

## Tartalomjegyzék

Előszó	3
Dr. Biró Károly, Biró Zoltán - A villamos gépek forgórész helyzetének meghatározása	4
Dr. Gyenge Csaba, Dr. Kerekes László, Dezső Gábor - A Frenet-féle triéder alkalmazása evolvens csavarfelületek gyártásánál	10
Jancsó Árpád - Bega-hidak Temesvárad, a nagy hídépítési program indítása	16
Kaucsár Márton - Mikroprocesszoros váltakozó áramú teljesítményszabályozás	23
Dr. Kerekes László, Johanyák Zsolt - Ipari varrógépek konstrukciós FMEA vizsgálata	31
Dr. Kiss Elemér - Bolyai János kéziratának rejtett matematikai kincsei	35
Dr. Köllő Gábor - A klasszikus vasút jövője	43
Dr. Murádin Katalin - Gondolatok templomaink bútorairól	47
Dr. Puskás Ferenc - Új lehetőség: a krio-elektronika	51
Telegdiné Csetri Klára - A hídépítő Maderspach Károly (1791-1849)	60

Szerkesztőbizottság:

Dr. Biró Károly, Dr. Kása Zoltán, Dr. Köllő Gábor - a szerkesztőbizottság elnöke,  
Dr. Maros Dezső, Dr. Puskás Ferenc, Dr. Vodnár János

Felelős kiadó: Égly János - az EMT kiadói elnökhelyettese

ISSN 1454-0746

Műszaki Szemle

Kiadja az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság - EMT

Kolozsvár, B-dul 21 Decembrie 1989, nr. 116

Levélcím: RO - 3400 Cluj, P.O.B 1 - 140

Tel/fax: 40-64-190825, 194042

E-mail: szemle@emt.org.soroscj.ro

Bankszámlaszám: Societatea Maghiară Tehnico-Stiințifică din Transilvania BCR-Cluj 45.10.4.66.2 (ROL)

## Előszó

Az erdélyi szellemiség, amely szerves része az egyetemes magyar kultúrának, a kisebbségi sors mostoha körülményei között is igyekezett és igyekszik megőrizni nemzeti értékeit, megtartani önazonosságát. Ennek egyik legfontosabb feltétele a magyar nyelv ápolása és megőrzése.

Az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság – EMT –, amely a 89-es fordulat után felvállalta az erdélyi magyar nemzeti kisebbség teljes értékű megmaradásáért: a magyar műszaki szaknyelv ápolását, a műszaki és természettudományos értelmiség tevékenységének összefogását, információkkal való ellátását. Ennek érdekében elengedhetetlennek véljük egy műszaki tudományos folyóirat kiadását és az e köré csoportosuló műhely fenntartását.

Az eddigi tevékenység figyelembevételével úgy érzem, hogy az EMT az erdélyi tudományos életben olyan súllyal rendelkezik, olyan szellemi potenciális tartalékok állnak mögötte, amely biztosíték egy színvonalas műszaki és természettudományos lap fenntartásához. Abban is biztos vagyok, hogy egy ilyen folyóiratnak elég nagy olvasótábora lesz, és ha kezdetben csak Romániában, később – a megfelelő színvonal biztosításával – meghódíthatjuk a kárpát-medencei

magyar műszaki és természettudományos olvasótábor jelentős részét is.

Itt, a Bolyaik földjén, ahol a szellemi értékekben soha nem volt hiány, egy ilyen folyóirat létjogosult és ezt a létjogosultságot az elkövetkezőkben be kell, és remélem be is fogjuk bizonyítani.

Erdély nagy szülöttjének, Bolyai János üzenetével fejezném be rövid bevezetőmet: „... *már ma mind a nemes, dicső magyar nemzet, mind pedig családombeliek, csak avval vannak: mit önérdekemök által képesek maguknak meg-szerezni, kivívni, mégpedig, minthogy alkalmasint eltölt a régi féle hősi dicsőség mezejinek nyitvaállása, s a körülmények egészen megváltoztak, nem is lévén többé önálló nemzet a magyar: már most nem durva erővel: hanem műveltséggel kell ügyekezünk ki-tűnni s lehet nem csak elérnünk, hanem el is hagynunk más, már rég-óta messze előre rugaszkodott nemzeteket, azoknak dicső példát adván...*”

Dr. Köllő Gábor

az EMT tudományos  
elnökhelyettese

## A villamos gépek forgórész helyzetének meghatározása

Dr. Biró Károly, Biró Zoltán

Kolozsvári Műszaki Egyetem

*Ez a dolgozat a szakirodalomban tárgyalt fontosabb módszereket tekinti át, amelyek lehetővé teszik a villamosgépek forgórész helyzetének meghatározását. A közvetett módszerek leginkább nagyteljesítményű meghajtásoknál vagy különleges alkalmazásoknál indokoltak, míg a szenzor nélküli alkalmazások inkább kis teljesítményeknél használatosak.*

### Bevezetés

A hagyományos egyenáramú hajtások helyett napjainkban mindinkább elektronikus kommutációjú hajtásokat használnak. Az elektronikus kommutációjú hajtás legfőbb előnye a kefenék nélküli szerkezetben rejlik. Így e hajtások nincsenek kitéve a hagyományos kefék mechanikus elhasználásának; viszont igénylik a forgórész pozíciójának és néha a sebességének az ismeretét is. A rotorpozíciót nem mindig szükséges nagy pontossággal ismerni. A mikroelektronika és a teljesítményelektronika területén elért fejlődésnek köszönhetően egyre kisebb méretű elektronikus kommutációjú hajtásokat használnak: a számítógépek merevlemezének meghajtásánál, videókamerák fókuszának szabályozásánál stb.

A forgórész pozíciójának meghatározása több módszerrel lehetséges. A közvetlen (direkt) pozíciómeghatározás lehetséges tengelyre szerelt szögadók, rezolverek- vagy Hall érzékelőkkel. Ezek a készülékek elég drágák és növelik a rendszer bonyolultságát, ezért használatuk leginkább nagyobb teljesítményű hajtásoknál vagy különleges alkalmazásoknál indokolt.

A kis teljesítmények esetében közvetett (indirekt) pozíciómeghatározást használnak és így lehetséges a villamos motor miniatűrízálása, ami nagyon lényeges a fent említett hajtások esetében.

Ebben a dolgozatban röviden ismeretjük a szakirodalomban tárgyalt főbb módszereket a villamos motorok forgórész helyzetének meghatározására. Leggyakrabban a helyzetmeghatározás pontosságát a konverter

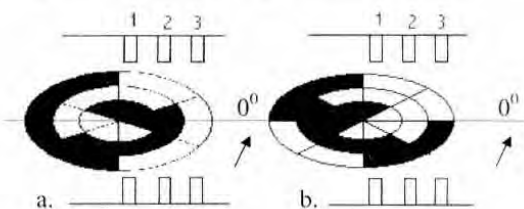
és a motor fázistekercseinek száma írja elő. Háromfázisú motorok esetében a szükséges minimális pontosság villamos szögben  $60^\circ$ .

### 1. Közvetlen helyzetmeghatározás

A forgórész helyzetének közvetlen meghatározása többféle módon lehetséges. E célt szolgálják például a szögadók. Ezek segítségével aránylag pontos, abszolút információt kapunk bármely pillanatban a rotor helyzetéről.

A kimeneti digitális jelet optikai szenzorok (fényérzékelők) segítségével állítják elő. A fényforrást általában egy LED képezi, míg a receptor lehet fotodióda vagy fototranzisztor. A forgó tárcsán kialakított, transzparencián alapuló térkép határozza meg a forgórész helyzetének megfelelő kimenő digitális jelet.

Az 1-es ábrán látni lehet a három bites digitális kimenetelű szögadó elvi rajzát.



1. ábra. A három bites szögadó elvi rajza 6 (a.) ill. 8 (b.) szeletes sávok esetén

Az 1. táblázat a három bites digitális kimenet kombinációját adja az elfordulási szög függvényében, ha a tárcsán 6 szelet van.

Forgórész helyzet [vill. szög]	Az érzékelők kimeneti kódja		
	1. sáv	2. sáv	3. sáv
0 – 60	1	0	0
60 – 120	1	1	0
120 – 180	0	1	0
180 – 240	0	1	1
240 – 300	0	0	1
300 – 360	1	0	1

1. táblázat. Kimeneti kód 6 szeletes tárcsa esetén.

Az 1.b ábrán látható 8 szeletes tárcsa három fényérzékelővel a 2. táblázatban megadott kimeneti bináris kódokat hozza létre.

Forgórész helyzet [vill. szög]	Az érzékelők kimeneti kódja		
	1. sáv	2. sáv	3. sáv
0 – 45	0	0	0
45 – 90	0	0	1
90 – 135	0	1	1
135 – 180	0	1	0
180 – 225	1	1	0
225 – 270	1	1	1
270 – 315	1	0	1
315 – 360	1	0	0

2. táblázat. Kimeneti kód 8 szeletes tárcsa esetén.

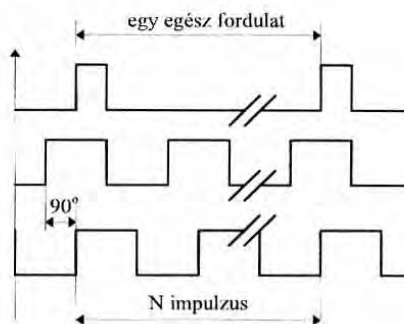
Ha növelni akarjuk a szögadó pontosságát, akkor növelni kell a kimeneti digitális számot, hozzáadva még egy vagy több fényadó – érzékelő párost, megnövelve a forgó tárcsán található sávok és szeletek számát is.

A módszer akkor igazán pontos, ha két egymás utáni kombináció között csak egy sávon történik jelváltás.

A módszer hátránya, hogy a pontosság növelésével nő a sávok száma is és bonyolódik az érzékelők által leadott jel feldolgozása is. Például: 'a' bites érzékelő rendszerrel a sávok száma 'a' és a tárcsán  $2^a$  szelet van, és így csak  $\alpha = 360/2^a$  szögnyi pontosságot tudunk elérni. Ilyenformán 3 érzékelő esetében a tárcsán levő 3 sáv és 8 szelet csak  $45^\circ$ -os pontosság eléréséhez elegendő. Ha a pontosság lehet kisebb is, akkor a szeletek számát lehet csökkenteni.

Például  $60^\circ$  szögnyi pontosság elérésére 6 szelet szükséges az 1.a ábra szerint.

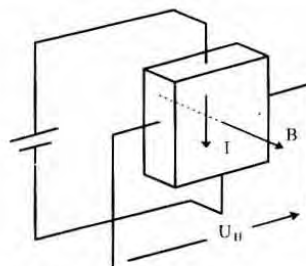
Sokkal nagyobb pontosság eléréséhez csupán 3 sávos tárcsa is elegendő: az egyik sáv egy fordulat alatt csupán egy impulzust ad, a másik két sávról levett azonos formájú, 50%-os töltéstényezőjű négyszögjel pedig egymáshoz képest  $90^\circ$ -kal el van tolva (2.ábra). Ezek az ún. inkrementális impulzus adók (encoder-ek), melyek biztosítják mind a rotor helyzetének, mind a forgási iránynak meghatározását. A pontosságot az egy fordulat alatt kapott N impulzusok száma határozza meg:  $\alpha = 360^\circ/N$ , és  $N = [1000-1500]$ .



2. ábra. Az inkrementális impulzusadó kimenő jelei

Mindkét módszer hátránya a fényadó-érzékelő páros időbeni öregedése.

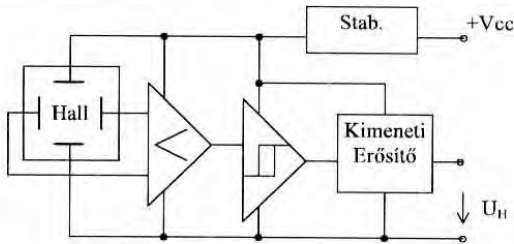
Az időben nem változó érzékelők közül a legelterjedtebbek a mágneses (Hall effektuson alapuló) érzékelők. E típusú érzékelők alapelve a 3. ábrán látható.



3. ábra. A Hall-cella működési elve

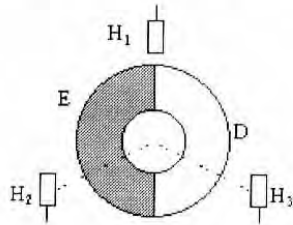
A kimenő  $U_H$  feszültség egyenesen arányos az  $I$  árammal és a  $B$  mágneses mező erősségével. Mivel a Hall cella jele nagyon kicsi, ezért ezt a jelet felerősítik és alakítják

trapéz vagy négyszög jelle alakítják. Napjainkban a 4. ábrán látható rendszer egy háromlábú integrált áramkör alakjában kerül forgalomba.



4. ábra. A Hall-efektuson alapuló integrált áramkör

A Hall integrált áramköröket a forgórészhez minél közelebb helyezik el, úgy hogy a forgórész mágneses tere befolyásolja. Ha ez nem lehetséges, akkor a forgórészre szerelt más mágnes közelébe. Az érzékelők elhelyezését a 5. ábra mutatja.



5. ábra. A mágneses érzékelők elhelyezése

Ebben az esetben a kimeneti bináris jelek 60°-os pontosságú helyzetmeghatározást tesznek lehetővé. Az érzékelők kimeneti bináris kódkombinációja a forgórész elfordulási szöge függvényében megegyezik az 1. táblázat adataival.

## 2. Közvetlen helyzetmeghatározó módszerek

A forgórész helyzetét azokból az információkból határozzák meg, amelyeket az állórész áramkör paramétereinek és mennyiségeinek értékeiből számítanak ki.

A motor állórésztekercsének differenciál egyenlete, általános  $k$  fázisra :

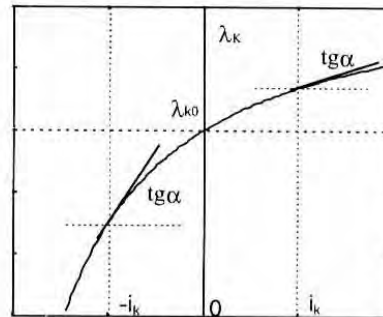
$$u_K = R_K i_K + \frac{d\lambda_K}{dt} = R_K i_K + \frac{d}{dt} [\lambda_{KM} + L_K (\lambda_{KM}(\Theta_K), i_K) \cdot i_K] \quad (1)$$

ahol:

$u_K$  - az állórészfázistekeres tápfeszültsége,  
 $i_K$  - az állórészfázistekercsen átfolyó áram,  
 $\lambda_K$  - az állórészfázistekeres teljes fluxusa,  
 $\lambda_{KM}$  - az állórészfázistekercsben a forgórész mágneses által gerjesztett fluxus,  
 $R_K, L_K$  - az állórészfázistekeres ellenállása és öninduktivitása, amely függ a forgórész és az állórészfázistekeres relatív helyzetétől,  $\Theta_K$  szögtől és  $i_K$  áramtól és a következő alakban írható fel:

$$L_K (\lambda_{KM}(\Theta_K), i_K) = L_{K0} (\lambda_{KM}(q_K)) + \Delta L(i_K) \quad (2)$$

Ha az induktivitás függ a telítéstől ( $i_K$ -tól), akkor a változás a 6. ábra szerint számítható ki.



6. ábra. Az induktivitás változása a telítés függvényében

### 2.1 Közvetlen helyzetmeghatározás álló forgórész esetében.

Ezt a módszert használják a motor indításakor.

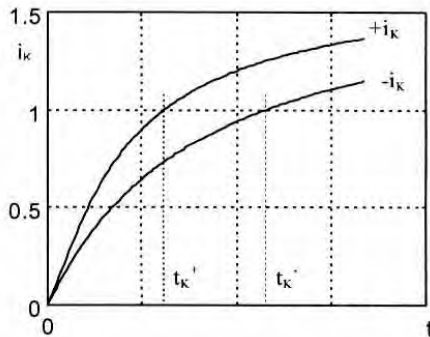
Ha álló állapotban a motor állórésztekercsének egyik fázisára feszültséget kapcsolunk, akkor az áram a fázisban időben exponenciálisan változik az áramkör időállandója függvényében a (3) egyenlet szerint.

$$i_K(t) = \frac{U_K}{R_K} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_K}} \right) \quad (3)$$

ahol az időállandó:

$$T_K = \frac{L_K}{R_K} = \frac{L_{K0}(\lambda_{KM}(\theta_K)) + \Delta L_K(i_K)}{R_K} \quad (4)$$

Mivel a 6. ábra szerint az induktivitás az áram függvénye is, ezért ha negatív feszültséget kapcsolunk ugyanarra a fázisra, akkor más időállandót kapunk. Tehát  $T_K^+$  és  $T_K^-$  különböznek. A 7. ábra szerint ki lehet számolni azt az időkülönbséget mialatt az áram nulláról ( $+I_K$ -ra és  $-I_K$ -ra) növekszik.



7. ábra. Az állórésztekercsben folyó áramok

Ez az állórészáramnövekedés időkülönbsége:

$$\begin{aligned} \Delta t_K &= t(I_K^+) - t(I_K^-) = \\ &= (T_K^+ - T_K^-) \ln \left( I_K - \frac{R_K I_K}{U_K} \right) \quad (5) \end{aligned}$$

Minden fázistekercsre alkalmazva az előbb leírt mérést a kapott időkülönbségek előjeléből lehetséges a forgórész helyzetének megállapítása  $60^\circ$ -os villamos szög pontossággal. Ha a fázistekercsek mindkét vége nem elérhető, akkor két-két fázist táplálnak egyszerre. A mért időkülönbségek pozitívak addig, amíg az eredő fluxus pozitív, így a forgórész helyzete logikai úton számítható ki a 3. táblázat alapján.

Forgórész helyzet egyfázisú táplálás	Az állórészáram növekedés időkülönbség előjele $\text{sgn}(\Delta t)$			Forgórész helyzet kétfázisú táplálás
	$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	$\Delta t_3$	
vill. szög 0 – 60	1	0	1	vill. szög 330 – 30
60 – 120	1	0	0	30 – 90
120 – 180	1	1	0	90 – 150
180 – 240	0	1	0	150 – 210
240 – 300	0	1	1	210 – 270
300 – 360	0	0	1	270 – 330

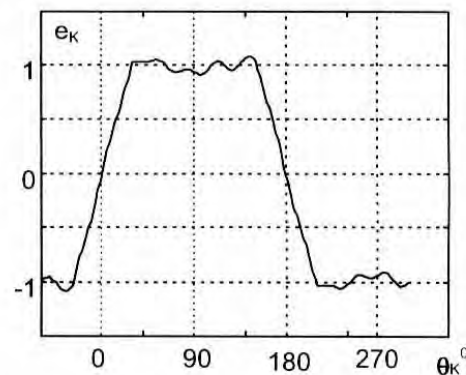
3. táblázat. A forgórész helyzetének kiszámítása az állórészáramnövekedések időkülönbség-előjeléből

## 2.2 Közvetlen helyzetmeghatározás pólusfeszültség mérésel

A motor működése közben az állórészfázis-tekercsekben feszültség indukálódik, aminek nagyságát az (1) egyenlet alapján számíthatjuk ki:

$$e_K = -\frac{d}{dt} \lambda_{KM} = -\frac{\delta \lambda_{KM}}{\delta \theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

A pólusfeszültség függ a forgórész helyzetétől és a mágneses mező változásától. Állandó szögsebességnél a pólusfeszültség változása a motor mágneses mezejének térbeli változását követi és vele fázisban van. Tehát egy trapéz alakú mágneses mező esetében a pólusfeszültség trapéz alakú, a 8. ábra szerint.



8. ábra. A pólusfeszültség alakja

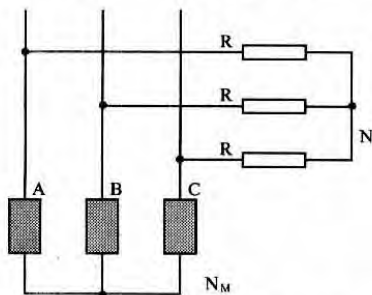
A motor állórészfázistekercsének feszültsége eltér a pólusfeszültségtől a feszültségeseések miatt.

$$u_k = R_k i_k + \frac{d}{dt} [L_k(\lambda_{KM}(\theta_k), i_k) \cdot i_k] - e_k \quad (7)$$

Ez az eltérés adja a helyzetmeghatározás módszerhibáját. A hiba elég kicsi nagy fordulatszámra, ahol az indukált feszültség jóval nagyobb a feszültségeseéseknél. A hiba lecsökkenthető, ha a (7) egyenlet alapján a fázisfeszültség mellett mérjük a fázisáramot is és kiszámoljuk a pólusfeszültséget. Ez elég bonyolult eljárás, mert ki kell számolni az áram deriváltját is, éppen ezért csak különleges esetekben alkalmazzák.

A fázisfeszültség mérése lehetséges akkor, ha a tekercselés csillagpontja elérhető. Ellenkező esetben két megoldás ismert:

- a. Létrehozunk egy mesterséges csillagpontot, három egyenlő értékű csillagba kötött ellenállással a 9. ábra szerint.



9. ábra. Mesterséges csillagpont kialakítása

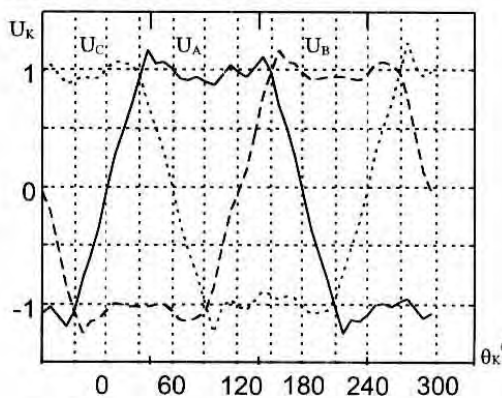
A forgórész helyzetének meghatározása lehetséges úgy, hogy érzékelik a fázisfeszültség nullaátmenetét a 8. ábra szerint. A fázisfeszültség nullaátmenete megegyezik a  $\theta_k = k\pi$ ,  $k=1,2,\dots$  szögekkel. Tehát három fázis esetében  $60^\circ$ -os szögpozíció érzékelhető.

- b. Kiszámítjuk a feszültségvektor merőleges komponenseit:

$$U_d = U_A$$

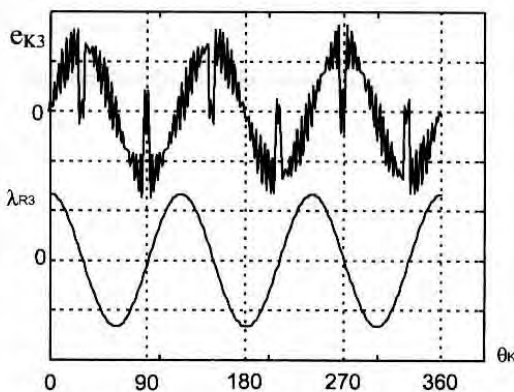
$$U_q = (U_B - U_C) \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

A feszültségvektor merőleges komponensei aránylag egyszerűen mérhetők. Az  $U_d$  komponens nullaátmenete megegyezik a forgórész  $\theta_k = k\pi$ ,  $k = 1,2,\dots$  szögpozíciójával. Az  $U_q$  komponens nullaátmenete azt a pontot jelenti, amikor  $U_B = U_C$ . Ezek a pontok a 10. ábra szerint  $\theta_k = k\pi + \frac{\pi}{6}$  forgórész szögpozíciónak felelnek meg.



10. ábra. Háromfázisú motor pólusfeszültségei

Ha az állórésztekercselés csillagpontja elérhető, akkor a 9. ábra szerint létrehozott mesterséges csillagpont megengedi, hogy mérjük az indukált feszültség harmadik felharmonikusát a két csillagpont között.



11. ábra. Az indukált feszültség és a forgórész fluxusának harmadik felharmonikusa

Megfelelő szűrés után meghatározható a forgórész fluxusának harmadik felharmonikusa is, amelynek zérón való átmenete  $60^\circ$ -ként ismert.

helyzetmeghatározásra is. Ezen módszer hátrányai közé kell sorolni azt, hogy teljesen szimmetrikus fázisokat és mesterséges nullpontot igényel, a szűrés miatt kis sebességnél nagy hibát eredményez.

### 2.3 Helyzetmeghatározás a kölcsönös- és az öninduktivitás változásából

Azoknál a motoroknál, amelyeknél az induktivitás változása nem függ nagymértékben az áramtól, de függ a forgórész helyzetétől lehetséges a forgórész pozíció kiszámítása a következőképpen:

Ha feltételezzük, hogy nem történik számottevő elfordulás addig, ameddig a motorra  $U^+$  és  $U^-$  feszültségeket kapcsolunk rá és mérjük egy rövid  $\Delta t$  intervallum után az  $I^+$  és  $I^-$  áramértékeket, akkor kiszámíthatjuk a  $\frac{di^+}{dt}$  és  $\frac{di^-}{dt}$  értékeket. Az (1) egyenletet felírva  $U^+$  és  $U^-$ -ra majd azokat egymásból kivonva a következő egyenletet kapjuk:

$$\begin{aligned} u_k^+ - u_k^- &= 2 \cdot U_k = \\ &= R_k(i_k^+ - i_k^-) + \sum_{i=1}^k L_{ik} \left( \frac{di_i^+}{dt} - \frac{di_i^-}{dt} \right) \quad (9) \end{aligned}$$

Elvégezve ugyanezt a mérést minden fázisra, kiszámítható  $L_{ik}$ . Egy teljes elfordulás estében lehetséges a középtérték  $L_{ik0}$  kiszámítása és ha az induktivitás változása:

$$L_{ik} - L_{ik0} = \Delta L_{ik} \sin \theta_k \quad (10)$$

alakú, akkor a forgórészpozíció kiszámítható. A módszer elég bonyolult számításokat feltételez, de lehetséges előre megmérni az induktivitás változását az elfordulási szög függvényében és a működés közben kapott érték összehasonlítása a betáblázott értékekkel egyszerűsíti a helyzethatározást.

Ha az  $L_{ik}$  induktivitások szimmetrikus háromfázisú rendszert alkotnak, akkor kihasználva a (10) egyenlet adta tulajdonságot, a szög az amplitúdótól függetlenül számítható. Ezért az eljárás gyakorlatilag független a motor konkrét paramétereinek értékétől. Így

ez a módszer felhasználható a forgórész álló helyzetében is.

### 3. Összehasonlítás

A legegyszerűbb helyzetmeghatározók a közvetlen helyzetmeghatározók. Leggyakrabban az időben állandó paraméterekkel bíró mágneses Hall helyzetindikátorokat használják. Ebben az esetben a jelfeldolgozás egyszerű, viszont maga után vonja a motor térfogatának a növekedését.

A közvetett helyzetmeghatározók különleges, valós időben dolgozó digitális processzorokat igényelnek, amelyek megemelik a villamos hajtás árát.

A helyzetmeghatározás pontossága a motorok felépítésétől és fordulatszámától, a felhasznált érzékelőktől és áramköröktől függ.

Álló helyzetben való forgórészpozíció helyzetmeghatározásra az állórésztekercsek induktivitásának változását használják. A helyzetmeghatározás az induktivitások változásából kevesebb számítást igényel mint a pólusfeszültségből és ugyanakkor lehetővé teszi a majdnem folytonos helyzetmeghatározást is.

### Szakirodalom:

1. Lee P., W., Pollock C. – Rotor position detection techniques for brushless permanent magnet and reluctance motor drives. IEEE Ind.App.Soc. 1992, pp. 448-455.
2. Naidu M., Bose B., K. – Rotor position estimation scheme of a permanent magnet synchronous machine for high performance variable speed drive. IEEE Ind. App. Soc. 1992, pp. 42-53.
3. Jufer M. – Indirect sensors for electric drives. Proceedings EPE'95, pp. 836-841.
4. Gati A. – Közvetett helyzetmeghatározás állandó mágnesű, kefenéküli motoros hajtáshoz. Elektrotechnika, 1997, nr. 12, pp.541-544.



# A Frenet-féle triéder alkalmazása evolvens csavarfelületek gyártásánál

dr. Gyenge Csaba, dr. Kerekes László, Dezső Gábor  
Kolozsvári Műszaki Egyetem

## 1. Bevezetés

A gépgyártásban gyakran alkalmazott csavarfelületek helyes megmunkálása pontos szerszámgeometriát és szerszámbeállítást igényel. A dolgozat célja a csavarfelületeket megmunkáló köszörűszerszám pontos helyzetének a meghatározása, melyre a szerzők egy, a Frenet-féle triéder egységvektorjai közötti képleteket felhasználó módszert javasolnak.

## 2. A köszörűszerszám elméleti helyzetének meghatározása

A sokfajta csavarfelület közül egyedül a ZI – evolvens típusú (MSZ. 7490/3-82) rendelkezik azzal a geometriai tulajdonsággal, hogy síkra lefejthető, aminek következtében a könnyebben előállítható síkfelületű köszörűkoronggal munkálható meg. A símitó megmunkálás technológiájának tervezésekor pontosan meg kell határozni a köszörűkorong tengelyének helyzetét. Ezt a beállítást a Frenet-féle triéder megfelelő alkalmazásával is meg lehet oldani. Ennek érdekében az evolvens csavarfelületet úgy tekinthetjük, mint az alaphenger csavarvonalának  $\bar{\tau}$  érintője által leírt vonalfelületet (1. ábra), és így az  $M$  pont helyvektora a következőképpen fejezhető ki az  $OM_0M$  háromszögben:

$$\bar{R}(l, s) = \bar{r}(s) + l \cdot \bar{\tau}(s) \quad (1)$$

ahol  $\bar{r} = \bar{r}(s)$  az alaphengeri csavarvonalon levő  $M_0$  pont helyvektora:

$s$  - az alaphenger csavarvonalának paramétere  
 $\bar{\tau}$  - az alaphengeri csavarvonal érintőjének egységvektora

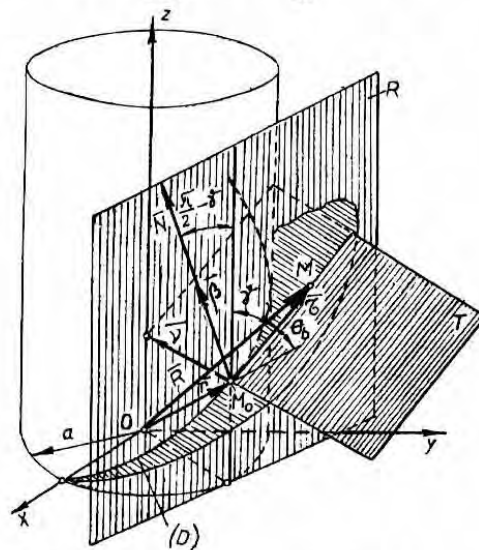
$l$  - az  $M$  és  $M_0$  pontok közötti távolság

A köszörűszerszám homloksíkjával történő megmunkálás geometriai feltétele az, hogy a szerszám forgási tengelye a felület normálisa irányában helyezkedjék el. A normális vektorképlete:

$$\bar{N} = \bar{R}_l \times \bar{R}_s \quad (2)$$

ahol

$$\bar{R}_l = \frac{\partial \bar{R}}{\partial l} \text{ és } \bar{R}_s = \frac{\partial \bar{R}}{\partial s} \quad (3)$$



1. ábra. Az evolvens csavarfelület származtatása

Mivel a vonalfelület vektoriális egyenlete

$$\bar{R}(l, s) = \bar{r}(s) + l \cdot \bar{\tau}(s) \quad (1')$$

következik, hogy

$$\frac{\partial \bar{R}}{\partial l} = \bar{\tau}; \quad \frac{\partial \bar{R}}{\partial s} = \frac{d\bar{r}}{ds} + l \cdot \frac{d\bar{\tau}}{ds} = \bar{\tau} + l \cdot K \cdot \bar{n} \quad (4)$$

(figyelembe vettük, hogy  $\frac{d\bar{r}}{ds} = \bar{\tau}$  és az első

$$\text{Frenet-képletet } \frac{d\bar{\tau}}{ds} = K \cdot \bar{n})$$

Deriválás után a Frenet féle triéder egységvektorai között fennálló összefüggések – az ún. Frenet képletek – felhasználásával következik

$$\bar{N} = \frac{\partial \bar{R}}{\partial l} \times \frac{\partial \bar{R}}{\partial s} = \bar{\tau} \times [\bar{\tau} + l \cdot K \cdot \bar{n}] = l \cdot K \cdot (\bar{\tau} \times \bar{n}) \quad (5)$$

$$\text{vagyis } \bar{N} = l \cdot K \cdot \bar{\beta}$$

ahol  $\bar{\beta}$  az alkotó görbe binormálisa, és  $K$  az alaphengeri csavarvonal görbülete.

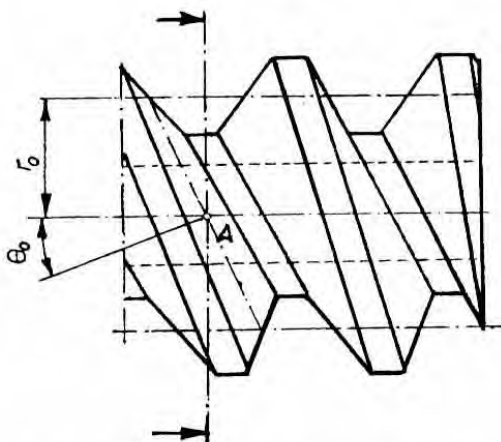
Ezek szerint az evolvens típusú csavarfelületek símitó megmunkálásánál az aktív homlokfelületű köszörűszerszám tengelyét az alaphengeren fekvő csavarvonal binormálisának irányában kell beállítani. A binormális merőleges a  $T$  símuló síkra (2. ábra).

### 3. A köszörűszerszám tengelyének beállítása

Gyakorlatilag a szerszámtengely az előbbieken ismertetett módon való beállítása (egy függőleges tengely irányú eltolás illetve elfordítás) nehezen valósítható meg, és emellett nem biztosíthatja a csavarfelület teljes szélességében történő megmunkálását.

Ezek a hátrányok kiküszöbölhető a szerszámtengely csupán két tengely körüli elfordításával.

A köszörűkorong homlokfelületével való megmunkálás azonban megköveteli, hogy a homlokfelület merőleges legyen az evolvens csavarfelület normálisára abban az  $A$  pontban, amelyben az  $r_o$  sugarú középhengeren húzott csavarvonal metszi a vízszintes síkot. (2. ábra)



2. ábra. A csavarfelület normálisa a középhengeri csavarvonal és a vízszintes sík metszéspontjában

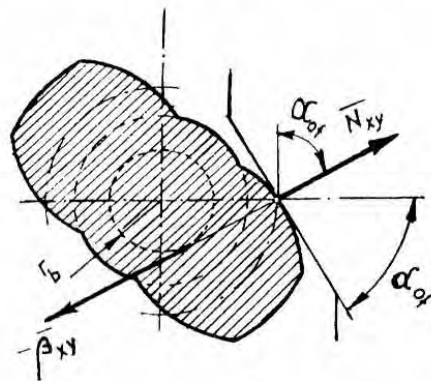
Az evolvens csavarfelület továbbra is az alaphengeri csavarvonal  $\bar{\tau}_b$  érintője által származtatott felületként értelmezve (3. ábra) az  $r_o$  sugarú középhengeri  $L_e^o$  csavarvonal paraméteres egyenletei a következők:

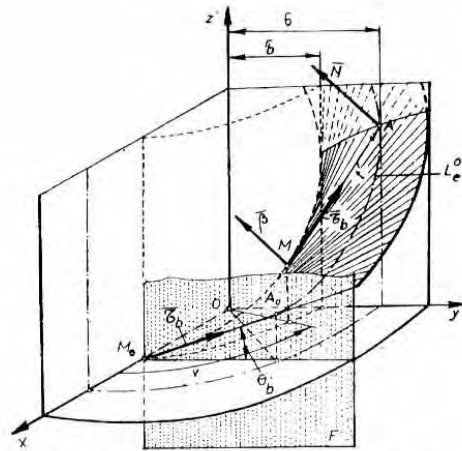
$$\begin{aligned} x &= r_b \cos v - \sqrt{r_o^2 - r_b^2} \sin v \\ y &= r_b \sin v + \sqrt{r_o^2 - r_b^2} \cos v \quad (6) \\ z &= \sqrt{r_o^2 - r_b^2} \operatorname{tg} \theta_b + r_o \operatorname{tg} \theta_0 v \end{aligned}$$

ahol  $r_b$  az alaphenger sugarát,  $\theta_b$  illetve  $\theta_0$  a csavarvonalak érintőinek  $XOY$  síkkal bezárt szögeit jelölik.

Az  $A$  pont koordinátáit, amelyben a fenti egyenletű csavarvonal metszi az  $x = 0$  függőleges síkot, a következőképpen határozhatjuk meg:

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = r_o \\ z = \sqrt{r_o^2 - r_b^2} \operatorname{tg} \theta_b + r_o \operatorname{tg} \theta_0 \operatorname{arctg} \frac{r_b}{\sqrt{r_o^2 - r_b^2}} \end{cases} \quad (7)$$





3. ábra. Az egyenes alkotó és a normálisok relatív helyzetei evolvens csavarfelületen

Az alaphenger csavarvonal egyenletei a következők:

$$\begin{cases} x = r_0 \cdot \cos t \\ y = r_0 \cdot \sin t \\ z = p \cdot t \end{cases}$$

Ennek binormálisa

$$\vec{\beta} = \frac{p \cdot \sin t \cdot \vec{i} - p \cdot \cos t \cdot \vec{j} + r_b \vec{k}}{\sqrt{p^2 + r_b^2}}$$

Ha

$$p = r_b \cdot \operatorname{tg} \theta_b \text{ és } \operatorname{tg} t = \frac{r_b}{\sqrt{r_0^2 - r_b^2}}$$

akkor az alaphenger csavarvonal binormálisának iránykoszinuszai

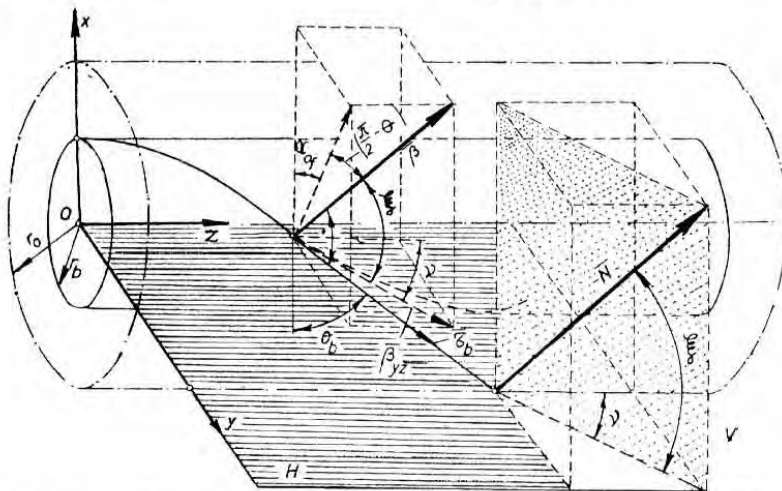
$$\cos \lambda_x = \frac{r_b}{r_0} \sin \theta_b$$

$$\cos \lambda_y = \frac{\sqrt{r_0^2 - r_b^2}}{r_0} \sin \theta_b \quad (8)$$

$$\cos \lambda_z = \cos \theta_b$$

Ezek a szögek egyértelműen meghatározzák a köszörűszerszám tengelyének helyzetét az  $xyz$  álló koordináta rendszerben.

A köszörűkorong tengelyének gyakorlati beállításához a  $\lambda_x$ ,  $\lambda_y$ ,  $\lambda_z$  szögek alapján meg kell határozni a vízszintes síkban a  $v$  forgatási szöveget, majd az  $e$  szöggel elfordított függőleges síkban a  $\xi$  beforgatási szöveget (4. ábra)



A  $\bar{\beta}$  binormális vetülete az  $yoz$  síkra:

$$\bar{\beta}_{xy} = -\sin\theta_b \frac{\sqrt{r_0^2 - r_b^2}}{r_0} \cdot \bar{j} + \cos\theta_b \cdot \bar{k} \quad (9)$$

Innen származtatható  $c$  vetület és az  $Oz$  tengely közötti szög koszinusza:

$$\cos v = \frac{\cos\theta_b}{\sqrt{\frac{r_0^2 - r_b^2}{r_0^2} \sin^2\theta_b + \cos^2\theta_b}} \quad (10)$$

ahol behelyettesítve az  $\frac{r_b}{r_0} = \frac{\text{tg}\theta_0}{\text{tg}\theta_b}$  arányt, az

egyszerűsítések után következik:

$$\cos v = \frac{\cos\theta_b}{\sqrt{1 - \text{tg}^2\theta_0 \cos^2\theta_b}} \quad (11)$$

Ha ismerjük a csavarfelület származtató fogaslécének  $\alpha_{0n}$  profilszögét, a [4]-ben megadott (1.119) összefüggés alapján:

$$\text{tg}\theta_b = \frac{\sqrt{\sin^2\theta_0 + \text{tg}^2\alpha_{0n}}}{\cos\theta_0} \quad (12)$$

Az utóbbi két képletből kiküszöbölve a  $\theta_b$ -t kapjuk:

$$\cos v = \frac{\cos\theta_0}{\sqrt{1 + \text{tg}^2\alpha_{0n} - \sin^2\theta_0}} \quad (13)$$

illetve

$$\text{tg} v = \frac{\text{tg}\alpha_{0n}}{\cos\theta_0} \quad (14)$$

A  $\xi$  szög, amellyel el kell forgatni a köszörűkorong tengelyét a  $V$  függőleges síkban, egyenlő a (8)-ban meghatározott binor-

mális és ennek az  $yoz$  síkra eső vetülete között bezárt szöggel.

A vektorok közötti szögek képletéből következik, hogy

$$\cos\xi = \frac{\sqrt{r_0^2 - r_b^2} \sin^2\theta_b}{r_0} \quad (15)$$

illetve:

$$\cos\xi = \sqrt{1 - \text{tg}^2\theta_0 \cos^2\theta_b} \quad (16)$$

Továbbá a (12) egyenletet felhasználva

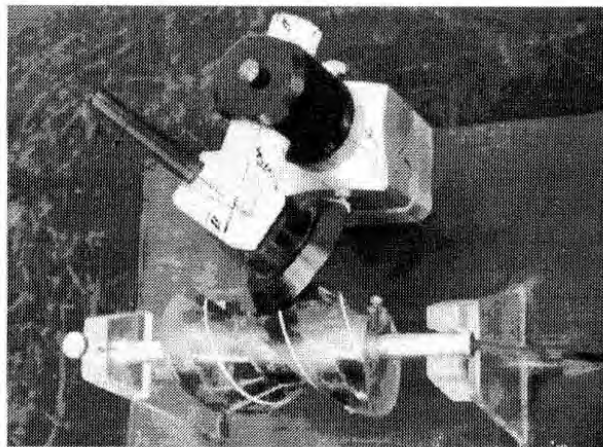
$$\sin\xi = \sin\theta_0 \cdot \cos\alpha_{0n} \quad (17)$$

A korszerű csigaköszörűgépeknél a szerszámtengely eleve egy  $\varepsilon$  szöget zár be a gyártandó csiga tengelyével. Amint az az 5. ábrán bemutatott maketten is látható, ez esetben a felületi normális irányában a szerszámtengely beállítása két elfordítással valósítható meg, éspedig:

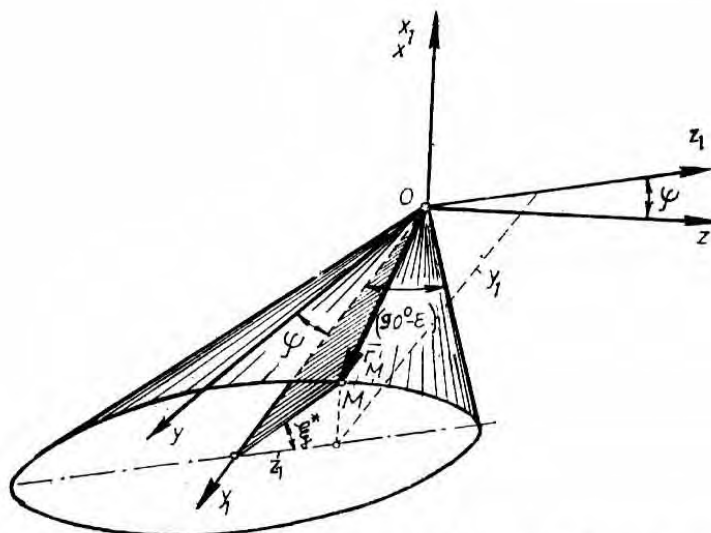
$\psi$  szöggel az I-I függőleges tengely körül, és  $\xi^*$ -vel a vízszintes tengely körül.

A vízszintes gépegység II-II tengely körüli elfordítása alatt a köszörűszerszám tengelye egy  $(90^\circ - \varepsilon)$  szögű kúpfelületet ír le (6. ábra).

Amint az előbbieken meghatároztuk, a szerszám tengelye párhuzamos a (10) képlet által definiált iránykoszinuszú binormállissal. Az ily módon beállított szerszámtengely helyzetének meghatározásához úgy választjuk az  $x_1y_1z_1$  koordinátarendszert, hogy az  $oy_1$  tengely egybeesik a kúpfelület tengelyével (II-II tengely az 5. ábrán) és ugyanakkor az  $ox$  (I-I jelű) tengely függőleges legyen.



5. ábra. Szerszámtengely beállítás egy függőleges és egy vízszintes tengely körüli elfordítással



6. ábra. A köszörűszerszám tengelye által leírt kúpfelület a szerzámtengely vízszintes tengely körüli forratása során.

Tehát a kúpfelület alkotója nem más, mint a köszörűszerszám tengelye. Az alkotón levő tetszőleges  $M$  pont helyvektorának egységvektora:

$$\bar{r}_M = \cos \varepsilon \cdot \sin \xi^* \cdot \bar{i} + (\sin \varepsilon \cdot \cos \psi - \cos \varepsilon \cdot \cos \xi^* \cdot \sin \psi) \cdot \bar{j} + (\sin \varepsilon \cdot \sin \psi + \cos \varepsilon \cdot \cos \xi^* \cdot \cos \psi) \cdot \bar{k}$$

(az Euler féle forgatási szögeket használtuk fel).

Mivel gyakorlatilag a köszörűszer-  
szám a munkadarab mögött helyezkedik el, az  $y$  tengely irányú egységvektort fordított elő-  
jellel vesszük. E vektor és a binormális páru-  
zamossági feltételéből következik:

$$\frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\operatorname{tg} \theta_b} \cdot \sin \theta_b = \cos \varepsilon \cdot \sin \xi^* \quad (19)$$

$$\sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \theta_0}{\operatorname{tg}^2 \theta_b}} \cdot \sin \theta_b = \sin \varepsilon \cdot \cos \psi - \cos \varepsilon \cdot \cos \xi^* \cdot \sin \psi \quad (20)$$

$$\cos \theta_b = \sin \varepsilon \cdot \sin \psi + \cos \varepsilon \cdot \cos \xi^* \cdot \cos \psi$$

Ha az első egyenletből a (12)-vel  
kiküszöböljük a  $\theta_b$  szöget:

$$\sin \xi^* = \frac{\sin \theta_0 \cdot \cos \alpha_{0n}}{\cos \varepsilon} \quad (21)$$

Az utolsó két összefüggésből kifejezve a  $\psi$ -t  
megkapjuk a szerzámtengelynek a függőle-  
ges tengely körüli elfordulásának a szögét:

$$\cos \psi = \frac{\cos \alpha_{0n} \cdot \cos \theta_0 \cdot \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \sin^2 \theta_0 \cdot \cos^2 \alpha_{0n}} + \sin \alpha_{0n} \cdot \sin \varepsilon}{1 - \sin^2 \theta_0 \cdot \cos^2 \alpha_{0n}} \quad (22)$$

A (21) és (22) egyenletek segítségével tehát  
pontosan meghatározhatók a szerzámtengely  
beállítási paraméterei, bármilyen felépítésű

szerszámgépben történő, tetszőleges evolvens  
típusú csavarfelület köszörülésének esetében.

---

## Irodalom

- [1.] **Gyenge Cs.**, *Duplex csigahajtások megmunkálásához szükséges lefejtőmarók pontosságának javítása*. Kandidátusi értekezés. Kolozsvári Műszaki Egyetem, 1979.
- [2.] **Liuksin, V.S.**, *Teorija vintovih poverhnosztej*. Moskva, Izdatelstvo Nauka, 1971.
- [3.] **Litvin L.F.**, *Theory of Gearing*. AVSCOM. Technical report NASA 88-C-035. Washington, 1989, New York 1991.
- [4.] **Maros D., Killmann V. és Rohonyi V.**, *Csigahajtások*, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1970.
- [5.] **Maros D.**, *Rectificarea melcilor evolventici*, *Metalurgia și Construcția de mașini*, Anul XV, nr. 2, 1963, pp. 140-144.

## Bega-hidak Temesvárott

### A nagy hídépítési program indítása

*Jancsó Árpád*

Temes Megyei Út- és Hidépítő Vállalat

A „gyárvárosi Velencé”-t megszüntető nagyszabású munkálatokat 1902-ben határozták el. Ezek elvégzésével a Bega vízszintjének 4 méteres csökkenésével számoltak. A megásandó új meder három új híd építését tette szükségessé. Az akadályok (a malmok vízhasználati jogának megváltása, a régi kincstári fatelep város általi megvétele) 1906-ra rendre elhárultak és végre megkezdhetők a nagy munkát. A nagyszabású műszaki művelet megtervezése körül az 1903-ban főmérnökké kinevezett Szilárd Emil fejtett ki ügybuzgó és eredményes tevékenységet (10). A 2.400 méter új meder kiásására, mely 1909-ben fejeződött be 300.000 koronát, mederburkolásra 100.000 koronát, a három új híd építésére pedig 300.000 koronát irányoztak elő (10).

A városi mérnökség már 1905. nyarán elkészítette hat híd átépítésének, illetve felépítésének általános tervét (Király-, Hunyadi-, Püspök-, Liget-úti-, Szénatéri-, valamint Malomtéri híd). „Ezen hidaknak a hajózási érdekekre való tekintettel oly magasságba kell jutni, hogy alattuk nehézség nélkül lehessen az üres hajóknak is közlekedni, de az útpályát is úgy kell megállapítani, hogy a közeli háztulajdonosok érdeke se szenvedjen. Mindezen követelmények figyelembevételére alapos felmérés és tervezés útján vált csak lehetségessé.” számol be a közgyűlésnek a város tanácsa (10).

1907. januárjában meghirdetik a versenypályázatot a hat híd felépítésére. Öt hidat teljesen újonnan kellett felépíteni, a Király-hídra pedig két alternatív ajánlatot kértek. Az első egy teljesen új híd építése a régi fahíd helyén, a második pedig a jelenlegi Hunyadi-híd vasfelszerkezetének felhasználásával. A hidak alakjára és elrendezésére, valamint anyagára nem tettek semmilyen megkötést. A hídpályák megadott magasságát nem tartották ajánlatosnak túllépni, csak csekély mértékkel, ha éppen elkerülhetetlen, de semmi

esetre sem „a környék szépészeti hatásának a rövására”. A megadott értékek csökkentését ajánlották inkább, „hogy a létesítendő hidak nemcsak díszére válhassanak az illető városrésznek, hanem egyúttal a csatlakozó utcaszakaszok kifogástalan rendezését is lehetővé tegyék” (10).

Különösen felhívták az ajánlattevők figyelmét, az „egyszerű de feltétlenül izléses kiképzésre miután az ajánlatok felülbírálatánál az esztetikai követelmények a gazdasági feltételekkel egyenlő mértékben fognak figyelembe vétetni” (11).

A hídpálya kocsióútjának burkolatára két megoldást ajánlottak. Vagy 13 cm magas bazaltlapokat, vagy pedig 5 cm kétrétegű aszfaltburkolatot. Mindkét esetben figyelembe kellett venni a villamos sínpálya elhelyezésének lehetőségét is. A talaj teherbíróképességét 4, 5 méterre a duzzasztott vízszint alatt 1,6 kg-ban határozták meg.

A hidak méretezésénél a keresk. min. 52559/I-1904. sz. rendeletét kellett figyelembe venni.

A megadott határidőig, azaz 1907. április 30-ig tizenhárom ajánlat érkezett a temesvári tanácshoz. A tizennegyedik ajánlat, Lenarduzzi János második ajánlata késett ugyan egy hónapot, de mivel semmi közös vonást nem mutatott a már beérkezett ajánlatokkal, ezt is figyelembe vették. Az ajánlattevők a következő vállalatok, illetve vállalkozók voltak: Schlick-féle vasöntöde Bp., Pohl György mérnök Bp., D'Angelo Domonkos Temesvár, Schiffer Miksa mérnök Bp., Magyar beton és vasbeton ép. vállalat (Wayss G.A. és Tsa.) Bp., Melocco Péter Bp., Szivattyú és Gépgyár Bp., Lenarduzzi János Bp., Kovács és Polgár Temesvár, Rauch és Fekete Bp., Osztrák-magyar államvasutak és Rauch-Fekete Bp., Danubius hajó és gépgyár Bp., valamint Lenarduzzi János második ajánlata (10). A városi mérnökség, miután alaposan áttanulmányozta a beérkezett tan-

veket, 1907. június 18-án elkészítette a harmincöt oldalas „Temesvár szab. kir. város területén építendő hidakra beérkezett ajánlatok véleményes ismertetését” (11). Ebben a kiemelten olvasmányos műszaki elemzésben „a különböző megoldások méltatását – az ajánlati feltételekhez híven – úgy műszaki, mint esztetikai és gazdasági szempontokból” „ejtették meg”.

A vasfelszerkezetű hidak magas áraik miatt azonnal kiestek a rostán. Az erős mezőnyben a Magy. beton és vasbeton ép. vállalat, Melocco Péter cége, valamint Kovács és Polgár maradt versenyben. Ezek ajánlatairól ez olvasható a véleményes ismertetésben „műszaki szempontból mind a háromnak egyenlő érték tulajdonítható. Mindegyikük teljesen indokolt szerkezetet ajánl, különbséget közöttük már nem az objektív megítélés, hanem csupán esetleges egyéni felfogás tehet. De ettől eltekintve mind a három ajánlattevő a feltételek értelmében oly teherpróba és jótállási kötelezettséget vállalnak el, melyek alkalmas fizetési módozatok folytán a város érdekeit minden eshetőséggel szemben biztosíthatják.

Esztetikai szempontból pedig épenséggel nem lehet a három között különbséget tenni” (11).

A három ajánlat között csupán a kivitelezés összegében volt tapasztalható különbség. Ennek alapján esett ki a versenyből a Kovács és Polgár vállalat.

A mérnökség figyelmét messzemenően figyelembe véve, Temesvár tanácsa meghozta döntését, miszerint a Malom-és Széna-téri hidak felépítésével a Magyar beton és vasbeton építési vállalatot, a Liget-úti híd megvalósításával pedig Melocco Péter cégét bízta meg. Előbbi eleinte csak mindhárom híd együttes felépítését akarta elvállalni, de a városi tanács képviselői jó diplomáciai érzéssel tárgyaltak és elérték, hogy a vállalatok megosztva építsék fel a három hidat. Az első szakaszban ugyanis csak az új csatornameder feletti hidakat szándékoztak felépíteni, mert egy év alatt túl nagy feladat és pénzügyi teher lett volna mind a hat híd felépítése (10).

### Liget-úti híd

A Liget-úti híd tervét az építési vállalat dr. Mihailich Győzővel készítette el. Habár az ajánlati feltételek szabad szárnyalást biztosítottak a tervező fantáziájának, a műszaki kívánalmak teljesítése csak kiváló tehetséggel és műszaki tudással, érzékkel megáldott tervezőnek sikerülhetett. Ilyen mérnök volt Mihailich Győző, a magyar hidépítés nagy alakja, akit Temesrékás adott az országnak és Európának. Az 1877. október 14-én született, később nagy hírnévre szert tevő professzor 1899-ben szerzett oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1906-tól magántanár. 1920-tól 37 éven keresztül a II. számú hidépítési tanszék vezetője. Az egyetem dékánja, kétszer választott rektora. A Magyar Tudományos Akadémia tagja. Nevéhez fűződik a magyar vasbetonépítés elméleti és gyakorlati megalapozása és továbbfejlesztése. Majdnem 60 esztendő telt el a nevelés, kutatás és tervezés szolgálatában. Emberi nagysága, mérnöki leleményessége és merészsége, alapos felkészültsége, ember-szeretete számos tisztelőt vonzott legendás alakja köré.

A Liget-úti híd terve Mihailich Győző első nagy munkája volt. A terv nagyszerűségére ráéreztek az ajánlatokat elbíráló temesvári műszakiak is. Véleményük szerint ez „merész ívhajlású ugyan, de teljesen indokolt megoldás, melyről azt hisszük, hogy a legtöbb szakférfiú helyesléssel fogunk találkozni, ha az összes beérkezett íves megoldás között műszaki szempontból legjobbnak minősítünk” (11).

Az idő bebizonyította, hogy igazuk volt, jól választottak. A megvalósult Liget-úti híd révén Temesvár bekerült a hidépítés történelemkönyvébe.

A tervet a budapesti Kereskedelmi Minisztérium 1908-ban hagyta jóvá.

A tervező a 38,42 méter nyílásba olyan kéttámaszú gerendát iktatott be, mely a közepén rendelkezésre álló magasságnak megfelelt (Gerber-tartó). A hídnak hét főbordája van, melyek 2-2 méterre vannak egymástól. Szintén két méterenként keresztbordák találhatók.

A híd építésekor korai fagyok köszöntek be a térségbe, melyek miatt a híd építését későbbre kellett halasztani.





*A Ligeti-úti hid*

leleményességét, kik nem hátráltak meg egykönnyen. Az állványzatra barakkot építettek, s ennek védelme alatt dolgozták be a betont (13). A híd szárazon épült, a Begát csak ennek elkészülte után terelték be az új medrébe. A hídba, mely korának leghosszabb vasbeton gerendahídja volt (14), 75 tonna vasat, 625 tonna vasbetont, a hídfőkbe 600 köbméter csömöszölt betont valamint 425 köbméter soványbetont építettek be (13). A próbaterhelést 1909. május 11-13. között tartották, kockakővel terhelve a hidat. A még azonnyomban átadott létesítmény ma is teljesíti feladatát. Az egyre nehezebb gépjárművek mellett öt villamosvonal mind nagyobb kocsijai sikongnak át rajta naponta, próbára téve teherbírását.

Különös gondot fordítottak a 15 méter széles híd művészi kialakítására. A feladatot a Szegeden született Körösi Albert műépítész vállalta el. Munkájának eredményeként Temesvár egy városképformáló jellegzetes építménnyel gazdagodott.

A nyolc lámpakart, melyek a hídfők pilonjait díszítik Vey János temesvári lakatosmester készítette 1 760 forintért.

A Ligeti-úti híd érdekessége még, hogy itt, valamint a vele egyidőben épített Malom-és Széna-téri hidaknál alkalmazták az akkori Magyarországon először a látható felületeken

műkőszerű burkoló betont a kedvezőbb esztétikai hatás elérésének céljából (14). Ez a 4-5 cm vastagságú réteg egyidőben készült a szerkezeti betonnal úgy, hogy a kétféle betont fogantyúval ellátott bádoglemezek választották el egymástól, melyeket később könnyen ki lehetett húzni. A műkő összetétele a következő volt: 4 rész portlandcement, 2 rész kőpor, 9 rész zúzalék 4 mm szemcse-nagyságig, 3 rész 4-7 mm szemcse-nagyságú zúzalék. A kőpor és zúzalék fehér mészkőből készült.

A hídon már rég nem végeztek semmilyen fenntartási munkálatot. Megerősítése vagy átépítése előbb-utóbb napirendre fog kerülni, hisz a hidaknak is megvan a maguk élete, rajtuk is nyomot hagy az idő vasfoga. Már most kell olyan megoldást keresni és találni, mely lehetővé teszi, hogy a temesvári városkép e fontos, jellegzetes eleme ne jusson a Malom-téri és a Széna-téri híd szomorú sorsára. Kár lenne érte. Megoldásra vár a felvízoldalon, a híd mellé biggyesztett hatalmas csővezeték tartó rozsdás vastraverz áthelyezése vagy meder alá való bújtatása. A csúnya áthidalás kirívó példája annak, hogyan lehet egy műremeket, egy gyönyörű városképet meggondolatlanul részben tönkretenni.



*A Püspök-híd*

### **Püspök-híd**

A Püspök-híd a város központját köti össze az Erzsébetvárossal. Tervét szintén ifj. Lád Károly készítette el. E híd újjáépítését a városatyák beillesztették az új, széles Püspök-út kiépítésének egységes tervébe. A híd ezért különleges figyelmet kapott, műépítészeti terveit a kor kiváló építésze és szobrászára, Strobl Alajosra szerették volna bízni. Strobl, elfoglaltságára való tekintettel nem vállalta a munkát. A városi tanács küldöttsége ezért aztán, Strobl javaslatára felkereste Gerster Kálmán szintén budapesti műépítész, aki igennel felelt a városi tanács felkérésére. Gersterre azért esett a városatyák választása, mert a „híd fődíszét ugyanis a csanádi egyházmegye 4 kiváló püspökének szobra fogja képezni s erre való tekintettel látszott célszerűnek Gerster műépítész megbízatása, mint aki Strobl szobrásztanárral együtt már számos kiváló olyan építményt tervezett, melyben építészeti és szobrászati követelmények egyidejűleg a legharmonikusabb módon elégítették ki” (10).

A Püspök-híd Temesvár egyik legdíszesebb hídja kellett volna legyen, hídfőin a püspökszobrokkal. A négy kiváló egyházi

első, szent püspöke; Lonovics József, az újabb csanádi püspökök sorában kimagasló és Temesvár történetében is „tündöklő hazafiú”; Desseffy Sándor, aki a város „közhasznú intézményei javára szóló végrendekezése által a város közönségét örök hála kötelezte”, valamint Kőszeghy László, „kiről a Püspök-híd és Püspök-út elnevezésüket nyerték s ki a csanádegyházmegyének hosszú időn át áldásosan tevékenykedett kormányzója volt” (10).

Az építési munkálatok 1912. június 12-én indultak öt kubikussal. A hideg tél késedelmet okozott, mivel a munkával le kellett állni. 1913. okt. 7-én Szedlacek László kir. mérnök jelenlétében megtartották a próbaterhelést, mely az építési naplót idézve „igen jó eredménnyel fejeztetett be” (11).

A híd házi kezelésben készült, csak a díszítő és felszerelő munkákat adták vállalatba. A műközfelületek megmunkálását, valamint a szegélykövek szállítását a temesvári Tunner Kornél végezte, a híd műkörlátját Heine Alajos készítette. A lakatosmunkákat, a szép, díszes lámpatartókat Vey János műhelye kivitelezte, szintén Temesváron.

1913. december 9-én lezárták, majd megkezdték a régi fahíd lebontását. „Vele Temesvár egyik legrégebbi hidja és utolsó faszervezetű Bega-hídja” tűnt el – írja a Városi Közlöny lelkiismeretes krónikása, Geml József városi főjegyző (10).

A szobrok hiánya és az üres alapzatok kedvezőtlen hatásának bemutatására Telbisz Károly, Temesvár legendás polgármestere hídszemplére hívta a törvényhatósági bizottságot. Azonnyomban elhatározott a négy püspökszobor felállítását. A nagyméretű műalkotásokat ruszkaicai márványból vették volna, és pedig

- Szent Gellért szobrát Strobl Alajos,
- Lonovics József püspökét Jankovics

Gyula,

- Dessewffy Sándorét Kallós Ede,
- Kőszeghy Lászlót pedig Kiss György.

1914-ben elkészültek a szobrok vázlatai, a szobrok pedig „1915. aug. 20-ig lesznek a hídon felállítandók, feltéve, hogy ami mindnyájunk hű óhaját képezi – a most dúló világrengető harcok, meghozva fegyvereink győzelmét, időközben elcsendesülnek s a nyugodt munkálkodást biztosító béke falaink közé visszatér” – olvasható a Városi Közlöny hasábjain (10).

A békére még várni kellett, s amikor megérkezett diktátumszárnyon jött. A győztes utódállamnak nem volt szüksége az ezeréves katolikus püspökség kiváló főpapjainak szobraira. Az alapzatok ma is üresen állnak, de a híd hősiiesen bírja a robbanásszerűen megnövekedett forgalmat, s ma is díszére válik a városnak. A hetvenes években a 15 méter széles hidat ki akarták szélesíteni, az útpályát négy-sávossítani. A tervező olyan megoldást választott, mely megtartotta volna a híd eredeti kinézését. A terv pénzhiány miatt nem valósult meg.

### Hunyadi-híd

A Józsefvárost a Belvárossal összekötő Hunyadi-hídat is ifj. Lád Károly tervezte.

A már akkor is nagy forgalomra való tekintettel a kocsipálya szélességét 12,0 méterben határozta meg. A két, egyenként 2,50 méteres járdákkal egyetemben ez a híd lett a város legszélesebb hídja. A Gerber-

tartós szerkezetű híd három nyílású, a következő hosszúsággal: 10,00+35,50+10,00 méter. Összhossza 56,50 méter. A közepen befüggesztett tartó, akárcsak a Püspök-hídnál, újszerű, eredeti megoldás útján támaszkodik a konzolvégekre. Jobb ferdeségű vasbeton híd.

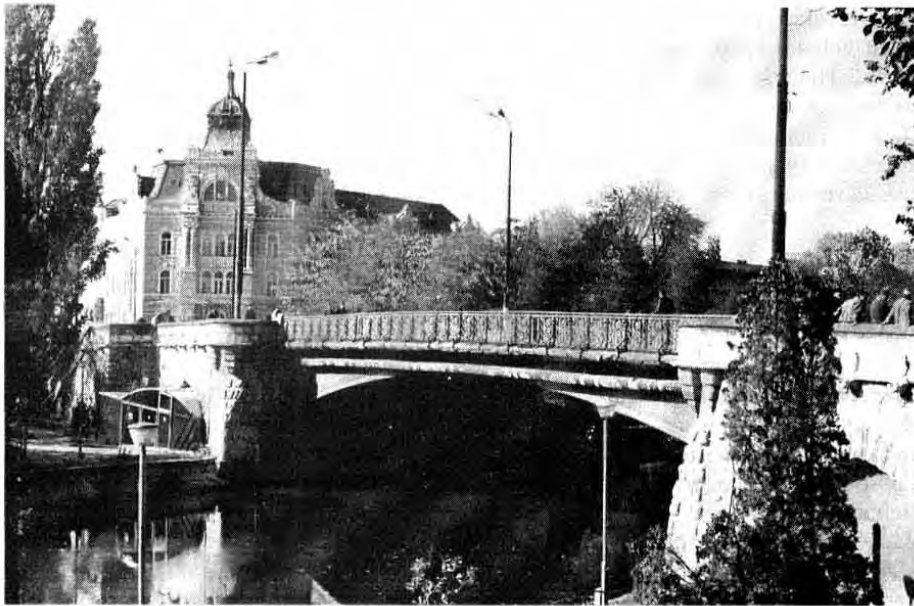
Kivitelezésére 180 000 koronát szántak. Az előbbieken már említett jegyzőkönyv szerint „a város ezen legélenkebb pontján egy monumentális és magas művészi színvonalon álló és a város díszére szolgáló építmény létesítéséről” döntöttek, ezért elhatározták, hogy e „művészi probléma megoldása iránt hazánk legkiválóbb művészeinek érdeklődését felkelteni, s közreműködésüket e célra erkölcsi és anyagi jutalom kilátásba helyezésével megnyerni” szükséges. A városi tanácsosok megszavazták tehát a Hunyadi-híd művészi kiképzésére javasolt nyilvános pályázat kiírását. Az első díj 2 000, a második díj pedig 1 000 korona volt, s a nyertesnek, kinek tervét kivitelezésre elfogadják felajánlották a munkák művészi kivitelezését, valamint a részlettervek kidolgozását 5 000 korona tiszteletdíj mellett. A versenypályázat határidejét 1912. június 31-re tűzték ki.

A nagyszerű lehetőség, valamint a szép díj számos versenyzőt vonzott. A kor személyiségeiből nagy gonddal összeválogatott nagylétszámú bíráló bizottság 21 beérkezett pályamű között válogathatott.

A győztes a budapesti Wachtel Elemér Holló III. jellegű pályaműve lett, melyet kivételre alkalmasnak találtak, megbízva a műépítést a részletes tervek kidolgozásával is.

Amint a mellékelt tervrajzon is látható, a művész valóban monumentális külsőt álmodott akkoriban legforgalmasabb hidunknak. A hídfőket gyönyörű szobrok szegélyezték volna, a gótikus galéria a tornyokkal középkori hangulatot árasztott volna felidézve a nagy Hunyadi korát, kinek lovasszobrát is a híd együttesébe komponálta a műépítész.

Ezt a hidat is saját kezelésben kellett felépítenie a városnak. Az első lépés a régi vashíd lebontása és szerkezetének átszállítása volt a Nap utca szomszédságába. A műveletet a szab. osztr.-magyar vasúttársaság el is végezte 1913. április-májusában. Következett a régi hídfők lebontása, majd még szintén ebben az évben leöntötték az alapokat. Télien



*A Hunyadi-híd*

szünetelt a munka. 1914-ben már a vasbetétek szerelését kezdték meg, amikor királyunk megfogalmazta híres kiáltványát népeihez, miszerint mindent meggondolt, mindent megfontolt... A katonavonatok elvitték a hidépítő munkásokat is. Már nem volt ki megkeverje, nem volt ki a betont öntse. A munkák újraindítása, majd újabb szünetek jellemezték e hid építését. Még ez év decemberében sikerült befejezni a tulajdonképpeni szerkezetet és 1915 tavaszán elbontották a mintaállványokat. Decemberben „igen kedvező eredménnyel” megtartották a próbaterhelést. 1916-ban, a villamosvágányok végleges elhelyezése és a pálya aszfaltburkolatának elkészülte után „a híd olyan állapotba jutott, hogy a teljes forgalom bármely pillanatban reá lesz terelhető, míhelyt a hozzávezető feljárók elkészülnek” (10).

A marosvölgyi Odvas helység kőbányájából beszerzett köveket Tunner Kornél műhelyében faragták. Az utolsó csak a háború befejezése után kerültek helyükre. A gyönyörű, kovácsoltvas hídkorlátot már 1916 áprilisában szerelte fel a Klein R. utóda temesvári lakatoscég.

Habár a kőfaragó munkákhoz még hadifoglyokat is igényelt a város (kapott is 12 elszegényezett), a híd csak a háború után

készült el teljesen, illetve máig sincs kész ügy, ahogyan azt tervezője megálmodta. Hosszú szünet után, 1931-ben az utolsó faragott kövek is a helyükre kerültek, de a tornyokról, galériáról valamint a szobrokról végleg lemondtak.

A Hunyadi-híd így is a város egyik legszebb hídja, s korosodó gerincével hőiesen biztosítja az egymást követő villamosok és gépkocsik átkelését a Begán.

A Püspök- valamint a Hunyadi-híd érdekessége, hogy mindkettő csuklószerkezete eltér a korábban alkalmazott megoldásoktól. A konzolrész főtartóinak végeiből lapátszerű nyúlványok állanak ki, amelyek lemezrészlein nyugszanak a közbeiktatott hídrész csaknem teljes magasságú főtartói. Ezzel a megoldással ifj. Lád Károly elérte, hogy a befüggesztett hídrész, valamint a konzolrészek főtartóinak magassága lényegesen ne csökkenjen (14).

A régi vashidat háromévi kényszerpihenő után, 1917-ben építették fel új helyén, a Nap és Török utcák között. Sajnos túl magasra. A háztulajdonosok nem egyeztek bele a feljárók építésébe, így e híd a mai napig csak a gyalogosforgalmat szolgálja.

A Pacsirta utcai híd, melynek szerkezete azonos lett volna a Püspök hídéval, sohasem épült meg. Hiányát ma is érzi a város közlekedése. Sovány vigasz, hogy 1949-ben, Polen János tervei szerint felépült egy kecses ívhíd, de csak a gyalogosforgalom számára.

A század elején tehát Temesvár hét új

Bega-híddal lett gazdagabb, melyek közül négy ma is „állja a sarat” (Hunyadi-, Liget-úti-, Püspök- és Nap-utcai híd). A nagy hídépítési program közben a mérnökség nem feledkezhetett meg a meglévő hidakról sem, melyeken útburkolatcserét, mázolásokat, kisebb javításokat eszközölt.

#### Irodalom

1. Dr. Berkeszi István; Temesvár szab. kir. város kis monográfiája, Temesvár, 1900
2. Dr. Borovszky Samu szerkesztésében; Temes vármegye és Temesvár szab. kir. város monográfiája, é. n.
3. Hermann Egyed: Budáról Belgrádba 1663-ban. – Ottendorff Henrik képes útleírása. Pécs, 1943.
4. Wathay Ferencz; Énekeskönyv-ének idézése több műben
5. Franz Engelmann; Temesvar und seine Brücken, Neuer Weg Kalender, Bukarest, 1972
6. Francesco Grisellini: Încercare de istorie politică și naturală a Banatului Timișoarei – trad. de Costin Feneșan, Timișoara, 1984.
7. Johann N. Preyer; Monographie der königlichen Freistadt Temesvár, Temesvár, 1853
8. Dr. Anton Peter Petri; Biographisches Lexikon des Banater Deutschtums, Th. Breit Druck+Verlag GmbH, Marquartstein, 1992
9. Magyar Országos Levéltár; T 60 No.30, No. 61
10. Városi Közlöny, Hivatalos folyóirat. Kiadja a városi tanács. Temesvár, 1898-1917
11. Temesvári Városi Útígazgatóság Archivuma, Temesvár
12. Josef Geml; Alt-Temesvar im letzten Halbjahrhundert 1870-1920, Temesvár, 1920
13. Mihailich Győző; Die Parkassenbrücke in Temesvár, Beton und Eisen, 1909
14. Dr. Mihailich Győző, Dr. Haviár Győző; A vasbetonépítés kezdete és első létesítményei Magyarországon, Budapest, 1966
15. Monitorul Municipiului Timișoara, 1924-1948, Temesvár
16. Jancsó Árpád; Temesvári hidak krónikája, Temesvár, 1994 (kézirat)
17. Jancsó Árpád; Timișoara – Cronica podurilor, 1994 (kézirat)
18. Jancsó Árpád; Temesvár hídjai, Közlekedésépítés- és mélyépítéstudományi szemle, Budapest, 1995. szeptember

# Mikroprocesszoros váltakozó áramú teljesítményszabályozás

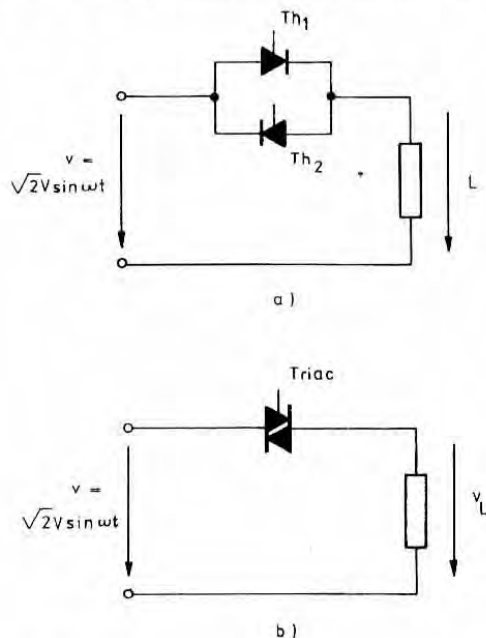
Kaucsár Márton

Izotóp és Molekuláris Technológiai Kutató Intézet (ITIM) – Kolozsvár

A bemutatásra kerülő mikroprocesszoros váltakozó áramú teljesítményszabályozás teljes félhullámú vezérlésen alapszik. A számelmélettel kidolgozott vezérlési algoritmus a terhelésen fellépő alacsonyfrekvenciás lüktetést minimumra csökkenti a diszkrét jellegű vezérlési jelleggörbe lehető legnagyobb számú kvantálási fokozata mellett.

## 1. Bevezetés

A váltakozó áramú teljesítményszabályozásnál a félvezetős kapcsolóelem tirisztor, triák, teljesítmény MOSFET vagy akár IGBT (szigetelt kapus bipoláris tranzisztor) is lehet. Ezek a hálózati feszültséget periodikus intervallumokban kapcsolják a terhelésre. A teljesítményt a ki- és bekapcsolási intervallumok arányával vezérlik. Nagyteljesítményű berendezéseknél majdnem kizárólag tirisztorokat vagy triákokat használnak (1. ábra). A továbbiakban azt a sajátos esetet tárgyaljuk, amelynél a terhelés tisztán ellenállás jellegű, de az elv kiterjeszthető inductív terhelésre is.



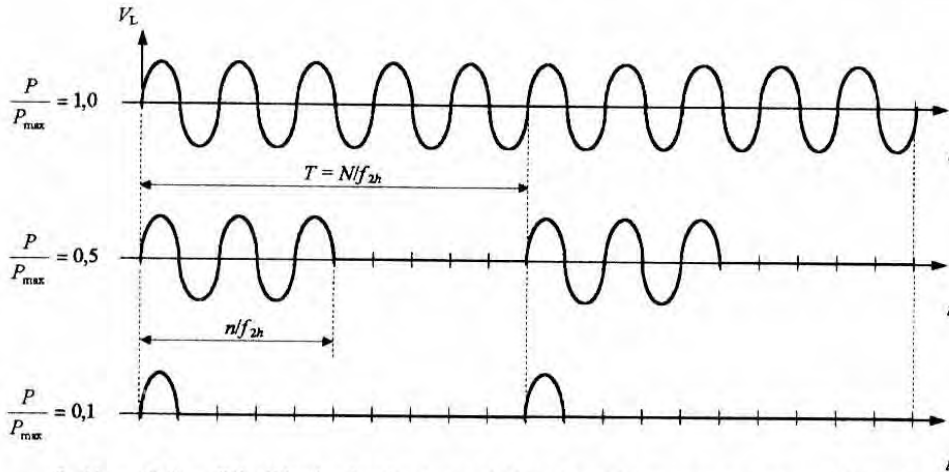
1. ábra. Egyfázisú, váltakozóáramú, tirisztoros (a) és triákos (b) szaggató hatásos-

Két alapvető vezérlési módszert különböztünk meg: fázisvezérlést és teljes félhullámú vezérlést. A fázisvezérlés esetében a teljesítménykapcsoló bekapcsolásakor létrejövő nagyon meredek feszültségugrás széles frekvenciaspektrumú zajt hoz létre. A magasabb felharmonikusok rádiófrekvenciás tartományba kerülnek és még a távolabbi rádióvevőkészülékek vagy berendezések működését is zavarhatják. Rádiófrekvenciás szűrőkkel a hálózatba jutó zavarjel csökkenthető, de teljesen nem küszöbölhető ki.

A teljes félhullámú vezérlésnél a kapcsolóelemet közvetlenül a hálózati feszültség nullaátmenete után kapcsoljuk be és a további félperiódus alatt vezet. Nem kell számolnunk meredek feszültségugrással, a rádiófrekvenciás zavarjel gyakorlatilag teljesen elhanyagolható és emiatt a fázisvezérlésre jellemző költséges zavaroszűrőkre sincs szükség. A teljes félhullámú teljesítményszabályozás elve abban áll, hogy egy adott számú félperiódusból vagy akár teljes periódusból álló időintervallumban, amelyet vezérlési periódusnak nevezünk, a terhelésre jutó félhullámok vagy akár teljes hullámok számát megfelelőképpen változtatjuk. Az egyik ilyen típusú vezérlési módszernél a kapcsolóelemek az  $N$  félperiódusból álló  $T$  vezérlési periódusban csak  $n \leq N$  egymást követő félperiódus alatt vezetnek (2. ábra). A lineáris vezérlési jelleggörbe diszkrét jellegű,  $N$  kvantálási fokozattal. A félhullámok kompakt csoportja és a közöttük levő viszonylag elég hosszú szünet miatt a terhelés által működtetett berendezés kimenő jellemzője (hőmérséklet, fény, elmozdulás) erősen lüktető jellegű lehet. A lüktetés mértékét Fourier-analízissel határozhatjuk meg. Annál kisebb lüktetést kapunk, minél nagyobb a be-

sebb a  $T$  vezérlési periódus. Az utóbbi csökkenthető, de sajnos, a vezérlési jellegörbe kvantálási fokozatainak száma is csökken, ami rontja a szabályozás finomságát. A lük-

tetést a vezérlési periódus csökkentése nélkül csak egy új, az alábbiakban tárgyalt módszerrel csökkenthetjük.



2. ábra. Teljes félhullámú teljesítményszabályozás ciklikus kihagyásos vezérléssel

## 2. Vezérlési elv

A teljes félhullámú vezérlésnél fellépő alacsonyfrekvenciás lüktetést csak úgy csökkenthetjük a vezérlési periódus kisebbitése nélkül, hogy az adott vezérlési periódusban levő félhullámok kompakt csoportját úgy bontjuk fel, hogy azok időben minél egyenletesebben helyezkedjenek el (3. ábra). Ezzel a terhelésre jutó teljesítmény Fourier sorában levő alapharmonikus amplitúdója csökken és ennek következményeként a lüktetés mértéke is. A félhullámok eloszlását a hálózati feszültség nullaátmeneteivel szinkronban levő vezérlőimpulzusok határozzák meg, amelyek leszámítva a félperiódusnak megfelelő kvantálási intervallumot, egyenletes eloszlásúak kell legyenek. Ezt úgy érhetjük el, hogy a vezérlőimpulzusokat átlagos ismétlődési sebességvezérléssel (pulse-rate algorithms, [5]) generáljuk. Az impulzusok átlagos ismétlődési sebessége alatt azt az  $f^*$  hányadost értjük, amelyet úgy kapunk, hogy egy adott  $T$  időintervallumban levő impulzusok  $n$  számát az intervallummal osztjuk:

$$f^* = \frac{n}{T} \quad (1)$$

Frekvencia helyett, átlagos ismétlődési se-

szültség nullaátmeneteivel szinkronban levő vezérlőimpulzusok közötti intervallum nem minden helyzetben azonos, ugyanis egy félperiódusnak megfelelő intervallum eltérés lehet közöttük. Tekintve, hogy minden egyes vezérlőimpulzus egy félhullámot juttat a terhelésre, a vezetési félhullámok átlagos ismétlődési sebességét a vezérlőimpulzusok átlagos ismétlődési sebessége határozza meg. A teljesítmény középértéke arányos a vezetési félhullámok átlagos ismétlődési sebességének és a hálózati frekvencia kétszeresének  $x$  hányadosával:

$$P = x P_{\max} \quad (2)$$

ahol:

$$x = \frac{f^*}{f_{2h}} \quad (3)$$

a teljesítményt meghatározó változó,

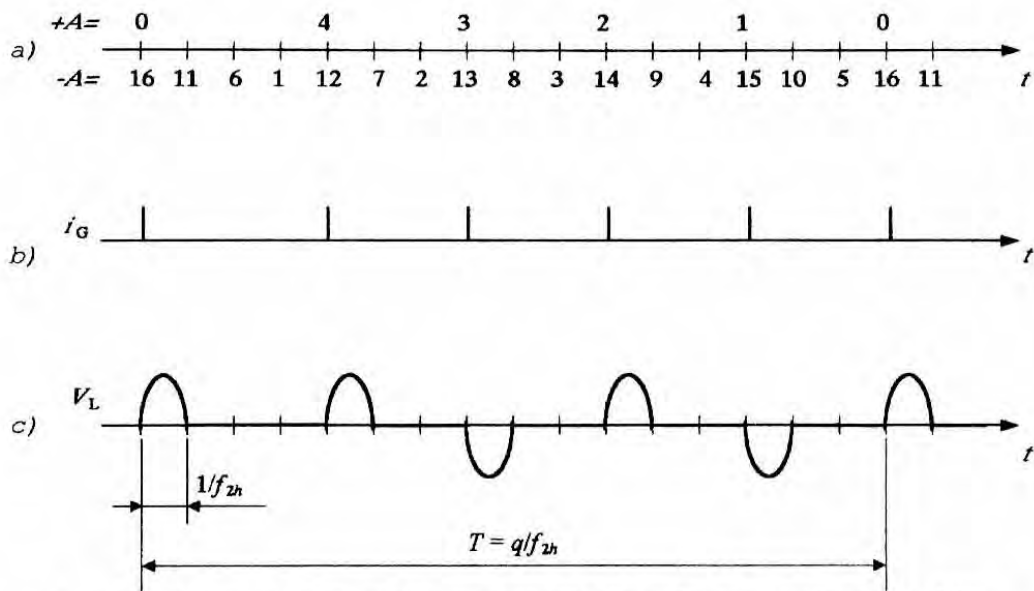
$$f_{2h} = 2f_h$$

a hálózati frekvencia kétszerese és

$$P_{\max} = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R_L}$$

a terhelésre jutó teljesítmény teljes kivezérlésnél.

Mivel  $f^* \leq f_{2h}$ , a teljesítményt meghatá-



3. ábra. Teljes félhullámú teljesítményszabályozás akkumulátoros szorzással ( $p/q=5/16$ )  
a) az akkumulátor tartalma a hálózat nullaátmeneteinél; b) vezérlőimpulzusok; c) a terhelésen fellépő feszültség hullámalakja

Az analóg rendszerekben használt vezérlőáramkörök működése az ún. ismétlődési sebességszinkronizáláson (pulse-rate synchronization) alapszik és a teljesítményt vezérlő analóg jelet vagy feszültség-frekvencia [2, 3], vagy pedig delta-szigma típusú átalakítóval [8] alakítják át.

Digitális rendszerekben a vezérlőáramkör működése ismétlődési sebességszorzáson (pulse-rate multiplication) alapszik. Számláló- és akkumulátor regiszteres sebességszorzási algoritmusokat különböztetünk meg. A hálózati feszültség nullaátmeneteivel szinkronban generált impulzusok átlagos ismétlődési sebessége:

$$f^* = \frac{p}{q} f_{2h} \quad (4)$$

ahol  $p$  valamint  $q$  nemnegatív egész számok és  $p \leq q$ . Az  $x$  változót a (3) és (4) összefüggésekből kapjuk meg:

$$x = \frac{p}{q} \quad (5)$$

Így a teljesítmény:

$$P = \frac{p}{q} P_{Max} \quad (6)$$

A mikroprocesszorok széleskörű elterjedése előtt számlálós szorzást (counter pulse-rate multiplication) alkalmaztak [7]. Ez két tekintetben volt hátrányos. Bizonyos teljesítményfokokozatok esetében, a terhelésre kapcsolt félhullámok időbeni eloszlása még az egy félperiódus által meghatározott kvantálási intervallumot leszámítva sem egyenletes. Másik hátránya, hogy az adott  $m$ -bités számláló meghatározza a  $q$  nevezőt, amely csak a  $q=2^m$  értékű lehet.

A számlálós szorzó hátrányait az akkumulátoros ismétlődési sebességszorzás (accumulator pulse-rate multiplication) kiszöböli ki [5]. Ez a vezérlési algoritmusunk alapvető része és csak a mikroprocesszorok megjelenésével vált előnyössé. Az akkumulátoros ismétlődési sebességszorzás szerint a mikroprocesszor a hálózati feszültség minden egyes nullaátmeneténél:

$$A := A + p \quad (7)$$

összeadást hajt végre és ha az eredmény egy nemnegatív szám, vagyis ha  $A \geq 0$ , akkor közvetlen ezután, ugyanennél a nullaátmenetnél:

$$A := A - q \quad (8)$$



kivonást is elvégez. Kapcsolóelemvezérlő impulzus csak az utóbbi esetben generálódik, vagyis egy kivonási művelet után. A vezérlőimpulzusok időbeni disztribúciója, a félperiódusnak megfelelő kvantálási intervallum határán belül egyenletes (3. ábra). A legyszerűbb szabályozási módszernél a  $q$  nevező állandó és a teljesítmény a  $p$  számláló  $[0, q]$  intervallumon belüli változtatásával vezérelhetjük. Az  $x$  változó  $1+q$  különböző diszkrét értéket vehet fel. A diszkrét vezérlési karakterisztika

$$Q_1 = 1 + q \quad (9)$$

kvantálási fokozattal rendelkezik. Minél nagyobb a  $q$  nevező, annál finomabb a szabályozás mértéke és annál kisebb a teljesítmény Fourier sorában levő alapharmonikus frekvenciája. Az utóbbi csökkentése a berendezés kimenő jellemzőjének lüktetését növeli. Ezért a nevező egy bizonyos határon túl nem növelhető. Az alapharmonikus frekvenciáját a félhullám-szekvencia  $T$  periódusának reciprok értéke adja meg. A hullámalakok tanulmányozásából megállapítható, hogy a fellépő legnagyobb félhullám-szekvencia periódus  $q$  számú félperiódusból áll:

$$T = q \frac{1}{f_{2h}} \quad (10)$$

Bármely berendezésnél megállapítható az a  $T_{\max}$  megengedhető legnagyobb félhullám-szekvencia periódus, amelynél az alapharmonikus frekvenciája még nem csökkent olyan érték alá, melynél a lüktetés nagysága már zavaró lenne. A fenti összefüggés alapján kiszámítható a megengedett legnagyobb  $q$  nevező:

$$q_{\max} = T_{\max} f_{2h} \quad (11)$$

és (9)-ből pedig  $Q_{1\max}$ , az elérhető legnagyobb számú kvantálási fokozat. Az algoritmus másik részével a fentini lényegesen több kvantálási fokozatot valósíthatunk meg. Figyelembe vesszük az összes kimaradó szorzóhányadosokat, az olyan nem redukálható  $p/q$  törtékből származókat is, amelyeknél  $q < q_{\max}$ ,  $q$  és  $q_{\max}$  relatív prímekek. A számelmélet szerint, ennek a követelménynek eleget tevő összes  $p/q$  tört egy Farey-sorozatot képez [4], [8]. Ez egy olyan redukált törtszámokból álló sorozat, amelyben az ún. Farey-törtek nagyság szerinti sorrendben szerelnének és a

nevezőjük nem nagyobb a sorozat rendjét képviselő  $N$  számnál (1. táblázat).

A vezérlés alatt fellépő legnagyobb félhullám-szekvencia periódust a Farey-sorozat rendje határozza meg, amely a lüktetési követelmények szerint:

$$N \leq q_{\max} \quad (12)$$

A kvantálási fokozatok száma egyenlő a Farey-sorozat elemeinek számával:

$$Q_F = 1 + \sum_{i=1}^N \varphi(i) \quad (13)$$

ahol  $\varphi(i)$  az Euler-féle  $\varphi$  függvény, amely az  $i$ -nél nem nagyobb, de  $i$ -hez relatív prim pozitív egészek számával egyenlő.

A Farey-sorozatot használó és kizárólag csak a számláló változtatásán alapuló vezérlés közötti összehasonlítást azonos félhullám-szekvencia periódusnál a 2. táblázat foglalja össze. Láthatjuk, hogy a kvantálási szintek  $Q_F/Q_1$  hányadosa az  $m$ -bit-es számábrázolással lényegesen növekszik.

$N$	A Farey-sorozat elemei					
1	$\frac{0}{1}$					$\frac{1}{1}$
2	$\frac{0}{1}$		$\frac{1}{2}$			$\frac{1}{1}$
3	$\frac{0}{1}$		$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{1}$
4	$\frac{0}{1}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$

1. táblázat. Az első négy Farey-sorozat

$m$	$Q_1 = 1 + q$	$Q_F = 1 + \sum_{i=1}^N \varphi(i)$	$\frac{Q_F}{Q_1}$
4	8	19	2,4
5	16	73	4,6
6	32	297	9,3
7	64	1217	19,0
8	128	4961	38,8

2. táblázat. Vezérlési jellegörbe kvantálási fokozatainak száma a teljesítményt meghatározó  $x$  változó  $m$ -bit szóhosszúságának függvényében az  $N = q = 2^{m-1}$  sajátos esetben.

Digitális rendszerek esetében, a teljesítményt meghatározó  $x$  változó egy  $m$ -bit-es szám.

$$x = b_{m-1}2^0 + b_{m-1}2^{-1} + b_{m-1}2^{-2} + \dots + b_{m-1}2^{-(m-2)} + b_{m-1}2^{-(m-1)} \quad (14)$$

amely törtalakban is kifejezhető:

$$x = \frac{X}{X_M} \quad (15)$$

ahol  $X$  és  $X_M$  egész számok:

$$X = b_{m-1}2^{m-1} + b_{m-2}2^{m-2} + b_{m-3}2^{m-3} + \dots + b_12^1 + b_02^0 \quad (16)$$

$$X_M = 2^{m-1} \quad (17)$$

és  $X \leq X_M$ .

Az  $X$  bináris számmal úgy vezérelhető az összes Farey-törtnek megfelelő diszkrét teljesítményszint, ha:

$$N < X_M \quad (18)$$

A vezérlés második feladata az  $N$ -edrendű Farey-sorozat azon  $p/q$  ( $q \leq N$ ) elemének a megkeresése, amely legjobban megközelíti az (5) összefüggés szerinti  $x$ -et. A Farey-sorozat rendjét, amint láttuk a terhelésen fellépő lüktetés és a szabályozás finomsága (a vezérlési jellegörbe kvantálási szintjeinek száma) közötti kompromisszum alapján határozzuk meg.

Bármely racionális szám, akár  $x$ , kifejezhető egy véges egyszerű láncörttel:

$$x = a_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \dots + \frac{1}{a_i + \dots + \frac{1}{a_n}}}} \quad (19)$$

amelyben  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  pozitív egész számokat láncört-jegyeknek nevezünk. A fenti láncörtet a rövideg kedvéért szimbolikusan is szokták jelölni:

$$x = \langle a_0; a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \rangle \quad (20)$$

A láncört-jegyeket euklideszi algoritmussal kapjuk meg, amelyet az  $x$ -et kifejező  $X/X_M$  tört számlálójára és nevezőjére alkalmazunk. Ez tulajdonképpen egy maradékos osztás:

$$\frac{r_{i-1}}{r_i} = a_i + \frac{r_{i+1}}{r_i}; \quad 0 < r_{i+1} < r_i \quad (21)$$

melyben  $r_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ) egész számok az:

$$r_{-1} = X; \quad \text{és} \quad r_0 = X_M; \quad (22)$$

A láncört-jegyek meghatározását láncörtbe fejtsnek nevezik, amely az első maradéknélküli osztásnál fejeződik be:

$$r_{n+1} = 0 \quad (23)$$

A (20) láncört első  $i+1$  jegyéből, egy másik

$$z_i = \langle a_0; a_1, a_2, \dots, a_i \rangle \quad (24)$$

láncört képezhető, amelyet részlet-láncörtnek hívunk, ez

$$z_i = \frac{h_i}{k_i} \quad (25)$$

nem redukálható egyszerű törttel is kifejezhető. A tört számlálóját és nevezőjét a

$$h_i = a_i h_{i-1} + h_{i-2} \quad (26)$$

$$k_i = a_i k_{i-1} + k_{i-2}$$

rekurziós kifejezésekkel kapjuk meg,

$$h_{-2} = 0, k_{-2} = 1, h_{-1} = 1, k_{-1} = 0 \quad (27)$$

kezdeti értékekkel.

A páros indexű  $z_i$  részlet-láncörtnek monoton növekvő sorozatot alkotnak, melynek felső határértéke a teljes  $x$  láncört. A páratlan indexű  $z_i$  részlet-láncörtnek pedig monoton csökkenő sorozatot alkotnak, melynek alsó határértéke ugyancsak a teljes  $x$  láncört. A  $z_i$  részlet-láncört és az  $x$  teljes láncört közötti különbség abszolút értékben  $i$ -vel csökken:

$$|x - z_i| \leq \frac{1}{k_i k_{i+1}} \quad (28)$$

miközben a  $h_i$  számláló és  $k_i$  nevező is növekszik. Egy adott  $i=j$  indexnél két egymást követő nevezőre a

$$k_j \leq N < k_{j+1} \quad (29)$$

feltétel teljesül. Ekkor a keresett Farey-tört:

$$\frac{p}{q} = \frac{h_j}{k_j} \quad (30)$$

Az olyan sajátságos esetben, amikor az  $x = X/X_M$  tört redukálható és a redukálás után kapott  $h_n/k_n$  tört nevezője nem nagyobb  $N$ -nél, a keresett Farey-tört:

$$\frac{p}{q} = \frac{h_n}{k_n} \quad (31)$$

Tehát, a fentiek szerint, egy adott  $x$  változó által meghatározott teljesítménynek megfelelő Farey-törtet kereső algoritmus a következőket végzi:

1. beolvassa a vezérelt teljesítményszintnek megfelelő  $m$ -bites  $x$  változót;

II. beolvassa az euklideszi algoritmus kezdeti értékeit: a (22)-ben foglalt  $i=0$ -nak megfelelő kezdeti értékeket a (16) és (17) összefüggésekből származó  $X$ -el, valamint  $X_M$ -el helyettesíti be;

III. lánctörtbe fejtést végez az euklideszi algoritmus segítségével:

- A. kiszámítja az éppen soronkövetkező  $a_i$  lánctört-jegyet a (21) összefüggésből;
- B. ha az  $r_{i+1}$  maradék zérus, akkor  $a_i$  a legutolsó lánctört-jegy tehát  $i=n$ , (23), ha nem, akkor tárolja az  $r_i$  osztót és az  $r_{i+1}$  maradékot a következő lánctörtbe fejtési művelet számára;

IV. kiszámítja a  $z_i$  részlet-lánctört  $h_i$  számlálóját és  $k_i$  nevezőjét, a (26)-ban foglalt rekurziós kifejezésekkel;

V. megvizsgálja, hogy a  $z_i$  részlet-lánctört eleme-e az  $N$ -edrendű Farey-sorozatnak azzal, hogy összehasonlítja a minden egyes ciklusban növekvő  $k_i$  nevezőt a Farey-sorozat  $N$  rendjével; a (29), (30) és (31) összefüggések szerint, az alábbi lehetőségek következhetnek be:

- A. ha  $k_i > N$ , akkor a  $z_i$  részlet-lánctört már nem eleme az  $N$ -edrendű Farey-sorozatnak, hanem csak az előző  $z_{i-1}$ , tehát  $j=i-1$  és ezzel a rutin befejeződik, (30);
- B. ha  $k_i = N$ , akkor  $z_i$  részlet-lánctört éppen eleme az  $N$ -edrendű Farey-sorozatnak, tehát  $j=i$  és ezzel a rutin befejeződik, (30);
- C. ha  $k_i < N$  akkor az iterációt tovább kell folytatni a következő  $a_{i+1}$  lánctört-jegy kiszámításával;
- D. ha  $k_i < N$  és ha  $i=n$  (vagyis az euklideszi algoritmus éppen  $a_n$ -t, a legutolsó lánctört-jegyet számította ki), akkor a  $z_n$  részlet-lánctört az  $x$  tört redukálás utáni értékét fejezi ki és eleme az  $N$ -edrendű Farey-sorozatnak, (31);

Az algoritmus harmadik része a vezérlés helyes működését biztosítja dinamikus üzemmódban is. Az akkumulátor tartalma ismétlődési sebességszorzási műveletek után, állandósult állapotban, a  $-q$  negatív és a  $+(p-1)$  pozitív határok között mozog, melyeknek a  $q$  nevezőhöz viszonyított értékei:  $-1$  és  $+(p-1)/q$ . Tranziens (átmeneti) folyamat alatt

nemcsak  $p$  hanem  $q$  is megváltozhat. A nevező megváltozása az akkumulátor tartalmának az átértékeléséhez vezet. Ha ezt nem tesszük meg, akkor az átmeneti folyamat túl hosszúvá válik és ami még zavaróbb, a teljesítmény túl- vagy alulvezérlése is bekövetkezhetik.

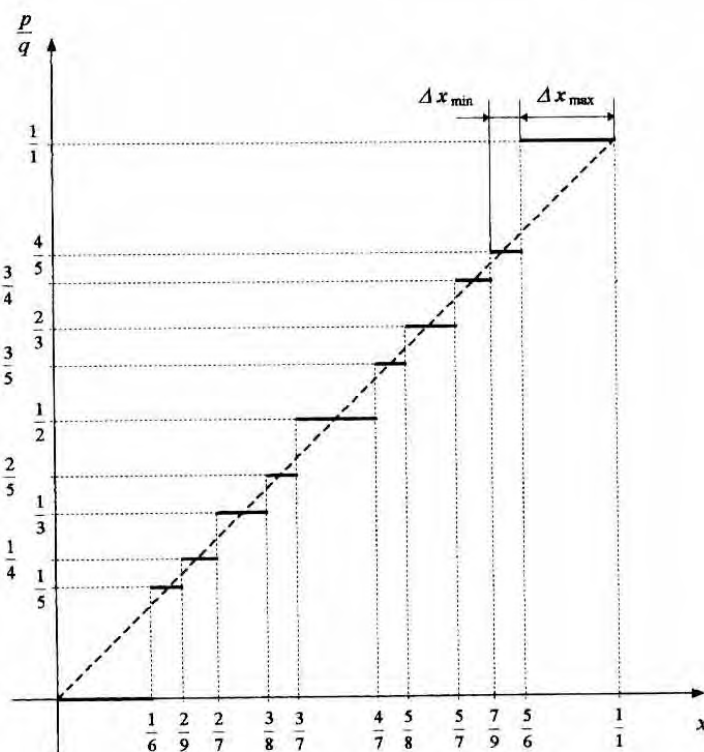
Jelölje  $t$  nullaátmenetnél  $A_t$  az akkumulátor tartalmát és  $x_t=p_t/q_t$  a teljesítmény meghatározó változót. Ha a következő  $t+1$  nullaátmenetkor az  $x_{t+1}=p_{t+1}/q_{t+1}$  változó nevezője az előbbtől különbözik, akkor az akkumulátor  $A_{t+1}$  tartalmát még az ismétlődési sebességszorzási (7) és (8) műveletei előtt az alábbi, hármasszabállyal nyert értékkel kell kicsérélni:

$$A_{t+1} = \text{Round} \left[ \frac{A_t q_{t+1}}{q_t} \right] \quad (32)$$

ahol a Round függvénnyel az argumentum kerekített értékét kapjuk meg.

A vezérlési programot valós időben kell futtatni, megszakításos üzemmódban, a hálózati feszültség minden egyes nullaátmeneténél történő megszakítással. A megszakításkiszolgáló rutin egy félperiódus alatti intervallumban a következőket végzi:

- I. közvetlenül a hálózati feszültség nullaátmenete után egy vezérlőimpulzust generál, de csak akkor, ha az előző félperiódusban végrehajtott sebességszorzási művelet ezt engedélyezi;
- II. a változó legújabb  $x_{t+1}$  értékét beolvassa és összehasonlítja az ezelőtti ciklusban tárolt  $x_t$ -vel:
  - A. ha  $x_{t+1}=x_t$ , akkor a sebességszorzásnál a régi Farey-törtet használja fel;
  - B. ha  $x_{t+1} \neq x_t$ , akkor ezt az új értéket tárolja, megkeresi a megfelelő Farey-törtet, amelyet ugyancsak tárol és előkészíti a sebességszorzást az akkumulátor tartalmának az újraállításával, (32);
- III. végül is, a sebességszorzási műveletek kerülnek végrehajtásra és a vezérlőimpulzus generálását engedélyező eredményt a következő megszakításig tárolja.



4. ábra. Farey-törtes vezérlési jelleggörbe  $N=5$  esetében

### 3. A vezérlési jelleggörbe

A diszkrét vezérlési jelleggörbe kvantálási fokozatait a Farey-törtek határozzák meg (4. ábra). A jelleggörbe pontos meghúzásánál felvetődik a minden egyes Farey-törtszámhoz tartozó vezérlőjel értéktartományának a pontos meghatározása. Ezzel a Farey-sorozat rendje és az  $x$  változó  $m$ -bités szóhosszúsága közötti összefüggést is megkaphatjuk.

Legyen  $\frac{p_m}{q_m}$  és  $\frac{p_{m+1}}{q_{m+1}}$  az  $N$ -edrendű

Farey-sorozat két közvetlen szomszédos, növekvő sorozatrendben vett eleme. Értékben a közéjük eső összes racionális tört közül a  $\frac{p_m + p_{m+1}}{q_m + q_{m+1}}$  törtnek van a legkisebb nevezője.

Ez a tört már nem eleme az  $N$ -edrendű Farey-sorozatnak, mivel  $q_m + q_{m+1} > N$ . Vegyük a Farey-sorozat három egymást növekvő sor-

rendben követő elemét:  $\frac{p_{m-1}}{q_{m-1}}, \frac{p_m}{q_m}, \frac{p_{m+1}}{q_{m+1}}$ .

Bebizonyítható, hogy a Farey-törtet kereső algoritmus a közbülső  $\frac{p_m}{q_m}$  Farey-törtet akkor

kapja meg, ha  $x \in \left( \frac{p_{m-1} + p_m}{q_{m-1} + q_m}, \frac{p_m + p_{m+1}}{q_m + q_{m+1}} \right]$ .

A kvantálási szinteket a szomszédos Farey-törtek közötti különbségek határozzák meg, amelyek nem egyformák. A legnagyobb és a legkisebb különbség:

$$\Delta x_{\max} = \frac{1}{N+1} \quad (33)$$

$$\Delta x_{\min} = \frac{3}{(N+1)(2N+1)} \quad (34)$$

A diszkrét vezérlési karakterisztika összes teljesítményfokozatai csak akkor válnak vezérelhetővé az ugyancsak diszkrét változó  $x$ -el, ha a legkisebb helyiértékű bit (1LSB)

súlyozása nem nagyobb mint a Farey-sorozat elemei között található legkisebb különbség:

$$2^{-(m-1)} \leq \Delta x_{\min} \quad (35)$$

Ha ismerjük a Farey-sorozat rendjét, akkor a fenti egyenlőtlenségből kiszámíthatjuk az  $x$  változó minimális szóhosszát:

$$m \geq 1 + \text{Int} \left[ 1 + 3,322 \cdot \lg \frac{(N+1)(2N-1)}{3} \right] \quad (36)$$

vagy, ha ismerjük az  $x$  szóhosszát, akkor a Farey-sorozat rendjét számíthatjuk ki:

$$N \leq \text{Int} \left[ \frac{\sqrt{3(2^{m+2} + 3)} - 1}{4} \right] \quad (37)$$

ahol Int függvénnyel az argumentum egész részét kapjuk meg.

Az átviteli jelleggörbe legfontosabb paramétereit a változó  $m$ -bités szóhosszúságának függvényében a 3. táblázat foglalja össze. 8-bités mikroprocesszornál, kettes komplementű számábrázolással a Farey-sorozat rendje  $N \leq 127$  és az  $x$  változó  $m \geq 15$  bites kell legyen.

$m$	1 LSB = $1/2^{m-1}$	$N_{\max}$	$Q_F$	$\Delta x_{\min}$	$\Delta x_{\max}$
8	$7,8125 \times 10^{-3}$	13	59	$8,57 \times 10^{-3}$	$7,14 \times 10^{-2}$
9	$3,90625 \times 10^{-3}$	19	121	$4,05 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-2}$
10	$1,953125 \times 10^{-3}$	27	231	$2,02 \times 10^{-3}$	$3,57 \times 10^{-2}$
11	$9,765635 \times 10^{-4}$	38	439	$1,03 \times 10^{-3}$	$2,56 \times 10^{-2}$
12	$4,8828125 \times 10^{-4}$	55	929	$4,91 \times 10^{-4}$	$1,79 \times 10^{-2}$
13	$2,44140625 \times 10^{-4}$	78	1859	$2,45 \times 10^{-4}$	$1,27 \times 10^{-2}$
14	$1,2207030125 \times 10^{-4}$	110	3719	$1,23 \times 10^{-4}$	$9,01 \times 10^{-3}$
		*127	4961	$9,26 \times 10^{-5}$	$7,81 \times 10^{-3}$
15	$6,103515625 \times 10^{-5}$	156		$6,14 \times 10^{-5}$	$6,37 \times 10^{-3}$
16	$3,0517578125 \times 10^{-5}$	221		$3,06 \times 10^{-5}$	$4,50 \times 10^{-3}$

3. táblázat. A vezérlési jelleggörbe fontosabb paramétereit az  $x$  szóhosszúságának függvényében

\*  $N_{\max} = 127$  a 8-bités kettes komplementű számábrázolásnál a Farey-sorozat lehetséges legnagyobb rendje

#### 4. Hardver

Vezérlésre, mikroprocesszor helyett célszerűbb mikrokontrollert használni, amely megfelelő memóriával és periféria áramkörökkel is rendelkezik. A megszakításkérő impulzusokat egy külső áramkörrel kell előállítani, amely a hálózati feszültség minden egyes nullaátmeneténél egy nagyon rövid-idejű (néhány  $\mu\text{sec}$ ) impulzust kell szolgáltatson. A mikrokontroller nem képes nagyteljesítményű tirisztorok vagy a triákok közvetlen vezérlésére. Ezt egy megfelelő meghajtó fokozat kell végezze. Olyan alkalmazásoknál, amelyeknél a mikrokontrollert galvanikusan el kell szigetelni a hálózattól, optocsatolás szigetelésű meghajtó fokozatot, ill. megszakításkérő áramkört kell használni.

Az algoritmust egy 2,5 MHz-es órajelfrekvenciájú Z80-as mikroprocesszoros rendszeren próbáltuk ki. A megszakítás-kiszolgáló rutin leghosszabb futtatási ideje, amelyet a leghosszabb láncotört-fejtésnél kapunk, 7 msec alatti. Korszerű, gyorsabb mik-

roprocesszorok, így a félperiódus alatti időben más rendszerszabályzási műveletek is elvégezhetők.

#### Irodalom

- Hulley, L.N. - Schofield, G.I. : Varying power by integral cycle firing of thyristors, Control & Instrumentation, March 1971
- Kaucsár M. : AC Power controlled by frequency of half cycles, Electronic Engineering, May 1975
- Kaucsár M. : AC Power controlled without dc component, Electronic Engineering, April 1979
- Niven, I. - Zuckermann, H.S. : Bevezetés a számelméletbe, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978
- Peatman, J.B. : The Design of Digital Systems, Mc Graw-Hill Book Co., New-York
- Sárközy A. : Számelmélet és alkalmazásai, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978
- Wallner, A. : Binary rate multiplier controls ac power, Control Engineering, Jan. 1972
- Whittaker, A.E. : AC Power control by delta-sigma converter, Electronic Engineering, Sept.

## Ipari varrógépek konstrukciós FMEA vizsgálata

*Dr. Kerekes László, Johanyák Zsolt Csaba*

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Kecskeméti Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola

*A termékekkel és szolgáltatásokkal szemben támasztott követelmények folyamatosan növekednek. Ezek minimális ráfordítás és maximális hatékonyság mellett történő kielégítése érdekében a hagyományos minőségbiztosítási intézkedéseket (ellenőrzés és vizsgálat) hibamegelőzői módszerekkel is ki kell egészíteni. A termékek növekvő bonyolultsági foka szisztematikus módszereket igényel a feladat megoldására. Egy különösen hatékony eszköz lehet e cél megvalósítására az FMEA (hibalehetőség és -hatás elemzés). A dolgozat bemutatja a Veronica varrógép (U.M. Cugir) felépítésének elemzését.*

### **FMEA a minőségbiztosítási rendszer részeként**

Az FMEA nem egy csodaszor, amely teljes mértékben helyettesíthetné a hibamegelőzős jelenlegi módszereit. Összefoglalja azonban egy egységes koncepció szerint az ellenőrzési módszereket a kockázat kiértékelése érdekében.

Az FMEA egy összekötő elem a fejlesztés, tervezés, gyártás és minőségbiztosítás között. Alkalmazása során szisztematikus megállapítják a lehetséges hibákat egy konstrukció (konstrukciós FMEA), egy gyártási folyamat (folyamat FMEA) vagy egy rendszer (rendszer FMEA) esetén. A lehetséges kockázatok rendszerezett módon kiértékelik és kiküszöbölik.

Három esetben különösen indokolt a módszer alkalmazása:

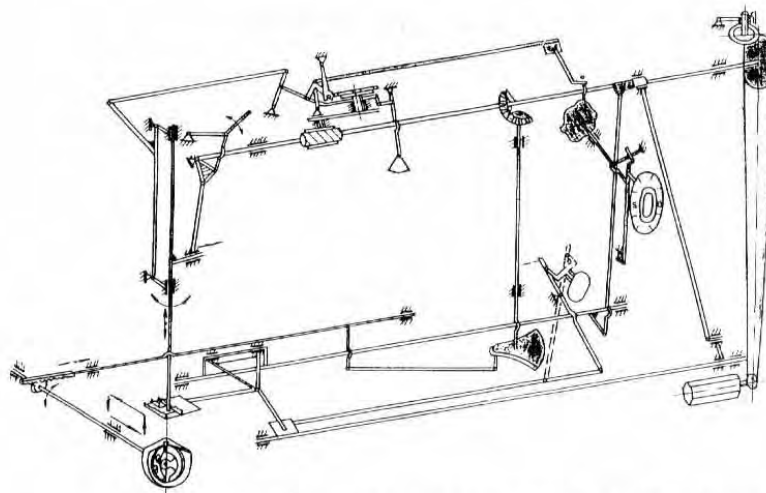
- új termékek vagy folyamatok kidolgozása során a későbbi meghibásodások megelőzése érdekében;
- ha a gyártási folyamatok eredményeképpen nem megfelelő termékek vagy szolgáltatások keletkeznek, és meg kell keresni a hibákat és azok okait;
- ha a gyártási folyamatok nem megfelelő eredményekhez vezetnek, és a hibát a termék koncepciójában kell keresni.

Az elemzés csoportmunka, a résztvevők kiválasztásának alapvető szempontja az, hogy képviseljék az összes olyan területet és részt, melynek tevékenysége befolyásolja a termék vagy folyamat minőségét.

Mint minden új módszer bevezetése esetén, itt is feltehető a kérdés, hogy milyen előnyöket várhatunk tőle. Elsősorban lehetővé teszi annak megítélését, hogy a termék vagy szolgáltatás megfelel-e a piac (a vevők) elvárásainak. Az sem mellékes, hogy az eljárás erősíti a vállalaton belüli, valamint a beszállítókkal és megrendelőikkel kialakított együttműködést, jelentős bizalomnövelő hatással rendelkezik. Az FMEA egy kiváló oktatási eszköz is egyben, mely lehetővé teszi a magasan és sokoldalúan képzett szakemberek hiányából adódó problémák orvoslását.

Mint minden módszernek, természetesen ennek is vannak kevésbé előnyös oldalai. Mindenek előtt meg kell említeni a nagymértékű pénz- és időráfordítás iránti igényt, ami megneghezíti a hatékony alkalmazást egy gyors fejlesztési folyamat vagy kisszámú darabból felépülő termék esetén. A módszer nem biztosítja az összes lehetséges hiba felismerését, ami eredménytelenséghez is vezethet. Ennek ellenére, hogy a kockázati mérőszámok (J,E,F) megállapításánál különböző szabványokra és irányelvekre támaszkodhatunk [5], ezen számok meghatározása, jelentős mértékben szubjektív marad, azaz egyáltalán nem biztos az, hogy egy-egy hibához rendelt jelentőség hűen tükrözi a valóságot.

Figyelembe véve, hogy a kockázati tényező (KT) három szubjektíven megállapított érték szorzataként keletkezik, a hiba jelentőssé válhat, ami a valóságtól nagyon távol álló eredményekhez vezethet.



1. ábra. A Veronica varrógép kinematikai láncja

### FMEA alkalmazása a Veronica varrógép kritikus pontjainak azonosítására

Az elemzés első lépését egy széleskörű adatgyűjtés képezte. Ez magába foglalta több, nagy hagyománnyal rendelkező könnyűipari cégnél, varrógépgyártással foglalkozó vállalatnál és varrógépek karbantartásával és javításával foglalkozó műhelyekben felgyűlt tapasztalatok megismerését. Ily módon jelentős mennyiségű információt sikerült gyűjteni a hibalehetőségekre, a gyakoriságra és a következményekre vonatkozóan.

A létrehozott adatbázis tanulmányozása alapján a leggyakrabban előforduló és a varrógép működésére a legnagyobb hatást gyakorló hibákat a kinematikai lánc (1. ábra) néhány „forró pontjához” lehet rendelni:

- fogaskerék-fogasléc áttétel,
- kúpkerék-hajtás,
- vezértárcsás vezérmű,
- automatikus anyagtovábbító,
- vágó-simító részegység

1. táblázat. FMEA elemzés

Elem	Feladat	Hiba lehetőség	Hiba hatása	Hiba oka	Felismerés Megelőzés (jelenleg)	J	E	F	KT=J.E.F	Javasolt intézkedések
1. Tű	Varrás	11. Tű törése	111. Nem varr	1111. A tű üti a túlapot-nincs összehangolva az anyagtovábbító rendszer mozgása és a tű függőleges helyzete	Észlelés szabad szemmel. Utánállítás	8	5	2	80	
				1112. A tűtartó rúd vezető perselyében nagy a játék: - a túlapba üt - üti a cérnavezető rudacska orrát	Észlelés szabad szemmel. Persely cseréje.	9	4	2	72	Persely tervezése kerámiából
		12. Nagy felületi érdesség a nyílás környékén	121. Cérna elszakad	1211. A tű nyílásának nem megfelelő megmunkálása	Szemmel. Tű cseréje.	5	2	2	20	
2. Tűtartó rúd	A tű egyenes vonalú váltakozó irányú mozgatása	21. Beragad	211. Nem látja el a feladatát	2111. A rúd elhajlik vagy beragodik	Szemmel. Rúd cseréje.	3	2	2	12	
				2112. Excenter beragad	Szemmel. Cseréje.	4	2	3	24	

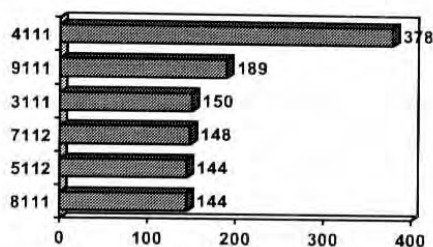
3. Cérna-vezető rudacska	Összefogja a cernákat	31. Cérna-vezető rudacska orrának törése	311. Nem látja el a feladatát, leállítja a gépet	3111. Cérnavezető rudacska tűtartó rudacska-hoz viszonyított helyzetének nem megfelelő beállítása	Szemmel. Utánállítás	10	5	3	150	Cérnavezető rudacska hajtásának újratervezése
				3112. Nagy játék a tűtartó rúd vezető perselyében	Szemmel. Persely cseréje.	4	7	3	84	Kerámiapersely tervezése
		32. Kopás	321. A varrás nem egyenletes	3211. Nem megfelelő a kenés, tekercdik a szál, pihék jutnak be	Szemmel.	3	4	3	36	Gyakoribb kenés, pihék eltávolítása
				3212. Nagy játék a gördülősapágyban	Szemmel.	8	4	3	96	
				3213. Hibás anyag- és hőkezelés választás	Szemmel.	6	5	2	60	Anyag- és hőkezelés választás ellenőrzése
4. Kúpkerék-hajtás	Mozgás átvitel a főtengely és a fogórendszer között	41. Kopás, fogak törése	411. Gépleáll	4111. A feltekeredett cérna blokkolja a cérnavezető rudacska	Hallás útján.	9	7	6	378	Kúpkerék-hajtás fogazott szíjhajtásra cserélése
				4112. Hibás anyag- választás a kúpkerékeknél	Szemmel.	6	3	3	54	Műanyag fogaskerék alkalmazása
				4113. A kerékek nem kenhetőek		6	3	2	36	Műanyag fogaskerék alkalmazása
5. Vágósímitó	Előtölés vezérlése, cérna feszítése	51. Nyílás kopása (vágás)	511. Cérna vágása	5111. Hibás tervezés	Szemmel.	8	4	3	96	Áttervezés, kerámia pasztilla beépítése a nyílásba
				5112. Nem megfelelő hőkezelés.	Szemmel.	8	6	3	144	Hőkezelés újratervezése. Edzés a nyílás környezetében.
6. Túllap	Továbbító egység védelme	61. Tű áthaladási nyílásának kopása, meg rongálódása	611. Felső cérna szakadása	6111. A cérna koptatja a lapot	Szemmel. Túllap részegység beállítása.	2	2	2	8	
				6112. A tű simasága nem megfelelő	Szemmel. Tű cseréje	7	3	3	63	
			612. Anyag felakadása	6121. Anyagtovábbítás összehangolatlansága	Szemmel.	6	5	4	120	Összehangolás javítása
		62. Vágó él	621. Cérna elvágása	6211. Tervezési hiba	Szemmel.	7	5	4	140	Áttervezés, nyílás felső részén lekerekítés
7. Fogasléc-fogaskerék hajtás	Lengő mozgás továbbítása a vezető rudacska-hoz	71. Játék	711. A karoska túl gyors vagy túl lassú mozgása. Rezgés megjelenése	7111. Az elektromos persely nem megfelelő beállítása	Szemmel. Persely újraállítása.	6	6	3	108	
				7112. Nem megfelelő anyagok	Szemmel. Anyagcseréje.	7	6	4	148	Fogaskerék-fogasléc hajtás cseréje hengeres fogaskerék-hajtásra
8. Vezérléscsészés vezérmű	Vízszintes váltakozó irányú mozgás átvitele az anyagtovábbító rendszerhez	81. Játék	811. Zaj	8111. A villa belső vagy a vezérléscsészés külső kopása	Hang útján.	9	4	4	144	Egykarú villa tervezése, a vezérléscsészésével az érintkezést egy rugóval valószínűsíti meg
		82. Kopás	821. Az anyag továbbítása késik	8211. Nem megfelelő hőkezelés	Szemmel.	8	4	4	128	
9. Ékszíjhajtás	Mozgás átvitele az elektromos motortól a főtengelyhez	91. Szíj csúszása a tárcsán	911. Tűtartó rúd nem mozog	9111. Ellenálló nyomaték nagyobb mint a forgató nyomaték	Szemmel.	9	7	3	189	Rendszer áttervezése, fogazott szíjhajtás használata
			912. Kopás	9122. Sűrűdési együttható értékének változása a kopással	Szemmel.	6	7	3	126	Rendszer áttervezése, fogazott szíjhajtás használata

A felismert hibák az alábbi csoportokba sorolhatók:

- tervezési hibák,
- szerelési és beállítási hibák,

- karbantartási hiányosságok,
- kezelési hibák,
- elkerülhetetlen hibák.





2. ábra. Pareto elemzés

A fentiekben megnevezett pontokhoz kapcsolódó hibákat egy FMEA elemzésnek vettük alá (1. táblázat). A kiszámolt pontértékeknek megfelelően (KT) a jelentőség (J), az előfordulás (E) és a felfedezés (F) valószínűségének függvényében a Pareto elemzés (2. ábra) eredményeképp a hat legnagyobb kockázatot jelentő láncolatot előidéző hiba, kockázati tényező szerint csökkenő sorrendben, a következő:

1. a kúpkerékajtás fogainak elhasználódása és törése (378),
2. a motort a főtengellyel összekapcsoló ékszíj csúszása a tárcsán (189),
3. a cérnavezető károcscsa orrának törése (150),
4. a fogaskerék-fogasléc áttétel játéka (148),
5. a vezértárcsás vezérmű játéka (144),
6. a vágó-simító nyílásának kopása (144).

A megszüntetést és megelőzést célzó intézkedések az 1. táblázat megfelelő oszlopaiban szerepelnek. Így például a kúpkerékajtás esetében a jelzett hibák megszüntethetők a kúpkerékajtás fogazott szíjhajtásra történő cseréjével. A cérnavezető károcscsa esetében ennek újratervezése szükséges, vagy a tű vezető perselyét kerámiából kell elkészíteni.

A túlécenél a nyílás felső élének lekerekítése megelőzheti a megrongálódást. Amikor a tű megüti a lécet, a tű befelé csúszhat, mivel annak rugalmassága megenged egy kismértékű elhajlást.

### Összefoglalás

A gyakori és súlyos hatással bíró hibaláncolatok elemzésének eredményeképpen 14 javaslat született a Veronica varrógép konstrukciójának kisebb-nagyobb mértékű változtatására. Az előzetes számítások alapján a javasolt változások az anyagköltségek 19%-os míg a gyártási költségek 24%-os csökkenését eredményezhetik.

### Irodalomjegyzék

- [1] Pfeifer, T.: *Qualitätsmanagement*, Carl Hanser Verlag München, Wien, 1993.
- [2] Tlach, H.: *FMEA, ein Strategisches Element des Qualitätsmanagement-Systems, Qualität und Zuverlässigkeit*, 38 (1993), nr.5., 278-280. old.
- [3] Osanna, P.H.; Prostednik, D.: *The role of Precision Engineering in Intelligent Manufacturing Systems*, Second International Workshop on learning in Intelligent Manufacturing Systems, Budapest, 1995 április 20-21., 831-841. old.
- [4] Kerekes, L.; Nicoara, A.; Naghi, A.: *Utilizarea metodei FMEA-produs la analiza masinii de cusut Veronica*, Universitatea Sibiu, 1996
- [5] Johanyák Zsolt Csaba: *Számítógéppel segített hibamód és -hatás elemzés, micro CAD '94 – Nemzetközi Számítástechnikai Konferencia, Miskolc, 1994. március 3., 60-65 old.*

## Bolyai János kéziratainak rejtett matematikai kincsei

**Dr. Kiss Elemér**

tanár, Marosvásárhely

*Bolyai János (1802-1860) a magyar és egyetemes tudomány egyik legnagyobb alakja. Népi szellemi alkotóképessége a tudomány terén a legmagasabb fokon benne öltött testet. Életét és munkásságát számos mű méltatta, sokan és szerencsére sokat írtak róla. Az előttünk járók szorgos munkájának köszönhetően ma már könyvtárnyi Bolyai-írással rendelkezünk. Tudunk-e hát mindent Bolyai Jánosról? Vannak-e ma, 1997-ben, fehér foltok az abszolút geometria megalkotójára vonatkozó ismereteink térképén?*

*A következőkben, ezekre a kérdésekre válaszolva megmutatjuk, hogy még napjainkban is lehet újat mondani az Appendix tudós szerzőjéről. Bolyai János ládáiban még sok olyan kincs rejtőzik, amelyekről semmit sem tudunk. Felnyitva azokat, a türelmes kutatóknak sok örömben lehet része amikor ezeket megtalálja.*

### 1.

Bolyai János halálakor sokezer oldalnyi kéziratot hagyott hátra. Ezek lapjai rejtik azokat a gondolatokat, amelyeket írójuk életének második felében magányosan, sivár környezetben jegyzett föl. A kéziratokat mintegy száz évvel ezelőtt Paul Stäckel tanulmányozta először alaposan. Az ő úttörő munkájának köszönhető, hogy a tudományos világ a századforduló idején megismerhette Bolyai János több, kéziratban maradt matematikai eredményét. Érthetően Stäckel sem végezhetett tökéletes munkát, mindent felölelni és valószínűleg értékelni nem tudott.

Kulturális-tudományos örökségünk feltárásának, s ennek keretében a Bolyai-portré minél igazabbá tételének igénye ösztönzött arra, hogy átolvassam, kibetűzzem a marosvásárhelyi Teleki-Bolyai Könyvtárban őrzött sokezernyi Bolyai-kéziratot s megvizsgáljam mit végzett az abszolút geometria felfedezője a matematika más területein. Aprólékos, makacs munkám jutalmaként sikerült a Bolyai-ládák több új, eddig ismeretlen titkát, távlatát felfednem. Vallatóra fogva ezeket az írásokat kirajzolódott az eddig ismertnél egy árnyaltabb teljesebb Bolyai-kép.

Igaz, hogy a hagyatékban nem találunk a *Tér Tudományához* hasonlítható művet, de ha türelmesek vagyunk és elég mélyre ásunk, akkor felfedezzük, hogy a Bolyai-kéziratok még sok meglepetést tartogatnak számunkra. Fáradozásainkért bőven kárpótolnak azok a kincsek és gondolat-gyöngyök,

amelyeket felszínre hozhatunk. Remélem, hogy a Kedves Olvasó is annak tekinti majd Bolyai Jánosnak azokat a gondolatait, amelyek eddig a Teleki Téka polcain heverve nem váltak ismertté a matematikai irodalomban, de amelyekre később, évtizedekkel zseniális matematikusunk halála után mások is rátaláltak és különböző folyóiratokban publikáltak.

Az alábbiakban, az eddig kiadatlan dokumentumokat felhasználva szeretném néhány helyen egyrészt kiegészíteni a Bolyai Jánosra vonatkozó eddigi ismereteinket, másrészt pedig kiigazítani a korábbi szakirodalom tévedéseit. Elsősorban azokra a Bolyai-gondolatokra fogok rámutatni, amelyeket aztán az elkövetkező korok matematikusai rendre újra felfedeztek.

### 2.

Először Bolyai János életútjának eddig jólismert állomásait egészítjük ki néhány újabb adattal.

Hála Bolyai Farkas (1775-1856) közlékenységének elég sokat tudunk János gyermekkoráról. A fiára büszke apa ifjúkori barátjához, Gausshoz írott leveleiben részletesen beszámol ezekről az időkről. Érdekesek viszont Bolyai Jánosnak azok a későbbi följegyzései, amelyekben saját maga beszél a matematika iránt már gyermekkorában felébredt vonzalmáról. „Már kisgyermek koromban – írja egy helyen – feltettem magamnak a kérdést, hogy végtelen sok prímszám létezik-e?”

Az  $e$  számmal kapcsolatban megjegyzi, hogy már fiatal korában átlátta, hogy

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{k}{m}\right)^m = e^k$$

Bevallja, hogy eleinte az imaginárius mennyiségek fogalma nem volt elég világos számára,

de aztán meglátva az  $i^i = e^{-\frac{\pi}{2}}$  formulát, érdeklődése azonnal ezek felé a számok felé fordult: „... de akkor még az al-uti nyikról [imaginárius mennyiségekről] nekem sem lévén illő világos képzetem, inkább irtózva s hasztalan üresnek véve elfordultam s annyibahagytam, nem is mertem akkor tovább nyomozni (mint a háromszög-tant is legelőbb bár is észre-véve), míg végre megláttam az  $i^i = e^{-\frac{\pi}{2}}$  ... mi által végre fölhíva érzem magamat mindenekelőtt a fő-és al-uti nyikról tiszta fogalmat szerezni”.

Kétségtelen, hogy Bolyai János számára az 1820-as évek az *Appendix* kidolgozásának jegyében teltek el. Ezzel életrajzának valamennyi írója egyetért. Följegyzései között azonban olyan írásokat is találunk, amelyek arra utalnak, hogy a geometria mellett már ebben az időben a matematika más ágai is foglalkoztatták. Így például a komplex számok elmélete, a magasabb fokú algebrai egyenletek és a számelmélet is. „Az imaginárius mennyiségek tanát – írja – amikor az én igen fontos Tér Tudományommal foglalkoztam, már kigondoltam.” Két, Aradra címzett kiterített levélborítékon – amelyek közül egyik 1827. március 11-i keltezésű – a fiatal katonatiszt a harmadfokú algebrai egyenletek megoldását tárgyalja. Hogy az 1820-as években milyen alaposan tanulmányozta Bolyai Gauss munkáját a *Disquisitiones arithmeticae*-t, kitűnik apjának Gausshoz írt 1831. 20-án kelt leveléből: „Fiának szándéka volt, hogy a Te polygon-elméletedet németül, a kisebb kaliberű elméknek valamivel könnyebben hozzáférhető módon adja ki.”

Úgy gondolom, hogy az *Appendix* végső formába való öntése történetének egy igen fontos láncszemét sikerült megtalálnom a kéziratos hagyatékban.

Tudjuk, hogy Bolyai János 1820 és 1824 között összeállította tételmeletének

sárhelyre megmutatta apjának a már kidolgozott elméletét, 1826-ban pedig Aradon átadta volt bécsi tanárának Wolter von Eckwehrnek fölfedezése egy kéziratos fogalmazványát. Bolyai Farkas 1831. június 20-án postázta Gaussnak az *Appendix* „különlenyomatát”. [11] Ezeket az ismert adatokat Bolyai János nyilatkozatai segítségével egy újabbal tudjuk kiegészíteni. Két följegyzésében is tanúsítja, hogy az *Appendix* már 1829-ben teljesen kidolgozva készen volt. Mindkét helyen arra a tényre hivatkozik, amely szerint a *Tentamen* kiadásához (amelynek „függeléke” volt Bolyai János műve) szükséges nyomtatási engedélyt már 1829-ben (pontosan október 12-én) kiadták a hatóságok, akkor pedig a munkának készen kellett lennie. „... a rengeteg sok szükségességet magába foglaló – írja Bolyai – és Euklid sőt Adám óta a tanban a legnagyobb szerű időszakot kezdett vagy legalább előkészített Marosvásárhelyt, mint a munka törvényes elővizsgálatja vagy recenziója időszám vagy határozatjából kiviláglik már 1829-ik évben készen volt vagy állott, bár is sokféle más akadályok miatt csak az 1832-ik évben megjelent *Tentamen* ...”. A másik följegyzésben pedig egyebek mellett ezt olvassuk: „És így elég csodálatos, nevezetes és különös az, hogy bár is az *Appendix* lényegére nézve már 1823-ban megszületett 1829-ben a *Tentamen* kihirdetés és kinyomtatásra a könyv – vizsgáló Bizottságtól szabadságot nyert, ...”.

Az 1829-es évet azért kell nyomtatékosan hangsúlyoznunk, mert a nemeuklidészi geometria történetét tárgyaló munkák szerint Lobacsevszkijnek az *Appendix*szel összemérhető orosz nyelvű értekezése 1829–30-ban jelent meg.

### 3.

Életrajzíróinak egyöntetű véleménye szerint Bolyai János matematikai képzettsége a korabeli matematikai ismeretek tekintetében vázlatos volt.

Próbáljuk meg az alábbiakban aprólékosabban megvizsgálni ezt a kérdést és az eddig ismeretlen dokumentumokat figyelembe véve feltérképezni Bolyai János ismeretanya-

Való igaz, hogy a bécsi Akadémián az ún. felsőbb matematikából csak keveset tanult. Domáldi, majd marosvásárhelyi évei alatt igencsak szűkében volt a tudományos segédeszközöknek. Elszigetelt, magányos tudós volt. Korának sok matematikai felfedezése nem jutott el hozzá. Bár kortársa Abelnek (1802-1829), Galoisnak (1811-1832), Eisensteinnak (1823-1852), Riemannak (1826-1866), munkásságukról mit sem tud. Nem jutnak el Marosvásárhelyre az akkor már létező és színvonalas matematikai folyóiratok. Nem értesült az 1840-ben felfedezett felület, a pszeudoszféra létezéséről, amelyeknek egy véges darabján érvényesek a nemeuklideszi geometria tételei. Még Gauss munkásságának eredményeit is csak részben ismerte.

Mégis, bármilyen messze volt Marosvásárhely a múlt század derekán a jelentős matematikai centrumoktól, csak szivárogtak ide is hírek a mathézis világából. Közvetítőjük apja, Bolyai Farkas volt. A kollégium professzora szeretett levelet írni s ezáltal szoros kapcsolatot tartott fenn Gaussal és másokkal is. Természetéből fakadóan csaknem minden iránt érdeklődött. Minden újságra felfigyelt, s ha valami érdemesnek vagy érdekesnek valót talált azt azonnal tudatta fiával. Bizonyára János is elolvasta Gauss leveleit, aki matematikai tárgyú írásai mellett könyveket is küld Farkasnak.

Szinte hihetetlen, de Gausst is értékes információhoz juttatja Bolyai Farkas. Tőle tudja meg Gauss, hogy megjelen a matematikátörténet egyik fontos, később sokat idézett folyóirata a Grunert által szerkesztett *Archiv der Mathematik und Physik*.

Bolyai János (és Farkas) másik forrása a magyar nyelvterület első közkönyvtára, a Marosvásárhelyen 1802 óta működő könyvesház, a Téka. Ez a remek gyűjtemény a Bolyaiak kedvelt szellemi műhelye. Igaz, hogy a Téka nem szakkönyvtár, de a könyvtáralapító Teleki Sámuel ifjúkorában érdeklődött a matematika iránt is, s így természetes könyvtára matematikai részlegének gazdagsága is. Leibnitz 11, Newton 8 munkával szerepel a nyomtatott katalógusban. De jelen vannak a Bernoulliak, Euler, d'Alembert, Lagrange, Clairaut és mások is. A Bolyaiak a Tékában

iratokat is találtak. Olvasták például a *Pétervári Aktákat* (Euler dolgozataival), a *Göttingische Gelehrte Anzeigen-t* (Gauss írásaival).

Bolyai János sokat merített apja és a saját maga gyűjtötte matematikai könyvekből. Az akkori viszonyokhoz képest mindkettőjüknek gazdag és eléggé jelentős könyvtára volt.

Talán mégsem volt olyan szegényes és vázlatos Bolyai János szakirodalmi tájékozottsága amint azt eddig olvashattuk. Igaz, a nemzetközi matematikai kutatás periferiáján dolgozott, de lehetőségeihez képest sokat olvasott. A könyveket, amelyek kezeügyébe kerültek rendkívüli figyelemmel és igen kritikus szemmel vizsgálta. Jegyzeteiben állandóan hivatkozik olvasmányaira, s ahol okot talál rá sohasem mulasztja el bíráló megjegyzéseit. Írásaiban sok helyen idézi Lacroix, Lagrange, Laplace, Newton, Cauchy, Bolyai Farkas, Littrow, Mascheroni, Vega, Euler, Montucla műveit. A legtöbbször Gauss és Ettingshausen nevével találkozunk. A *Disquisitiones arithmeticae* számos fejezetéhez fűz megjegyzést, Ettingshausen könyvében pedig több hibát felfedez.

Bolyai Jánosnak apjától eltekintve egyetlen olyan tudóstársa sem volt akivel gondolatait kicserélhette volna. Mégis akadtak a környezetében művelt emberek is, akiket tisztelt. Ilyen volt Aradon Wolter von Eckwehr százados és Olmützben Emanuel Zitta őrnagy, akik matematikailag is képzett tiszték voltak. Zitta kölcsönözte Bolyainak a nevezetes Crelle-féle matematikai folyóirat két számát, amelyekben „sok jót” talált. Bolyai mindkét följobbalóját őszintén tisztelte. Évtizedek múlva sem feledkezett meg róluk. 1851. november 24-én kelt jegyzetében fontos teendői között megemlíti, hogy „... Wolter – és Zittanak írni s Heil-Lehre-met (Üdv-Tanomat) megküldeni”.

Bolyai János tehát tudott arról, hogy a nagyvilágban léteznek matematikai folyóiratok, könyvek, amelyekhez leginkább anyagi okok miatt nem sikerült hozzájutnia.

Ugyancsak fontos feladatai között említi Bolyai „Némi vagy holmi érdekes vagy nevezetes könyvöket melyek kijötte vagy megjelenése felől tudomásom van vagy érte-

megszerezni". Szeretné megrendelni nem csak Gauss s Lobacsevszkij minden művét, de az Ettingshausét is, annak ellenére, hogy „... *a már kész Appendix becsét sem volt képes fölismerni ...*”. Írni akar Kazánba, ismét említi Grunert folyóiratát mint amelyre szüksége van. Külön feladat 1851-ben „*Atyáméinak is apróra átnézete*”. Jó lenne még olvasni növénytan, állattan, nyelvtan és kristálytannal foglalkozó könyveket is – írja.

Bolyai János nem értesülhetett kora tudományának minden eredményéről, matematikai műveltségét mégsem mondhatjuk vázlatosnak. Ő sem volt megelégedve olvasmányaival sem könyvei számával. Természetesen szeretett volna még többet tanulni. „*Eddig elé – jegyzi meg 1856-ban – a legnagyobb szorgalom és képesség mellett sincs mit egyebet tenni ... mint néhány hallomás szerint jobb, általján történetesen kezünkbe került könyvből is némileg okulni. És valóban: nekem nagyon kevés könyvöm van, ...*”.

Nem fogadhatjuk el tehát a köztudatba eddig eléggé behatolt képet a két Bolyairól. Éppen ellenkezőleg Vekerdi Lászlónak van igaza amikor [12] tanulmányában így ír: „Sarlóska Ernő látja jól, hogy Bolyai János Bécsben egy tág horizontú világba jutott, amiből később se lépett ki soha. Merő anakronizmus őt Marosvásárhelyre bezárni. Mindvégig a szellemi Európa ama nagy polgáraihoz tartozik, akik megismerték és vállalták a vésőkig gondolt gondolatok szigorú keménységét ... A Bolyaiak – apa és fiú – nem holmi provinciális nyomorba süllyedt s kínjukban egymást tépő szerencsétlenek; alakjuk és soruk az európai gondolkodás főáramába tartozik, szervesen és kitéphetetlenül. Kihagyásuk az európai szellem egész történetét károsítja és hamisítja meg.”

#### 4.

Meglepően eredetiek Bolyai János a számelméleti problémákkal kapcsolatos gondolatai és eredményei. A Bolyai munkásságát ismerő olvasónak biztos különösnek hangzik ez az állítás ami érthető, hisz az eddig megjelent valamennyi Bolyai-monográfia szerzőjének egybehangzó véleménye szerint az abszolút

elméleti problémákhoz. Pedig ennek éppen az ellenkezője igaz. A kéziratanyag lapjai éppen arról tanúskodnak, hogy a fenti véleményekkel ellentétben Bolyai János igen élénken érdeklődött a számelmélet nehéz kérdései iránt. Ezekről a [5], [6], [8] dolgozatokban már részletesen beszámoltunk. Most – írásainkat újabb adatokkal is kiegészítve – Bolyainak főképpen azokat az észrevételeit emeljük ki, amelyek kézírataiban rejtőzve nem válhattak ismertté és amelyeket halála után tevékenykedő matematikusok újra felfedeztek. Bolyai János sokat fáradozott a prímszámok képletének keresésével. Egy időben úgy gondolta, hogy ezt a kis Fermat-tételben megtalálhatja. Ez a tétel azt mondja ki, hogy ha  $p$  egy prímszám,  $a$  egy olyan egész szám, amely nem osztható  $p$ -vel, akkor az  $a^{p-1} - 1$  különbség osztható  $p$ -vel, amit röviden még a következőképpen szoktunk írni:

$$a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p} \quad (1)$$

A kis Fermat-tétel fordítottja nem érvényes, vagyis ha (1) fennáll, abból nem következik szükségszerűen, hogy  $p$  prímszám. Bármely  $a$  egész számhoz találhatunk olyan összetett  $p$  számokat is, amelyekre az (1) összefüggés érvényes marad. Így például

$$2^{340} \equiv 1 \pmod{341} \quad (2)$$

bár  $341=11 \cdot 31$ . Az olyan összetett  $p$  számokat amelyekre az (1) kongruencia  $a=2$  esetén teljesül pszeudoprímeknek vagy álprímeknek nevezzük. Ezek szerint 341 egy álprím.

Apja ösztönzésére Bolyai megpróbálta bebizonyítani a kis Fermat-tétel fordítottját. Néhány kísérlet után rádöbbent arra, hogy ez lehetetlen. Több olyan összetett  $p$  számra talált amelyekre (1) fennáll.

Bolyai János is felfedezte a legkisebb pszeudoprím számot a 341-et. Erről édesapját 1855 májusában egy levélben értesíti, de a 341-es számot már azelőtt megtalálta. Megemlítjük, hogy ezt a számot egy ismeretlen szerző már 1830-ban felfedezte, de Bolyainak erről természetesen nem volt tudomása.

Érdekes az a mód, ahogyan Bolyai János megtalálta a 341-es számot. Érdemes részletezni az általa „elmélet”-nek nevezett módszert, mert néhány meglepő megjegyzést fűzhetünk hozzá.

Bolyai azt a kérdést vizsgálja, hogy

$$a^{pq-1} \equiv 1 \pmod{pq} \quad (3)$$

kongruencia, ahol  $p$  és  $q$  prímszámok,  $a$  pedig egy olyan egész szám, amely nem osztható sem  $p$ -vel, sem  $q$ -val. Először azt veszi észre, hogy

$$a^{(p-1)(q-1)} \equiv 1 \pmod{pq}$$

bármely, a feltételeinket kielégítő  $p$ ,  $q$ ,  $a$  számokra teljesül, vagyis

$$a^{pq-p-q+1} \equiv 1 \pmod{pq}.$$

Ha az

$$a^{p+q-2} \equiv 1 \pmod{pq} \quad (4)$$

kongruencia igaz lenne, akkor ez utóbbi két összefüggés összeszorozása által nyomban megkapnánk a (3)-at. Tehát most azokat a feltételeket kell megkeresnünk, amelyek ez utóbbi, (4)-es kongruencia helyességét biztosítják.

Ide kívánczik első észrevételünk. Feltűnő azonosság van Bolyai meglátása és Erdős Pál egyik 1949-ben felhasznált ötlete között. Ha összehasonlítjuk a fentieket Erdős [3] dolgozatával azonnal szembetűnik, hogy ő ugyanazt a gondolatmenetet követi, amelyet már Bolyai János is alkalmazott több, mint 100 évvel ezelőtt. Még ehhez hasonló gondolatot találunk D. H. Lehmer 10 cikkében is.

Végül azt találja Bolyai, hogy a (4)-es összefüggés akkor teljesül, ha

$$\frac{a^{p-1}-1}{q} \text{ és } \frac{a^{q-1}-1}{p} \text{ egész számok.} \quad (5)$$

Az  $a=2$  egyszerű esetben aztán rendre kipróbál néhány, az (5)-ös feltételeket kielégítő prímszámot és így eljut a  $p=11$  és  $q=31$  számokhoz, amelyek szorzata 341, s megkapja a (2)-es kongruenciát.

Így fedezte fel tehát Bolyai János a legkisebb pszeudoprímszámot. Ha módszerét figyelmesen végigkövetjük azonnal észrevesszük, hogy az egy ma már jólismert tankönyvi tétel. Ugyanis az (5)-ös feltételek  $a=2$ -re így írhatóak:

$$2^{p-1} \equiv 1 \pmod{q} \text{ és } 2^{q-1} \equiv 1 \pmod{p},$$

vagyis Bolyai szerint, ha ezek a feltételek teljesülnek, akkor azokból a

$$2^{pq-1} \equiv 1 \pmod{pq}$$

kongruencia következik. Ez pedig pontosan J. H. Jeans tétele, amelyet szerzője 1898-ban, évtizedekkel Bolyai János halála után közölt [4].

Így ez a Bolyai által felfedezett szép számelméleti tétel ma nem az ő, hanem újrafelfedezőjének nevét viseli. A matematikátörténet kutatók szerint a matematikai tételek jelentős része nem az igazi felfedező névén ismert. A fentiek szerint ezek közé sorolható a Jeans-tétel is. A tételt minden kétséget kizáróan először Bolyai János találta meg. Felfedezését – mint oly sok más munkáját az *Appendixen* kívül – sajnos nem közölte. Ezért rejtőzött az évtizedekig a kézírataiban.

A kis Fermat-tétel fordítottjának megcáfolása sokat foglalkoztatta Bolyai Jánost. A hátrahagyott kéziratokban több, újabb ellenpéldát találunk erre a tételre. Megszerkeszti például a

$$4^{14} \equiv 1 \pmod{15} \quad (6)$$

és az érdekes

$$2^{2^{2^2}} \equiv 1 \pmod{2^{3^2}+1} \quad (7)$$

kongruenciát is.

Egészen egyszerű példa a (6)-os, de nem kis meglepetéssel látjuk viszont egyik D. H. Lehmer által 1927-ben közölt dolgozatban [9]. Bolyai ezt az összefüggést is elmélete alkalmazásaként nyerte. A (7)-es kongruencia bizonyítását azonban másképpen végezte el. Ezt most nem részletezzük, de megjegyezzük, hogy a (7)-hez hasonló, vagyis olyan kongruenciákat amelyekben az ún. Fermat-féle számok szerepelnek csak az 1900-as évek elején megjelent dolgozatokban találunk. Bizonyos tehát, hogy Bolyai volt az első aki kimutatta, hogy az  $F_5=2^{3^2}+1$  egy pszeudoprímszám.

A (2)-es összefüggésben szereplő 341 és a (6)-os összefüggésben szereplő 15 is két prímszám szorzata. Bolyainak szándékában állt módszerének kiterjesztése arra az esetre is amikor az ellenpéldáiban előforduló összetett számok 3 prímszám szorzatára bonthatók, vagyis kereste azokat a feltételeket is amelyek teljesülése esetén az

$$2^{pqr-1} \equiv 1 \pmod{pqr}$$

kongruencia is érvényes lesz, ahol  $p$ ,  $q$ ,  $r$ , prímszámok,  $a$  pedig egy olyan szám, amely nem osztható ezek közül egyikkel sem. A célt ebben az esetben nem sikerült elérnie. Próbálkozásait a következő szavakkal fejezi be:

„... de már három tényezőre meglehetősen vastag elvön bonvolult lesz”.

Azért tartjuk mégis feljegyzésre érdekesnek Bolyainak ezt a kísérletét, mert gondolata csak nagyon későre jutott másoknak is az eszébe. R. D. Carmichael az, aki 1912-ben ilyen kongruenciákat szerkesztett [1].

Sokat foglalkoztatták Bolyai Jánost a fentebb már említett Fermat-féle számok, vagyis az

$$F_k = 2^{2^k} + 1$$

alakú számok. A Fermat-féle számok története ugyancsak érdekes és hosszú. Fermat szilárdan hitt abban, hogy az összes ilyen típusú szám prím, noha ő csak az  $F_0, F_1, F_2, F_3$  és  $F_4$ -et számította ki. Sejtése akkor dőlt meg, amikor Euler 1732-ben megmutatta, hogy a következő Fermat-féle szám az  $F_5$  összetett. Ezután szinte 150 évnek kellett eltelnie amíg 1880-ban, az akkor 82 éves Landraynek sikerült tényezőkre bontania az  $F_6$ -ot [2].

A matematika története nem tud arról, hogy 1732 és 1880 között valaki még foglalkozott volna a Fermat-féle számok prím vagy összetett voltának a vizsgálatával. Pedig a mi Bolyai Jánosunk képzeletét is megragadták ezek a számok. Kéziratok hagyatékának számos lapján, kis céduláján, néha más természetű szövegek közé beszúrva olyan hosszabb, rövidebb jegyzeteket találunk amelyekben a Fermat-féle számok szerepelnek.

Édesapjához írt egyik levelében például két helyen is utal Fermat-féle számokra: „*A numerus perfectus [tökéletes szám] valamint a  $2^{2^m} + 1$ -re nézti előbbi demonstrációm is egyébiránt jó és szép ...*” továbbá: „*Azt megmutatni, hogy bármely  $2^p - 1$  idomú szám prím mihelyt  $p$  prím, ugyanakkor, mikor a  $2^{2^m} + 1$ -gyel bajlódám, ...*”.

Sajnos a „jó és szép” bizonyítást nem sikerült megtalálni a kéziratokban. Egyik helyen azonban megállapítja és be is bizonyítja, hogy a  $2^{2^m} + 1$  alakú számok mindig  $6n - 1$  alakúak, következésképpen sohasem oszthatók 3-mal, máshol pedig felírja, hogy

$$2^{2^m} + 1 = xy, \quad m \geq 5$$

de az  $x$  és  $y$  számokról nem állít semmit.

5.

A Bolyai-hagyaték nagy kincse a komplex egészek aritmetikája. Lehet, hogy első hallásra túl merésznek hangzik az az állítás, amely szerint a komplex egészek aritmetikáját Gausstól függetlenül és körülbelül vele egyidőben Bolyai János is kidolgozta. Pedig amint a kéziratban maradt jegyzeteiből kiolvashatjuk a komplex egészek oszthatóságának minden alapvető problémájával foglalkozott. Próbálkozásairól nem készített egy összefüggő dolgozatot, de kéziratának különböző oldalairól összegyűjtve a tárggyal kapcsolatos följegyzéseit belőlük a komplex egészek összefüggő elmélete bontakozik ki.

A matematikatörténetben a komplex egészek oszthatóságának elmélete Gauss nevéhez fűződik, mert eredményeit először valóban ő közlte két nagyobb dolgozatban.

A *Természet Világa* 1996/11-es számában [7] részletesen felsoroltuk azokat az érveinket, amelyek alapján állíthatjuk, hogy Bolyai is felfedezte a komplex egészek minden fontos tulajdonságát. Bár elmélete nem olyan kimerítő, mint a Gauss dolgozataiban foglaltak, az alkalmazásokban viszont túlszárnyalta Gauszt. Bolyai János a komplex egészekre vonatkozó megállapításait például nagyszerűen felhasználta különböző számelméleti tételek bebizonyításánál.

Ragadjunk ki egyetlen példát. Ismert a Fermatnak tulajdonított tétel: minden  $4k + 1$  ( $k \in \mathbb{N}$ ) alakú prímszám a tagok sorrendjétől eltekintve egyértelműen felírható két egész szám négyzetének összegeként. Ezt a tételt Bolyai János – felhasználva a komplex egészeket – a következőképpen bizonyítja:

A *Diquisitiones arithmetice* 64-es és 108-as paragrafusai szerint, ha  $p$  egy  $4k + 1$  alakú prímszám, akkor létezik olyan  $x$  egész szám, hogy

$$\frac{x^2 + 1}{p}$$

is egész. Ezt a törtet  $\frac{(x+i)(x-i)}{p}$  alakban

írva következik, hogy  $p$ -nek létezik  $\pm 1$  vagy  $\pm i$ -vel nem egyenlő két olyan komplex egész  $e$  és  $f$  tényezője, amelyekre

$$\frac{x+i}{e} \text{ és } \frac{x-i}{f}$$

is komplex egészek. Legyen  $e=a+bi$ ,  $f=c+di$ , ahol  $a, b, c, d$  nullától különböző egész számok. Mivel  $p=(a+bi)(c+di)$  következik, hogy  $p=(a-bi)(c-di)$  s akkor  $p^2=p \cdot p=(a^2+b^2)(c^2+d^2)$ . De  $a^2+b^2 > 1$  tehát  $p=a^2+b^2=c^2+d^2$ .

Bolyai bizonyítását az 1850-es évek közepén egyik, apjához írt levelén jegyezte fel. Fermat tételét előtte csak G. Eisenstein bizonyította be a komplex egészek segítségével 1844-ben, de ezt a munkát Bolyai nem ismerte. Összehasonlítva Eisenstein bizonyítását [2] Bolyai fenti eljárásával azonnal megállapíthatjuk, hogy a két bizonyítás lényegesen eltér egymástól. A tétel iránt napjainkban sem szűnt meg a matematikusok érdeklődése. Az utóbbi évtizedekben, sőt években is több olyan publikáció jelent meg, amelyek szerzői a Fermat-tétel egyszerű, elemi és minél rövidebb bizonyítására törekedtek, de Bolyai János „demonstrációjának” eleganciáját az elmúlt 140 év dacára – úgy érzem – senkinek sem sikerült elérnie.

## 6.

A Bolyai-hagyaték számos oldalán találkozunk Bolyai Jánosnak az algebrai egyenletek megoldhatóságával kapcsolatos jegyzeteivel. Följegyzéseiből és a töredékekből tiszta kép tárul elénk ez irányú törekvéseiről. Kiolvashatjuk belőlük, hogy sokáig bizonytalan úton járva az ötödfokú, sőt a tetszőleges fokszámú algebrai egyenletek megoldását keresi, majd ráébredve tévedéseire ő is eljut a Ruffini-Abel-tételig.

Bolyai néhány az 1820-as évekre eső kísérlet után 1837-ben, tehát a domáldi „re-meteség” idején kezd az algebrai egyenletekkel alaposabban foglalkozni. Tehát, amikor a négyenél magasabb fokú egyenletek megoldására vonatkozó gondolatait papírra veti, a matematikusok már ismerik a Ruffini-Abel-tételt. Ezúttal Bolyai egy már megoldott feladattal birkózik. Bár kortársa Abelnek és Galoisnak, amit már megjegyeztünk, munkásságukról nem tud.

Bolyai János érdeklődését a feladat iránt bizonyára J. Lagrange, Gauss és A. Ettingshausen munkái keltették fel. Gaussról följegyezi, hogy a *Demonstratio nova* „remek” munkájának a 9. paragrafusában azt írja, hogy az algebrai egyenletek általános föloldására „csekély remény maradt” és „... Nem több reménnyel nyilatkozik a *Disquisitiones arithmeticae* 645 lapján” sem. Ettingshausen bécsi egyetemi tanárnak a Teleki Tékában ma is meglévő könyvében viszont megtaláljuk Ruffini 1799-ben közölt bizonyítását, amelyben Ruffini „... kísérletet tett a lehetetlenségre nézve ... De ezen kísérletbe néhány hiba csúszott be.”

Bolyai tehát észrevette, hogy Ruffini bizonyítása hibás, s ebből arra következtet, hogy a magasabb fokú egyenletek megoldása nem lehetetlen. Nem ismerve Abel munkáját először ő is – mint olyan sokan mások – az ötödfokú egyenlet megoldását keresi. Egy idő után aztán rádöbben kísérletei hiábavalóságára, sikerül kijavítania a Ruffini-tétel hibáit és ezáltal meggyőződik arról, hogy a négyenél magasabb fokú algebrai egyenletek algebrai úton általában nem oldhatók meg.

Sajnos erről csak töredékes feljegyzései vannak Bolyainak, de ezekből is világosan kiolvashatjuk, hogy sikerült meggyőződnie a Ruffini-Abel tétel helyességéről. Egyik helyen ezt írja: „*Tan [tétel] Négyenél felsőbb vagyis legalább ötrangú (geber) [ötödfokú algebrai] általános egyenletet geberül [algebrailag] föloldani lehetetlen*”. Ugyanezt fejezik ki a fia, Bolyai Dénes 1851-ben készült írásgyakorlatára odavetett sorok: „*Véghatározat vagy ultimátum. Az 5-ös fölsőbb rangú egyenlet általános föloldása lehetetlenségét két módon tudom megbizonyítani, úgy mint: a Ruffini illőleg megjavított s tökélyre vitt szép, eredeti, elmés eszméje szerint; és hogy az  $f_m$  számok 5-gyök-függvény csoportjait nem lehet alsóbb (kisebb) rangú egyenlet által meghatározni, vinni. A legtöbb és szebb tehát, mit itt meg lehet tenni és kívánni, megkísérteni: hogy így ...*”. Kár, hogy a papír elfogyott, a folytatást pedig nem találjuk.



Századunk folyamán nagy számú kutató vizsgálta már Bolyai gondoltait. A kéziratok hagyaték teljes feldolgozása azonban még mindig késik. Munkámmal az utókor e mulasztásának egy részét próbálom pótolni. Úgy érzem sikerült felfedni a kéziratok sok titkát s másokat is búvárkodásra sarkallni.

A kéziratokban még sok, a matematika más ágaihoz tartozó, megfejtetlen írás található. Van tehát még keresnivalója a tudománytörténésznek Bolyai János matematikai tárgyú publikálatlan kéziratai között. Ezek meggyőzően mutatják, hogy Bolyai János nem kizárólag geometriában alkotott nagyot. Kora matematikájának minden ága érdekelte, sokoldalú, eredeti tudós volt.

Amint rámutattunk nem mindig ismerte kortársai felfedezéseit. Fájdalom, a kézírataiban rejtőző eredményeiről sem tudott senki más apján kívül. Pedig ha alkalma lett volna ezeket különböző folyóiratokban – melyek már akkor léteztek s amelyekről ő is tudott – közzétenni, akkor ma a nevét nem csak a geometria, de algebrai, számelméleti és más szakkönyvekben is gyakran megtalálhatnánk.

Fejtegetéseink során azt is tapasztalhattuk, hogy Bolyai az 1850-es években több matematikai tételt fedezett fel, ami azt jelenti, hogy idős korában, betegen is, fáradhatatlanul dolgozott. Élete utolsó éveiben is tiszta fejjel gondolkozott matematikai problémákon, a matematikai kutatás örömét és gyötrelmét akkor sem hagyta abba.

Ezért így módosítanám Benkő Samu szép mondatát: Bolyai János a matematika és Údván fejezetein töprengve élete végéig megőrizte a gondolkodás örömét.

Köszönöm a *Magyar Tudományosság Külföldön* akadémiai program keretében meghirdetett *Domus Hungarica Scientiarum et Artium* ösztöndíjpályázatának támogatását, amelynek segítségével hosszabb időt tölthetem Budapesten. A dolgozatban szereplő számos adatot budapesti könyvtárakban találtam meg.

## Irodalom

- [1] Carmichael, R. D.: On composite numbers  $P$  which satisfy the Fermat congruence  $a^{P-1} \equiv 1 \pmod{P}$ . Amer. Math. Monthly, 19(1912), 22-27.
- [2] Dickson, L. E.: History of the Theory of Numbers, Chelsea, New York, 1952.
- [3] Erdős Pál: On the Converse of Fermat's Theorem, Amer. Math. Monthly, 56 (1949), 623-624.
- [4] Jeans, J. HOGY.: The Converse of Fermat's Theorem, Messenger Math., 27 (1897-1898), 174.
- [5] Kiss Elemér: Fermat's Theorem in János Bolyai's Manuscripts, Mathematica Pannonica, 6(1995), nr. 2, 237-242.
- [6] Kiss Elemér: Foglalkozott-e számelmélettel Bolyai János?, Természet Világa, 127(1996), 8. szám, 344-348.
- [7] Kiss Elemér: Kérdések Bolyai János kutatásairól, Természet világa, 127(1996), 11. szám, 522-523.
- [8] Kiss Elemér: Bolyai János vizsgálatai a  $4m+1$  alakú prímszámok két négyzet összegére való felbontásáról, Polygon, Szeged, 6(1996), 2. szám, 1-11.
- [9] Lehmer, D. H.: Tests for primality by the converse of Fermat's Theorem, Bull. Amer. Math. Soc., 33(1927), 327-340.
- [10] Lehmer, D. HOGY.: On the Converse of Fermat's Theorem, Amer. Math. Monthly, 43(1936), 347-354.
- [11] Szénássy Barna: Kérdések és válaszok, Bolyai Jánosra emlékezünk! Születésének 175 évfordulóján, Tud. Ismeretterjesztő Társulat Budapesti Szervezete, 1978, Szerkesztette Staa Gyula, 29-40.
- [12] Vekkerdi László: A Bolyai kutatás változásai, Természet Világa, 112(1981), 2. szám, 56-58.

## A klasszikus vasút jövője

Dr. Köllő Gábor

Kolozsvári Műszaki Egyetem

*Az itt bemutatott dolgozat az egyik legfontosabb szárazföldi közlekedési rendszer, a vasút jelenlegi helyzetével és fejlesztési lehetőségével foglalkozik, bemutatva a Nemzetközi Vasútegylet elképzeléseit, valamint a vasúti fejlesztés romániai lehetőségeit.*

A vasút számára alapvető követelmény, hogy szolgáltatásait vonzóvá kell tennie. Ez elérhető nagysebességű, biztonságos és környezetkímélő közlekedési rendszerrel.

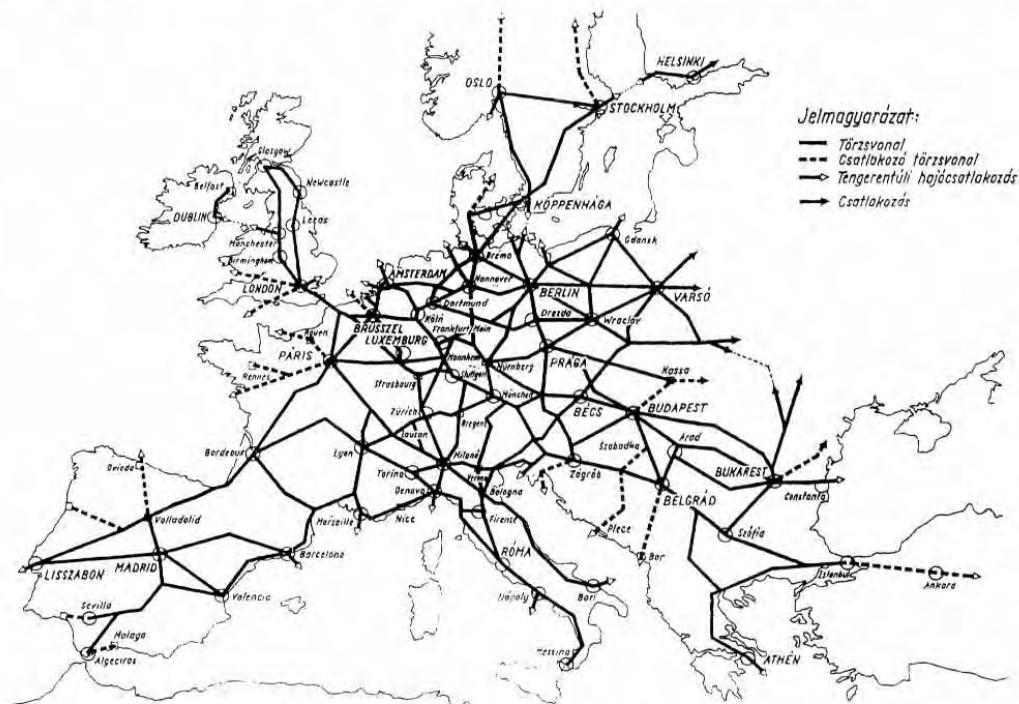
A vasúti közlekedés világszerte reneszánszát éli, nagysebességű vasútvonalak üzemelnek több nyugat-európai országban (Franciaország, NSZK, Anglia stb.) és a nagysebességű hálózat kiépítését tervezi a Nemzetközi Vasútegylet (U.I.C.) egész Európára.

A következőkben a klasszikus vasút – amelynek meghatározó elemeiként a sínpálya és a nyomkarikás acélkerekekkel ellátott járművek nevezhetők – jövőjéről fogunk beszélni, ezeken a vonalakon elért és elérhető

sebességekről, valamint nagysebességű vasútvonalrendszer kiépítésének lehetőségéről. Az eddigi tapasztalatok és vizsgálatok azt mutatják, hogy a vasútra a jövőben is szükség lesz, mert:

– az egyre növekvő közlekedési igények a vasút nélkül még a városi és környéki közlekedésben sem elégíthetők ki.

– a vasúti szállítás energiaigénye, azonos szállítási teljesítményre vonatkoztatva, a vízi szállítás kivételével, minden más közlekedési ágazaténál lényegesen kisebb. Egy személygépkocsi 3,5-ször, egy tehergépkocsi 8,7-szer annyi fajlagos energiát fogyaszt mint a vonat. A légi szállítóeszközök hajtóanyag fogyasztása 5-ször akkora mint a vonaté.



– környezetvédelmi szempontból a villamos vontatású vasút minden más közlekedési ágazatnál kedvezőbb.

– helyigénye – azonos teljesítménynél – városokban hatodrésze, városon kívül pedig harmadrésze a közúténak, zajártalma is kisebb, levegőszennyezése nincsen. A személygépkocsik toxikus károsító emissziója 8,3-szorosa a tehergépjárművéké pedig 30-szor magasabb mint a vasuté.

– szinte korlátlan mértékben fejleszthető, és minden más közlekedési ágazatnál könnyebben és nagyobb mértékben automatizálható.

– szállítási feladatait megfelelő fejlesztéssel képes az időjárástól szinte függetlenül nagy biztonsággal lebonyolítani.

Annak veszélye, hogy egy baleset bekövetkezzék, a közúti közlekedésben 24-szer nagyobb, mint a vasúti közlekedésben.

A Nemzetközi Vasútegylet (U.I.C.) hálózatfejlesztési terve mintegy 40.000 km összhálózatot foglal magába (1.ábra), a kapcsolatok jelentősége szerint három féle kiépítést különböztet meg:

– lényegében helyben maradó vonalak a vonali sebességnek minimum 160 km/h-ra való fölemelését lehetővé tevő korszerűsítéssel.

– nagyobb átépítésre kerülő vonalak 200 km/h vonali sebesség biztosításával.

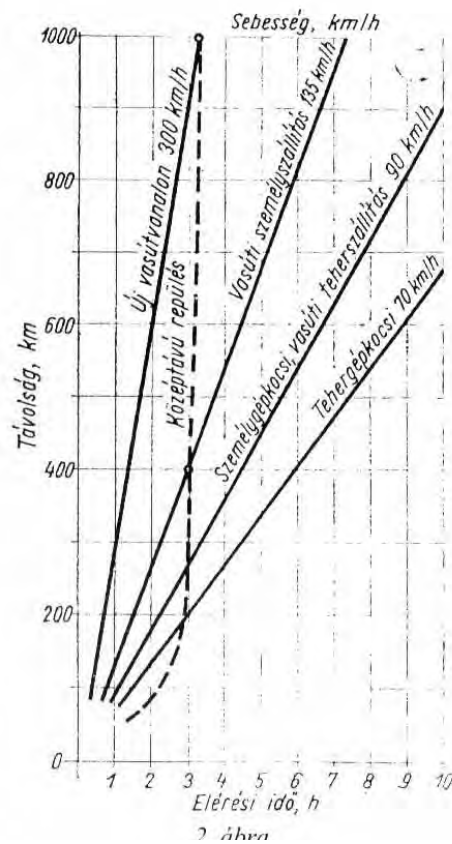
– új vonalak 250-300 km/h (esetleg > 300 km/h) vonali kiépítési sebességgel. (1.ábra)

A francia vasutak (SNCF) 15 éves tapasztalata és kísérletei bizonyítják, hogy a klasszikus vasútvonalakon megfelelő fejlesztéssel üzemeltethetők az 500 km/h sebességgel közlekedő vonatok (rekord sebesség 515,7 km/h). Jelenleg a francia vasúthálózat nagysebességű vonalain 260-300 km/h sebességgel közlekednek a TGV szerelvények.

A célkitűzések szerint, a vasúti utazási időnek, a személygépkocsi által elérhető időhöz, valamint a középtávú repülés utazási idejéhez kell alkalmazkodnia.

Figyelembe kell venni azonban azt, hogy a személygépkocsi a tartózkodási helytől az utazási célhelyig közlekedik, a repülőgépet igénybevevőknek azonban hosszú utat kell megtenniük a tartózkodási helytől a repülőtérre és a célrepülőtértől a célhelyig.

A vasúti utazási sebességnek tehát olyannak kell lennie, hogy az utazásra fordított idő (beleszámítva a tartózkodási helytől a vasútállomásig, majd onnan a vonaton a célállomásig, ott a célhelyig eltöltött idő és még a várakozási idő) ne legyen nagyobb a személygépkocsi utazási idejének a 2/3-ad részénél, és kisebb legyen, mint a repülési idő és a háztól a reptérig majd a reptértől a házig eltöltött idő. A célkitűzések a személygépkocsi utazási sebességét (háztól-házig) 90 km/h-ra tételezik fel, akkor a vasúti utazási sebesség 135 km/h. (Ha  $V_{ut.sz.}=100$  km/h  $\Rightarrow V_{ut.v.}=150$  km/h). 135 km/h utazási sebesség 160 km/h vonali sebességet kíván meg. Ugyanakkor figyelembe kell venni a középtávú ( $\approx 1000$  km) repülés utazási idejét. A 2. ábra szemlélteti az elérési időket az U.I.C. tanulmányai szerint.



Nagyon röviden megfogalmazva a vasút legfontosabb feladata az „idő összesűritése” lesz. Néhány nagysebességű vonal jellemző adata:

Vasút	V [km/h]	m [mm]	$m_h/m_t$ [mm]	a [m/s <sup>2</sup> ]	$R_{min}$ [m]	Megjegyzés
Tokaido	200	180	8	0,05	2500	Csak személyforgalom
	210	180	30	0,2		
Sanyo	250	180	0	0	4000	Csak személyforgalom
	260	180	30	0,2		
Paris-Lyon	300	180	85	0,55	4000	Csak személyforgalom
Róma-Firenze	≤250	125	130/-100	0,85/-65	3000	Vegyes forgalom
DB program	300	150	0	0	7100	Csak személyforgalom
			50	0,33	5300	
	≤160	150	100/-50	0,65/-0,33		Vegyes forgalom
	160≤ V≤200	150	80/-30	0,53/-0,20		

1. táblázat.  $m$ -tülemelés;  $m_h$ -tülemelés hiány;  $m_t$ -tülemelés többlet;  $R_{min}$ -körívsugár

Befejezésül néhány szóban lássuk mi a helyzet hazai tájainkon. Amint az 1. ábra szemlélteti Romániára nagyon nehéz feladatok várnak. A létező vasútvonalak a századforduló körül épültek és az utóbbi évtizedek (évek) felújításai sem változtatták meg a vonalvezetést. Ez azt jelenti, figyelembe véve a fővonalak geometriai helyzetét (vonallevezetést), hogy ezeken a vonalakon jelentős sebességnövelés nem lehetséges. (Fővonalaink utazási sebessége 60-70 km/h).

Ezt az állítást a következőkben bizonyítom: a vasútvonal maximális sebessége nagymértékben függ az ívek geometriájától (körívsugártól  $R$ , átmeneti ív típusától és hosszától  $L$ ) és a karbantartás minőségének a paramétereitől.

A maximális sebesség  $V_{max}$ , kissebességű vonalakon ( $V \leq 120$  km/h) és nagysebességű pályákon is függ a körívsugár nagyságától.

$$V \leq 120 \frac{km}{h} ; V_{max} = \sqrt{\frac{R}{11,8} (m + m_h)} \quad (1)$$

$$V \geq 120 \frac{km}{h} ; V_{max} = 3,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{a_{II} \cdot R \cdot L}{\alpha}} \quad (2)$$

{ $a_{II}$ = $da/dt$  gyorsulásváltozás,  $a_{II}$ =(0,2;...;0,5) m/s<sup>3</sup>;  $m$ =tülemelés[mm];  $m_h$ =tülemelés hiány[mm];  $\alpha$ =az átmeneti ívet jellemző állandó;  $a$ =gyorsulás }

Nem elhanyagolható tudni, hogy míg

(lineáris görbületváltozás), addig nagy sebességű pályán parabola, koszinusz és szinus átmeneti ívet (parabolikus, koszinusz és szinus görbületváltozás) használnak. Az utóbbiak hossza lényegesen nagyobb és menetdinamikai szempontból sokkal kedvezőbbek.

Így tehát fővonalainkon használt klotoid átmeneti ív esetén

$$V=80 \text{ km/h} \Rightarrow R_{min}=300 \text{ m} ; L=120 \text{ m.}$$

Ha ugyanezt az átmeneti ívet használnánk és a sebességet 160 km/h-ra növelnénk

$$V=160 \text{ km/h} \Rightarrow R_{min}=1300 \text{ m} ; L=261 \text{ m.}$$

Megváltoztatva az átmeneti ív típusát szinus átmeneti ívre

$$V=160 \text{ km/h} \Rightarrow R_{min}=1300 \text{ m} ; L=281 \text{ m.}$$

Ha a sebességet  $V=(250-300)$  km/h-ra növeljük, akkor  $R_{min}=(3000-4000)$  m, ami (10-15)-szöröse a jelenlegi ívsugaraknak.

Az elmondottak azt bizonyítják, hogy a jelenlegi vonalvezetést jelentősebb sebességemelés esetén a domb és hegyvidéki vonalakon teljes mértékben meg kell változtatni. Tehát nagysebességű vonal létesítése, kivéve a Bukarest-Cernavoda, részben Bukarest-Iasi-Suceava, Bukarest-Craiova vonalakat az eredeti nyomvonalon nem lehetséges. Továbbá figyelembe véve, hogy a nagysebességű vonalakon elkülönítik a személyforgalmat a teher és helyi személyforgalomtól, jelenlegi vonalainkat fel lehetne használni teher és helyi jellegű személyforgalomra. Nagy sebességű

---

között, bekapcsolódva az európai hálózatba, új pályák megépítése szükséges. Ennek a megvalósítása műszakilag kivitelezhető, ha a megfelelő anyagi háttér biztosított.

Ezt könnyű így leírni, de ismervé az ország jelenlegi gazdasági helyzetét, biztosan állíthatom, hogy rövid (belátható) időn belül nem fogunk nagysebességű vonatokon közlekedni.

Figyelembe véve Románia területének nagyságát, egy nagysebességű vasúti hálózat

teljes mértékben helyettesíteni tudná a belső polgári repülőjáratokat. (Utópia?!). Álmodozunk csak egy kicsit. Az egyik leghosszabb vonal Szatmárnémeti-Mangalia ( $\approx 800$  km), egy nagysebességű ( $V=250$  km/h) vonat megfelelő pályán, 4-szer 5 perces megállással, ezt a távolságot 3 h 32 perc alatt tenné meg. – Ugye, hogy ez álomnak is túl merész?!

Reménykedjünk abban, hogy nem.

## Gondolatok templomaink bútorairól

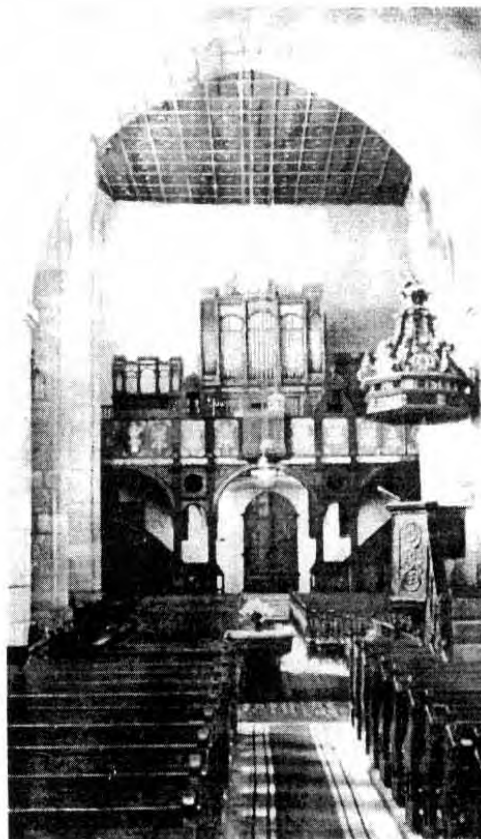
*Dr. Murádin Katalin*

Kolozsvári Műszaki Egyetem

Kis falu az erdélyi Mezőség peremén: Kide. Alig négyszáz lelket számláló lakossága öt egyház közösségéhez tartozik. Magyar és román lakói a református, római katolikus, unitárius, ortodox és neoprotestáns vallások hívei. Szinte hihetetlen, hogy ez a maroknyi közösség, mélységesen ragaszkodva ősei hitéhez, templomait fönntartani képes.

Jelkép értékű, amit itt tapasztalunk. Összességében végsősoron ez a kép bontakozik ki az erdélyi részekben, a Kárpátokon belüli területen. A vallási türelmet meghirdető 1568-as erdélyi diéta szentesítette először Európának ebben a sarkában az egyházak békéjét, fönntmaradását, egymás mellett élését.

Ebben a sokszínűségben kell vizsgálnunk az egyházakkal összefüggő minden szellemi és anyagi kérdést.



*Dési református templom belseje*

A következőkben a templomépítészetnek egy szűkebb kérdéskörével, a belső terek bútorzatával foglalkozom. Habár minden vallás a maga hagyományai szerint alakította ki templomainak belső terét, nem kétséges, hogy céljuk, szellemiségük ugyanaz. Mert mi másat szolgálna az isten háza, mint az egybegyűlt hívek egyéni és közös lelki épülését. A templom berendezése és hangulati téralakítása tehát egyrészt az egyéni elmélyülést, másrészt az együvértartozás érzését erősíti és szolgálja.

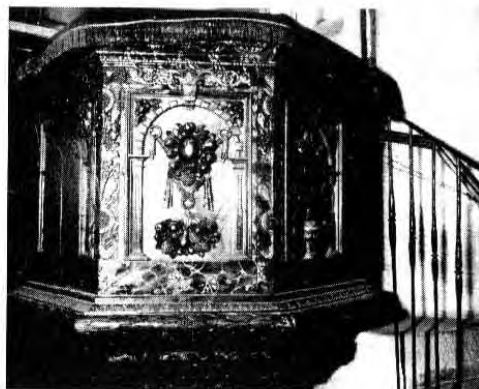
Ahogy műemléktemplomainkat nyilvántartjuk, építészeti értéküket tudatosítani és óvni igyekszünk, ugyanúgy figyelniük kell berendezésük, bútorzatuk történeti és műérté-

ríti ki a műemlék fogalmát, de ebbe a kategóriába tartozhat minden olyan kultikus értékű tárgy vagy berendezés, mely elmúlt korok hagyományait, stílusát hordozza. Ezeknek a számbavétele és védelme társadalmi feladat, függetlenül attól, hogy ortodox, protestáns, katolikus vagy zsidó templomok tartozékai. Ugyanakkor a jelen építészeti feladataira figyelve, számba kell vennünk azokat az igényeket, melyek a templomok berendezése kapcsán az ökuménia szellemében vagy az egyházi reformok, a nyitottság kívánalmai szerint módosultak.



*A tordai református templom belseje*

A műemlékvédelem eddig eléggé háttérbe szorult feladata tehát nyilvántartani, megővni a történelmi értékű, régi egyházi bútortzatot. Vegyem elsőként a különleges művészi értéket képviselő oltárok helyét és helyzetét, amelyek a reformáció előtti korban a templom liturgikus terének legfontosabb tartozékai voltak. Számtalan formájuk őrződött meg: az egyszerű oltárképet magába foglaló keretektől a gótikus és reneszánsz szárnyas oltárokig vagy a teljes térkitöltést megvalósító, építményszerű, dúsan ékesített barokk alkotásokig. Ezeknek csak egy része található eredeti helyén. Kiemelt művészi értékük miatt a reformáció idején a templomokból kikerült oltárok egy része múzeumi védelmet nyert (így festett-faragott szárnyas oltáraink), más részük másodlagos elhelyezést

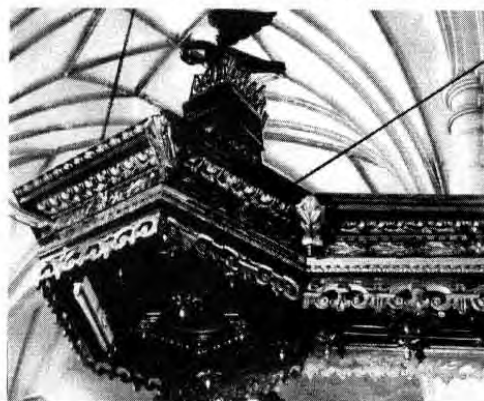


*Farkas utcai református templom —  
Kolozsvár: Katedra*

Szerencsés példáját ez utóbbinak a kolozsvári Monostori úti katolikus templomban találjuk, ahol az egykori minorita templom gyönyörű barokk oltára kapott új helyet.

Az újabbkori szellemi megújulást követő egyházban az oltár szerepét az oltárasztal veszi át, a pap szembe fordul híveivel. Ilyenformán a régi, hagyományos oltárok inkább csak díszei maradnak a templomoknak. Feladatunk azonban az, hogy ezeket továbbra is, lehetőleg eredeti helyükön megtartsuk, s a modern, felújított bútortzat történelmi-művészi ellenpontjaként a templomban megőrizzük.

A protestáns templomok fő bútortzata a szószék és az úrasztal. Erdélyi templomainkban változatos formája honosodott meg, a kőből faragott, téglából rakott vagy fából készült prédikálószékeknek. Különleges értékűek a késő reneszánsz stílusú, XVII-XVIII. századi faragott, feliratos és címeres katedrások.



*Farkas utcai református templom —*



*Bonchidai református templom  
— katedra*

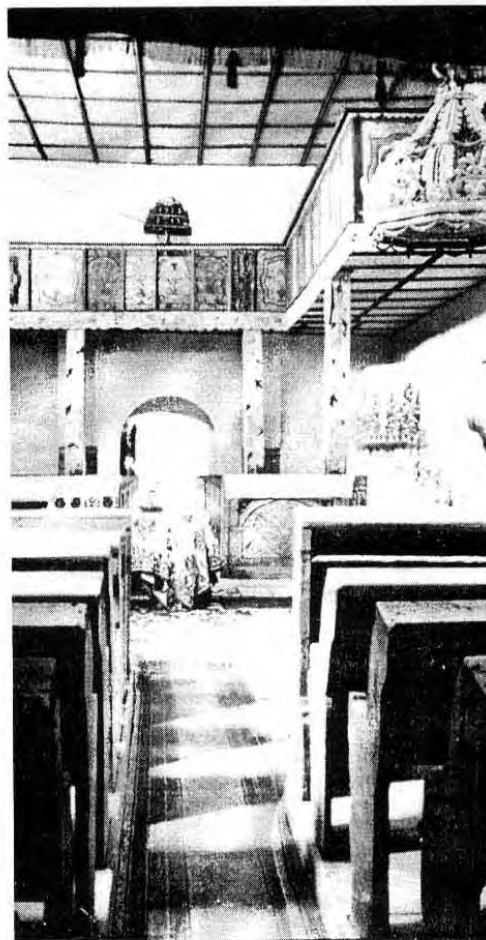
Ezek fölmérése, számbavétele nemrég történt meg. S e felmérő munkában vált követhetővé néhányuk kényszerű helyváltoztatása vagy pusztulása. Több olyan műemlék-szószékről tudunk, mely az elpusztult, lebontott templomból került át az újba (Kispulyon, Árpástó, Magyardécse) vagy éppen más helység temploma fogadta be azokat. (Így került a drági szószék Bánffyhunyadra, a bábóci Kidebé). Sajnálatosan nyomtalanul tűnt el a csak leírásokból ismert tötöri katedra.

Sokkal kevesebbet tudunk a kőből faragott, s a korstílust híven őrző keresztelő medencékről és stallumokról. Ezek fölmérése és számbavétele szintén sürgető feladat.

Romlandóbbak, pusztuló anyaguknál fogva, a fabútorok. A kutatót mindemellet megfélepetések érhetik. Csak példaként említem a vistai (Kolozs megye) református templomot, ahol XVI. századi festett bútorokat is őriznek még fölmérhető állapotban. Másik példa az erdőcsinádi (Maros megye) templom

meg a XVIII. századi barokk templom korabeli teljes berendezése. Ezek védetté nyilvánítása, műemlékvoltuk kimutatása óvhat meg csupán attól, hogy egy meggondolatlan felújításkor ez a bútorzat le ne cserélődjön, nyomtalanul el ne pusztuljon.

A szakirodalomban újra és újra fölpanaszolt a festett bútorok, mellvédék, kazetták sorsa. Fokozatos pusztulásuk oka sok esetben a jószándék. A szakavatatlan tisztítás, a táblák lúggal történő mosása lassan eltünteti a díszítő motívumokat, a festést. Másrészt arra is van példa, hogy szépítő szándékkal ugyan, de meggondolatlanul olajfestékkel mázolják át a régi növényi festésű motívumokat.



*A gyerőmonostori református templom*





*A gyerőmonostori református templom szószéke és papipadja*

Az ortodox templomok kiemelt értékei az ikonosztázok. Ezek képeinek egy része muzeális érték. Megóvásukhoz tartozik időnkénti följújtásuk is. Ezalatt az egyszerű képtisztítást értem, vagy adott esetben a tényleges restaurálást. Korántsem mindegy, hogy erre a munkára a vegyszeres kezelés hatását nem ismerő vállalkozót, vagy múzeumi szakembert kérnek fel.

Még nagyobb gond a zsidó templomok, zsinagógák nagy értékű régi bútortáának és tóra-tekerceinek megóvása. Utóbbira, a pergamen- vagy papírrestaurálásra nálunk még nincsenek szakemberek.

Közös gondunk tehát templomaink belső értékeinek védelme. Hogy mit tehet a közös akarat, a tolerancia és jószándék, arra álljon itt egyetlen példa. Évekkel ezelőtt a környező falvak református lakói javították a már hívek nélkül maradt, nagyon lepusztult boroskrakkói (Fehér megye) templomot. Azt láthattuk, hogy a falu román közössége maga is beállt melléjük, átérezve, hogy az Isten háza mindannyiunké.

## Új lehetőség: A krio-elektronika

**Dr. Puskás Ferenc**

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár

A XXI. század emberének csak akkor jósolhatunk nyugodt jövőt, ha sikerül megoldania a következő négy problémát: táplálkozás, energia, információszerzés, környezetvédelem. Nyilvánvaló, hogy mind a négy kérdéskör rendkívül összetett, egymást kölcsönösen befolyásolja, és egyik megoldása sem lehetséges a másik három figyelembevétel nélkül. Ennek ellenére, ha fontossági sorrendet állítanánk fel közöttük, az információszerzésre tehetnénk a fő hangsúlyt: a tudás és a kultúra megfelelő fejlődése nélkül reménytelen dolog a másik három problémakör megoldására gondolni.

A szakemberek újabban már nem olyan borúlátók a jövőt illetően, mint néhány éve. A futurologusok kidolgozta modellek sok esélyt mutatnak fel. A nehéz idők átvészeshetők, ha kulturális bázisunk elég szilárdnak bizonyul ahhoz, hogy ne pusztítsuk el önmagunkat. A tudományos és műszaki fejlődés előtt nagyszerű távlatok nyíltak meg, mióta az elektronika közvetlen eszköze lett a haladásnak. Az emberiség fejlődésére egész története során egyetlen tudományág sem hatott olyan döntő módon (az atomfizikát is beleértve), mint az elektronika. Ha a modern *elektronika jövőbeli eredményeit próbáljuk előre látni*, nem hagyhatjuk figyelmen kívül a szupravezetők kínálta lehetőségeket, amelyeket részben már alkalmaznak vagy a közeljövőben fognak alkalmazni, részben a távolabbi jövő nagy ígérését jelentik.

### **Mi a szupravezetés?**

A szupravezetés jelenségét több mint fél évszázada ismerjük. A dolog úgy kezdődött, hogy Leyden világhírű intézetében, az alacsony hőmérsékletek laboratóriumában, H. Kammerlingh-Onnes a fémek elektromos vezetését vizsgálta az abszolút zéró fok közelében. Elméletileg arra számított, hogy a fémek elektromos ellenállása, amely a hőmérséklettel csökken, egy zérótól különböző véges érték felé tart, ha a hőmérséklet az abszolút zéróhoz közeledik.

Az első kísérletek nem hazudták meg várakozását, amely a réz, az arany, az ezüst és a platina esetében igazolódott. A higany azonban megdöbbentően viselkedett: elektromos ellenállása 4.15 Kelvin hőmérsékleten hirtelen eltűnt, s ennél kisebb hőmérsékleten zéró értékűnek adódott. Később más fémeknél, így az ólomnál, az ónnál, az alumíniumnál (napjainkig több mint huszonöt elemnél és ezer ötvözetnél) kimutatták a jelenséget, amelyet Kammerlingh-Onnes nagyon találóan szupravezetésnek nevezett el.

Azt a hőmérsékletet, amelynél a normális vezető szupravezető állapotba megy át kritikus hőmérsékletnek mondjuk (jele  $T_c$ ).

A fizikusok már a szupravezetés felfedezésekor rájöttek, hogy rendkívüli jelenséggel állnak szemben, amely mind kísérleti, mind elméleti szempontból nagy újdonság. Ohm és Kirchhoff törvényei – az elektrotechnika alaptörvényei – a szupravezető áramkörökre *nem alkalmazhatók. Mivel elektromos ellenállás hiányában Ohm és Kirchhoff törvényeivel nem írható le a szupravezetési áram eloszlása*, ezeket az áramköröket az áram és annak mágneses tér közötti kapcsolattal kell jellemezni. Ezért részletesebben kezdték vizsgálni az áram és a mágneses tér közötti kapcsolatot. A kísérletek során kiderült, hogy a szupravezetés jelensége egy adott erősségű mágneses térrel megszüntethető. Azt a mágneses térerősséget, amely az adott ( $T_c$ -nél alacsonyabb) hőmérsékleten a szupravezető állapotot megszünteti, kritikus mágneses térerősségnek mondjuk: ennek rendkívüli fontossága van a szupravezetők gyakorlatában.

### **Kidobja magából a mágneses teret**

A további vizsgálatok kiderítették, hogy a külső mágneses tér általában nem hatol be a közönséges szupravezető test belsejébe: az mintegy „kidobja magából” a mágneses erővonalakat. Ezt a jelenséget felfedezőjéről Meissner-effektusnak nevezik. A közönséges szupravezető tehát olyan mint egy

ideális diamágneses anyag, amelynek a felületéről a mágneses tér erővonalai mintegy „visszaverődnek”.

Ha egy szupravezető lemezhez egy kis mágnesrudat közelítünk, az eltaszítja magától a mágneset, amely ott marad lebegő helyzetben a lemez fölött. A jelenség máris egy fontos gyakorlati alkalmazásra hívta fel a figyelmet: ennek alapján dolgozták ki a szupravezetők mágneses felfüggesztésének az eljárását (mágneses lebegtetés). A szupravezető elektromos gépekben a csapágy nélküli forgórészt mágneses felfüggesztéssel rögzítik az állórész belsejében. Ennél a géptípusnál az egész súrlódási veszteség gyakorlatilag kiküszöbölhető, a gép hatásfoka szinte eléri az egyet. Ilyen motorokat terveznek nagy teljesítményű és nagy fordulatszámú centrifugák működtetésére.

A közlekedés szempontjából is jelentősek azok a kísérletek, amelyeket nagy sebességű távolsági vonatok kifejlesztése céljából végeznek. Ezeknél mágneses lebegtetésű lineáris motorokat alkalmaznak. A lineáris motor mozgórésze egy szupravezető test, amely az utasfülke alatt helyezkedik el, és szilárdan a fülkéhez kapcsolódik. A fülke alatti sínvezeték szupravezető kábeleket tartalmaz, melyekben nagy intenzitású váltakozó áram folyik. Az áram mágneses tere olyan erős, hogy néhány centiméter távolságra a sín fölött lebegteteti az utasfülkét, melyet a mozgórészre ható húzóerő rövid idő alatt nagy sebességre képes felgyorsítani. Japánban egy negyven kilométer hosszú kísérleti pályán szupravezető rendszerű lineáris motorral, ill. ilyenrel felszerelt vonattal 550 km/h sebességet sikerült elérni.

#### **Veszteségmentes energiaszállítás**

Mivel a közönséges szupravezető belsejébe nem jut be mágneses tér, már kezdetben sejtették, hogy nem juthat be az elektromos áram sem. Később kiderítették, hogy a szupravezetőben az áram általában tényleg csak egy vékony, kb.  $10^{-6}$  cm-es felületi rétegben folyik. S akár a külső mágneses tér, az áram mágneses tere is csak e vékony felületi rétegbe tud behatolni. A szupravezető, mivel nincs ellenállása, és csak nagyon vékony felületi rétegben vezeti az áramot (nagy áramsű-

anyag felhasználásával nagy elektromos teljesítményt szállít veszteségmentesen.

Jelenleg a világ energiatermelésének 10 %-át villamos energia formájában nyerjük, de századunk végére ez az arány 25%-ra növekszik. A számítások azt mutatják, hogy ennyi villamos energiát csak úgy lehet gazdaságosan termelni, ha óriási kapacitású erőműveket építenek. A nagy erőművekben nyert elektromos energia szállítása azonban újabb problémákat vet fel. 1 GW (milliárd watt) teljesítmény fölött az ismert klasszikus eljárásokkal (nagy feszültségű légvezeték, olajhűtésű földalatti kábel) nem lehet gazdaságosan szállítani nagy távolságra a villamos energiát – megoldásul kínálkozik viszont a szupravezető kábelek alkalmazása.

Ilyen távvezetékek számára már több szupravezető kábeltípust kifejlesztettek. A legegyszerűbb megoldású egyenáramú kábel egy rézcső, amelynek külső és belső falát mikron vastagságú nióbbiummal vonják be. A cső belsejében cseppfolyós héliumot áramoltatnak; ez biztosítja, hogy a nióbbium – amelynek kritikus hőmérséklete 9,2 K – állandóan szupravezető állapotban legyen. A rézcsövet ezután hőszigetelő burkolattal veszik körül. Egy másik kábeltípus réz mátrixba ágyazott szupravezető szálakból áll. Úgy készül, hogy egy tömör rézhengerben több száz, néhány mikron vastagságú kapilláris cső rendszerét hozzák létre, és a vékony csöveket szupravezető szálakkal töltik ki.

Bizonyos energiavesztéssel persze a szupravezető kábelnél is számolni kell. A rendszer hűtésére energiát kel fordítani, azonkívül váltakozó áram szállításánál a szigetelő részben itt is fellépnek a dielektromos veszteségek. A vizsgálatok szerint azonban egy 10 GW-ot szállító, 300 km-es távvezetés esetében a szupravezető kábel annyival jobb hatásfokot biztosít, hogy a többletköltség már a jelenleg alkalmazott technológia mellett is pár év alatt megtérülne.

#### **Kisebb méret, jobb hatásfok**

A szupravezető huzalok legrégebbi és leggyakoribb alkalmazási területe az elektromágnesek készítése. A kereskedelemben több mint húsz éve árusítják már a különböző típu-

a klasszikus elektromágnessel szemben több előnyük van: erősebb mágneses teret állítanak elő, méretük jóval kisebb, és jobb a hatásfokuk.

Attól függően, hogy milyen célt szolgálnak, a szupravezető mágnesek nagyon különböző alakúak és méretűek lehetnek. Egyeseket ipari sorozatban állítanak elő, másokat egyedi példányként. Gyártanak például – néhány ezer dolláros áron – kis asztali elektromágneseket, amelyek mérete nem haladja meg egy nagyobb termosztét, és 1 T nagyságrendű mágneses indukciót lehet elérni velük. Ilyen erős mágneses mezőt – klasszikus úton – csak több mázsás elektromágnes valósíthat meg.

A szupravezető mágnesek másik fontos alkalmazási területe a nagy energiafogyasztású mágnesek helyettesítése. A magfizikában használt gyorsítók, a magfúziós reaktorok, az MHD generátorok igen nagy kiterjedésű és nagy erősségű mágneses teret igényelnek. Régebben mindezeknél klasszikus elektromágneseket alkalmaztak. Ha figyelembe vesszük, hogy egy ilyen berendezés teljesítmény-felvétele több száz MW, és egy klasszikus elektromágnesnél ennek a teljesítménye jó része hővé alakul, ugyanakkor a keletkezett hő elszállítása is külön energiát igényel, akkor belátható, hogy a szupravezető mágnes ezen a területen ki fogja szorítani klasszikus vetélytársát.

1979-ben a Szovjetunióban üzembe helyezték az első szupravezető mágnessel működő tokamak típusú magfúziós reaktort. A nyolcvanas években tervezett óriáshinkrotronok mágnesei ugyancsak szupravezetőből készültek.

### Mágneses árnyékolás

A szupravezető nem csak erős mágneses tér előállítására, hanem annak kiküszöbölésére is alkalmas. Az egyetlen ideális mágneses szigetelő. Ha építünk egy zárt szupravezető dobozt, s abból „kikanalazzuk” a belsejébe zárt földmágneses teret, egy olyan térrészt nyerünk, ahol nincs mágneses tér.

Egyes fizikai és biológiai vizsgálatoknál nagyon fontos a külső mágneses tér megszüntetése, a mágneses árnyékolás. Az amerikai Bell Laboratóriumnak van egy mágnesese-

sen árnyékolt fülkéje, amelynek térfogata 75 m<sup>3</sup>; ebben a helyiségben sikerült a kívülről származó mágneses teret a földmágneses tér tízmilliomod részére csökkenteni. A fülkében főleg biológiai jellegű kutatásokat végeznek.

Régóta tudjuk, hogy van több olyan sejtípus és a magasabb rendű élőlények között is sok olyan faj, amely különösen érzékeny a külső mágneses tér változásaira. A kutatók feltételezik, hogy mágneses tér teljes hiánya esetén az élő szervezetekben súlyos rendellenességek állhatnak be, némelyik faj meg éppen kipusztulhat. Szupravezető cellákban szúnyogféléken végzett kísérletek megerősítik ezt a feltevést. Anopheles szúnyogokat tartottak mágnesesen árnyékolt cellákban: tizenkét nemzedék után a kísérleti egyedek már nagyrészt terméketlenek voltak. Feltételezhető, hogy a vizsgált szúnyogféléknél a génstruktúrához kapcsolt információs anyag átmásolásában állnak be zavarok a mágneses tér hiányában.

Egyes kutatók az őshüllőknek a krétakorszak végén történt kipusztulását a földmágneses térerősség akkor előállt nagyfokú csökkenésével magyarázzák.

### Mozgó alkatrész nélkül

Elektromos energiát annál gazdaságosabban lehet előállítani, minél nagyobb teljesítményű generátoregységet alkalmazunk. Korszerű erőművek már GW nagyságrendű turbogenerátorokkal dolgoznak. A motorokhoz hasonlóan a generátorok szerkesztéséhez is használhatunk szupravezető áramköröket: így csökkenthető a generátor mérete, ugyanakkor javítható a hatásfoka.

Teljesítmény	500 MW		1000 MW	
	súly (T)	hosszúság (m)	súly (T)	hosszúság (m)
Konvencionális	400	10	700	14
Szupravezető	210	6,4	280	7,5

Táblázatunk egy konvencionális és egy szupravezető áramkörös turbogenerátor főbb adatait tünteti fel.

A legkorszerűbb elektromosenergia-termelő a mozgó alkatrész nélküli szupravezető magnetohidrodinamikus (MHD) generátor. Ennél az energiafejlesztő alapegység – például atomreaktor – által termelt hő segítségével

gével magas hőmérsékletű plazmát állítanak elő. A plazmát, amely ionokat és elektronokat tartalmaz, mágneses térbe irányítják. A mágneses térben mozgó töltésekre a Lorentz-féle erő hat, amely a plazmában mozgó töltéseket előjelük szerint két különböző irányban téríti el. Ily módon a generátor két kollektorlemezeire jutnak a plazma áramból különválasztott pozitív és negatív töltések. A kollektorlemezek alkotják tehát az MHD generátor két pólusát.

Mivel ez a berendezés nem tartalmaz mozgó alkatrészeket, hatásfoka nagyon jó. Ha a plazmát képező munkagázt atomreaktor hőjével hevítik, nagy teljesítmény esetén a hőenergia villamos energiává való átalakítása az ideális Carnot-ciklusét megközelítő hatásfokkal történhet.

Az MHD generátor kétségtelenül a jövő elektromos generátora. Az USA-ban terveznek egy 1 GW-os MHD generátort, amelynek üzembe állítását 1999-re irányozták elő. Ennek a szupravezető mágneses egy 25 m hosszú és 10 m átmérőjű henger; az előállított mágneses indukció 6 T.

Számos más ország mellett Romániában is folynak kutatások MHD generátorok építése céljából. A bukaresti ICPET kutatóintézetben egy munkacsoport megtervezett és felépített két kísérleti MHD generátort. Az egyik 45 kW teljesítményt szolgáltat egyenáramú üzemben, a másik 1 MW teljesítményű. Utóbbit felszerelték egy inverterrel is; ez lehetővé teszi, hogy a generátor szolgáltatja egyenáramot váltakozó árammá alakítsák, s így a nyert energia közvetlenül betáplálható a váltakozó áramú hálózatba.

Nem érdektelen megemlíteni, hogy az energiaelőállítás költségei a klasszikus hőerőművekben egyelőre alacsonyabbak. A további műszaki fejlesztés azonban lehetővé teszi, hogy a következő típusú MHD generátoroknál már lényegesen kedvezőbb legyen a helyzet. De még a jelenlegi árstruktúra mellett is az MHD generátorok előnyösebbek. Ezek sokkal kevésbé szennyezik a környezetet, másrészt nagyon „rugalmas” szerkezetek: hamar üzembe helyezhetők, csúcspozícióban időben gyorsan bekapcsolhatók – egy klasszikus hőerőműben viszont órákig melegítik a vizet, míg a kellő nyomású gőzt biztosítják.

### Energiatárolás a (közel)jövőben

Nemcsak az energia előállítására, hanem tárolására is nagyszerű lehetőségeket kínálnak a szupravezetők. Főleg a fejlett ipari országokban fordul elő, hogy a nap bizonyos időszakában az erőművek teljes kapacitását nem használják ki. Ilyenkor le kell állítani egyes erőműveket. A csúcspozíció időszakában ugyanakkor nem elég a rendelkezésre álló energia. Ezt a hullámzást úgy lehet kiegyenlíteni, hogy az erőműveket mindig teljes kapacitással működtetve, a kisebb fogyasztáskor fennmaradó energiát megfelelő tárolórendszerben felhalmozzák, ahonnan az bármikor „elővehető”. Ha az energiát átalakítás nélkül, elektromos formában akarják tárolni, akkor három lehetőséggel számolhatnak:

1. akkumulátorokban tárolni, elektrokémiai energia formájában, amely kisütéskor elektromos energiává alakul vissza (ez elég jó, 80-85 százalékos hatásfokot biztosít, de az akkumulátorok súlya energiatároló képességükhöz viszonyítva nagyon nagy, élettartamuk aránylag rövid, és körülményes gondozást igényel);

2. nagy feszültségű kondenzátorokban tárolni elektrosztatikus energia formájában (ez még magasabb tárolási hatásfokot biztosít, s a kondenzátoroknak nagy az élettartamuk, hátránya viszont az, hogy érdemleges energiamentiség befogadására óriási méretű kondenzátortelegeket kellene építeni);

3. szupravezető tekercsekben tárolni. Ebben az esetben egy nagyméretű toroidális tekercs készül, amelynek szupravezető huzalja árammal való feltöltés után zárt áramkört alkot (mintha egy transzformátor szekundér tekercsét rövidre zárnánk). A szupravezető tekercsben az áram veszteség nélkül kering: a számítások szerint több tízezer év múlva sem találunk mérhető energiavesztést. A tárolt energia ennél a megoldásnál mágneses térenergia formájában halmozódik fel.

Jelenleg már működnek olyan berendezések, amelyek  $10^4$  MWh energiát képesek tárolni szupravezető tekercsekben. E berendezéseknél a legnagyobb problémát az energia betáplálásának és visszanyerésének a módzata jelenti. A ki- és bekapcsolás rövid időszakában, az ún. átmeneti folyamat alatt a szupravezető tekercs erővesztésével szemben

seknek van kitéve, amelyek romboló hatása elérheti egy 5-6 fokú földrengését (a Richterskála szerint). Ezt az akadályt a tervezőknek úgy sikerült leküzdeniük, hogy a tekercset sziklába vájt üregben helyezték el. Íme egy nagyteljesítményű szupravezetős energiatároló tekercs fontosabb adatai:

*A tároló tekercs teljes energia-felvétele*  
 $6,9 \cdot 10^{12} \text{ J}$

*A maradék energia (a kisülés után)*  $1,1 \cdot 10^{12} \text{ J}$

*A töltőáram maximális erőssége* 50 KA

*Maximális üzemi teljesítmény* 2500 MW

*A tekercs induktivitása* 37000 H

*Maximális mágneses indukció a tekercs közelében* 4,5 T

*Munkahőmérséklet* 4,85 K

*A toroidális tekercs sugara* 150 m

*A tekercselésnél felhasznált Nb-Ti szupravezető kábel hossza* 9360 km

*A kábel tömege (ennek csak egy elenyésző hányada szupravezető anyag)* 9570 tonna

Egy ilyen berendezésnél a tárolókapacitás fajlagos ára 32 dollár/kWh. Ez még elég sok a klasszikus energiatárolók költségeihez képest, a szakemberek mégis a jövő nagy lehetőségét látják az új módszerben. Egyrészt remélik, hogy a szupravezetők gyártási költsége már a közeljövőben lényegesen kisebb lesz, másrészt tudják, hogy a szupravezetős energiatárolók olyan műszaki tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek biztosítják főlényüket a többi hasonló berendezéssel szemben. A magas határfokon kívül említsük meg csupán azt, hogy az ilyen szupravezető rendszereknek nagyon kicsi az időállandójuk: impulzusüzemben kiválóan működnek. Ez azt jelenti, hogy igen rövid idő alatt óriási mennyiségű energiát képesek leadni. Ezért az ilyen energiatárolók a nagy teljesítményű lézertechnika, a magfűzős reaktorok beindítása stb. céljaira már a közeljövőben nélkülözhetetlenek lesznek.

#### **Ellentétben a klasszikus szemlélettel**

1961-ben több kutatócsoport is vizsgálta a szupravezető gyűrű viselkedését külső mágneses térben. Azt tanulmányozták, hogyan változik a gyűrű belsején áthaladó mágneses fluxus, ha a külső mágneses térrel fel-

tonosan változtatják. A jóval régebben végzett elméleti számítások rendellenes viselkedést jósoltak, az ellenőrző kísérleteket azonban csak ekkor, a 60-as évek elején tudták megvalósítani, mivel addig nem rendelkeztek a megfelelő érzékenyséű magnetométerrel.

A kísérlet igazolta az elméleti megfontolásokat: azt tapasztalták, hogy a külső mágneses tér folytonos növelésekor a gyűrű belsejében (azon a térrészen, amit a gyűrű körül fog) áthaladó mágneses fluxus – azaz a mágneses erővonalak száma – nem folytonosan változik; ugrásszerű változásai figyelhetők meg. Van egy legkisebb fluxusérték, s a gyűrűn áthaladó fluxus nagysága csak ennek a legkisebb fluxusértéknek az egész számú többszörösével változhat. A legkisebb fluxusértéket a mágneses fluxus kvantumának tekinthetjük; a fizikusok fluxonnak nevezték el. A kísérletek során a fluxon értékét is sikerült nagy pontossággal meghatározni:  $2 \cdot 10^{-15} \text{ Wb}$  nagyságúnak találták.

Érdekes, hogy az egyszerű elméleti modell alapján számított érték a valóságban pontosan kétszer akkorának adódott. A fizikusok már kezdetben utaltak arra, hogy az elmélet és a kísérlet közötti ellentmondás csak úgy oldható fel, ha feltételezzük, hogy a szupravezető áram kialakításában az elektronok nem individuálisan vesznek részt, hanem elektronpárok formájában. Ez az elképzelés azonban szöges ellentétben áll a klasszikus fizikai szemlélettel. Két elektron ugyanis, minthogy – azonos töltése révén – taszítja egymást, nem rendeződhet párrá. Párok kialakulásához vonzó kölcsönhatás szükséges.

#### **Magyarázat a szupravezetésre**

Minden szilárd halmazállapotú fém ionrácsos szerkezetű. A fémionok közötti térben az atomokról levált elektronok a gázmolekulákhoz hasonlóan szabadon mozognak; ezért a fém belsejében levő, rendezetlen hőmozgást végző szabad elektronokat elektrongáznak is szokás nevezni.

Ha a fémes vezetőt áramforráshoz kapcsoljuk, a fém belsejében kialakuló elektromos tér gyorsítja az elektronokat, s azok rendezetlen hőmozgására rátevéődik egy, a tér irányával ellentétesen irányított, rendezett mozgás az elektromos áram. Az elektronok a

rendezett mozgását fékezi az ionráccsal való ütközés; ez a fékező hatás eredményezi a fém ellenállását. Amikor a szabad elektronok rugalmatlanul ütköznek a fémrács ionjaival, energiájuk egy részét átadják a fémionoknak. Ezért melegszik fel az áramtól átjárt fémvezető.

A fém elektromos ellenállása és az áram termelte hő közös okra vezethető vissza. Mindkét jelenség oka a szabad elektronok rugalmatlan ütközése az ionráccsal.

Felmerül a kérdés: hogyan magyarázható a szupravezetők elektromos ellenállásának az eltűnése? Milyen változás állhat elő az áramvezetést biztosító szabad elektronok mozgásában a szupravezetés beálltakor? E kérdésekre a J. Bardeen, L. Cooper és J. R. Schrieffer által kidolgozott ún. BCS-elmélet adott választ.

A kritikus hőmérsékleten alul a szabad elektronok egy része és a fémrács ionjai között egy sajátos kölcsönhatás érvényesül. A rács valamelyik ionját a közelébe kerülő elektron deformálja, s az így megzavart ion a következő hozzá közelítő elektronnal szemben már másképpen viselkedik, igyekszik azt gyorsítani. A felgyorsított elektron utoléri az előző elektront, mozgási energiájával legyőzi tasztító hatását, s így az egymás közelébe kerülő elektronok együtt haladnak, elektronpárt alkotva.

Párképződés során az egyik elektron energiát ad át a másiknak. Az az energia, amely a két elektron között a rács segítségével kicserélődik, nem lehet akármilyen értékű: nagysága egy energiakvantumnak felel meg, amelyet fononnak neveznek. A BCS-elmélet úgy magyarázza az elektronpár-képződést, hogy valamelyik szabad elektron a ráccsal való kölcsönhatás során kibocsát egy virtuális fonont, amelyet egy másik szabad elektron elnyel. A két elektron közötti fononcseré eredményez, amely képes legyőzni a közöttük ható elektrosztatikus tasztítóerőt.

Az elmélet szerint a kialakult elektronpárok mozgása nem független egymástól. Szoros korreláció tapasztalható köztük: egy elektronpár mozgásának megváltozása csak úgy lehetséges, ha az összes többi pár mozgásában hasonló változás áll be. Az ilyen jelen-

séget a fizikában kollektív jelenségnek nevezük.

Ez a kollektív viselkedés szünteti meg végeredményben a szupravezető ellenállását. Egy már kialakult elektronpár csak akkor léphetne kölcsönhatásba a ráccsal, ha ez a kölcsönhatás olyan erős lenne, hogy nem csak az illető elektronpárra hatna, hanem a szupravezetőben levő összes többi elektronpárt is hasonló állapotváltozásra készítetné. Mivel egy rács-elektronpár ütközés nem járna akkora energia átadásával, amely elegendő lenne az összes elektronpárok mozgásállapotának befolyásolásához, a kölcsönhatás nem valósulhatna meg. Az elektronpárok a ráccsal csak teljesen rugalmasan ütközhetnek, ami elektromos szempontból nem eredményez ellenállást; és így a szupravezetési áram nem fejleszt hőt sem.

A BCS-elmélet lehetőséget nyújtott a szupravezetéssel kapcsolatos más jelenségek megmagyarázására is. Kiderült, hogy modelle a fizika más területén is felhasználható (magfizikai modell). Az elmélet szerzői 1972-ben elnyerték a fizikai Nobel-díjat.

### **Josephson-hatás, Josephson-generátor**

Ha két fémlemez közé szigetelőréteget helyezünk, az elektromos töltések nem juthatnak át egyik fémlemezről a másikba – s így persze elektromos áram sem. I. Giaver a General Electric kutatóintézetében végzett vizsgálatai során rájött, hogy ha a közbeiktatott szigetelőréteg rendkívül vékony (kevesebb, mint 100 Å), akkor az áram áthalad rajta. Ez a jelenség a kvantummechanikai alagúthatással magyarázható.

B. D. Josephson cambridge-i fizikus a hatvanas évek elején részletes vizsgálat alá vette a szupravezető-szigetelő átmenetek közötti áramvezetést. Elméleti számításai arra utaltak, hogy a Giaver által kimutatott tunel-effektushoz, szupravezetők esetében érdekes járulékos hatásoknak kell társulniuk.

Ha a két szupravezető közé helyezett 10-20 Å vastagságú szigetelőrétegből álló, ún. szupravezető-szigetelő átmenetre egészen kicsi, mikrovolt nagyságrendű egyenfeszültséget kapcsolunk, akkor – a tuneleffektus folytán – elektronáram halad át a szigetelőrétegen, s az átmeneti réteg ugyanakkor elektromágne-

ses sugárzást bocsát ki. Ez a jelenség a Josephson-effektus. A fellépő elektromágneses sugárzás a mikrohullámú tartományba esik; frekvenciáját az átmenetre kapcsolt feszültség nagysága határozza meg.

A mikrohullámú sugárzást előállító Josephson generátor frekvenciaállandója 483,6 Mhz/ $\mu$ V. Ez azt jelenti, hogy 1  $\mu$ V nagyságú feszültség 483,6 MHz-es rezgésszámú sugárzást kelt. 10  $\mu$ V esetében tízszer akkora a rezgésszám.

A Josephson-effektus tehát, mint látjuk, egy rendkívül egyszerű felépítésű mikrohullámú generátort szolgáltatott, amelynek nagy előnye, hogy könnyen lehet a frekvenciáját változtatni a rákapcsolt feszültség segítségével. De nagy a frekvenciastabilitása is, a működését szabályozó kvantummechanikai effektus folytán pedig igen nagy koherenciájú sugárzás nyerhető vele. Egyetlen hátránya, amely felhasználási területét meglehetősen korlátozza, nagyon kicsi a teljesítménye ( $10^{-19}$  W); ezért a Josephson generátort főleg mint frekvencia-etalon alkalmazták.

Ha a Josephson-átmenetet külső mágneses mezőbe helyezük, kölcsönhatás figyelhető meg a külső tér és az alagútáram között. A külső mágneses mezőt változtatva azt tapasztaljuk, hogy az alagútáram erőssége a térerősség periodikus függvénye. Ahogy az elméleti számítások megjósolták, a változás egy periódusa alatt az átmeneten átható mágneses fluxus egy mágneses kvantummal, egy fluxonnal nő. A mágneses tér és az alagútáram kapcsolata olyan, hogy az áramerősséget még a fluxonnál kisebb fluxusváltozás is befolyásolja. Ezért ilyen berendezéssel igen pontosan lehet mérni a mágneses térerősség kis változásait.

#### **Nagyon kicsi mágneses térerősséget mér**

Rendkívül nagy érzékenységgű mágneses térerősségmérő állítható elő két Josephson-átmenet párhuzamos kapcsolásával. Ezt úgy valósítják meg, hogy egy vékony szupravezető gyűrű két átellenes pontján egy-egy Josephson-átmenetet hoznak létre. A gyűrűt külső áramkör táplálja. A beérkező áram két részre oszlik. Az egyes átmeneteken folyó áramok a kimeneten találkoznak egymással és interferálnak. Attól függően, hogy a két áram

elektronpárjai milyen fázisban találkoznak, a kimenő áram erősödése vagy gyengülése tapasztalható. Az optikából jól ismert interferenciával mutatott analógia alapján ezt az eszközt szupravezető interferométernek tekinthetjük. Ezt jelenti angol neve: Superconducting Quantum Interference Devices, amelynek kezdőbetűiből röviden SQUID-nek szokás nevezni.

Ha a SQUID átmeneteit megfelelő irányú mágneses térbe helyezik, a mágneses tér nagymértékben befolyásolja a SQUID áramerősség-eloszlását és az átmenetknél jelentkező feszültséget. Ilyen berendezéssel rendkívül kicsi mágneses fluxusértékek is elérhetők: az eddig ismert legérzékenyebb mágneses térerősségmérőnél, a protonrezonanciás magnetométernél mintegy tízezerszer érzékenyebb. Mivel a SQUID hatásos felülete nagyon kicsi, a mérhető fluxusváltozás is nagyon kicsi:  $10^{-20}$  Wb nagyságrendű. A detektálható mágneses térhez tartozó energiaérték  $10^{-31}$  J, ami azt jelenti, hogy a SQUID a legnagyobb energiafelbontású mérőberendezés.

Geofizikai megfigyelések szerint a vulkáni kitörések, földrengések előtt a Föld mágneses terének sajátos változásai figyelhetők meg. SQUID segítségével tehát lehetővé válik bizonyos típusú szeizmikus katasztrófák előrejelzése.

Két SQUID ún. differenciálkapcsolásával nagyon érzékeny mágneses gradiométert lehet előállítani. Ez olyan berendezés, amely igen pontosan méri a mágneses tér helyi változásait, kiküszöbölve a Föld mágneses háttérváltozásából adódó mérési hibákat.

Ilyen mágneses gradiométerek többek között a szív- és agyáramok keltette mágneses tér vizsgálatára is alkalmasak – folyamatban van tehát a magnetokardiográfok és magnetencefalográfok kifejlesztése. E készülékeknek, elektromos megfelelőikkel szemben az a nagy előnyük, hogy helyi diagnosztizálásra is alkalmasak. Vizsgálni lehet velük a szív vagy az agy kis területeinek viselkedését, elektródok alkalmazása nélkül. Egyes szervek vagy idegpályák mágneses terének feltérképezéséhez ugyancsak ilyen gradiométereket használnak.

A SQUID egyik változata a SLUG elnevezésű, nagyon kis feszültségek mérésére



alkalmas eszköz. Ha egy szupravezető szálon – vagy szalagon – egy nagyon kicsi, pontszerűnek tekinthető Josephson-átmenetet hoznak létre, akkor a szálon átfolyó áramot befolyásolni lehet a szál egyik vége és az átmenet közé kapcsolt feszültséggel. A feszültség folytonos növelésekor azt tapasztaljuk, hogy az áram periodikus ingadozást mutat: a szála kapcsolt egyenfeszültség modulálja. Mivel ilyen módon  $10^{-7}$  A nagyságrendű áramerősségváltozás már könnyen kimutatható, és a szupravezető átmenet ellenállása milliomod ohmnál kisebb,  $10^{-14}$  V feszültség még nagy pontossággal mérhető a berendezéssel. A készüléket kis induktivitású galvanométernek is fel lehet fogni. Ennek angol neve Superconducting Low Inductance Undulating Galvanometer; kezdőbetűiből kapta a készülék a SLUG elnevezést.

Alacsony frekvenciás üzemmódban az eszköz  $10^{-16}$  V nagyságrendű feszültségérzékenységet is elérhet. Ez az érték a mérőkészülék feszültségfeloldó képességének a felső határa.

#### SQUID-memória

Az IBM egyik laboratóriumában J. Matisoo érdekes kísérletet végzett egy SQUID-áramkörrel. Mindkét Josephson-átmenethez érintőlegesen hozzáillesztett egy-egy szupravezető szálat. Ha a gyűrű tápvezetékén áram halad át, ez az áram egyenletesen oszlik meg a két átmeneten (szimmetrikus átmenetek). Matisoo azt tapasztalta, hogy ha valamelyik szála rövid áramimpulzust kapcsol, akkor az általa keltett mágneses tér kiszorítja az áramot a mellette levő Josephson-átmenetből. Így az áramimpulzus hatására a SQUID egyik félgyűrűjében nem folyik áram a másikban viszont az áram megnövekszik. Attól függően, hogy melyik átmenet melletti szála kapcsoljuk a rövid időtartamú áramimpulzust, elérhetjük, hogy a szupravezető hurok jobb vagy bal felében folyjon az áram.

Egy ilyen szupravezető átmenet, amely két különböző fizikai állapotba hozható, megfelel egy számítógép-memóriaelem összes követelményeinek. A SQUID-áramkört ugyanakkor nagyon gyors kapcsolású billenőkörként is fel lehet használni (flip-flop). Ezeknek a rendszereknek a kapcsolási

ideje jóval rövidebb, mint az eddig alkalmazott memóriaelemeké: nem több  $10^{-12}$  másodpercnél. Ezenkívül más előnyeik is vannak. Az információ beírása és kitörlése nagyon kényelmesen oldható meg a rövid áramimpulzusokkal. A rendszer energiafelvétele egy információ-beírás során nem haladja meg a  $10^{-17}$  J értéket. De kedvezőek a méretek is: már a jelenleg alkalmazott technológia mellett is könnyen megvalósíthatók 1–2  $\mu$  átmérőjű Josephson-átmenetek. Ez azt jelenti, hogy  $1\text{cm}^2$  felületen kb. egymillió memóriaelemet lehet létrehozni, amelyeknél biztosítható az azonos működési mód, a biztonságos üzemeltetés, a hosszú élettartam és a kiváló kompatibilitás a számítógépek klasszikus alkatrészeivel.

A jövő számítógépének felépítésében tehát a félvezetők mellett a szupravezetők is részt kérnek.

#### Szupravezetés magasabb hőmérsékleten – Keramikus szupravezetők

A szupravezetők gyors elterjedését lényegében egyetlen tényező akadályozza: az, hogy az eddig alkalmazott szupravezető anyagok nagyon alacsony hőfokon, a cseppfolyós hélium hőmérsékletén működnek. A cseppfolyós hélium előállítására és fenntartására elég bonyolult berendezést igényel. Maga a hélium is értékes és egyre nehezebben hozzáférhető anyag. Ezért lázas kutatás folyik világszerte olyan szupravezetők után, melyeknek magas a kritikus hőmérsékletük.

1974-ben nagy szenzációnak számított, amikor előállították az első olyan szupravezető ötvözetet, a  $\text{Nb}_3\text{Ge}$ -ot, amelynek kritikus hőmérséklete 22,3 K volt. Ez a hőmérséklet ugyanis már cseppfolyós hidrogénnel is biztosítható.

Már régebben több fizikus is felvetette azt a gondolatot, hogy a szupravezetés jelensége nemcsak fémek szerkezetében képzelhető el. 1963-ban W.A. Little-nek eszébe jutott, hogy a szupravezetés BCS-elméletét általánosítani lehet. Eszerint nemfémek rendszereiben is létrejöhet szupravezetés bizonyos formája. Little feltételezi, hogy a fémek ionrácsa biztosította kölcsönhatást más kölcsönhatások helyettesíthetik, melyek ugyan csak elektronpár képződést eredményeznek.

Így például elképzelhető, hogy molekuláris rendszerekben lokális elektromos polarizáció folytán, elektronok a polarizációs tér kvantumaival, a poláronokkal lépjenek kölcsönhatásba. Ez az elektron-poláron kölcsönhatás is eredményezhet párképződést, amely a szupravezetés létrejöttének alapfeltétele. Little feltevézése szerint komplikált molekuláris struktúráknál a kritikus hőmérséklet igen magas, akár több száz Kelvin értéket is elérhet.

1986-ban döntő fordulatot jelentett a szupravezetés történetében J.G. Bednorz és K.A. Müller közleménye, mely szerint sikerült előállítaniuk La-Ba-Cu-O összetételű vegyületből, magasabb kritikus hőmérsékletű ( $T_k = 30$  K) szupravezető anyagot. Ez az anyag egy keramikus sajátságú szinterizált fémoxid, amely nem tartozik a fémek vezető csoportjába. Másrészt bebizonyosodott, hogy ez a hatás magasabb hőmérsékleten is létrejöhethet. Már a következő évben a laboratóriumok egész sora jelentette, hogy sikerült, hasonló szerkezetű, más vegyületeken is kimutatni a szupravezető hatást, ugyanakkor a kritikus hőmérséklet egyre feljebb emelkedett. Így  $YBa_2Cu_3O_7$  összetételű vegyület esetén elérték a 90-100 K körüli kritikus hőmérsékletet.

Bi, Tl, Sr tartalmú keramikus fémoxidokkal jelenleg 120 K körüli kritikus hőmérsékletig jutottak. A felfedezés jelentőségére utal, hogy Bednorz és Müller a felfedezés közzététele után egy évre már megkapták a

Nobel-díjat, amely egyedülálló esemény a Nobel-díjazottak történetében.

A keramikus anyagoknál tapasztalt szupravezetés nem magyarázható az eddig ismert elméletek (BCS-modell) segítségével. Nyilvánvalónak tűnik, hogy ebben az esetben nem egyszerű elektron-fonon kölcsönhatás hozza létre a párképződés folyamatát. Ez a megállapítás viszont további lehetőségekkel kecsegteti a fizikusokat. Úgy tűnik, hogy Little elképzelése helyes volt. A szupravezetést a fonon-elektron kölcsönhatáson kívül más kölcsönhatások is létrehozhatják. Tehát az elméleti alapok is azzal biztatnak, hogy érdemes újabb lehetőségek után kutatni, talán egészen más vegyülettípusoknál is el lehet érni ezt a hatást, esetleg egészen magas kritikus hőmérsékleten.

Számos laboratóriumban folytatnak kutatást új típusú szupravezetők feltalálása érdekében. A végső cél olyan szupravezető anyagok felfedezése, amelyek olcsón előállíthatók, magas a kritikus hőmérsékletük és a kritikus mágneses terük, ugyanakkor jó mechanikai tulajdonságokkal is rendelkeznek.

Ezzel párhuzamosan haladnak a szupravezetők gyakorlati alkalmazásaira vonatkozó kutatások, ezeknek jelentősége napjainkban talán még fel sem mérhető, de máris úgy tűnik, hogy a félvezetőkhez hasonlóan egy új fejezetet nyitnak meg a modern technika történetében.

## A hídépítő Maderspach Károly (1791–1849)

*Telediné Csetri Klára*

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár

*Szülőföldje hűtlenül elfeledte, pedig a technika világtörténete is nyilvántartja, mint az első vasból (öntött – ill. kovácsoltvasból) készült vonórudas ívhidak készítőjét.*

A reformkori Magyarország iparosításának e kiemelkedő alakja a család második, Erdélyben (Ruszkabányán) született generációhoz tartozott (nagyapja, Leonhard Maderspach került bányafelügyelőnek a Bánságba az ausztriai Leoben környékéről, az 1718-as Leopoldi Diploma következtében folytatott telepítéssel). Mindvégig támogatta – fegyverrel, lőszerral segítette – a magyar forradalmat, hogy végül a szabadságharc leverése után, a császári megtorlás áldozatává váljon – emberségéről példát mutatva sok tősgyökeres magyarnak.

A családi hagyományt követve (édesapja, János, is bányafelügyelő volt), mérnöki tanulmányokat folytatott: 1811-ben elvégezte a selmezbányai Bánya- és Erdészeti Főiskolát. (Öccse, Ferenc katonai pályára ment: 1812-ben megkapta a legmagasabb katonai kitüntetést, a Mária Terézia érdemrendet; nyugalmazott őrnagyként hívták be a forradalmi hadseregbe, ahol életét áldozta a – titkon császáriak által támogatott – szerbek elleni harcban).

Végzett mérnökként először kinstári állást vállalt – az oravicai bányában lett kémlelés (vegyész), később azonban elfogadta barátja, a gazdag Hofmann Antal előnyös ajánlatát, és vele és családjával közös vállalatot alapított – a *Hofman Testvérek és Maderspach Károly Bánya- és Vasmű Vállalatot*. A Hofman család leszármazottjai is elismerik, hogy Maderspach Károly ügkörébe tartozott a kohóművek és a ruszkicai gyár berendezése és vezetése, tehát a fontos gépészmérnöki teendők. Így aztán nyilvánvaló, hogy a gyár felvirágoztatása, és az elért szép sikerek (pl. az 1842-es Magyar Iparmű Kiállításon kapott ezüst emlékérem – második díj) nagyrészt az ő érdeme. Nemzetközi kapcsolataikra jellemző, hogy a készülő bukaresti vízmű számára valamennyi cső Ruszkabányán készült.

Az 1848-as forradalom és szabadságharc történetében a megtorlás epizódjaként szerepel Maderspach Károlyné Buchwald Franciska megvesszőtetése; mellékesen megemlítik, hogy férje elkeseredésében öngyilkos lett. Szenteljünk néhány szót ennek a – hősiük számára végzetesnek bizonyult – eseménynek.

A 12 évvel fiatalabb Franciskát 1828-ban vette feleségül Maderspach Károly. Gazdag aradi orvos lánya volt, aki a fejlődő, iparosodó kereskedővárosból forradalmi-hazafias szellemet hozott a szakbarbár mérnök házába. Hat gyermekét is ilyen szellemben nevelte. Neki köszönhető, hogy otthonuk a forradalmi szervezkedés, majd a szabadságharcosok menekülésének központjává vált. Az viszont aljas rágalom, ami miatt a büntetést szenvedte, hogy t.i. a forradalmi hadsereg bevonulását egy, a császárt jelképező, szalmabábú nyilvános elégetésével ünnepelte meg. A szabadságharc leverése utáni megtorlás főparancsnoka, a „bresciai hiéna”, Haynau tábornok u.i. hitelt adott annak a – helyi császárpártiak által kiagyalt és felterjesztett – vádnak, és Ruszkabánya főterén (meztelenül) megvesszőztette. Ennek a megaláztatásnak hírére a férj öngyilkos lett. (Talán a tehetetlenség kínozta, amiért nem védte meg gyermekei anyját? Alapos oka volt a jövőtől való félelemre is.) Az öngyilkosságra jellemző, eredeti módot választott – egy kis mozsárágyút vontatott a Kis-Kálvária-dombra (amelyet azóta Mozsárhegynek neveznek) és a cső elé téve fejét, meghúzta a kanócot.

Így ért tehát korai véget egy tehetséges, sokoldalú mérnöki karrier, akinek találmányai sokszor megelőzték korát. A technikatörténetbe három vonórudas vashidja, meg az 1837-ben kiírt *Állandó híd a Dunán Buda és Pest között* című pályázatra benyújtott (talán túlságosan nagyratörő) terve (amellyel II. díjat nyert), írta be a nevét.

A vonórudas ív erdélyi találmány, a háztetők ácsszerkezetétől a szobafestők – kötéssel összekötött – kétágú létrájáig sokfelé használják. Lényege, hogy az önsúlyból és egyéb terhelésekből keletkező ivnyomás vízszintes összetevőjét a támaszoknál egy – külön erre a célra beiktatott – centrális húzásra méretezett alkotóelem, az ún. vonórúd vagy vonólánc veszi át. Erdélyben a XVIII. század végén – XIX. század elején több ilyen szerkezetű fahíd épült (pl. a fogarasi Olt-híd vagy az 1815-ben felavatott, 50 m fesztávú tordai Aranyos-híd, melynek fából készült makettje a budapesti Közlekedési Múzeumban látható).

Maderspach Károly volt viszont az első, aki tiszta fémből – öntött és kovácsoltvasból – készített vonórudas ívhídat. Felismerte a szerkezet előnyeit, amelyeket a művelt Európa csak mintegy 50 év múlva; sőt mi több Maderspach hídjait már le is bontották (a megnövekedett követelmények miatt, 1898-ban, ill. 1902-ben), amikor a francia mérnök, E. Freyssinet marandandót alkotott ebből a hídtypusból – 1922-23-ban felépítve vasbetonból, acél vonórúddal, a Saint-Pierre-du-Vauvray-i Szajna hidat (melynek fesztávja 132 m).

Ő találta volna fel ezt a szerkezetet? Talán. Nagyon valószínű, hogy üzleti útjai során megnézte a híres erdélyi fahidak valamelyikét és átlátta annak szerkezetét (ami nem volt könnyű, tekintve a zsinde- és deszkaboritást). Másrészt viszont biztosan ismerte a Habsburg-birodalom első öntöttvas hídját, amely éppen 1811-ben készült el Selmebánya közelében, a Kis Garam folyón – abban az évben, amikor Maderspach kilépett a selmebányai Akadémia kapuján, mint végzett mérnök.

#### **Maderspach féle kovácsoltvas vonólánc**

Nem tudhatjuk ismerte-e Maderspach Bernát Antalt, akinek találmánya szintén megelőzte a hídjait: 1820-ban tett ajánlatot egy Pest és Buda között építendő ún. „ordináta hídra”, amely lényegében szintén vonórudas ívhíd. (Ha igen, az sem kizárt, hogy az ötlet éppen Maderspachtól származott).

Tény, hogy egyetemi ismereteit kohómérnöki tapasztalataival egyesítve, saját koncepciójú ívhidak építésébe kezdett – kizá-

rólag a ruszabányai vasmű termékeinek felhasználásával. (Amelyeknek kitűnő minőségét a későbbi mérések is igazolták).

Maderspach első hídja a lugosi Csuka patak 1833-ban átadott 18,35 m fesztávú hídja.

Erről a hídról Széchenyi megemlékezik naplójában, de meg is bírálja „Próbának jó, egyébként tele van a legdurvább hibákkal”. Másfél évszázad távlatából nem tudhatjuk, mire gondolt a világlátott, jó műszaki érzékű reformer, de tény, hogy neki lett igaza – a hidacska mindössze 12 évi használat után, egy bivalycsorda alatt összeomlott. Talán merevítésének hiánya miatt rezonanciába lépett a ritmikus vágtaival.

A hidat két négyzetes keresztmetszetű cső-elemekből összezsavarozott 2,60 nyílmagasságú ív tartotta. Az elemek zárósíkja nem volt párhuzamos, a síkok az ív geometriai középpontjában futottak össze. (A négyzetes keresztmetszet nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, ezért a tervező változtatott rajta, minden későbbi hídját kör keresztmetszetű ívekkel készítve)

Második az 1840-ben, katonai rendelésre elkészült, Mehádia melletti Cserna híd.

Fesztávja 40m, nyílmagassága 4,30m. Kétoldalt két-két, körkeresztmetszetű ív tartja. Az előregyártott csőelemek zárósíkja, akár csak a lugosi hídnál, áthalad a geometriai középponton. Az ívek végét lánc-ablakban összekötött vonórúd köti össze.

A hídépítés anyagi hátteréről nem sokat tudunk. A Széchenyihez írt levélben említett viták valószínűleg megoldódtak, de még így sem lehetett valami nyereséges az üzlet, hiszen a Hofmann fivérek „kiszálltak” a hídépítésből; ezután Maderspach csak saját és felesége vagyona aláhozhatott.

Maderspach Károly utolsó hídjának, a karánsebesi Temes hídnak biztosítékaként ugyanis lekötötték Maderspachné dombegyházi birtokát, persze csak ideiglenesen, míg bebizonyosodott a híd jó működése. Az 1844-ben elkészült híd lett a mérnök hattyúdala, legjobban sikerült alkotása, amely kisebb karbantartási munkálatokkal működött 60 éven át.

A köríves híd fesztávja 55m, nyílmagassága 6,64m. Tartószerkezete 4, két-két kör-keresztmetszetű cső-elemekből kialakított ív. A kétoldali útpálya, valamint a középén

elhelyezett gyalogjáró a vonóláncokra elhelyezett fagerendákon halad. A kb. 60 cm-es csódarabok zárósíkjai párhuzamosak (ellentétben az előző két híddal), a görbületet szurokba mártott papírból készült ékekkel alakították ki. A láncként összeszerelt laposvasakból készült vonórudak függesztőrudakkal kapcsolódnak a tartóívekhez.

A hid terve építés közben alakult ki, állandóan módosítva az eredeti vázlatokat. Főleg az 1842-es árvíz után vált szükségessé számos változtatás. Végül aztán igen jól sikerült – sikeresen vizsgázott a katonai parancsnokságnak való átadásnál, majd 1902-ben történő lebontásáig kitűnően működött.

Közvetlenül második (mehádiai) hidja átadása után, 1838-ban adta be Maderspach pályaművét az *Állandó hid a Dunán Buda és Pest között* címmel kiírt pályázatra, mely Clark Lánchídja után a második díjat nyerte. Elképzelése mai szemmel bizony túlzottan optimistának tűnik.

Amellett, hogy eleve kudarca volt ítélve – Széchenyi már javában tárgyalta William Tierney Clark neves angol vállalkozóval, a pályázat inkább a pénz összegyűjtését szolgálva – a grandiózus terv a korabeli anyagokból, a korabeli szilárdságtani ismeretekkel, aligha volt kivitelezhető.

Négy egyenlő, 114 méteres nyíláson 11,35 m-es nyílmagassággal, három mederpillérrel, 16 párhuzamos cső-ív tartotta volna a hidat. A parton szerelték volna össze és tutajon szállították volna a végleges helyükre. Nincs kizárva, hogy idáig nem is lett volna

semmi baj, de bármilyen jó minőségű is volt a ruszkaanyagok öntött- és kovácsoltvas, a forgalomból eredő terheléseket aligha bírta volna sokáig.

Másrészt Maderspachnak egyáltalán nem volt tapasztalata a pillérépítésben, hiszen minden eddigi hidja parttól partig ért, a Duna szeszélyes – hol sziklás, hol homokos – medre viszont a tapasztalt Clark-ot is próbára tette.

Hidépítési elméletét a pályázat előtt a sajtóban is népszerűsítette, latin nyelvű cikket közölve a pozsonyi *Alveare* (Méhkas) című, gazdasági-technikai folyóiratban *Novum oblatum in negotio struendi inter Budam et Pestinum pontis stabilis* címmel (Új ajánlat a Buda és Pest között építendő állóhíd ügyében).

A pályázatra elkészítette a tervezett híd vas-makettjét, és bemutatta a nádornak, így próbálván elnyerni annak támogatását.

Az említett makett, valamint a reklámtevékenység, utazgatás nyilván rengeteg pénzt emésztett fel. Nyilván ez volt az oka, hogy, mint említettük, a Hofmann-testvérek hidügyekben magára hagyták üzlettársukat.

Bár hídjait a megváltozott körülmények – a szállítójárművek méretei és súlya, a forgalom nagysága – miatt mintegy 60 év fennállás után lebontották, Maderspach Károly műszaki inventivitása, egyenes jelleme, forradalmi elkötelezettsége őszintén demokratikus magatartása miatt megérdemli, hogy ma is tisztelettel és csodálattal emlékezzünk rá – úgy is mint feltalálóra – úgy is mint a Duna-táj népei közötti hidépítőre.

## Contents

Foreword	3
Dr. Károly Biró, Zoltán Biró – Defining the revolving part position of the electric machines	4
Dr. Csaba Gyenge, Dr. László Kerekes, Gábor Dezső – The application of Frenet trihedron in producing involute helicoidal surface	10
Árpád Jancsó – Bridges on the Bega in Temesvár (Timișoara), The starting of the big bridge building programme	16
Márton Kaucsár – Regulating the performance with A. C. microprocessors	23
Dr. László Kerekes, Zsolt Csaba Johanyák – FMEA-examining of the construction of the industrial sewing machines	31
Dr. Elemér Kiss – Hidden mathematical treasures of János Bolyai's manuscripts	35
Dr. Gábor Köllő – The future of the classic railways	43
Dr. Katalin Murádin – Thoughts about the furniture in our churches	47
Dr. Ferenc Puskás – A new possibility: the krio-electronics	51
Klára Csetri Mrs. Telegdi – Bridge building Károly Maderspach (1792-1849)	60