 1070 °C-ról edzve, 540 °C-on megeresztve biztosítja az elvárt 62-64 HRC keménységet (3. ábra).



3. ábra

Az 1.2379 anyag megeresztési diagramja

#### b) A PVD bevonatolás

A sűrűlódó szerszámelemekre TSD 400 berendezésben történt a bevonatok felvitele. A TSD 400 bevonatoló berendezés a legújabban kifejlesztett plazma rásegítéses magnetron porlasztásos technológiával dolgozik, számítógépes folyamatszabályozással és ellenőrzéssel van ellátva. A felvitt bevonatokat vastagsága 10µm alatti. A bevonatok jellemző adatait az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

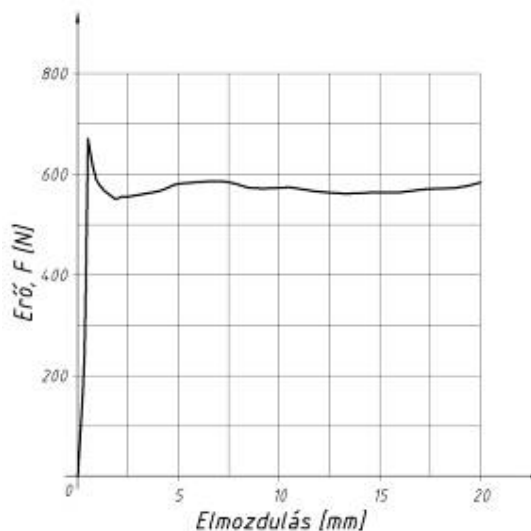
CERTESST <sup>TM</sup>	HV 0,25	Maximális munka hőmérséklet °C	SZÍN
CrN	2500	500	EZÜST
TiN	2600	500	ARANY
TiCN	3300	500	KÉKES
TiAlN	3200	800	LILA

#### c) Kísélet menete

A szalaghúzó próbát a 2. ábra szerinti elrendezésben végeztük. A szorítóerőt a pneumatikus henger nyomásával állítottuk be. Az acélszalag húzását INSTRON 4482 típusú szakítógépen végeztük (4. ábra), a húzóerőt az út függvényében regisztráltuk (5. ábra). Az ábrából jól látható, hogy a húzás megindításához nagyobb erőre volt szükség, majd az állandó sebességgel történő húzáshoz már kisebb



4. ábra Szalaghúzó próba



5. ábra Mérési diagram

erő is elegendő volt. A húzást egy-egy mérés során 20mm elmozdulásig végeztük. Ezen elmozdulás közben a húzóerő csak kis mértékben ingadozott.

A súrlódási tényező értékét a mérési diagramból vett húzóerőből és a felületeket összeszorító erőből határoztuk meg. A kísérleteket elvégeztük kenés nélküli húzással is, illetve olajjal kent szerszámok közt való húzással is. A kapott értékeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

2. táblázat

Bevonat fajtája	Kenés nélkül	Olajjal kenve
Bevonat nélkül, köszörült	0,13-0,18	0,09-0,1
TiAlN bevonat	0,14-0,22	0,11-0,13
CrN bevonat	0,2-0,3	0,12-0,16
TiCN bevonat	0,18-0,24	0,12-0,17

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett vizsgálataink alapján az alábbiakat állapíthatjuk meg:

- A vizsgálatba bevont bevonatolt szerszámoknak kenés nélkül nagyobb a súrlódási tényezője, mint a bevonatolás nélküli, csak köszörült szerszámoknak. Ezen bevonatok szárazon alkalmazva nem csökkentették a súrlódási tényezőt.
- Olaj kenőanyag alkalmazása esetén minden esetben lényegesen csökkent a súrlódási tényező, de a bevonatolt szerszámok súrlódási tényezői a köszörült felületű szerszámok súrlódási tényezőjétől mintegy 10-20%-kal nagyobbak.
- Szükségesnek ítéljük a bevonatok összetételének oly módon történő megváltoztatását, amellyel a száraz súrlódási tényező csökkenthető.

## IRODALOMJEGYZÉK

J.Danyi, F. Végvári: The role of friction and lubrication in sheet metal forming processes with flexible tool-elements. Annals of MteM for 2001 & Proceedings of the 5TH International MteM Symposium, 4TH-6TH october 2001, Cluj Napoca Romania p. 157-158.

# Eloszlások leírása és alkalmazása a műszaki életben

## DESCRIPTION OF DISTRIBUTIONS AND APPLICATION IN TECHNICAL FIELDS

VERDES Sándor

Pannon Egyetem, Veszprém  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10., Tel.: (36) 88 624227, verdess@almos.vein.hu

### ABSTRACT

*The experience in comparisons convince us about the practicality of making revision of mathematical treatment of distributions, not only for particle-size analysis and in practice of other fields. Results of mathematical treatment could help to select the better product and technological parameters or characteristic things in other fields. Application of Gauss probability function, usage of function transformation is not difficult when we can do everything (data collection, curve fitting, plotting) by computer.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Az eloszlások rövid áttekintése, összevetés meggyőz bennünket ezek használhatóságáról, fontosságáról, nemcsak a szemcse-méreteloszlásoknál, hanem más területeken is. A megfelelő matematikai kezelés segít kiválasztani a legjobb terméket és technológiai paramétereket, vagy egyéb jellemzőket más területeken. A Gauss-féle eloszlásfüggvény, a függvény-transzformációk alkalmazása nem nehéz, ha mindent (adatgyűjtés, függvény-illesztés, diagramkészítés) számítógép végez.*

**Kulcsszavak:** Részecsketechnológia, aprítás, őrlés, matematika alkalmazás, minőség

### 1. BEVEZETÉS

A probléma – a minták, amelyekre az eloszlás leírások vonatkoznak – a részecsketechnológiából, ill. a szilikátiparból valók. Azonban a (matematikai) kezelésmód, az eloszlásokra vonatkozó ismeretek mindenhol felhasználhatók, ahol eloszlásokkal foglalkoznak. Éppen egy ilyen összevetés az egyik mondandója az előadásnak. Viszont nem cél a teljes ismertetés. Néhány olyan eredmény közlésére kerül sor, amely másoknak, más területen dolgozóknak is hasznos, érdekes lehet.

### 2. MINTÁK, VIZSGÁLATOK

A részecsketechnológiában a minták zöme szemcsés, porszerű anyagokból származik, amelyeket valamilyen technológiai folyamatra (aprítás, őrlés, osztályozás, leválasztás stb.) feladott anyagokból, vagy a termékekből, akár a technológiai folyamat valamelyik pontján vették. Más technológiáknál (granulálás, porlasztás, kristályosítás, nano-technológia) is hasonló a feladat, azokat most nem érintjük. A vizsgálatok ismertetése sem témája a vizsgálódásomnak. A hangsúly a meglévő, kapott vizsgálati eredményekre alkalmazott leírásokon van.

### 3. NÉHÁNY GYAKORI ELOSZLÁS, LEÍRÁS

Szinte csak felsorolásszerűen álljon itt az ezen területen gyakrabban alkalmazott leírások gyűjteménye.

A szemcseméret-eloszlások esetében elfogadott az  $R(x)$  és  $D(x)$  jelölés az  $x$  méret feletti (R) és alatti (D) hányadra (vagy százalékos mennyiségre). Természetesen R és D összege egy adott méretre 1-et (100 %-ot) ad.

*Gates – Gaudin – Schumann (GGS) eloszlás*

$$D(x) = 100 \left( \frac{x}{a} \right)^m \quad (0.3)$$

*RRSB (Rosin-Rammler-Sperling-Bennett) féle leírás, összefüggés*

$$R(x) = 100e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^m} \quad (0.4)$$

*Normál (GAUSS) eloszlás*

$$D(x) = 100\Phi\left(\frac{x}{a}\right)^m \quad (0.5)$$

*Lognormál (KOLMOGOROV) eloszlás*

$$D(x) = 100\Phi\left[\ln\left(\frac{x}{a}\right)^m\right] \quad (0.6)$$

Az  $a$  és  $m$  egységes konstansokként szerepelnek, természetesen megfelelő tartalommal, esetenként más elnevezéssel. [1-4]

#### 4. KÉT LEÍRÁSRÓL BŐVEBBEN

RRSB (Rosin-Rammler-Sperling-Bennett) féle leírás, összefüggés

Az összefüggés az alábbi

$$R(x) = 100e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n} \quad (0.7)$$

módosított alakban használatos az aprítás, őrlés területén, főleg Európában.

Megfelelő transzformálás (linearizálás) jól kezelhető diagram készíthető. Azt viszont hangsúlyozni kell, hogy ebben a formájában leírásról és nem eloszlásfüggvényről van szó, mert nem teljesülnek a szükséges matematikai feltételek [x]. Ugyanakkor nagy a hasonlóság a Weibul-féle eloszlással. [3]

*Lognormál (KOLMOGOROV) eloszlás*

Az előző fejezetben láttuk az eloszlás alapösszefüggését, s azt is, hogy az nem más, mint a normál eloszlás logaritmikus argumentum esetén. A gyakorlatban igazán nem terjedt el, annak ellenére, hogy BEKE professzor [1] egykori megállapítása szerint az őrlmények leírására a legpontosabb eloszlást az ún. renormált lognormális eloszlás adja. A renormálás tulajdonképpen az értelmezési tartomány módosítására utal. Az alkalmazás kedvezőtlen alakulásában jelentős szerepe volt a bonyolult (táblázatos) kezelési mód.

#### 5. SZÁMÍTÁSTECHNIKA

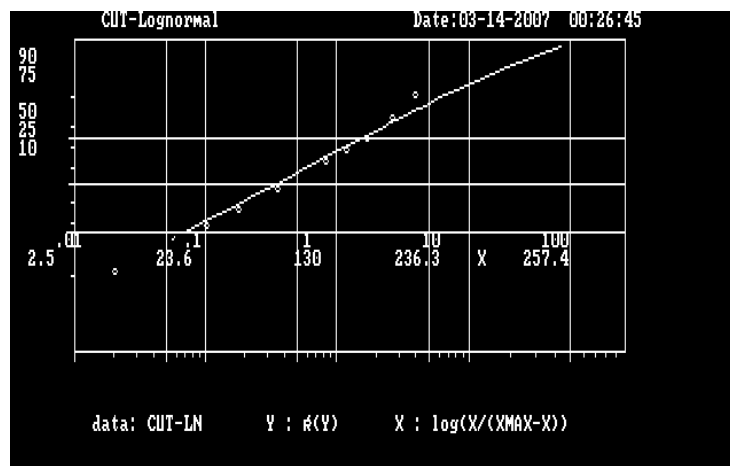
A számítástechnika fejlődésével az említett nehézségeket már régen le lehetett volna küzdeni. Főleg, ha komolyan vettük volna a tavalyi OGÉT konferencia szóbeli előadásán [x] említett Seneca idézetet (SENECA: *Ducunt fata volentem, nolentem trahunt* – Vezetik a végzetek az akarót, a nem-akarót vonszolják. Vagy másik fordításban: Az engedékenyt vezeti, a vonakodót rángatja a sorsa. Ismét más fordításban: Sorsunka ha elfogadjuk vezérel, ha nem, akkor kényszerít.). A szokás azonban nagy úr, nagy hatalom, azzal szembe szállni elég nehéz, s még nehezebb, ha későn tesszük.

Közel húsz évvel ezelőtt, szerény teljesítményű számítógépen készült már olyan számítógépes program, amelyik ilyen problémákra adott megoldásokat [x]. Többek között a normál, lognormál eloszlás illesztését, ábrázolást elvégezte (1-3. ábra).

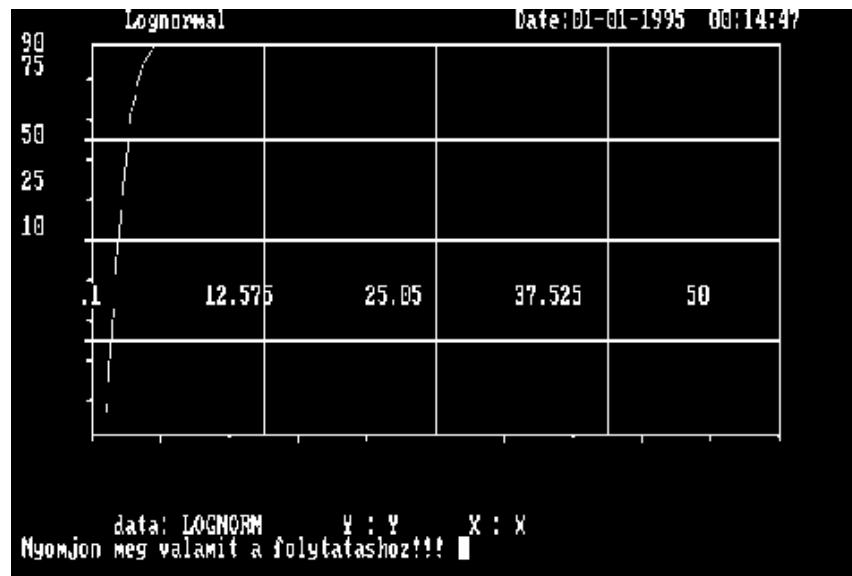




1. ábra  
Számítási eredmények kijelzése



2. ábra  
Eredmény szemléltetése 'levágott' (CUT) lognormális eloszlásra



3. ábra  
Eredmény szemléltetése lognormális eloszlásra

## 6. FONTOSABB MEGÁLLAPÍTÁSOK, JAVASLATOK

- Az RRSB megadásánál nem eloszlást, hanem leírást kell említeni a jelzett matematikai észrevételek miatt.
- Az RRSB leírásnál szereplő kezelési módot érdemes átvenni a Weibul eloszlás alkalmazásainál.

A számítástechnika mai szintű jelenléte alapján további javaslatok:

- A „levágott” (CUT, TRUNCATED) leírásoknak lehetne nagyobb figyelemet szentelni, nagyobb jelentőséget tulajdonítani. A gép – megfelelő szoftverek és előkészítés segítségével – elvégez olyan számításokat, összehasonlításokat is, amilyenekre korábban gondolni sem tudtunk.
- A normál és lognormál eloszlások kezelése is kaphat más hangsúlyt, hiszen a számítógépek bevonásával a táblázatos kezelés is „kezelhetővé” válik.

Végül rá kell mutatni az eloszlások momentumainak gyakorlati fontosságára, szerepére. Különbség van az egyes leírásoknál a momentumok meghatározása terén. Viszont a momentumok segítségével az eloszlások „visszaállíthatók”. Ugyanakkor egyes momentumok kapcsolatba hozhatók mért mennyiségekkel is. E két megállapítás más hangsúlyt adhat a folyamatok matematikai leírásának.

## IRODALOM

- [1] Beke, B.: Aprításelmélet, Akadémiai Kiadó, 1963.
- [2] A. Z. Juhász, L. Opoczky: Mechanical Activation of Minerals by Grinding: Pulverizing and Morphology of Particles, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1990.
- [3] G.A. Korn, T.M. Korn: Matematikai kézikönyv műszakiaknak, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [4] S. Verdes, K. Schönert: Transformed Distributions with special regards to cut-lognormal distribution (CLN), Research Report, TU Clausthal, 1989. October-December
- [5] Verdes, S.: Characterization of waste materials by mathematical description, 10. Tagung, 1995. October, Freiberg

# ELEM-i ösztön?!

## Hogyan tegyük hatékonyabbá a szárazelem begyűjtést egy automatával

### HOW TO INCREASE BATTERY COLLECTION LEVEL BY AN „BATTERY-BUYBACK CASH-MACHINE”

WÁGNER RÉKA

Ipari termék-és formatervező mérnök szakos hallgató  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnöki Kar, Gépszerkezet-tani Intézet  
1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.  
www.bme.hu, rekawagner@gmail.com

#### ABSTRACT

*In order to sustain our environment it is crucial task to collect and recycle batteries in higher and higher percentage, which contain heavy metals like Lithium and Zinc. This task is forced by law as well which puts the manufacturers and commercial partners into a responsible role. Just to promote the activities, we created an advanced and incentive solution for all members of the supply chain which is based on the „battery-buyback cash-machine”*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*A környezet védelme érdekében fontos feladat a használt szárazelemek nagy százalékban történő begyűjtése, melyre ma már törvény kötelezi a gyártókat és forgalmazókat. Ez nem könnyű feladat a magyar piacon. A probléma megoldására megalkottunk egy, a piac minden szereplőjének kedvező és ösztönző, hatékony értékesítési és visszagyűjtési stratégiát, melynek lényege egy „szárazelem-visszaváló” automatában rejlik.*

#### Kulcsszavak

Szárazelem-begyűjtés, környezetvédelem, értékesítés, visszaváltás, automata

#### 1. BEVEZETÉS

A környezet védelme évszázadok óta az emberi társadalom fontos feladata, ám különös jelentőséget csak az utóbbi évszázadokban kezdtek el tulajdonítani neki. Egyre sürgetőbbé váltak az ehhez kapcsolódó kérdések, melyeket ma már törvényi eszközökkel is szabályozni próbálnak. Egyik legfontosabb megoldásra váró probléma a veszélyes hulladékok begyűjtése és ártalmatlanítása, mely kategóriába kiemelt jelentőséggel tartoznak bele a használt szárazelemek. Ennek a problémának a megoldására terveztünk egy automatát, mely a hozzá kapcsolódó értékesítési és visszagyűjtési stratégiával képes ösztönözni a fogyasztókat a használt elemek visszavételére és mindemellett piac összes – a szárazelemekhez kapcsolódó – szegmensének előnyös.

#### 2. A SZÁRAZELEM, MINT VESZÉLYES HULLADÉK

Többféle minőségű és tartalmú szárazelem van forgalomban ma Magyarországon. Jellemzően viszonylag rövid a használati idejük, emiatt hamar megjelennek – döntően – a háztartási hulladékban, és ez okozza a fő gondokat. Cél az lenne, hogy minél nagyobb százalékban visszagyűjtsük ezeket, így nem tudnak reakcióba lépni a környezettel és ezáltal szennyezni azt, hanem megfelelő technológiával biztonságosan ártalmatlaníthatók. [9] [12] [17]

Megalkottuk a szárazelemek Stakeholder-térképét, mely szemléletesen bemutatja, hogy mely piaci szereplők állnak kapcsolatban a szárazelemekkel.



1. ábra  
Szárazelemek Stakeholder-térképe [18]

### 2.1. A hatósági oldal, a jogi szabályozás

Az EU tagállamok kormányaiban is tudatosult, hogy a kidobott elemek óriási mennyisége (2005-ben 180 ezer tonna) nagy veszélyt jelent a környezetre, ezért törvényi szabályozásokkal próbálják mérsékelni a problémát. [1][15]

Magyarországon 2005-től törvény szabályozza, hogy a gyártók (forgalmazók) elembegyűjtési kötelezettségét (2005-ben a kibocsátott elemek 7, 2006-ban 10, 2007-ben pedig 13 százalékát kötelesek visszagyűjteni.). A kötelezettséget az Európai Parlament 2006-os irányelve tovább növeli, mely szerint 2012-ben 25, 2016-ban pedig már 45% a meghatározott kvóta, melynek elérése hatalmas feladat. [2][3][4][8][16]

### 2.2. A szárazelemek gyártása, kereskedelme

A gyártók és forgalmazók érdeke, a lehető legnagyobb mennyiségű elem és akkumulátor eladása, ebből maximális profit szerzése és emellett a kötelező törvényi szabályzások betartása. A gyártókra ez a szigorított begyűjtési kötelezettség hatalmas terheket és plusz költségeket ró, így céljuk egy olyan megoldás, mellyel elérhetik a kvótát anélkül, hogy nyereségükből veszítenének. [6] [7]

A visszagyűjtés megoldására jelenleg a 3 legnagyobb Magyarországi forgalmazó közös Kht-t hozott létre RE'LEM néven, mely nagyrészt iskolai kampányokkal és kihelyezett gyűjtőkonténerekkel próbálja meg begyűjteni az elemeket. Magyarországon más a fogyasztási kultúra, így nem működik olyan hatékonyan ez a rendszer, mint a legtöbb nyugati országban. [3] [10]

### 2.3. A használt elemek ártalmatlanítása, lerakása Magyarországon

Átfedés figyelhető meg a visszagyűjtésnél, hiszen törvényi szabályozás szerint a gyártókhöz, a konkrét tevékenység alapján azonban a hulladékkezeléshez lenne sorolható. Jelenleg a begyűjtött elemennyiséget megfelelően kialakított lerakókban helyezik el, ám 2006 szeptemberében az Európai Bizottság elfogadta, hogy az elemeket újra fel kell dolgozni (ez hazánkban 2 év múlva lép életbe), és ehhez a szétválogatás szükséges. (Külön kell gyűjteni az alkáli, szén-cink és egyéb elemeket.) Az általunk tervezett begyűjtő automata egy kamerás rendszerrel bevizsgálja, szelektálja a bedobott használt elemet, és eleve külön gyűjti azokat. [4] [5] [13] [18]

### 2.4. A fogyasztók kapcsolata a szárazelemekkel

Ha valami újat szeretnénk létrehozni, – akár egy szemléletváltozás, vagy egy termék bevezetése – a lakosság hozzáállása és igényei a legfontosabb megfigyelendő tényezők, hiszen a fogyasztói döntésektől függ a piac. Sajnos jellemzően a lakosság hozzáállása a környezeti kérdésekhez meglehetősen passzív, és ebben szerepe van annak, hogy nem fűződik hozzá érdekük. Kérdőíves kutatást végeztünk több, mint 120 felhasználó körében jelenlegi szárazelem felhasználási és begyűjtési szokásaikról és az

új termék várható fogadtatásáról a piacon. Ezek tükrében terveztük meg és alakítottuk ki az automatát, mely ötvözi a gyártók és a fogyasztók igényeit és érdekeit. [10] [11] [14]

### **3. A LAKOSSÁG ÉRDEKELTTÉ TÉTELE A BEGYŰJTÉSSEN**

Az „ELEM-i ösztön” a fogyasztók ösztönszerű hozzáállása a szárazelemek visszavételéhez, ami meglehetősen passzívnak mondható. A szárazelem-begyűjtés mértékét is elsősorban az határozza meg, hogyan viszonyulnak hozzá a fogyasztók: akkor fog hatékonyan működni egy rendszer, ha az emberek vagy megérik fontosságát, vagy pedig érdeküket látják benne. Ez utóbbi elég erősen megjelenik a magyar kereskedelemben, jellemző a fogyasztói ár-érzékenység és a motiváció fontossága. Az embereket ösztönözni kell arra, hogy vegyék a fáradságot és visszavigyék a használt elemet. [11] [18]

#### **3.1. Hatékony szárazelem-begyűjtés és értékesítés**

Termékünk egy automata, melynek lényege, hogy érdekeltté teszi a fogyasztókat abban, hogy visszavigyék használt szárazelemeiket, és ezáltal egy hatékony begyűjtés valósuljon meg a magyar piacon. Az automata a használt elemek bedobásakor jelentős kedvezményt ad az új elem árából. Az automata műszaki részleteinek tervezésén kívül kidolgozunk egy, a gyakorlatba jól átültethető ösztönző rendszert, melynek célja a lakosság aktivitásának növelése szárazelem visszagyűjtésben az automata használata által úgy, hogy mindeközben nyereséget termel a vállalatnak. [19]

#### **3.2. Az automata**

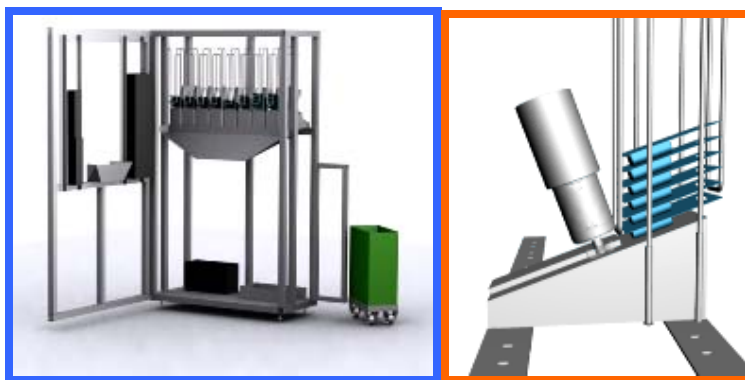
Az automatával ösztönözzük a fogyasztókat, hogy a szemétkébe dobás helyett használt elemeiket „visszaváltsák”. Fontos kritérium, hogy az árusított elemek ára ne legyen drágább a bolti áránál még a kedvezmény igénybevétele nélkül sem, és az elembedobással így még olcsóbban kaphassa meg a vásárló. Ezzel kijelenthető, hogy az embereknek érdeke fűződik a visszaváltáshoz.

Az automatát közvetlenül a gyártó helyezi ki, így a kereskedelmi láncot kihagyva tud értékesíteni, ami még az árkedvezmény (10%) adása mellett is dupla akkora hasznot eredményez neki, mint ha kereskedőkön keresztül árulná termékét. Mivel a visszagyűjtési is saját maga oldja meg, így itt is költséget takarít meg, ami mint profit jelenik meg. Nem csak nagy visszagyűjtési százalék várható, hanem – mivel a vásárlóknál az árengedmény kitűnő reklámkampány – megnőhet az eladott elemek mennyisége is. Természetesen a cégnek még akkor is megérné a használt elemeket visszavenni és engedményt adni, ha ez nem lenne kötelezettsége, így viszont dupla hasznot könyvelhet el.

Az automatából 6 féle alkáli elem vásárolható (a környezetvédelmi szempontok miatt cél a szén-cink elemek eladási mennyiségének jelentős leszorítása). Ezzel szemben gyártó vagy minőségi megkötés nélkül minden típusú használt elemet elfogad és beszámítja azt. (A gyártónak mindegy, hogy milyen elemekből gyűjti vissza a kötelező százalékot, így nem érdeke megkötéseket tenni erre vonatkozóan.)

Az automatába kerülve egy kamerás bevizsgáló szerkezet alaksajátosság alapján elbírálja (az elemek súlyában a gyártótól és minőségtől függően akár 3-4-szeres eltérés is lehet), hogy a bedobott tárgy valóban szárazelem-e, és amennyiben az, akkor a megfelelő (a szárazelemmel kémiai reakcióba nem lépő) polimer tartályba kerül, és az automata megadja a kedvezményt.

Az automata 9 egyforma kiadagoló szerkezettel rendelkezik, melybe 6 féle, összesen 182 csomag elemet tárol. A kiadagolás megtervezésénél a legfontosabb szempontok közé tartozott az egyszerű kialakítás, minimális mozgó, hibalehetőséget kínáló alkatrész és a megbízható kiadagolási elv. Az egységek fogasléc segítségével tolják ki a kiválasztott típusú szárazelemet, melyet egy motor hajt. [19]



2. ábra

*Az automata belső szerkezete és kiadagolás elve [19]*

#### 4. KONKLÚZIÓ

Összességében kijelenthető, hogy kutatásunk sikeres volt: mélységeiben feltártuk jelenlegi magyar szárazelem helyzet problémáit, a jövőben várható nehézségeket, és sikerült kidolgoznunk egy terméket, mely megoldást jelenthet mindezekre.

Az elem-értékesítő és „visszaváltó” automata egy olyan termék, amely mindenkinek előnyös:

- A vásárló: olcsóbban juthat hozzá a megvásárolni kívánt elemekhez
- A gyártó nagyobb mennyiséget, nagyobb haszonnal ad el, emellett költség-hatékonyan eléri a törvényileg meghatározott visszagyűjtési kvótát
- A környezet szempontjából pedig különösen hasznos, hiszen egy nagy mennyiségű veszélyes hulladékot sikerül biztonságosan visszagyűjteni, majd ártalmatlanítani

Automatánkkal megoldódhatna egyrészt a gyártók visszagyűjtési nehézsége, teljesítve ezzel a jogszabályokban meghatározottakat úgy, hogy még nyeresége is származik belőle. Egyben pedig a környezeti problémákra is egyfajta segítséget nyújtana, ha sikerülne minél nagyobb százalékban visszagyűjteni és ártalmatlanítani a veszélyes hulladékok legalább ezen részét.

Bízunk benne, hogy néhány éven belül már ilyen és ehhez hasonló automatákkal találkozhatunk az ország különböző pontjain, és ezek segítségével megvalósul Magyarországon is egy hatékony szárazelem begyűjtés, majd újrahasznosítás.

#### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] 1995. évi LVI. Törvény a környezetvédelmi termékdíjról, továbbá egyes termékek környezetvédelmi termékdíjáról
- [2] Az Európai Parlament és a Tanács 2006/66/EK irányelve az elemekről és akkumulátorokról, valamint a hulladékelemekről és -akkumulátorokról, továbbá a 91/157/EGK irányelv hatályon kívül helyezéséről
- [3] A Kormány 109/2005. (VI. 23.) Korm. Rendelete, az elemek és az akkumulátorok hulladékainak visszavételéről
- [4] A környezetvédelmi és vízügyi miniszter 13/2005. (VI. 23.) KvVM rendelete az elemek és akkumulátorok, illetve hulladékaik kezelésének részletes szabályairól szóló 9/2001. (IV. 9.) KöM rendelet módosításáról
- [5] A veszélyes hulladékok keletkezésének ellenőrzéséről és az azok ártalmatlanításával kapcsolatos tevékenységekről szóló 56/1981 jogszabály
- [6] Berényi László: Iránytű környezettudatos vállalati menedzsmenthez „Marketing & Menedzsment c. folyóirat 2005/4-5.
- [7] Berke Péter- Váczi János [2006]: Alternatív médium a márkakommunikáció szolgálatában, Marketing & Menedzsment c. folyóirat 2006/1
- [8] Bruxinfo: Kötelező lesz a használt elemek begyűjtése, <http://web.bm.hu/belugy/hir2002.nsf/EUAkt/F5096E8AD370F68EC12571A4002BBB81>, 2006. július 7.
- [9] Buzás Norbert Dr.: Környezetközpontú gazdálkodás előadás, [www.mako.hu/files/pega05.ppt](http://www.mako.hu/files/pega05.ppt), 2005. dec. 16.
- [10] Földesi D., Rozgonyi Z., Szilágyi L.: Négy és fél millió szelektáló magyar?, <http://www.kukabuvvar.hu/cikk/8974>, 2006. tavasz

- 
- [11] Kalas György : Nők és a fogyasztóvédelem, <http://www.kukabugar.hu/cikk/205>, 2004 tavasz
- [12] Környezetvédő társadalmi szervezetek javaslatai a Magyarországon működő vállalatok részére, [http://www.mtvsh.hu/programok\\_sublist.php?which=14](http://www.mtvsh.hu/programok_sublist.php?which=14)
- [13] Láng István, Mindentudas egyeteme 9. előadás, [http://www.mindentudas.hu/doc/Lang\\_nyomtathato.rtf](http://www.mindentudas.hu/doc/Lang_nyomtathato.rtf), 2002. november 11
- [14] Németh Patrícia: Versenyképesség és a környezetvédelem kapcsolat, [www.korny10.bke.hu/15eves/tanulmanyok/nemeth\\_p.pdf](http://www.korny10.bke.hu/15eves/tanulmanyok/nemeth_p.pdf), 2006
- [15] Orsody Béla Dr.: Regionális fejlesztések és marketing lehetőségek a környezetvédelemben – Ökomarketing [www.kvvm.hu/cimig/documents/Orosdy\\_B\\_la\\_3.ppt](http://www.kvvm.hu/cimig/documents/Orosdy_B_la_3.ppt) , 2006. március 17.
- [16] Pataki Gyuláné: Rendelet szabályozza az elemek és akkumulátorok hulladékainak visszavételét, <http://hulladeksors.hu/index.php?option=content&task=view&id=61&Itemid=81>, 2005. július 23.
- [17] Szárazelem-gyűjtés, FKF Zrt. Honlapja: [http://www.fkf.hu/aktualis/i\\_szarazelem.html](http://www.fkf.hu/aktualis/i_szarazelem.html)
- [18] Tatai T., Wágner R.: Hogyan tegyük hatékonyabbá a szárazelem-begyűjtést, TDK dolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2006
- [19] Tatai T., Wágner R.: Fenntarthatósági követelmények megvalósulása a szárazelemek értékesítésében, TDK dolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2006

## A környezetvédelem színes képei

### COLOR PICTURES OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION

Dr. WENZEL Klára<sup>1</sup>; Dr. SAMU Krisztián<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi magántanár, <sup>2</sup>egyetemi adjunktus  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék  
Hungary, Budapest, 1111. Egrý J. u. 1-3 E épület, 305. Tel: 463-3792 Fax: 463-3787,  
Web: www.mom.bme.hu, wenzel@mom.bme.hu; samuk@mom.bme.hu

#### ABSTRACT

*The environmental protection uses space photographs very often. One of the most important sensors of the spacecrafts is the digital camera. The space cameras are able to take photographs in the visible, the near UV and the near infrared area of the electromagnetic spectrum. The photos are taken through 6, 8 or more narrowband interference filters in black and white. Hidden spectral properties of the surface on the picture can be shown on these photographs and different composites can be made from them. But the narrowband interference filters are not suitable to take true color pictures. It will be shown in the article a new digital image processing method to make quasi true color composites from the pictures of the space cameras.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

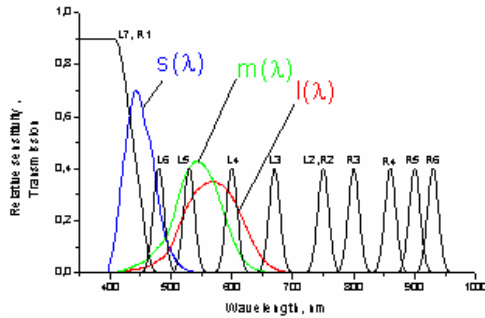
A környezetvédelemben gyakran alkalmaznak a Földről készített űrfelvételeket. Az űrszondák egyik legfontosabb érzékelője az erre a célra kifejlesztett speciális digitális fényképezőgép. Ezek a fényképező gépek alkalmasak arra, hogy a spektrum közeli-UV, látható és közeli-infravörös tartományában is készítsenek felvételeket. A felvételek 6, 8 vagy még több keskenysávú interferenciaszűrőn keresztül fekete-fehér kivitelben készülnek. Ezek a felvételek és a belőlük készült kompozitokon kiemelhetők az ábrázolt kép eddig rejtve maradt spektrális jellemzői. Azonban ezek a keskenysávú szűrők nem alkalmasak arra, hogy segítségével az emberi szem számára színhelyes képeket hozzunk létre. A cikkben egy új eljárás kerül bemutatásra, amely lehetővé teszi színhelyes képek készítését a színkivonatok alapján.

**Kulcsszavak:** környezetvédelem, űrkutatás, távérzékelés, színes képfeldolgozás

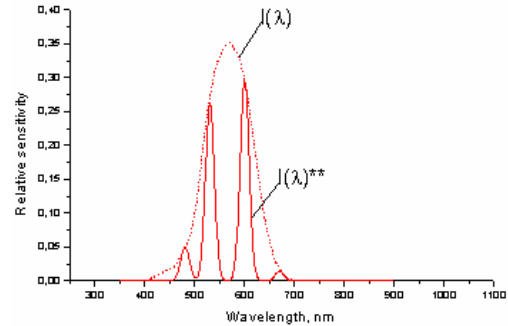
#### 1. BEVEZETÉS

A sávszűrőzött felvételek 6-8 különböző hullámhosszúságú, keskenysávú színszűrővel készült fényképfelvételek, amelyeket színkivonatoknak neveznek. A színkivonatok spektrális információt tartalmaznak a kép minden képpontjáról. Ha a színkivonatok közül hármat kiválasztunk, és egy színes monitor egy-egy alapszínével jelenítjük meg, hamis-színes felvételt kapunk. A hamis-színes felvételen kiemelhetjük az ábrázolt kép számunkra fontos spektrális tulajdonságait [1,2].



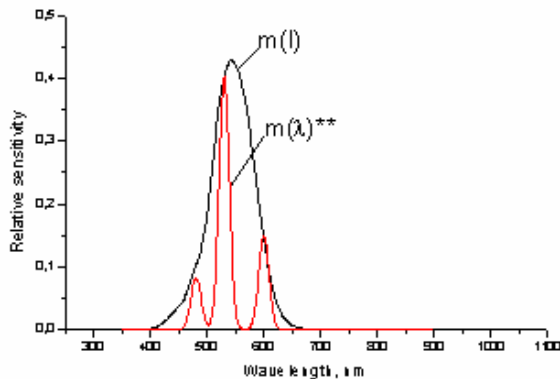


1. ábra A PanCam kamera színszűrőinek spektrális transzmissziója és az emberi szem színérzékelő receptorainak  $I(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$  és  $s(\lambda)$  relatív spektrális érzékenysége

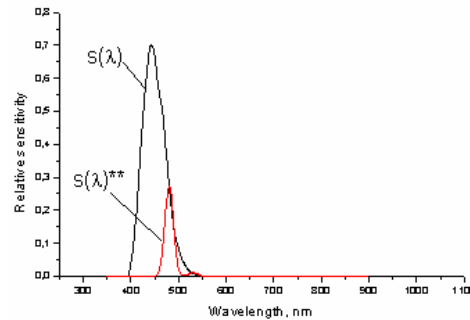


2. ábra Az L receptor  $I(\lambda)$  spektrális érzékenységének  $I^{**}(\lambda)$  virtuális közelítése

A sávszűrőzött felvételi technikát a környezet védelemben és az űrkutatásban szokták alkalmazni [3, 4].



3. ábra Az M receptor  $m(\lambda)$  spektrális érzékenységének  $m^{**}(\lambda)$  virtuális közelítése



4. ábra Az S receptor  $s(\lambda)$  spektrális érzékenységének  $s^{**}(\lambda)$  virtuális közelítése

A környezet védelemben a hamis-színes képeken kiemelhetők a búzatáblák növényi kártevői, a tengerek szennyezettsége, felismerhetők a földalatti létesítmények a hőtermelésük alapján, és megkülönböztethetők az élő növények az álcázó színre festett katonai objektumoktól. Az űrkutatásban a hamis-színes képekből megtudhatjuk, hogy milyen anyagok találhatóak egy idegen bolygó felszínén, esetleg van-e valamilyen élet rajta. Felmerülhet az igény aziránt is, hogy a színkivonatok alapján élethű színekben jelenjen meg a felvétel tárgya. A továbbiakban bemutatunk egy új képfeldolgozási eljárást, amellyel az eddiginél jobb színvisszaadás érhető el űrfelvételek színkivonatai alapján. Példaképpen a 2004-ben Marsra érkezett Mars Global Surveyor PanCam kamerájából indulunk ki.

## 2. A MARS GLOBAL SURVEYOR PANCAM KAMERÁJA

A PanCam [5] két kamerával dolgozik; ez lehetőséget ad sztereoszkópikus felvételek készítésére is.

Mindkét kamera elé 8-8 cserélhető színszűrő helyezhető el. Ezek részben keskenysávú interferenciaszűrők, részben alul áteresztő (SP) illetve felül áteresztő (LP) szűrők. Egy-egy igen sötét, D=5 denzitású neutrális szűrőt (Solar ND5) is elhelyeztek a kamerák elé, amelyek lehetővé teszik a

közvetlen Napba fényképezést két hullámhosszon. A szűrők spektrális transzmisszió görbéi az 1. ábrán láthatók. Az L4 (vörös), az L5 (zöld) és az L6 (kék) szűrő a terv szerint természetes színű képek létrehozására is alkalmas. Ezekkel a szűrőkkel hozzák létre jelenleg a „true color” (természetes színű) kompozitokat; ezt az eljárást nevezzük a továbbiakban hagyományos eljárásnak.

A hagyományos eljárással létrehozott képek színhűségével kapcsolatban azonban kételyek merülnek fel. A Mars felszínén az L4, L5 és L6 szűrővel készült színkivonatok alapján összeállított képeken ugyanis az egész kép feltűnően vöröses árnyalatú. A Mars felszíne köztudottan vöröses színű, ezért ez nem is lenne meglepő, azonban a képen a kihelyezett fehér színminta is vöröses színűnek látszik [6].

Felmerült tehát az igény olyan eljárás kidolgozására, amely a rendelkezésre álló színkivonatok alapján jobb színhűséget biztosít.

### 3. A HAGYOMÁNYOS ELJÁRÁS ELEMZÉSE

Vizsgáljuk meg, mi okozhatja azt, hogy a hagyományos eljárással készült true color képek színhűsége nem megfelelő! Természetű képek létrehozásának feltétele az, hogy a felvételt az emberi szem színérzékelő receptoraihoz minél inkább hasonló detektorokkal készítsük el. A 1. ábrán az emberi szem három színérzékelő receptorának, a vörös színekre érzékeny L, a zöld színekre érzékeny M, és a kék színekre érzékeny S receptor  $l(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$  és  $s(\lambda)$  relatív spektrális érzékenységet is bemutatjuk [7].

Az ábrán látható, hogy az L4, L5 és L6 szűrő spektrális transzmissziója és a receptorok spektrális érzékenysége között az eltérés jelentős. Tehát nem várható, hogy az L4, L5 és L6 szűrővel hagyományos eljárással készült színkivonatokból színhelyes kompozitok jöjjenek létre.

### 4. TERMÉSZETES SZÍNŰ KÉPEK LÉTREHOZÁSA EGY ÚJ ELJÁRÁSSAL A PANCAM KAMERA SZÍNSZŰRŐIVEL

Az új eljárás alap gondolata az, hogy a PanCam kamera összes színszűrőjének felhasználásával az emberi szem színérzékelő receptorainak spektrális érzékenységet jobban megközelítő virtuális érzékelőket hozunk létre. Vizsgáljuk meg, melyik színszűrőket lehet felhasználni erre a célra! Az 1. ábrából látható, hogy a célnak az L3, L4, L5 és L6 színszűrő felel meg, mivel ezek érzékenységi tartománya az L, M és S receptor érzékenységi tartományába esik. Az L3, L4, L5 és L6 színszűrővel szűrözött CCD detektor négy különböző spektrális érzékenységetű detektornak felel meg. Ezek kombinált alkalmazásával hozzuk létre a virtuális érzékelőket, amelyek jobban megközelítik az emberi szem spektrális érzékenységet, mint egyenként az L4, az L5 és az L6 szűrővel szűrözött CCD detektor. A 2. ábrán az L receptor, a 3. ábrán az M receptor és a 4. ábrán az S receptor  $l(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$  és  $s(\lambda)$  spektrális érzékenységeinek  $l^{**}(\lambda)$ ,  $m^{**}(\lambda)$  és  $s^{**}(\lambda)$  virtuális közelítése látható. Ha ezek a közelítő érzékenységi függvények nem is tökéletesek, az adott lehetőségek felhasználásával optimális megoldást adnak.

### 5. MODELL KÍSÉRLET A HAGYOMÁNYOS ÉS A VIRTUÁLIS SZŰRŐKKEL KÉSZÜLT KÉPEK ÖSSZEHOSONLÍTÁSÁRA

Matematikai modellezéssel megvizsgáltuk, hogy egy piros, egy zöld, egy kék, egy sárga és egy barna felület színe hogyan érzékelhető az átlagos emberi szem  $l(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$  és  $s(\lambda)$  relatív spektrális érzékenységetű receptoraival, az L4, L5 és L6 színszűrővel szűrözött CCD detektor  $p_4(\lambda)$ ,  $p_5(\lambda)$  és  $p_6(\lambda)$  relatív spektrális érzékenységgel és végül az  $l^{**}(\lambda)$ ,  $m^{**}(\lambda)$  és  $s^{**}(\lambda)$  virtuális érzékelő spektrális érzékenységgel számolva. A modell számítás segítségével meghatároztuk az átlagos emberi szem színérzékelő receptorainak L, M és S érzeteit az adott színminták szemléltése esetére:

$$\begin{aligned} L_i &= \int \rho_i(\lambda) l(\lambda) d\lambda & /4/ \\ M_i &= \int \rho_i(\lambda) m(\lambda) d\lambda & /5/ \\ S_i &= \int \rho_i(\lambda) s(\lambda) d\lambda & /6/ \end{aligned}$$

Ahol  $\rho_i(\lambda)$  a színminták spektrális reflexiója, és  $i=1\dots 5$  a színminták sorszáma.

Kiszámoltuk továbbá a hagyományos képfeldolgozás során a színmintákról az L4, L5 és L6 színszűrővel szűrözött CCD detektor által felvett színkivonatok alapján meghatározható  $L_i^*$ ,  $M_i^*$  és  $S_i^*$  színösszetevőt:

$$\begin{aligned} L_i^* &= \int \rho_i(\lambda) p_4(\lambda) d\lambda & /7/ \\ M_i^* &= \int \rho_i(\lambda) p_5(\lambda) d\lambda & /8/ \\ S_i^* &= \int \rho_i(\lambda) p_6(\lambda) d\lambda & /9/ \end{aligned}$$

Végül a kiválasztott 4 színkivonat (L3, L4, L5 és L6) alapján kiszámoltuk a virtuális receptorok által érzékelhető  $L^{**}$ ,  $M^{**}$  és  $S^{**}$  virtuális érzetet:

$$\begin{aligned} L_i^{**} &= \int \rho_i(\lambda) I^{**}(\lambda) d\lambda & /10/ \\ M_i^{**} &= \int \rho_i(\lambda) m^{**}(\lambda) d\lambda & /11/ \\ S_i^{**} &= \int \rho_i(\lambda) s^{**}(\lambda) d\lambda, \text{ ahol} & /12/ \\ I^{**}(\lambda) &= a_{11} p_3(\lambda) + a_{12} p_4(\lambda) + a_{13} p_5(\lambda) + a_{14} p_6(\lambda) & /13/ \\ m^{**}(\lambda) &= a_{21} p_3(\lambda) + a_{22} p_4(\lambda) + a_{23} p_5(\lambda) + a_{24} p_6(\lambda) & /14/ \\ s^{**}(\lambda) &= a_{31} p_3(\lambda) + a_{32} p_4(\lambda) + a_{33} p_5(\lambda) + a_{34} p_6(\lambda) & /15/ \end{aligned}$$

És  $a_{11}$ ,  $a_{12}$  stb. az optimalizációs konstansok.

## 6. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A három esetre meghatározott L, M és S színösszetevőt a színes monitor vörös, zöld és kék színével jelenítettük meg, Az így előállított színes képeket elemezve megállapítható volt, hogy a virtuális szűrözési technika az esetek többségében jobb, a vizuális észleléshez közelebb álló színmegjelenítést eredményezett, mint a hagyományos szűrözés. A legjobban azoknak a színeknek a megjelenítése sikerült, amelyek jellegzetességét az a spektrumtartomány hordozza, amelyikben a legtöbb egyszerű szűrőből tudjuk összeállítani a virtuális szűrőt. Adott esetben a spektrum középső tartományának jellegzetes színeit, a zöldet, a sárgát és a barnát sikerült legjobban megközelíteni, mivel a spektrum középső tartományában érzékeny M receptor virtuális megfelelőjét 4 egyszerű szűrőből viszonylag jól tudtuk összerakni, míg az L receptorét 3-ból már kevésbé jól, és az S receptorhoz alkalmazható mindössze 2 szűrő nem tett lehetővé jó közelítést.

## 7. HIVATKOZÁSOK

- [1] Wenzel K, Huba A, Bugyás J, Gálfi I, Szarka K: Felületek spektrális reflexió szerinti osztályozása sávszűrözött felvételek segítségével, feketefehér fényképszeti eljárások alkalmazásával, Finommechanika-Mikrotechnika, 19 évf. 1980/7
- [2] Wenzel K, Bugyás J, Gálfi I, Szarka K : Sávszűrözött hamis-színes felvételek szelektáló képességének fokozása, Finommechanika-Mikrotechnika 20. évf. 1981
- [3] Floyd F. Sabins, JR.: Remote Sensing; Principles and Interpretation, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1978.
- [4] Bak A., Balla S., Berencei R., Domokos Gy., Szilágyi P.: Magyarország az űrből, Zrinyi Katonai Könyv- és Lapkiadó, 1980.
- [5] Mars Exploration Rovers - About the MER PanCam from Cornell University's "Mission to Mars" Web Site
- [6] Etemenanki: Hidden Colors of Mars, <http://www.goroadachi.com/etemenanki>
- [7] <http://www.cvrl.org> Cone Fundamentals

## Jegyzetek

## Jegyzetek

## Jegyzetek



