

**MŰSZAKI SZEMLE**  
**72. szám, 2018.**

**Szerkesztőbizottság elnöke /**  
**President of Editing Committee**

Dr. Köllő Gábor

**Szerkesztőbizottság tagjai /**  
**Editing Committee**

Dr. Balázs L. György – HU  
Dr. Barabás István – RO  
Dr. Biró Károly Ágoston – RO  
Dr. Csibi Vencel-József – RO  
Dr. Fedák László – UA  
Dr. Karácsony János – RO  
Dr. Kása Zoltán – RO  
Dr. Kontra Jenő – HU  
Dr. Majdik Kornélia – RO  
Dr. Nagy László – RO  
Dr. Pécs Hajnalka – RS  
Dr. Sebestyén-Pál György – RO  
Dr. Szalay György – SK  
Dr. Turchany Guy – CH  
Dr. Zsuga Miklós – HU

**Kiadja / Editor**

Erdélyi Magyar Műszaki  
Tudományos Társaság – EMT  
Societatea Maghiară Tehnico-Științifică  
din Transilvania  
Ungarische Technisch-Wissenschaftliche  
Gesellschaft in Siebenbürgen  
Hungarian Technical Scientific Society  
of Transylvania

**Felelős kiadó / Managing Editor**

Dr. Köllő Gábor

**A szerkesztőség címe / Address**

Romania  
400604 Cluj, Kolozsvár  
B-dul 21. Decembrie 1989., nr. 116.  
Tel/fax: 40-264-590825, 594042  
Levélcím: RO – 400750 Cluj, C.P. 1-140.

**Nyomda / Printing**

Incitato Kft.

**ISSN 1454-0746**

[www.emt.ro](http://www.emt.ro)

[emt@emt.ro](mailto:emt@emt.ro)

**Tartalomjegyzék – Content – Cuprins**

Probiotikus tulajdonsággal rendelkező tejsavbaktériumok  
antibakteriális hatása

Antibacterial Activity of Probiotic Lactic Acid Bacteria

Activitatea antibacteriană a bacteriilor lactice cu proprietăți probiotice

**BOTH Emese**

**3**

A geotechnika területén a talajok víztartási függvényének  
alkalmazási köre és laboratóriumi mérésének tapasztalatai

The Application of SWCC and the Experiences of its  
Laboratory Measurement

Aplicarea SWCC și experiența măsurătorilor de laborator

**FIRGI Tibor, KESZEYNÉ Dr. SAY Emma, TELEKES Gábor**

**8**

A tej UV-pasztörözésének paraméterei és megvalósítási lehetőségei

Parameters and Possibilities for UV-pasteurization of Milk

Parametrii și posibilitățile de pasteurizare UV a laptelui

**GOMBOS Sándor**

**18**

Zöldépítés – Alapok és természetes felületek – I.

Green Construction – Basics and natural surfaces – I.

Bazele realizării construcțiilor verzi – I.

**LECZOVICS Péter**

**24**

Öszvérszerkezetű hidak feszítése

Methods of Introducing Initial Effort Into Composite Bridge Structures

Metode de introducerea eforturilor inițiale în poduri cu structură compusă

**MOLNÁR Lajos**

**32**

# Probiotikus tulajdonsággal rendelkező tejsavbaktériumok antibakteriális hatása

## Antibacterial Activity of Probiotic Lactic Acid Bacteria

### Activitatea antibacteriană a bacteriilor lactice cu proprietăți probiotice

Dr. BOTH Emese

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem,  
Csíkszeredai Kar, Biomérnöki Tanszék, Csíkszereda,  
Szabadság Tér 1. sz., 530104, Tel.: +40-266-314-657, Fax: +40-266-372-099,  
E-mail: csikszereda@sapientia.ro, www.sapientia.ro

#### ABSTRACT

*In the present study, was investigated the antibacterial effect of 76 lactic acid bacterial isolates originated from traditional cheeses and human microbiota against different pathogenic bacteria. From the studied strains Enterococcus faecium SGt102.2.2. and Lactobacillus brevis Szj102.1. showed the wide inhibitory spectrum against Salmonella enteritidis. Bacteriocin production analyzed with poliacrylamid-gel electroforesis it was detected by the strain Lactobacillus brevis Szj102.1. This preliminarily work results show the potential application of this autochthonous lactic acid bacteria for the improvement of safety of traditional fermented foods.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Jelen tanulmányban 76 – tradicionális sajtokból, valamint csecsemők bél-mikrobiotájából izolált – tejsavbaktérium törzs antibakteriális hatását vizsgáltuk. A vizsgált baktériumtörzsek közül az Enterococcus faecium SGt102.2.2. és Lactobacillus brevis Szj102.1. törzsek esetén mutatható ki jelentősebb gátlás Salmonella enteritidis patogén baktériumra. Poliakrilamid-gélelektroforézis segítségével a Lactobacillus brevis Szj102.1 törzs folyékony tenyészetének felülúszójából peptid természetű bakteriocin volt kimutatható. Ezen kutatásban kapott eredmények alapján elmondható, hogy egyes autohton tejsavbaktériumok felhasználhatóak tradicionális élelmiszerek tartósításában.*

**Kulcsszavak:** tejsavbaktérium, probiotikum, patogén, antibakteriális, bakteriocin

#### 1. BEVEZETŐ

A probiotikumok a FAO/WHO (2002) meghatározása szerint olyan élő mikroorganizmusok, amelyek megfelelő mennyiségben fogyasztva jótékony hatással vannak a gazdaszervezet egészségére [1].

Probiotikumként leggyakrabban tejsavbaktériumokat alkalmaznak. A tejsavbaktériumokat régóta használják az élelmiszeriparban, mivel képesek a laktóz és más szénhidrátok tejsavvá való alakítására, ezáltal a termék pH-ját savas tartományig csökkentik (pH<4,5). Ezt a savas közeget a tejsavbaktériumok többnyire jól tolerálják, viszont sok más nemkívánatos baktériumra gátló hatással van (romlás- és kórokozók is akár) [7]. A savas pH denaturáló hatással van a sejtfelszíni enzimekre, valamint károsodásokat okoz a fehérjék és a DNS szerkezetében, a baktériumok anyagcsere folyamataiban. Emellett károsító hatása van a képződő szerves savak (tejsav, ecetsav) disszociálatlan molekuláinak is [10]. A tejsavbaktériumok szerves savak és oxidáló hatású hidrogén-peroxid termelése mellett fehérje természetű antimikrobás anyagok, ún. bakteriocinek termelésével is képesek gátolni más, elsősorban Gram-pozitív baktériumokat [7].

A tejsavbaktériumok Gram-pozitív baktériumok. A leggyakrabban előforduló probiotikus baktériumok a *Lactobacillus* és a *Bifidobacterium* nemzetségbe tartoznak, de ide sorolhatóak más nemzetség tagjai is pl. *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Weissella*. Ezen baktériumok a természetes bélflóra helyreállítását segítik, mint ismeretes: gyakran javasolják orvosok antibiotikus kezelések után [2].

Probiotikusnak mondható egy baktériumtörzs, ha rendelkezik a következő tulajdonságokkal és képességekkel:

- Sav- és epetolerancia: képesek legyenek élve eljutni a vastagbélbe és ott megtelepedni.
- Adhéziós képesség: legtöbb baktérium adhezinekkal rendelkezik a sejtfelszínén, ekképp tud kötődni a bélhámsejtekhez.
- A patogének szaporodásának gátlása: savtermelés, bakteriocin- és hidrogén-peroxid-termelés révén.
- Immunogén jelleg: növelik a „gyulladásgátló” (antiinflammatory) citokinek szekrécióját, valamint elfojtják a „gyulladáselőségitő” (proinflammatory) citokinek termelését [3].

Kutatásunk célja volt 37 nem kereskedelmi forgalomban kapható oltóval készített sajtból, valamint 39 anyatejes csecsemő székletéből izolált baktériumtörzs egyes probiotikus tulajdonságainak vizsgálata. Jelen tanulmányban ezen tejsavbaktériumok gátló hatását mutattuk ki egyes patogén mikroorganizmusokkal szemben. (*Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus* 5973, *Bacillus cereus* 2, *Escherichia coli* ATCC 13706 és *Listeria monocytogenes*).

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. Probiotikus tejsavbaktériumok antibakteriális hatásának vizsgálata

Jelen teszt célja kimutatni a tejsavbaktériumok gátló hatását különböző patogén mikrobák szaporodására nézve.

Az antimikrobiális hatás vizsgálatához 14 napig 37°C-on, MRS levesben előnevelt tejsavbaktériumtörzseket használtunk. A patogén baktériumokat *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus* 5973, *Bacillus cereus* 2, *Escherichia coli* ATCC 13706 és *Listeria monocytogenes* Brilliant Green Phenol Red agar (*Salmonella enteritidis*), *Listeria mono* differenciál (*Listeria monocytogenes*), a többi patogén esetén nutrient agarba oltjuk lemezöntéssel. Majd az agar felületén létrehozott bemélyedésekbe a vizsgált tejsavbaktériumok felülúszóját pipettázzuk. Az így beoltott tápagarokat 37°C-on inkubáltuk 48 órát.

Az inkubálást követően az antibakteriális hatást a gátlási zónák mérete alapján adjuk meg.

### 2.2. Bakteriocinek jelenlétének kimutatása

Azon tejsavbaktérium törzseket vizsgáltuk, amelyek bakteriosztatikus hatással rendelkeztek. Ezeket a tejsavbaktériumokat 10 napig folyékony MRS táplevesben neveltük 37°C-on. A folyékony tenyészetet lecentrifugálva a kapott felülúszót poliakrilamid géltre vittük fel (50V, 20 min, 150 V, 60 min). A próbák vizualizálására Coomassie Blue festéket használunk, a 95°C-ra melegített próbákat, 5 percig kezeljük: 20 µl felülúszóhoz 4 µl színezéket adunk.

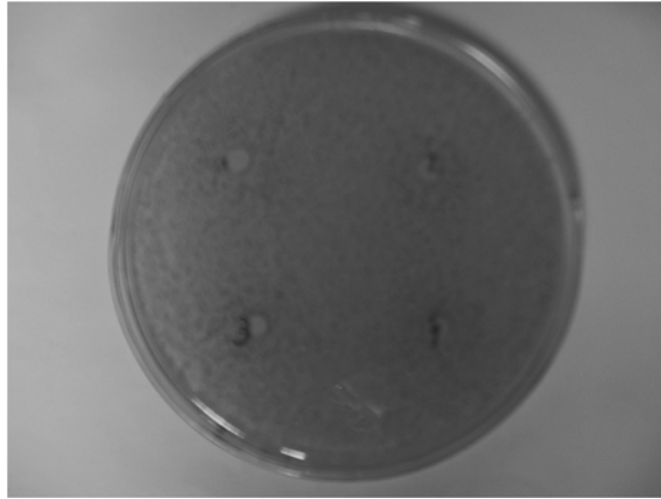
## 3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

### 3.1. Probiotikus tejsavbaktériumok antibakteriális hatásának vizsgálata

A tejsavbaktériumok antimikrobiális hatása abban áll, hogy csökkentik a közeg pH-ját, szerves savakat választanak ki, emellett hidrogén-peroxidot termelnek, ezek összhatása a bakteriocinek termelésével fokozódik.

Tagg és munkatársai (1976) definíciója szerint a bakteriocinek fehérje jellegű vegyületek, amelyek közel rokon baktériumokat képesek elpusztítani, bár ismertek olyanok is, amelyek rendszertanilag távolabbi baktérium-csoportok ellen is hatásosak.

Az általunk izolált tejsavbaktérium törzseket (39 törzs sajtból, valamint 37 törzs csecsemők bél-mikrobiotájából származik) használtunk fel patogén-gátlásuk megfigyelésére a következő bélpatógén baktériumokkal szemben: *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus* 5973, *Bacillus cereus* 2, *Escherichia coli* ATCC 13706 és *Listeria monocytogenes*.

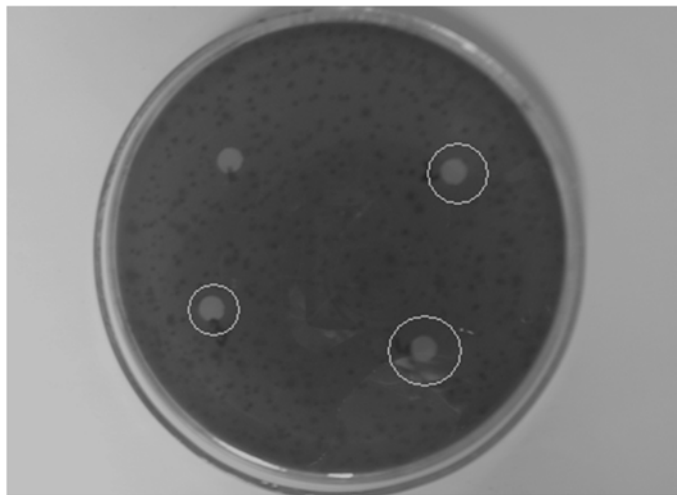


1. ábra

*Bacillus cereus* 2 esetén nem figyelhető meg gátlási zóna

A 10-15 napig, 37°C-on folyékony MRS táplevesben előnevelt tejsavbaktériumok táplevesét lecentrifugáltuk, majd a felülúszóval dolgoztunk a továbbiakban az antibakteriális hatás megfigyelése céljából. Az ábrán látható táptalajban és minden egyes tesztelt táptalajban patogén baktériumokat szuszpendálunk, a táptalajon látható mélyedésekben egyes tejsavbaktérium-törzsek felülúszóját pipettáztuk.

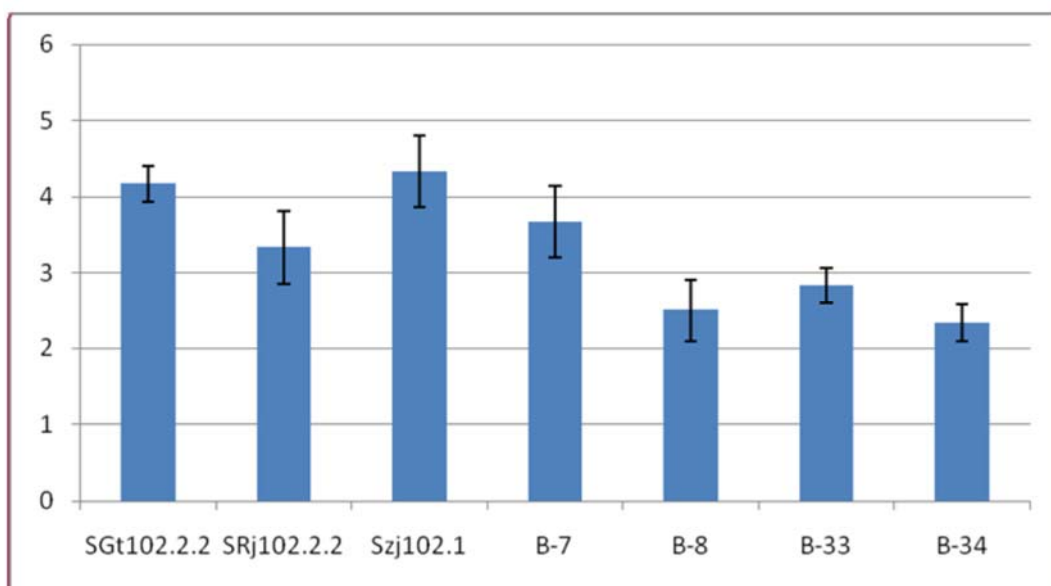
A 2. ábrán látható (*Salmonella enteritidis*) patogén baktérium esetén volt megfigyelhető a mikrobára gyakorolt gátlás egyes tejsavbaktérium esetében: SRj102.2.2., Szj102.1., SGt102.2.2. (ezek láthatók a 2. ábrán) és B-7, B-8, B-33 și B-34. A *Staphylococcus aureus* 5973, *Bacillus cereus* 2 (1. ábra), *Escherichia coli* ATCC 13706 és *Listeria monocytogenes* esetében nem figyelhető meg gátlás.



2. ábra

*Salmonella enteritidis* esetén a 2,3,4 minták esetén gátlási zónák figyelhetők meg a következő tejsavbaktériumoknál: SRj104.2., SRj102.2.2., Szj102.1., SGt102.2.2

A legszámottevőbb gátlás (legnagyobb gátlási zóna) az *Enterococcus faecium* SGt102.2.2. és *Lactobacillus brevis* Szj102.1. esetében észlelhető, itt a gátlási zóna 4,2-4,3 mm körüli érték (3. ábra). Kisebb gátlás figyelhető meg a B-7 törzsnél: 3,6 mm, az SRj 102.2.2 esetében 3,3 mm, a B-33, B-8 és B-34 baktériumtörzseknél a legkisebb a gátlás: rendre 2,8, 2,5 és 2,3 mm a gátlási zóna.



3. ábra

*Tejsavbaktériumok gátlási zónájának mértéke a Salmonella enteritidis patogén baktériummal szemben (mm-ben kifejezve)*

A bakteriosztatikus hatás mibenlétének megismerésére a gátlást kifejtő baktériumok által extracellulárisan termelt fehérjék hőkezelésével megbizonyosodtunk arról, hogy a gátlást fehérje-természetű anyag okozza, mivel a gátlás megszűnik miután hőkezeljük a mintákat.

Emődon arra a következtetésre jutottunk, hogy a gátlást valamilyen fehérje-jellegű bakteriocin okozhatta.

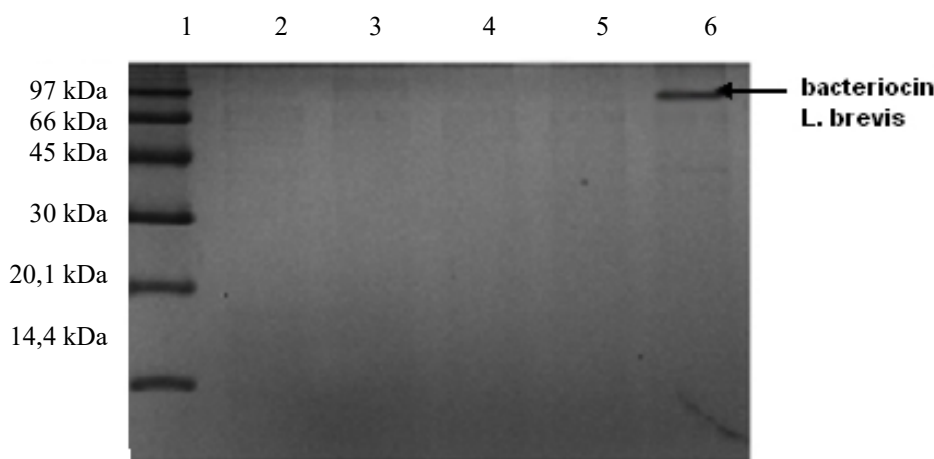
### 3.2. Bakteriocinek azonosítása molekulatömeg alapján

A bakteriocinek olyan fehérjeszerű (peptid) bakteriális termékek, amelyek bakteriosztatikus tulajdonsággal rendelkeznek. A bakteriocinek a riboszómákban szintetizálódnak, majd kikerülnek az extracelluláris térbe. Egyes tejsavbaktériumok által termelt bakteriocinokat élelmiszerekben is felhasználnak bio-tartósítószerként. A lantibiotikumok kis molekulatömegű peptidok (<5 kDa, I. bakteriocin csoport), egyesek közülük nagyon stabilak magas hőmérsékleten is [6,7,8].

A legismertebb tejsavbaktériumok által termelt bakteriocin a nizin, amely egy 34 aminosavból álló peptid. A nizin magas (90-100°C) hőmérsékleten is stabil. A nizin vegetatív sejtekkel szembeni antimikrobás hatása abban áll, hogy a citoplazma membránba beépülve azon pórusokat hoz létre, amelyeken keresztül kiegyenlítődik a membrán potenciál felépítésében szerepet játszó ionok koncentrációja.

A tejsav baktériumok által termelt bakteriocinek peptid- vagy fehérje-szerkezetűek bakteriosztatikus hatással. A bakteriocinek nagyrésze nem denaturálódik, nem veszít funkciójából 90-100°C hőmérsékleten sem. Az I. és II. bakteriocin csoportba tartozó peptidok 10 kDa-nál kisebb molekulatömegűek, míg a III. és IV. bakteriocin csoportba tartozó tagok fehérjék vagy fehérjekomplexek nagy molekulatömeggel [5,7]. A 10 napos folyékony tejsav baktérium-tenyészeteket lecentrifugálva a kapott felülúszót analizáltuk poliakrilamid gélelektroforézis során (SDS-PAGE).

A kapott gél fényképén (4. ábra) látható az, hogy a Szj 102.1. minta esetén a 97 kDa-os molekulatömeg-markerrel megközelítőleg egyvonalban megjelenik egy sáv. Az Szj 102.1. baktériumtörzs mint *Lactobacillus brevis* volt azonosítva. *Gautam és Sharma* (2009) *Lactobacillus brevis* tenyészetének felülúszójából izolált 93,74 kDa molekulatömegű bakteriocin [4], amely a III.-as bakteriocin (hőre érzékeny és 30 kDa-nál nagyobb molekulatömegű) családból származhat.



4. ábra

*Poliakrilamid-gélelektroforézis gélképe - bakteriocin jelenlétének vizsgálata.*

1. – molekulatömeg marker (Amersham), 2. – felülúszó B-34, 3. – felülúszó SRj102.2.2.,  
4. – felülúszó SRj104.2., 5. – felülúszó SGt102.2.2., 6. – felülúszó Szj102.1.

Végső következtetésként elmondhatjuk, hogy mivel a tejsav baktériumok savanyító képessége elsőrendű szempont a fermentált élelmiszerek előállítása és tartósítási folyamata során, valamint a bakteriocinek termelése ráadásként gátló hatással van a nemkívánatos baktériumok elszaporodására, így a vizsgált tejsavbaktérium törzsek felhasználhatóak az elkövetkezőkben fermentált élelmiszerek eltarthatóságának növelésében. Ez az elképzelés összhangban van a megváltozott fogyasztói elvárásokkal, ugyanis egyre inkább a természetesebb állapotú, kevesebb kémiai tartósítószerrel tartalmazó termékeket igénylik a fogyasztók.

#### 4. BIBLIOGRÁFIA

- [1]. Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. London, Ontario, Canada, 2002. April, May. Guidelines for evaluation of probiotics in food.
- [2]. Both E., Bodor Zs., Lányi Sz., Ábrahám B., „Effect of microencapsulation on viability and survival in simulated gut conditions of probiotic bacteria”, University Politehnica of Bucharest, Scientific Bulletin Series B: Chemistry and Materials Science, 2012, 74/1, 27-32.
- [3]. Both, E., György, É., Ábrahám, B., Lányi, Sz., „Beneficial effects of probiotic microorganisms. A review”, in Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria, 2011, 4, 44-58.
- [4]. N. Gautam, N. Sharma, „Purification and characterization of bacteriocin produced by strain *Lactobacillus brevis* MTCC 7539”, in Indian Journal of Biochemistry & Biophysics, 2009, 46, 337-341.
- [5]. G. Moll, W. Konings, A. Driessen, „Bacteriocins: mechanism of membrane insertion and pore formation”, in Antonie van Leeuwenhoek, 1999, 76, 185-198.
- [6]. N. Sivakumar, R. Saif, A. Saif, „Partial Characterization of Bacteriocins produced by *Lactobacillus acidophilus* and *Pediococcus acidilactici*”, in Brazilian Archives of Biology and Tehnology, 2010, 53, 1174-1184.
- [7]. K. Szekér, „Tejsavbaktériumok és élelmiszer-eredetű romlás- és kórokozó baktériumok versengő kölcsönhatásának vizsgálata”- doktori tézis, 2007, 1-112.
- [8]. S. K. Raja Namasivayam, J. Ceely Rebaca Angel, R. S. Arvind Bharani, M. Y. Karthik, „Effect of media on bacteriocin production by *Lactobacillus brevis* and evaluation of anti-bacterial activity”, in Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2014, 5/5, 1129-1136.
- [9]. J. R. Tagg, A.S. Dajani, L.W. Wannamaker, „Bacteriocins of gram-positive bacteria”, in Bacteriological Reviews, 1976, 40/3, 722-756.
- [10]. C. Vanderpool, F. Yan, D. B. Polk, „Mechanisms of Probiotic Action: Implications for Therapeutic Applications in Inflammatory Bowel Diseases”, in Inflamm Bowel Dis, 14/11, 2008, 1585-1592.

# A geotechnika területén a talajok víztartási függvényének alkalmazási köre és laboratóriumi mérésének tapasztalatai

## The Application of SWCC and the Experiences of its Laboratory Measurement

### Aplicarea SWCC și experiența măsurătorilor de laborator

FIRGI Tibor mestertanár  
KESZEYNÉ Dr. SAY Emma PhD egyetemi docens  
Prof. Dr. TELEKES Gábor PhD főiskolai tanár

Szent István Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Építőmérnöki Intézet,  
1146 Budapest Thököly út. 74  
Tel/ Fax +36 (1) 252-12700,  
Firgi.Tibor@ybl.szie.hu, www.ybl.szie.hu

#### ABSTRACT

*One of the key issues in unsaturated soil mechanics is, the features of the water function. Most engineering tasks affecting the unsaturated soils can be solved by the well-known soil mechanics examinations. In this article, we describe the scope of application of this soil characterization, together with our own measurement experiences.*

**Keywords:** SWCC, unsaturated soil mechanics, sand layer box, pressure chamber

#### KIVONAT

*A telítetlen talajmechanika egyik kulcskérdése a vizsgált talaj víztartási függvényének ismerete, így a telítetlen talajzónát érintő mérnöki feladatok döntő része – a jól ismert talajmechanikai vizsgálatokkal kiegészítve – megoldhatóvá válik. A cikkben e talajjellemző alkalmazási körét, meghatározási lehetőségeit ismertetjük, kiegészítve saját mérési tapasztalatainkkal.*

**Kulcsszavak:** víztartási függvény, telítetlen talajmechanika, homoklapos berendezés, feszültségkamrás berendezés

#### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a geotechnikai tervezésben (árvízi védekezés, vízrendezés, állékonysági vizsgálatok, stb.), illetve a geotechnikához is kötődő interdiszciplináris (talaj és talajvíz védelem, hulladékgazdálkodás, stb.) mérnöki feladatok megoldásában konferenciákon, szakcikkekben, szakmai számítógépes alkalmazásokban, a telítetlen talajok mechanikai viselkedését modellező, ún. telítetlen talajmechanika mind nagyobb súllyal szerepel. Úgy tűnik, hogy a talajmechanika fejlődésének nem egy lehetséges jövőbeni útja, hanem a jelene, a telítetlen talajmechanika alkalmazása.

A telítetlen talajzóna egyik legfontosabb jellemzője a víztartási függvény, amelyet közvetlen méréssel, vagy indirekt úton lehet előállítani. Amikor talajmechanikai célból talajok víztartási függvényét kellett meghatároznunk, a talajtanban szerzett tapasztalatok, irodalom és laboratóriumi mérőberendezések is mintául szolgáltak. A víztartási függvény talajmechanikai elmélete és felhasználási lehetőségei, valamint az általunk alkalmazott berendezések és eljárások ismertetése előtt röviden áttekintjük a talajmechanika vonatkozó alapfogalmait és tudománytörténetét.

##### 1.1. Történeti áttekintés

Az I. Talajmechanikai Világkonferencián (1936) a telítetlen talajokkal foglalkozó tudományos előadások bemutatták, hogy a mérnöki építmények többsége a telítetlen talajzónával van kapcsolatban. Ugyanakkor e konferencián Terzaghi (Karl Terzaghi 1883-1963) a telített talajokra vonatkozó feszültségi állapotváltozót (hatékony feszültséget) vezetett be. Az új állapotváltozó lehetővé tette, hogy a telített talajok

viselkedése egységes, kontinuum-mechanikai közelítéssel legyen tárgyalható. Ezzel indult el a telített talajmechanika fejlődése.

A telítetlen talajokkal kapcsolatos mérnöki feladatokat viszont – megfelelő feszültségi állapotváltozók hiányában – általában tapasztalati úton oldották meg. A telítetlen talajok feszültségi állapotváltozóit Fredlund és Morgenstern 1977-ben állapította meg és vezette be. Céljuk egységes, a telített talajokra és a telítetlen talajokra is alkalmazható megoldások bevezetése volt, hogy lehetővé váljon a talajok egységes kontinuum-mechanikai tárgyalása. Ezt követte az állapotváltozók közötti kapcsolatot leíró anyagegyenletek, majd a bonyolultabb, kontinuum-mechanikai modellek megalkotása és alkalmazása [1], [2].

A geotechnikai számítások a klasszikus talajmechanikában zárt alakú megoldásokra vezettek. A telítetlen talajmechanikai feladatok nemlineárisak, megoldásuk általában numerikus módszerrel történik. Ezért széleskörű alkalmazásuk csak az utóbbi évtizedekben vált általánossá a számítástechnika fejlődésével.

A telítetlen talajok egyik fontos fizikai egyenlete a víztartási függvény, amit D.G. Fredlund (Delwyn G. Fredlund 1940-) a telítetlen talajmechanika „kulcsának” tart. Meghatározása a talajmechanikában a feszültségi állapotváltozók bevezetése után kezdődött. A talajtanban viszont a víztartási függvény elméletét E. Buckingham már 1904-ben leírta. Mérésére szolgáló berendezések kifejlesztése az 1960-as évekre tehető [3].

## 1.2. Alapfogalmak

A *telítetlen talajokat* a talajtantól különbözően tekintik négy-fázisúnak. A fázisok ekkor: szilárd rész, folyadék, levegő és a víz-levegő határfelületen a felületi feszültség miatt elkülönülő 3-4 molekula-vastagságú hártya. Másrészt a talaj telítetlen, ha a pórúsvíz-nyomása ( $u_w$ ) kisebb, mint a pórúsvégő-nyomása ( $u_a$ ). A pórúsvégő-nyomás és a pórúsvíz-nyomás különbsége ( $u_a - u_w$ ) pozitív, amit szívó feszültségnek, szívásnak, tenzióknak ( $s$ ) neveznek. A levegő akkor „lép be” a talajba és a levegőfázis akkor lehet folytonos a talajban, ha a tenzió egy – pórúsmérettől függő – küszöbértéknél, levegő-belépési szívó feszültségnél nagyobb. Ennél kisebb tenzió esetén a talaj telített ( $S_r = 100\%$ ), de szívó feszültség lép fel, azaz ( $u_a - u_w$ ) pozitív, ezért a telítetlen talajmechanika rendszerében vizsgálandó. A telített talajmechanika egyik alapfeltétele ugyanis, hogy  $u_a = u_w$ , azaz a tenzió nulla, ami ez esetben nem teljesül.

Az *állapotváltozó* a rendszer egyensúlyi állapotát írja le az anyagjellemzőktől függetlenül. A feszültségi állapotváltozók a rendszer feszültségi állapotának, a deformációs állapotváltozók a rendszer deformációs állapotának jellemzésére alkalmasak. A talajok viselkedésének kontinuum-mechanikai alapú tárgyalásához megfelelő feszültségi állapotváltozók szükségesek. Ugyanis a teljes feszültség, a folyadék és a légnemű fázis nyomása/feszültsége önmagában nem jellemzi a talajt egyértelműen. A hatékony feszültség, a telített talaj feszültségi állapotváltozója, mely a szemcsék érintkezési pontjaiban ébredő erők felületegységre vonatkozó értéke. Telített talajokban értéke kiszámítható a kívülről ható teljes feszültség és a pórúsvégő-nyomás (semleges feszültség) különbségeként. Telítetlen talajok esetén a fázisok nagyobb száma miatt több független feszültségi állapotváltozó szükséges [4]. A telítetlen talajban mérhető három feszültség nagyság szerint csökkenő sorrendben: a teljes feszültség ( $\sigma$ ), a pórúsvégő-nyomás ( $u_a$ ) és a pórúsvíz-nyomás ( $u_w$ ). Különbségük megadja a telítetlen talajok lehetséges feszültségi állapotváltozóit. Ezek a nettó normálfeszültség ( $\sigma' = \sigma - u_a$ ), a szívó feszültség ( $s = u_a - u_w$ ) és a pórúsvégő-nyomás ( $u_a$ ) [5].

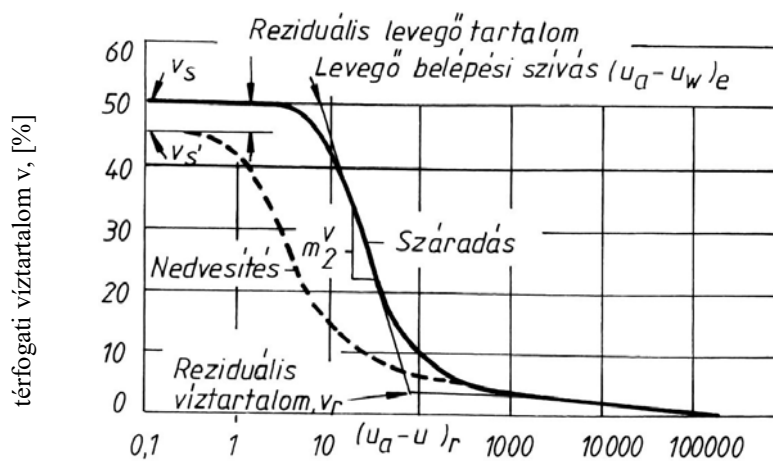
## 2. VÍZTARTÁSI FÜGGVÉNYEK A TALAJMECHANIKÁBAN

A víztartási függvény (görbe) – a talajtanban korábban pF-görbe, újabban víztartó képesség függvény – értelmezése, leírása különböző a talajmechanikában és a talajtanban. Az eltérés oka felhasználásának különbségében és történeti okokban keresendő. A következőkben a talajmechanikai tárgyalásmódra összpontosítunk.

A víztartási függvény (víztartalom – szívó feszültség függvény) a talaj nedvességtartalmát ( $v$ ) a szívó feszültség ( $s = u_a - u_w$ ) függvényében ábrázolja féllogaritmikus koordináta-rendszerben. Általában a nettó normálfeszültség nulla értéke mellett, azaz a  $\sigma' = (\sigma - u_a) = 0$  síkon értelmezett, de bármely más állandó ( $\sigma - u_a$ )  $> 0$  síkon is meghatározható. A víztartási függvény közvetlen, méréssel történő meghatározása csak telítetlen talajon végzett vizsgálatokkal lehetséges.

A víztartási függvény talajmechanikai jelölésrendszere az 1. ábrán látható. A vízszintes tengelyen a szívó feszültség logaritmus, a függőleges tengelyen a térfogati víztartalom aritmetikusan szerepel. A görbének három jól elkülöníthető tartományát különböztetjük meg. 1.: A levegő-belépési küszöbérték eléréseig a talajminta gyakorlatilag vízzel telített. A víztartalom nem változik, a görbe közel vízszintes. 2.: A szívó feszültség növekedésével rohamosan csökken a víztartalom és nő a levegőtartalom. 3.: A szívó feszültség növekedésével csak kis mértékben csökken a víztartalom, a görbe ellapul. A száradási és a nedvesítési ág eltérő. A hiszterézis a szűkülő-táguló kapillárisrendszerrel (Jamin-cső) magyarázható [6]. Kezdeti telített talajállapotból általában csak a száradási ágot mérik.





1. ábra szívó feszültség  $(u_a - u_w)$  [kPa]  
A víztartási görbe talajmechanikai jelölésrendszere [5]; [7]

## 2.1. A víztartási függvény matematikai leírása

A laboratóriumi méréssel a talaj térfogati víztartalmát ( $v$ ) néhány, beállított szívó feszültség  $(u_a - u_w)$  értékre határozzuk meg, így a víztartási görbének csak néhány pontja ismert. A felhasználás érdekében célszerű e pontokra folytonos függvényt illeszteni. Különböző paraméteres függvények a talajtanban is jól ismertek, pl. a van Genuchten-függvény [8]. A talajmechanikában alkalmazott víztartási függvények közül példaként Fredlund és Xing egyenletét ismertetjük [9]:

$$v_n = \frac{1}{\left\{ \ln \left[ e + \left( \frac{s}{a} \right)^n \right] \right\}^m} \quad (1)$$

ahol:  $a, n, m$  állandók,  $e$  – Euler-féle szám  
 $s$  – a szívó feszültség értéke  $(u_a - u_w)$   
 $v_n$  – normalizált térfogati víztartalom

$$v_n = \frac{v - v_r}{v_s - v_r}$$

ahol:  $v$  – térfogati víztartalom  
 $v_s$  – telített térfogati víztartalom  
 $v_r$  – reziduális térfogati víztartalom

Az egyenlet mérési adatokra illesztésekor az ismeretlen paraméterek száma kevesebb vagy egyenlő lehet, mint a víztartási görbe mért pontjainak száma. Még számos egyenletet ajánlanak különböző szerzők a talajok víztartási függvényének leírására, és szinte mind levezethető a következő általános formulából [10]:

$$a_1 v_n^{b_1} + a_2 \exp(a_3 v_n^{b_1}) = a_4 s^{b_2} + a_5 \exp(a_6 s^{b_2}) + a_7 \quad (2)$$

ahol:  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, b_1, b_2$  – konstansok  
 Ha például a (2) egyenletben  $a_7/a_1 = e$ ;  $a_4/a_2 = (1/a)b_2$ ;  $b_1 = m$ ;  $b_2 = n$ , akkor az (1) egyenletet kapjuk.

## 2.2. A víztartási függvény felhasználása a talajmechanikában

A vizsgált talaj(ok) víztartási függvényének ismeretében, a szilárdsági, alakváltozási és szivárgási feladatok megoldhatók, amennyiben a talajzóna telített talajokra értelmezett talajfizikai jellemzői ismertek, vagy vizsgálatokkal meghatározottak. Az építőmérnöki gyakorlatban tipikusan ilyen feladatok az árvízvédelmi gátak vizsgálata, rézsűk állékonyságának megállapítása, a függőleges földfalak vizsgálata, a térfogatváltozó (duzzadó-zsugorodó) talajok modellezése, a víztelenítési – vízáramlási feladatok számítása. A napjainkban használt számítógépes programok jelentős részében (pl. Plaxis, Soil Vision, GEO5, stb.) a telítetlen talajzónára vonatkozó feladatok megoldására, a telítetlen talajmechanika eredményeit használják.

Példaként a szilárdsági feladatok megoldásának alapját képező törési feltétel telítetlen talajokra való kiterjesztését és a szivárgási feladatok megoldásának alapját jelentő általános Darcy-törvényt tekintjük át.

A telített talajokra vonatkozó Mohr-Coulomb törési feltétel:

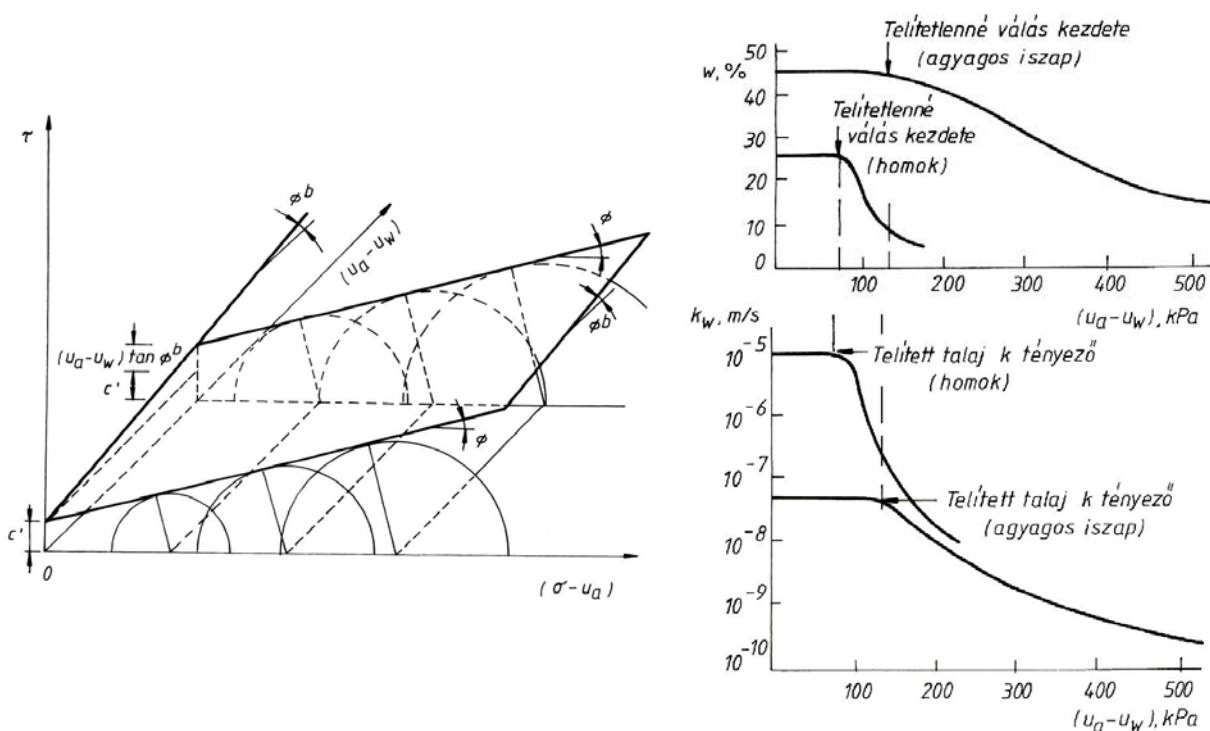
$$\tau = (\sigma - u_w) \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (3)$$

ahol:  $\tau$  – nyírófeszültség,  
 $(\sigma - u_w)$  – hatékony normálfeszültség  
 $\varphi$  – belső súrlódási szög,  
 $c$  – kohézió,

A telítetlen talajokra vonatkozó törési feltétel (2. ábra):

$$\tau = (\sigma - u_a) \operatorname{tg} \varphi + (u_a - u_w) \operatorname{tg} \varphi^b + c \quad (4)$$

ahol:  $(\sigma - u_a)$  – nettó normálfeszültség,  
 $(u_a - u_w)$  – kapilláris szívó feszültség  
 $\varphi^b$  – kapilláris szívó feszültségtől függő súrlódási szög,



2. ábra

A Mohr-Coulomb törési feltétel, és a víztartási függvény – átteresztőképességi együttható összefüggése telítetlen talajok esetén [11] [12]

A  $\varphi^b$  szög a víztartási függvény integrálásával írható fel: [11]:

$$\tau(u_a - u_w) = (\sigma - u_a) \operatorname{tg} \varphi + \int_0^{u_a - u_w} [v_n(u_a - u_w)]^p d(u_a - u_w) \operatorname{tg} \varphi + c \quad (5)$$

ahol:  $v_n(u_a - u_w)$  – normalizált víztartási függvény.

A (4.) egyenlet szerinti leírásból látható, hogy alkalmazva a telített talajra vonatkozó feltételt, miszerint  $u_a = u_w$ , a Mohr-Coulomb törési feltételt (3) adja. Tehát a telítetlen talajmechanika egyenletének határesetére a telített talajmechanika összefüggésére vezet.

A Darcy-törvény érvényes telítetlen talajokra is (a vízfázis és a levegőfázis áramlására egyaránt), de a  $k$  átteresztőképességi együttható nem állandó, és lényegében csak a víztartalomtól függ. Az átteresztőképességi együttható a szívó feszültség függvényében a víztartási görbe felhasználásával is megadható [12] (2. ábra).

Az áteresztőképességi függvény víztartási görbéből, kapilláris elméleti megfontolások alapján történő meghatározásának sok megoldása ismert. Itt példaként, van Genuchten [8] zárt alakú megoldását mutatjuk be, amely a gyakorlatban jól használható, és a paraméterek azonosak a víztartási görbe paraméterekkel:

$$k_r = \frac{\left\{1 - (as)^{n-1} \left[1 + (as)^n\right]^{-m}\right\}^2}{\left[1 + (as)^n\right]^{m/2}} \quad (6)$$

A víz- és levegő-áteresztőképességi függvény ismeretében, a szivárgási feladatok a telítetlen talajzónában is megoldhatóvá válnak, általában numerikus módszert alkalmazó számítógépes programok segítségével.

### 3. A VÍZTARTÁSI FÜGGVÉNY MEGHATÁROZÁSA

A meghatározás két lehetősége: a mérés, vagy a számítás. A laboratóriumi mérések idő- és költségigényesek. A gyakorlat számára ezért fontosak a szemeloszlási görbéből kapillárisokra vonatkozó összefüggéseken [13], szemeloszlási görbéből adatbázis felhasználásával egyszerűen mérhető talajparamétereken [14] és a szemeloszlási görbéből a szemeloszlási entrópián [15] alapuló számítási módszerek.

A víztartási görbe meghatározásának másik lehetősége a mérés, mely lehet helyszíni és laboratóriumi. Telítetlen talajok esetén három mérhető/szabályozható feszültség van: a teljes feszültség ( $\sigma$ ), a póruslevegő-nyomás ( $u_a$ ) és a pórusvíz-nyomás ( $u_w$ ). A mérések csak akkor értékelhetők a feszültségi állapotváltozók függvényében, ha a pórusvíz-nyomást és a póruslevegő-nyomást külön-külön mérik vagy szabályozzák.

A mérési módszerek két nagy csoportja ismert, a mechanikai és a kémiai. A mechanikai módszerek egy részénél közvetlenül a vízfázis szívási feszültségét növelik (csökkentik), a másik lehetőség a levegő-nyomás növelése, az úgynevezett tengelyeltolási technika alkalmazása. A tengelyeltolási technikára telítetlen talajok esetén azért van szükség, mert a víznyomás a mérőrendszerben a fellépő kavitáció miatt nem csökkenthető az adott hőmérsékletnek megfelelő telítettgőz-nyomás alá, és ez a mérésnek felső határt szab. A tengelyeltolási technika a következő két fizikai megfigyelésen, tapasztalati tényen alapul. Egyrészt, ha a talajmintát zárt térbe helyezük, és megnöveljük a légnyomást  $\Delta p$  értékkel, akkor minden mérhető feszültség (teljes feszültség, pórusvíz- és póruslevegő-nyomás) nő  $\Delta p$  értékkel, miközben a  $(\sigma - u_a)$  – nettó normálfeszültség és a  $(u_a - u_w)$  – szívó feszültség állandó marad. Másrészt, ha a mintát olyan féligáteresztő elemre helyezük, amely a létrehozott légnyomás értéknél a vizet áteresztí és a levegőt nem, akkor a pórusvíz-nyomás értéke külön szabályozható. Ha tehát egyidőben levegő-nyomást alkalmazunk, és a minta alján a pórusvíz-nyomás értékét külön szabályozzuk, akkor elvileg tetszőlegesen nagy tenzió érték hozható létre.

A féligáteresztő lapok/membránok anyaga lehet szemcsés anyagú, kerámia vagy celofán. Működésük egyrészt az adhéziós jelenségeken alapszik, másrészt az elem megfelelő víztartási tulajdonságán. A megfelelő azt jelenti, hogy csak a vizet engedik át, és a levegőt mindaddig nem, míg a fellépő szívó feszültség nagysága a levegő belépési küszöbértékük alatt marad. Tehát a víztartási görbékük 1. tartományában használhatók mérésre ezek az elemek.

A kémiai módszerek relatív páratartalom szabályozásán alapuló csoportjának alapelve az a tény, hogy mindig egyensúlyi állapot alakul ki a minta víztartalma és az azt körülvevő légtér páratartalma között. Az ozmózison alapuló kémiai módszerek esetén vízben oldott, nagy molekulásúlyú polietilén-glykol (PEG) anyagot használnak egy olyan membrán egyik oldalán, amely ezt a vegyületet nem engedi át.

A módszerek alkalmazhatósági tartományai [16]:

- 1) mechanikai módszerek:
  - (a) víznyomást szabályozva:
    - megcsapolt vízoszlop módszer  $u_a - u_w < 20 \text{ kPa}$
    - függő vízoszlop módszer  $u_a - u_w < 100 \text{ kPa}$
  - (b) levegő- és víznyomást szabályozva:
    - nyomásmembrános eljárás  $100 \text{ kPa} < u_a - u_w < 1600 \text{ kPa}$
    - feszültségkamrás eljárás  $u_a - u_w < 600 \text{ kPa}$
- 2) kémiai módszerek:
  - (a) ozmózison alapuló  $u_a - u_w > 2500 \text{ kPa}$
  - (b) relatív páratartalom szabályozása  $u_a - u_w < 1500 \text{ kPa}$

Általában nem elegendő egyetlen módszert alkalmazni a teljes víztartási görbe meghatározására. A gyakorlatban alkalmazott eljárási rend a növekvő tenzió szerint: teljes telítés vízzel – minta alsó éle merül vízbe – homoklapos berendezés – kaolinlapos berendezés – nyomásmembrános készülék.

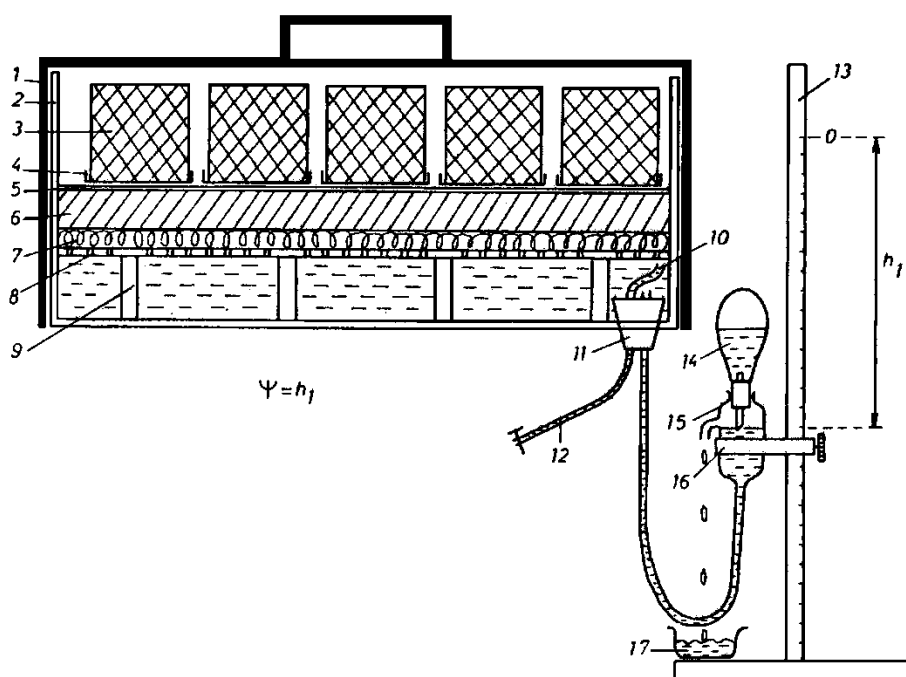
Szakcikkék és konferenciák tanúsága szerint napjainkban a víztartási görbe méréstechnikai fejlesztése az automatizálás és a sokpontos mérés irányában folytatódik [17].

### 3.1. Talajmechanikai célú víztartási görbék laboratóriumi mérési tapasztalatai

Mintáink víztartási görbéinek mérésére a függő vízoszlop módszert (homoklapos berendezéssel) és a feszültségkamrás eljárást alkalmaztuk. Méréseink során a szokásos geotechnikusi tapasztalat szerint jártunk el, miszerint a szemcsés és a kötött (plasztikus) talajok vizsgálatára más vizsgálati metodika alkalmas.

#### 3.1.1. Homoklapos berendezés

A mérési berendezés az ún. függő vízoszlop módszer laboratóriumi eszköze. A folyadékfázisra ható szívó feszültséget hozunk létre, a meghatározó szabad vízfelszínnek, a mintához viszonyított helyzete változtatásával, azaz a nívópalack mozgásával és/vagy egyidejű vákuum létrehozásával (3. ábra).



1. Átlátszatlan PVC fedél emelőfüllel.
2. Átlátszó plexi kád.
3. 100 cm<sup>3</sup>-es hengerekben elhelyezett talajminta.
4. A hengerek alsó nyílását lezáró nylon szitaszövet, szorító gumikarikával.
5. Nylon szitaszövet a szűrőlap felszínén.
6. Töltőanyag.
7. Azbesztyapot.
8. Átlátszó plexiből készült perforált tartólap.
9. Tartólap lábazata.
10. Üvegeső a vákuumtérben esetleg megjelenő légbuborékok eltávolítására.
11. Kétfuratú gumidugó.
12. Légbuborék mentesítő cső kivezetése a vákuumforráshoz.
13. cm-beosztással ellátott acél-állvány.
14. Nívópalack.
15. Állandó vízszintet biztosító edény.
16. Rögzíthető fémkonzol.
17. Vízugyűjtő edény.

3. ábra

Homoklapos berendezés [16]

E laboratóriumi eszközöket az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetben (TAKI) fejlesztették ki, és Várallyay-féle pF-mérő „box”-ként, vagy TAKI-módszerként vált ismertté. Az Eijkelkamp-féle berendezés, amely a kereskedelmi forgalomban kapható, működési elvét tekintve a homoklapos-kaolinlapos berendezéssel azonos.

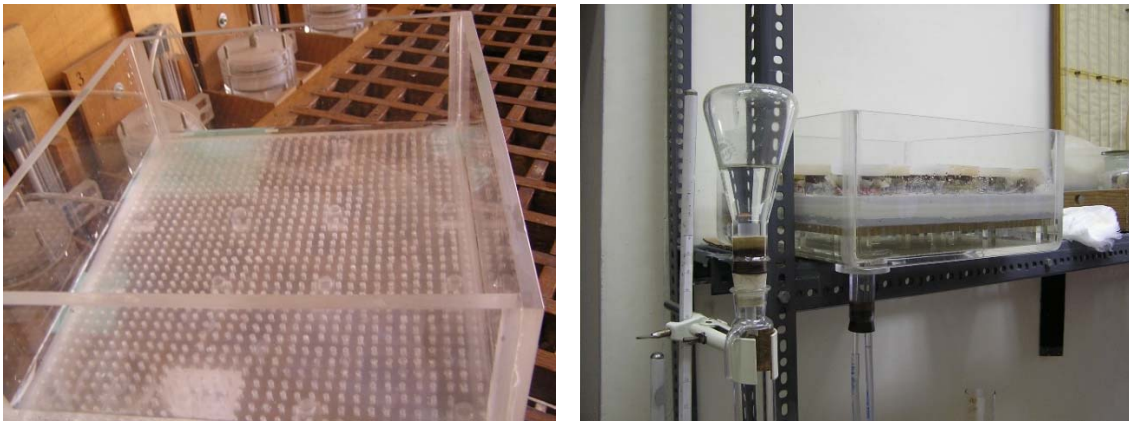
A kutatási program egy részében homok és homok-keverékek víztartási görbéinek mérését végeztük. Mivel az 1-100 vízoszlop-cm terhelés közötti tartományban a TAKI berendezései fix terhelésen működnek, így új homoklapos berendezést építettünk (4. ábra).

A berendezéshez szükséges egy felülről nyitott doboz, amelynek átlátszósága fontos a szívótérben esetlegesen megjelenő buborékok vagy homokfolyás észlelhetősége érdekében. Továbbá megfelelő szilárdság, légzárás, vegyi ellenállóság és biológiai inaktivitás kell, hogy jellemezze a berendezést. E követelményeknek a 10 mm vastagságú plexi lemez megfelel. Újításként a mérőedény 3 részből készült – 1 meghajlított U alakból és két oldalaplóból. Ezáltal csökkent a ragasztás hossza. A gyártást és a ragasztást speciális, kétkomponensű ragasztóval szakcég végezte.

A szívótér és a többrétegű töltet elválasztására perforált lapot használtunk. Anyaga szintén 10 mm vastag, lyuggatott, lábakon elhelyezve. A további kiegészítő eszközök megegyeznek a Várallyay-féle berendezésével.

A berendezés membránja az alacsony helyzetben tartott vízfelszín által kifejtett szívást a víztől a mintához továbbítja. A szívástartományon belül a vizet átbocsajtja, a levegőt pedig visszatartja. A durva szemcsés anyagoknak kicsi a levegő belépési szívásuk, a finomabb szemcséjű anyagoknak kis szívásértékeknél kicsi a vízáteresztő-képessége, ezért a különböző szívástartományokhoz különböző anyagokat használunk membránként.

Az elválasztó réteg feladata, hogy megakadályozza a membrán anyagának alsó víztérbe jutását. Elválasztó réteggé eredetileg azbesztet alkalmaztak, de egészségvédelmi okokból ez az anyag már nem használható, ezért új anyagot kerestünk. Kipróbáltunk geotextíliát, bazaltgyapotot, kerámiagyapotot. Ezek közül a kerámiagyapot bizonyult megfelelőnek, mert a kezdeti minimális mértékű homokszivárgás után feladatát már tökéletesen ellátta.



4. ábra

*Homoklapos berendezés építés és működés közben*

Mérési tapasztalataink az új berendezéssel a következők. A méréshez gyűrűben elhelyezett mintát használunk, amelynek víztartalom változását tömegméréssel mértük. A víztartási görbe mérésének módszere a szakirodalomból ismert [18]. Mivel egyetlen berendezéssel dolgoztunk, és a nívópalack mozgatásával növeltük a terhelést, ezért a szűrőréteg kismértékben és rugalmasan alakváltozott (összenyomódott). Ezt a nívópalack mozgatási kalibrációjával vettük figyelembe.

Méréseink eredményei szerint a szemcsés talaj vízáteresztő képessége a szívó feszültség kis értékeinél is rohamosan csökken, ezért az egyensúly beállásához akár több mint egy hónapra is szükség lehet. Tapasztalatunk szerint az elhúzó méréseket algásodás zavarhatja meg, amit fényzáró tetővel minimalizáltunk. Gombaölő szert nem használtunk, mert a víz viszkozitására gyakorolt befolyásoló hatását nem ismertük.

A folytonos vízszál megléte döntő jelentőségű a mérés megbízhatósága szempontjából. Ugyanakkor a minták mozgatása, kivétele szükséges a tömegváltozásuk méréséhez, így ideiglenesen megszakad a vízszál. Az újbóli kialakulásához a minta aljának és a homoklapnak a jó kapcsolata, érintkezése szükséges, amelyet a berendezésnél a lágy anyagú homoklap elősegít (szemben a merev anyagú pl. kerámia szűrőkővel). Azonban ez esetben is célszerű a minták mozgatását e hibaforrás elkerülése érdekében minimalizálni.

A függő vízoszlopos módszer előnye, hogy kicsi szívás értékek beállításánál a folyadékfázis nyomásának (szívásának) pontos szabályozása a légnyomásénál egyszerűbb. Az azbeszt szűrőréteg kiváltása lehetővé teszi az előregedő és felújítandó Várallyay-féle berendezések további üzemben tartását.

### 3.1.2. Feszültségkamrás berendezés

Kutatási programunkban kötött (plasztikus) talajok víztartási görbét is mértük. Ebben az esetben célszerű a tengelyeltolási technikát alkalmazó berendezést választani. Méréseinkhez feszültségkamrás berendezést használtunk, amelyet Kanadában (University of Saskatchewan) fejlesztettek ki. A készülék oldható csatlakozókkal, ún. gyors csatlakozókkal kapcsolható a nyomást biztosító berendezésre. Anyaga könnyű műanyag, így a tömegmérés a mintát tartalmazó készülékkel együtt történhet, századgramm pontossággal. Ez lehetővé teszi a talajminták kivétele nélküli több szívó feszültség értékhez történő víztartalom meghatározását (5. ábra).



5. ábra

*A feszültségkamrás készülék*

A berendezés további tartozékai az alsó víztér zárására szolgáló csapok: két oldalról záró gyorscsatlakozók, felső levegő gyorscsatlakozó. Az atmoszférikusnál nagyobb levegőnyomás előállításához kompresszort, beállításához nyomásszabályzót, a tömegméréshez pedig 4 kg-ig mérő digitális mérleget alkalmaztunk.

A szűrőkő telítését, amely a mérést megelőző egyik fontos feladat, szakirodalom [4] és szabvány (ASTM D 2325-68) szerint végeztük. A szűrőkő telítési eljárása azon az elven alapul, hogy a víznyomás növelésének hatására a víz egységnyi térfogatában több levegő oldódik. A pórúsvíz-nyomás növekedése miatt a levegő „oldódik” a pórúsvízben. A telítés menete a következő:

- A kamrában lévő szűrőkőre desztillált, „levegőtlenített” vizet töltünk. A kamrát felül zárjuk, és benne a levegő belépési küszöbértékénél nem sokkal kisebb levegő-nyomást hozunk létre, miközben hagyjuk átfolyni a vizet. Egy órán keresztül tartjuk fent ezt az állapotot, miközben néhányszor az alsó csaphoz csatlakoztatott fecskendő vagy büretta segítségével az alsó víztérben megjelenő buborékokat kifűjük.
- Ezután a felül alkalmazott légnyomás fenntartása mellett az alsó csapokat lezárjuk. Így a szűrőkőben és az alsó víztérben is ugyanakkora nyomás alakul ki. Ezt az állapotot egy órán keresztül fenntartjuk, majd nyitjuk az alsó csapokat. Tíz percig az alsó csapokat nyitott állapotban hagyjuk, miközben az alsó víztérben megjelenő buborékokat fecskendő vagy büretta segítségével kifűjük.
- A tíz perc eltelte után az alsó csapokat újra zárjuk, és még ötször megismételjük a 2. pontban leírt 70 perces eljárást. A szűrőkövet ezután víz alatt kell tartani.
- A feszültségkamrás mérés nem szabványosított, ezért a következő mérési protokollt állítottuk össze:
- A mintatartó hengerben lévő minta szívó feszültségét a mérés megkezdése előtt – vízbe állítva – a lehető legkisebb értékre kell csökkenteni („telítés”).
- A mintát leszorító rugóval rögzíteni kell a feszültségkamrában, a berendezést össze kell szerelni, és lemérni a tömegét. Össze kell kapcsolni a levegőnyomás vezetékkel. A víz kivezetéseket ki kell nyitni.
- Alkalmazni kell a megfelelő nagyságú légnyomást, amelyet kompresszor vagy levegőpalack segítségével lehet létrehozni. Az alsó csapok nyitva vannak, amelyeken keresztül a fölös víz a mintából távozik, valamint a szűrőkővön átdiffundált levegőt a csapokon keresztül időről-időre az alsó víztérből fecskendő segítségével ki kell fűjni.
- A berendezés tömegét a levegő- és vízcsapok zárása és bontása után újra le kell mérni.
- Az egyensúlyi állapot akkor állt be az alkalmazott tenzió és a minta víztartalma között, ha a fél óra időkülönbséggel mért tömegek között az eltérés pl. 0.01 g-nál kisebb.
- Ha az egyensúlyi állapot beállt, a berendezés szétszedése nélkül (a minta zavarása nélkül) alkalmazható a következő légnyomás (ill. szívó feszültség) érték. Így egy mintán mérhető az adott talaj víztartási görbéjének nulla és a szűrőkő levegő belépési küszöbértéke közötti tartománya. Mérési berendezésünk e felső határértéke 500 kPa volt, de léteznek más (pl. 100 kPa) levegő belépési küszöbértékű szűrőkővel ellátott berendezések is.
- A méréssorozat végén a mintát a feszültségkamrából kiszedve, 105 °C-on tömegállandóságig szárítva és megmérve a száraz tömegét, a víztartási görbe diszkrét pontjai számíthatók.

E berendezés mérési tapasztalatai a következőkben foglalhatók össze. Hasonlóan a függő vízszlop módszeréhez, itt is döntő jelentőségű a folytonos vízszál megléte, amelyet a merev szűrőkő kevésbé segít. Kötött (plasztikus) talajmintáknál ezért is nagyon fontos a talajminta alsó felületének gondos kialakítása, hogy a bekészítés előtt ép, friss felületű legyen. Tapasztalatunk szerint a terhelés nem monoton jellege (légnomás lecsökkentése) is rontja a minta és a szűrőkő közötti kapcsolatot. Egyes méréseknél ugyanis lecsökkentettük a légnomást a tömegmérés előtt, de így egy tehermentesítési és terhelési ciklus után szinte mindig elromlott a minta-szűrőkő kapcsolata, ezért ez nem javasolható. Ha a tömegmérés előtt nem csökkentjük le a légnomást a berendezésben, akkor nem hanyagolható el az a tény, hogy nagyobb nyomáson a kamrába zárt levegő mennyisége és így tömege is nő, tehát szükséges a bezárt levegő tömegváltozásának figyelembe vétele. A mérést ezzel a hatással korrigálni kell, ezt több módon is megtehetjük:

- Megmérjük a légnomás alkalmazása után a levegőtöbbletből adódó tömegváltozást, és ezzel javítjuk a mért eredményt, azaz a mérés megkezdése előtt korrekciós mérést végezhetünk.
- Számítással korrigáljuk a mért eredményt ( $pV = mRT$  – állapotegyenlet felhasználásával).

A víztartási görbe feszültségkamrás berendezéssel történő meghatározásának előnye, hogy a tengelyeltolási technikát alkalmazzuk, és így nagyobb tenzió tartományokra is kiterjeszhető a mérés (a szűrőkő levegő belépési küszöbértékéig), hátránya viszont, hogy a légnomás kevésbé pontosan szabályozható, ami kicsi tenzióknál okozhat hibát.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben a telítetlen talajok egyik legfontosabb talajfizikai jellemzőjéről, a víztartási görbéről írtunk. A jelenleg alkalmazott mérés technikai lehetőségeket foglaltuk össze, a módszerek elvi háttérének rövid ismertetésével. Két víztartási függvény mérési módszert alkalmaztunk az építőmérnöki gyakorlatban előforduló talajféleségekre. Mértünk tisztán szemcsés talajokat: kavicsot és homokot illetve ezek keverékeit, valamint kötött (plasztikus) talajokat, iszapot és agyagot. Homoklapos berendezést és feszültségkamrás készüléket alkalmaztunk. A kontroll méréseket az MTA-ATK-TAKI végezte. Megállapítható, hogy ezek a mérési módszerek a geotechnikai gyakorlat számára is megfelelőek és a mérési eredmények megfelelő pontosságúak. A két mérőeszköz megbízhatósága, egyszerűsége és költségigénye miatt a jövőben is használható.

Szerettük volna megosztani e mérések területén, a mérés technikai fejlesztések során szerzett tapasztalatainkat, javaslatainkat, amelyeket egy rutin geotechnikai vizsgálatokra alkalmas laboratórium hasznosítani tud, ha a jövőben e terület felé is kiterjeszti tevékenységi körét. Ez azért válhat szükségessé, mivel a telítetlen talajmechanika alpméréséről van szó.

#### KÖSZÖNET NYILVÁNÍTÁS

Dr. Imre Emőkének és Dr. Rajkai Kálmánnak köszönjük a cikk elkészüléséhez nyújtott szakmai segítséget. A tudományos célú és kontroll mérések elvégzését Laufer Imrének, Havrán Krisztinának és Motsai Gézőnek.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Sheng D., Fredlund D.G., Gens A. (2008): A new modelling approach for unsaturated soils using independent stress variables, *Canadian Geotechnical Journal*, 45., pp. 511–534.
- [2] Imre E., Laufer I., Sheng D. (2012): A telítetlen talajok egyes talajmechanikai anyagmodelljei. *Hidrológiai Közlöny* 92:(3), 55-73. o.
- [3] Várallyay Gy. (1973): A talajok nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban, *Agrokémia és Talajtan* 22., 1-22. o.
- [4] Imre, E., Czap, Z., Telekes, G. (1999): A telítetlen talajok feszültségi állapotváltozói, *Hidrológiai Közlöny* 3., 234-246 o.
- [5] Fredlund, D.G., Rahardjo, H.(1993): *Soil mechanics for unsaturated soils*, John Wilry & Sons, New York, p. 560.
- [6] Taylor, D.W. (1948): *Fundamentals of Soil Mechanics*, New York, Wiley, p. 700.
- [7] Imre E. (2009): *Telítetlen talajok geotechnikájának alapjai* (2. bővített kiadás), Egyetemi jegyzet, SZIE-YMÉTK, Budapest-Gödöllő
- [8] Van Genuchten, M.T.(1980): A closed-form equation for prediciting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sciences American Journal* 44., pp. 892-898.
- [9] Fredlund, D.G., Xing, A. (1994): Equations for the soil-water characteristic curve, *Canadian Geotechnical Journal* 31., pp. 521-532.

- [10] Imre, E., Havrán, K., Lőrincz, J., Rajkai, K., Firgi, T., Telekes, G. (2005): A model to predict the soil water characteristics of sand mixtures, Proceedings of the Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics, Taylor & Francis Group, London, pp. 359-368.
- [11] Fredlund, D.G., Xing, A., Fredlund, M.D., Barbour, S.L.(1995): The relationship of the unsaturated shear strength to the soil-water characteristic curve, Canadian Geotechnical Journal 33, pp. 449-448.
- [12] Fredlund, D.G., Xing, A., Huang, S. (1994): Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil- water characteristic curve, Canadian Geotechnical Journal 31, pp. 533-546.
- [13] Arya, L.M., Paris, J.F. (1981): A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data, Soils Sci. Soc. Am. J., 45., pp. 102-103.
- [14] Rajkai, K. (2004): A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest
- [15] Imre E; Havrán, K; Lőrincz, J; Rajkai, K , Firgi, T; Telekes, G. (2005) A model to predict the soil water characteristics of sand mixtures, Proceedings of the Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics, Taylor & Francis Group, London, ISBN 0 415 38337 4, pp. 359-368.
- [16] Várallyay, Gy. (2003): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai, Budapest-Gödöllő
- [17] Ray, R. (2016): Geotechnical Engineering in the Digital Age, In: Huszák, T., Koch, E., Mahler, A. (ed.), 2. Széchy Károly Emlékkonferencia, MGE-MMK-GT, pp. 22-23.
- [18] Rajkai, K., Várallyay, Gy.(1993): Talajfizikai és mezőgazdasági-vízgazdálkodási fogalmak (definíciók, jelölések, mértékegységek), Búzás I. (szerk.): Talaj- és Agrokémiai Vizsgáló Műhely, INDA4231 Kiadó, 221-231. o.



# A tej UV-pasztörözésének paraméterei és megvalósítási lehetőségei

## Parameters and Possibilities for UV-pasteurization of Milk

## Parametrii și posibilitățile de pasteurizare UV a laptelui

Dr. ing. GOMBOS Sándor

SAPIENTIA EMTE Kolozsvár,  
Csíkszeredai Kar, Élelmiszer-tudományi Tanszék,  
RO-4100 Csíkszereda, Szabadság tér 1.,  
Tel.: 40-266-314-657, fax: 40-266-372-099; gombossandor@uni.sapientia.ro,  
www.emte.ro

### ABSTRACT

*As regards UV treatment, the specific scientific results in literature has evolved in several steps, starting with relatively simple applications, such as the treatment of various waters, and subsequently gradually extending to more and more applications, including the treatment of various liquid and plastic foodstuffs. For the pasteurization of bovine milk, in recent years several scientific studies have been carried out, with different approaches, studying the involved processes, using different irradiation procedures, irradiation times, and UV light sources. The aim of research is to define process parameters influence, to produce better product quality during pasteurization of milk, which is beneficial for manufacturers and consumers. By adjusting process parameters and using specific treatment system, we can increase the nutritive value, can preserve flavour and we can limit off-flavour.*

**Keywords:** UV-treatment, bovine milk, pasteurization, process parameters, milk composition, bioactive compounds

### ÖSZEFoglalás

*Az UV-kezeléssel kapcsolatosan a tudományos szakirodalom több lépésben fejlődött, viszonylag egyszerű alkalmazásokkal kezdve, mint a különböző vizek kezelése, később fokozatosan kiterjesztve egyre több célra, ezek között szerepelnek a folyékony és képlékeny halmazállapotú élelmiszerek kezelésével kapcsolatos alkalmazások is. A tehéntej pasztörözése céljából az utóbbi években ugyancsak több tudományos kutatás zajlott, ezek eltérő megközelítéssel vizsgálták a lejátszódó folyamatokat, különböző besugárzási eljárásokat, besugárzási időtartamokat és UV-fényforrásokat alkalmazva. A kutatás célja a folyamat paraméterek befolyásolásának megállapítása, az előállított pasztörözött tej jobb minőségének elérése, ami a feldolgozók és fogyasztók számára előnyös. A folyamat paraméterek beállításával és a speciális kezelési rendszer alkalmazásával növelhetjük a tápértéket, fenntarthatjuk a kedvező eredeti zamatot, és korlátozhatjuk az mellék-ízek képződését.*

**Kulcsszavak:** UV-kezelés, tehéntej, pasztörözés, műveleti paraméterek, tej összetétele, bioaktív összetevők

## 1. BEVEZETÉS

A nyers tej UV-kezelése alternatívát jelent a hagyományos termális pasztörözés részleges vagy teljes mértékű helyettesítésére, viszont a tej komplex összetétele és a műveleti paraméterek, leginkább a behatást gyakorló UV besugárzás sajátosságai meghatározzák a művelet hatékonyságát, elfogadhatóságát és biztonságát. A jelenlegi technológiai fejlettségi szint a tej UV-kezelésével kapcsolatosan a legfrissebb szakirodalmi adatok alapján az emberi fogyasztásra alkalmas pasztörözött tej eltarthatósági időtartamának

(ESL) növelésére (Dairy Crest), valamint az állati táplálékként alkalmazott tej csiraszámának csökkentésére (GEA Group AG) alkalmas. Még nem lelhető fel a tejipari berendezéseket gyártó cégek kínálatában emberi fogyasztásra alkalmas nyers tejből UV-pasztörözött tejet előállító hitelesített technológiai felszerelés.

Tervezett fő tevékenységünk egy projekt lebonyolítása során az emberi fogyasztásra alkalmas tej előállításának és minőségi javítása, TRL 4 technológiai érettségi szintről eljuttatni a TRL 9-es szintre, azaz hitelesített, ezáltal kereskedelmi forgalomba hozható és közvetlenül alkalmazható berendezéseket kínálva a tej begyűjtő és feldolgozó élelmiszeripari vállalatok számára.

Terveink között szerepel továbbá a létező, hitelesítés előtt álló berendezések innovatív kiegészítése és módosítása, komplex minőségellenőrző integrált rendszerek létrehozása, a tej nutriens hatású összetevőit folyamatosan monitorizáló egység beépítése, valamint az új technológiai továbbfejlesztési irányzatok meghatározása, valamint a módszer alkalmazásának kiterjesztése más típusú folyékony halmazállapotú élelmiszerekre, például a rostos gyümölcslevek kezelésére.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az UV-kezeléssel kapcsolatosan a tudományos szakirodalom több lépésben fejlődött, viszonylag egyszerű alkalmazásokkal kezdve, mint a különböző vizek kezelése, később fokozatosan kiterjesztve egyre több más alkalmazásra, ezek között szerepelnek a folyékony és képlékeny halmazállapotú élelmiszerek kezelésével kapcsolatos alkalmazások is (Yasothai és mtsai., 2015). A tej pasztörözése céljából az utóbbi években ugyancsak több tudományos kutatás zajlott, ezek eltérő megközelítésekkel vizsgálták a lejátszódó folyamatokat, különböző besugárzási eljárásokat, besugárzási időtartamokat és UV-fényforrásokat alkalmazva (Hudaa és Haiqiang, 2014).

Jelentősebb vizsgálatot folytattak (Matak és mtsai., 2016) kecsketejjel kapcsolatosan, amely során az UV besugárzás hatékonyságát kísérték figyelemmel, leginkább a tejben található *E. coli* inaktiválása céljából, különböző hőmérsékleteken, viszont egy előzőleg más célra kifejlesztett készüléket alkalmazva (Matak, 2004).

Későbbi vizsgálatok során Matak és mtsai. megállapították, hogy milyen mértékben jön létre az inaktiválás a tej zsírtartalmának függvényében, hogy más mikroorganizmusok, mint a *Listeria monocytogenes* milyen mértékben inaktiválható, figyelemmel kísérve az alkalmazott besugárzási dózisokat és tartózkodási időtartamokat (Matak és mtsai, 2016). 2006-ban folytatott vizsgálatok során Reinemann és mtsai. jelentős mértékű inaktiválást értek el tehéntej UV kezelése során laboratóriumi körülmények között, két különböző fejlesztésű fotoreaktort alkalmazva, amelyek alacsony nyomású higanygőz-lámpákat tartalmaztak, amelyek kvarc-üvegből készült foglalatokba voltak helyezve, a rendszer többi részét pedig rozsdamentes acélból készítették (Reinemann és mtsai, 2006).

2014-ben és 2012-ben két nagyobb munkacsoport, Choudhary és mtsai., valamint Bandla és mtsai. meghatározásokat végeztek a tejjel kapcsolatos UV-kezelés során létrejövő hatékonyság megállapítása céljából, alkalmazva a Dean-féle áramlási viszonyokkal rendelkező fotoreaktorokat *E. coli* W 1485 és *Bacillus cereus* endospórák inaktiválása céljából, amelyek során kereskedelmi származású tehéntejet és szója-tejet vizsgáltak. A kísérletek során a szerzők megállapították, hogy jelentős inaktiválási együttható érhető el *E. coli* W 1485-val kapcsolatosan főlözött tej kezelése során, az előbbinél kisebb mértékű inaktiválási hányados érhető el azonos besugárzási terheléssel szója-tej kezelése során, csupán 1,6 mm fotoreaktor fal-résen átvezetett folyadékfázisba történő 0,05 J/ml besugárzás által. Nyers tehéntej esetében nagyobb besugárzási szükségletet állapítottak meg azonos mértékű inaktiválás elérése érdekében, mivel a nyers tehéntej fajlagos UV fény-elnyelő képessége jelentősebb.

Továbbá, tudományos kutatásokat végeztek (Christen és mtsai., 2013) tejben található különböző mikrobiális kontaminánsok inaktiválásával kapcsolatosan, melyek során megállapították, hogy az UV-kezelés alkalmas a legtöbb baktérium-faj inaktiválására, továbbá olyan hatást is kifejtve, amely során a tejben található bioaktív anyagok elváltozásai következnek be. Az kutatásaik során a szerzők azt állapították meg és bizonyították, hogy az UV-kezelés a tej számára hatékony kiegészítő pasztörözési eljárásnak tekinthető, viszont a kezelési hatékonyságok viszonylag eltérőek a művelési paraméterek függvényében. A tej UV-kezelése a nem-termális inaktiválási módszerek közé sorolható (Tran és Farid, 2004). Az UV besugárzás hullámhosszúság és a fényforráson kívül található terjedési közeg függvényében több besorolásra osztható, általában a kisebb hullámhosszúság tartományban hatékonyabb az inaktiválási művelet, különösen 250-270 nm tartományban inaktiválhatóak a baktériumok, vírusok, protozoák, élesztők, penészek és algák (Bintsis és mtsai, Jay 2000).

A germicid hatással rendelkező hullámtartományban reakcióba léphetnek a DNS bázisok, leginkább a pirimidin és a purin, a reakciókból számos termék keletkezik, mint pirimidin dimerek, pirimidin adduktumok,

pirimidin hidrátok, DNS szerkezeti módosulások következhetnek be (Shama, 1999). Mivel a tejben az UV sugárzás kis mértékben hatol be, az UV-C besugárzás leginkább felületi kezelés céljából használatos. Az UV-C sugárzás behatoló képessége összefüggésben van a folyadék-fázisban található anyagok oldhatóságával, sűrűségével és zavarosságával. A tej kezelése UV-C sugárzással rendkívül körülményes, mivel az elnyelési együttható értéke  $300 \text{ cm}^{-1}$  a  $254 \text{ nm}$ -es hullámhosszúságon, amely nagyon eltér más folyadék-fázisok elnyelési együtthatóitól, mint például a víz és sör esetében, amelyek  $0,1$  és  $20 \text{ cm}^{-1}$  értékűek (Shama, 1999). 2015-ben az European Food Safety Authority (EFSA) közzétette a hivatalos álláspontját a tehéntej UV-kezelésével kapcsolatban, ezt biztonságos műveletnek ítélte meg, amelyet a hagyományos pasztörözés kiegészítéseként ajánl. Az észlelések között szerepel a  $D_3$  vitamin koncentrációjának növekedése is (EFSA, 2015).

### 3. CÉLKITŰZÉSEK

Fő célkitűzésünk a fogyasztók táplálkozását és egészségi állapotát kedvezően befolyásoló minőségi tej előállításának, a termális pasztörözési eljárás módosításával, lehetőség szerint teljesen felváltva megfelelő módon szabályozott UV kezeléssel. Továbbá, a technológiai eljárás módosítása által az élelmiszer-biztonsági tényezőket nagyobb részarányban lehet követni, egyidejűleg a minőségi paraméterek szempontjából javított követési lehetőség jön létre, amelyek az előállított termék tápértékét és értékesíthetőségét kedvezően befolyásolják.

Figyelembe véve a tudományos, gazdasági és fogyasztói tényezőket, nyilvánvaló a technológiai korszakváltásnak a szükségessége a tejfeldolgozás során, nagyobb hangsúlyt fektetve a fogyasztói biztonság elérésére, a technológiai eljárás korszerűsítése által, előnyben részesítve a tej kedvező hatással rendelkező összetevőit kevésbé károsító behatás segítségével, mint a szelektív UV besugárzás. A technológiai fejlesztés megvalósítható a feldolgozásra szánt tej sajátosságai függvényében intelligens szabályzással rendelkező berendezés által, amely kisebb mértékben károsítja a bioaktív- és zamat-hatással rendelkező összetevőket, viszont szelektíven és hatékonyan inaktíválja a káros hatású mikrobiológiai fajokat. A feldolgozási eljárás tökéletesítése által, gyakorlatilag fajlagos többletköltség nélkül lehetőség nyílik a termék nagyobb egységgel rendelkező értékesíthetőségére, amely a minőségi paraméterek javított értéke által jön létre. Ezen kívül, az új eljárás során alkalmazott műveleti paraméterek között található összefüggések megismerése által lehetőség nyílik a technológiai folyamat rugalmasságára is, ez által pedig hatékonyan feldolgozhatók különböző származású, összetételű és mikrobiális terheléssel rendelkező nyers tejek.

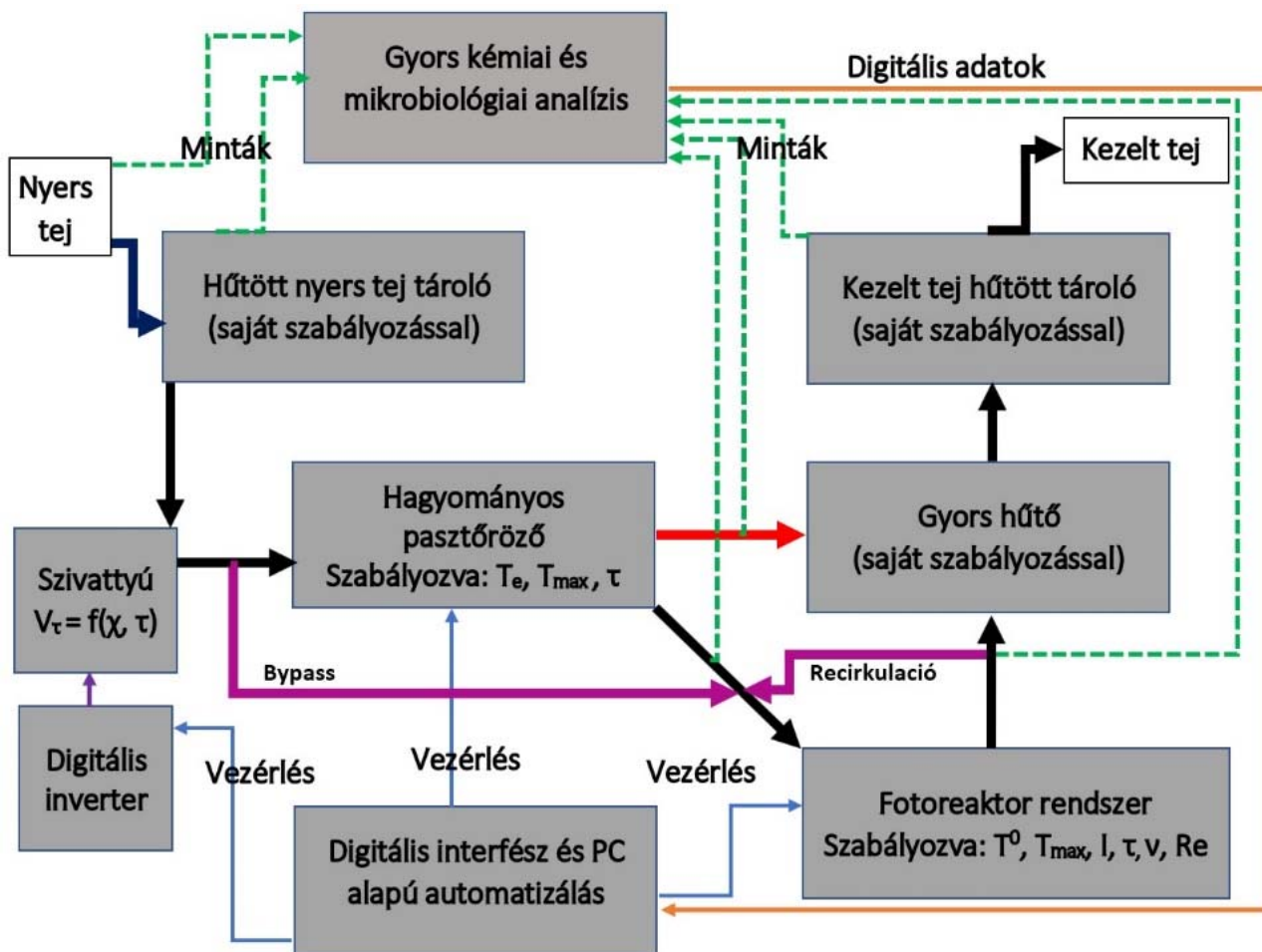
Három fontosabb célkitűzés fogalmazható meg a technológiai fejlesztés hatására: korszakváltás a tejiparban, biztonságdomináns technológia létrehozása és minőség-domináns technológia alkalmazása. Olyan UV besugárzáson alapuló berendezést szándékozunk létrehozni integrálva vagy elkülönítve a hagyományos pasztöröző berendezéstől, amely által jobb minőségű, azaz tápértékben kedvezőbb és a fogyasztók egészségi állapotát kedvezőbben befolyásoló, jobb ízű és biztonságosabb, kórokozóktól és toxinoktól mentesített tejet lehet előállítani. Ennek céljából a lejátszódó átalakulásokhoz kapcsolódó közös differenciálegyenlet rendszer alkotása és alkalmazása szükséges, illetve mennyiségi és minőségi mutatóinak meghatározása annak érdekében, hogy a működési paraméterek és összefüggések megismerése által élelmiszeripari használatra hivatalosan is alkalmazni lehessen elsőként Európában, mint hitelesített tej-kezelési berendezést, amely EU szintű innováció, és amely hozzájárulhat az európai tej-ipar világszintű versenyképességének növeléséhez.

### 4. ÉRTEKELÉS

Figyelembe véve az új technológiai eljárás sajátosságait, szükségessé válik meghatározni a kísérleti és léptéknövelt UV pasztöröző berendezés fontosabb alkotó részeit. A kezelésre szánt tej számára szükséges egy tároló tartály elegyítő berendezéssel, hőmérséklet szabályzással, vagyis megfelelő hűtéssel, hőszigeteléssel, védő inert gázzal, szintérezéssel, tisztító és öblítő hozzátartozó berendezéssel és anyagokkal. Ezen kívül szükséges egy automatikus és gyors bakteriális terhelést meghatározó teljes felszereltségű berendezés, amely  $10-15 \text{ s}$ /meghatározás ütemben képes működni és adatokat szolgáltatni a rendszer számára. Továbbá, szenzorok és jel-feldolgozók több csoportja szükséges, így párhuzamosan több paraméter követhető, mint a hőmérséklet, szintmagasság, nyomás és nyomás-különbség, hozam és pH, mindez bioszenzorok, ionszelektív, vegyület-specifikus elektrokémiai elektródák, fényerő-, áramerősség- és elektromos feszültség-szenzorok által. Az analóg és digitális jelek multiplexelésére, demultiplexelésére, kibocsátására és befogadására Data Acquisition egység beillesztésére van igény, valamint egy adat-feldolgozásra képes rendszer. A technológiai berendezés irányítása számára szükségesek vezérlő elemek, mint digitális és analóg vezérlésű szelepek,

csapok, adagolók, relék és digitális elektromos teljesítményt szabályozó inverterek. A berendezésben történő áramoltatás számára igény van ezen kívül analóg és digitális vezérlésű aszeptikus adagoló szivattyúkra, védőgázként pedig palackozott élelmiszeripari minőségű nitrogénre vagy argonra.

Figyelembe véve az UV-kezelés behatoló-képességét és más műveleti paramétereket, különleges megépítésű kvarcból készült speciális fotoreaktorokra van szükség, ezen kívül a folyadékok és gázok áramoltatására szükségesek rozsdamentes és műanyag vezetékek, valamint illesztőelemek. Továbbá, a laboratóriumi légtér minőségét szabályzó berendezésekre van szükség, amelyek által megvalósíthatók a légkondicionálás, UV csiramentesítés és szellőztetés, biztosítva a megfelelő működési feltételeket. Fontos megemlíteni az előbbieken kívül a teljesítményben javított HPLC, GC és UV-VIS analitikai berendezéseket és ezekhez szükséges anyagokat (mint standardok, oldószerek, reagensek és eluensek), ezek számára még szükségesek megfelelő edények és pipetták, minta-tárolók, hűtőszekrények és inkubátorok. A kezelésből származó tej számára szükséges ugyancsak egy tároló tartály elegyítő berendezéssel, hőmérséklet szabályzással, hőszigeteléssel, védő inert gázzal, szintérzékeléssel, tisztító és öblítő hozzátartozó berendezéssel és anyagokkal. Végül, a rendszer megfelelő működtetése számára még szükséges egy nagyobb teljesítményű szünetmentes tápegység, desztillált és ultratiszta víz előállító és tároló berendezés és a működtetést biztosító szoftverek. Az UV-kezelő rendszer fontosabb alkotói és kapcsolati vázlatát az 1. ábrán látható.



1. ábra

*Az UV-kezelő rendszer fontosabb alkotói és kapcsolati vázlatát*

A hozzáférhető tudományos és UV-pasztőröző berendezések esetében csupán néhány paramétert említenek, mint az UV-dózis, a tartózkodási idő és rendkívül ritkán a hőmérséklet, az ezek közötti összefüggések gyakorlatilag nem kiterjeszthetők más paraméterek esetében, de ezeken kívül más jellemzők is

feltétlenül fontosak a modellezés, tervezés és lépték-növelés céljából, amelyek a projekt tevékenységi körébe tartoznak, mint szükséges tudományos fejlesztés. Ennek érdekében szükséges ismételt meghatározni fontos technológiai tulajdonságokat, mint a sűrűség feltérképezése összetétel függvényében, a folyadék-elemek tartózkodási eloszlását, a fotoreaktor geometriai jellemzőit, az oldott oxigén és más gázok koncentrációit, a fehérjetartalmat és fehérjetartalomban jelenlevő aminosav-profil, a mikrobiális kontamináció jellemzőit, mint fajok és fejlődési stádiumok, valamint egyedek szám-eloszlását. Továbbá, szükséges meghatározni a szárazanyagtartalmat, a laktóz koncentrációt és az optikai tulajdonságokat, a tejszírtartalmat és a tejsír zsírsav-profil, a szabad zsírsavakat, aldehidek és ketonok koncentrációit, a viszkozitást és reológiát, a pH-t és a pH-változás értékét. Minőségi szempontból szükséges felmérni az aflatoxinok esetleges jelenlétét, mint az AFB1, AFB2, AFM1 és AFM2, mivel az UV-kezelés alkalmas ezek koncentrációinak csökkentésére, viszont a feldolgozás csak akkor alkalmazható, ha ezek koncentrációi a megengedett határérték alatt találhatók. Más fontos meghatározandó összetételi paraméterek a nukleotidok, urea és szabad aminosavak koncentrációi, az enzimek koncentrációi, mint a lipoprotein-lipáz, laktoperoxidáz, xantin-oxidáz és alkáli-foszfátáz és a titrálható savasság értéke.

Továbbá, meghatározandó a recirkulációs hányados értéke a fotoreaktorban, a térfogatáram mint javított tömegáram a fotoreaktorban, a hőmérsékletváltozás a kezelés során, az UV sugárzás penetrációs képessége, az UV besugárzás spektruma, a kémiai összetevők diffúziós együtthatói, a gyűrű alakú fotoreaktor-metszetben lejátszódó axiális és radiális áramlások, az áramlási viszonyok, mint például Reynolds kritérium értéke, az egyedi és összesített inaktiválási index, Taylor kritérium értéke, mikrobiális inaktiválás kinetikai tényezői valamint az automatizálás paraméterei és a szabályozások korrelációi.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

A legtöbb tudományos vizsgálat csupán laboratóriumi szintű, gyakorlatilag alaposan és tudományos adatokra támaszkodó, megfelelő háttér-információval kínált (teljes kiterjedésű műszaki adatlappal, automatizálással és prediktív parametrikus szabályzással) UV-pasztöröző berendezés nem lelhető fel a piaci kínálaton. A tudományos vizsgálatok java része nem összefüggő, különböző kutatócsoportok viszonylag eltérő feltételekkel folytatták tevékenységüket, amelyekből a közzétett adatok nem elegendők a nagyobb léptékű és nagyobb feldolgozó kapacitású berendezések tervezéséhez és megvalósításához. A jelenleg piacon található berendezések viszonylag primitívek, alkalmazásuk által nem teljesíthetők párhuzamosan a művelettel kapcsolatos feltételek: megfelelő mértékű inaktiválás, a tápanyagok lehető legnagyobb mértékű megőrzése, a minimális behatás elvének betartása, az előállított termék minőségének állandósítása, a kezelési műveleti paraméterek optimalizálása, a gazdasági hatékonyság maximalizálása és a műveleti rugalmasság eltérő összetételű tejek feldolgozása esetében. Tehát, szükségesé válik a saját adatbázis létrehozása, amelyek az UV-pasztöröző berendezés tervezéséhez és megvalósításához szolgálnak, ezek az adatok a paraméterek közötti összefüggéseket szükséges, hogy tartalmazzák. A piaci kínálatban található berendezések más, a technológiai folyamatban szereplő berendezésekkel összehangolt állapotban kell legyenek, ami csak az integrált saját tervezés által valósítható meg. A korszerűsítés két kivitelezésben valósítható meg, a hőhatást alkalmazó pasztörözés részarányának csökkentésével, második kivitelezésben teljes mértékben csupán UV-behatáson alapuló kezelés alkalmazásával. Fajlagos többletköltség nélkül lehetőség nyílik a termék nagyobb egységárral rendelkező értékesíthetőségére, amely a minőségi paraméterek javított értéke által jön létre.

Az alkalmazott műveleti paraméterek között található összefüggések megismerése által lehetőség nyílik a technológiai folyamat rugalmasságára, ez által pedig hatékonyan feldolgozhatók különböző származású, összetételű és mikrobiális terheléssel rendelkező nyers tejek. A hagyományos termális pasztörözést biztonsági okokból rendszerint többlet-behatással alkalmazzák, ezáltal az értékes összetevők károsodnak, amely hátrány az általunk javasolt eljárás során részben kiküszöbölhető, mivel az UV-kezelés előtt minden tétel számára meghatározzák a mikrobiális terhelést és faj-eloszlást, ezek ismeretében vezérlik a megfelelő minőség elérésére a műveleti paramétereket, mint például a fajlagos UV besugárzás. A javasolt eljárás viszonylag csekély fajlagos költséggel jár, mivel a termális pasztörözés behatási részaránya csökken és esetleg kiküszöbölhető, az előállított termék önköltségi egységára gyakorlatilag nem növekedik, viszont a hatékonyabb technológiai eljárás következtében azonos egységárral jobb minőségű termék állítható elő és értékesíthető, vagy akár nagyobb haszonkulccsal hozható forgalomba. A javított minőség által növelhető a versenyképesség és a termék iránti közkedveltség.

## IRODALMI JEGYZÉK

- [1] Bandla, S. – Choudhary, R. – Watson, D.W. – Haddock, J.: 2012. UV-C treatment of soymilk in coiled tube UV reactors for inactivation of *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores. *LWT-Food Science and Technology* 46(1). 71–76.
- [2] Bintsis, T. – Litopoulou-Tzanetaki, E. – Robinson, R.K.: 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. *J Sci Food and Agric*, 80. 637–645.
- [3] Choudhary, R. – Bandla, S. – Watson, D.G. – Haddock, J. – Abughazaleh, A. – Bhattacharya, B.: 2014. Performance of coiled tube ultraviolet reactors to inactivate *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores in raw cow milk and commercially processed skimmed cow milk. *Journal of Food Engineering*, 2. 43-52.
- [4] Christen, L. – Lai, C.T., Hartmann, B. – Hartmann, P.E. – Geddes, D.T.: 2013. Ultraviolet-C Irradiation: A Novel Pasteurization Method for Donor Human Milk. *PLoS One*. Jun 26; 8(6).
- [5] Hudaa, N. – Haiqiang, C.: 2014. Alternative Food Processing Technologies. Chen Faculty of Agriculture, University of Mauritius, Réduit, Mauritius and Department of Animal and Food Sciences, University of Delaware, Newark, Delaware, USA. 1–33.
- [6] Jay, J.M.: 2000. Modern Food Microbiology. 6th Ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- [7] Matak, K.E.: 2004. Effects of UV irradiation on the reduction of bacterial pathogens and chemical indicators of milk. PhD thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [8] Matak, K.E. – Churey J.J. – Worobo, R.W. – Sumner, S.S. – Hovingh, E. – Hackney, C.R. – Pierson, M.D.: 2016. Efficacy of UV light for the reduction of *Listeria monocytogenes* in goat's milk. *Journal of Food Protection*, 68:22. 12–16.
- [9] Reinemann, D.J. – Gouws, P. – Cilliers, T. – Houck, K. – Bishop, J.R.: 2006. New methods for UV treatment of milk for improved food safety and product quality. ASABE presentation. Paper No. 066088.
- [10] Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97: 2016. Adopted: 10 December 2015. *EFSA Journal*.
- [11] Shama, G., Ultraviolet light. Encyclopedia of food microbiology. Academic Press (Elsevier), 1999.
- [12] Tran, M.T.T. – Farid, M.: 2004. Ultraviolet treatment of orange juice. *Innov Food Sci Emerg*, 5, 495–502.
- [13] Yasothai, R. – Giriprasad, R.: 2015. High Intensity Pulsed Light Technology In Food Processing, Veterinary University Training and Research Centre, Erode, Tamilnadu Veterinary and Animal Sciences University, Veterinary Assistant Surgeon, *Chozhapandi International Journal of Science, Environment and Technology*. ISSN 2278-3687 (O), 4, 1. 234–236.

# Zöldépítés Alapok és természetes felületek – I.

## Green Construction Basics and natural surfaces – I.

### Bazele realizării construcțiilor verzi – I.

LECZOVICS Péter

Szent István Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Budapest  
Institute of Construction Management, Szent Istvan University, Budapest, Hungary  
Leczovics.Peter@ybl.szie.hu

#### ABSTRACT

*Presently there are numerous approaches to solve the ecological problems of urbanization. The different tendencies mainly agree in one aspect: the beneficial effects and importance of green surfaces.*

*The presentation summarizes the green surface installation possibilities, and gives a short review of its ecological advantages, as well as the importance of its awareness.*

**Keywords:** green roof, facades

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Korunk számtalan megközelítésben igyekszik megoldani az urbanizáció ökológiai problémáit. A különböző mozgalmak, irányzatok azonban egyben megegyeznek: a növényzetek előnyös hatásainak – nemcsak városi környezetben – előtérbe helyezése.*

*A cikkben röviden ismertetem a növényzetek telepítésnek lehetőségeit, az ökológiai előnyeit, valamint a szemléletváltás fontosságát.*

**Kulcsszavak:** zöldtető, homlokzatok, fotoszintézis

Az emberiség mindig is szoros kapcsolatban állt a természettel, bár ez a kapcsolat nem mindig volt harmonikus. Sokáig csak a természet meghódítása, „leigázása” játszott szerepet. Kétségtelen tény, hogy mindig volt egy-egy kivétel, de ezek az esetek elsősorban esztétikai, pszichológiai értékeket képviseltek.

A célirányos tendencia a múlt század 30-as éveitől kezdődően alakult ki. Innentől számítható a különböző tudományágak, a gyakorlati megvalósítások tudatos együttműködése (1.sz. ábra), és céljuk már nem a természet meghódítása, hanem a természetes környezet kibővítése, reaktiválása, a hagyományos beépítések monotonitásának feloldása, a kialakult környezetvédelem szempontjainak előtérbe helyezése.

Számos új tudományág jött létre, így például a már említett környezetvédelem, természetközeli, környezetbarát építési módok, új fogalmakat ismerhettünk meg, mint pl.: fenntarthatóság, öko-city, smart-city, környezet-, energiatudatos építés, öko-lábnym, és létrejöttek, megalakultak a zöldmozgalmak, amelyek tevékenysége az utóbbi évtizedekben fokozottan előtérbe került.

Mindezek alapja a természet – ezen belül a növényzet – és az ember kapcsolata. A széleskörű kapcsolati rendszerből jelen cikkben az alábbi témaköröket emelem ki:

- zöldhomlokzatok,
- zöldtetők,

de ide tartozik a természetközeli szennyvíztisztítás, a kerti tavak és tófürdők, valamint az esőkertek.



1. ábra  
A zöldépítéshez kapcsolódó témakörök

Az alkalmazások közös tulajdonsága a természet/növényzet számos – az emberiség számára előnyös – élettevékenységének tudatos alkalmazása. Az előnyök az alábbiak:

- mikroklíma javítása (szabályozzák a levegő páratartalmát, hőmérsékletét), ezáltal csökkennek a városi hőszigetek,
- a klimatizáló hatás befolyásolja a légmozgást,
- a növények alapvető élettevékenysége a fotoszintézis (CO<sub>2</sub> elnyelés, O<sub>2</sub> termelés),
- por és szennyezőanyagok, gázok kiszűrése, megkötése,
- téli időszakban csökkenti az épületszerkezetek hőveszteségét,
- nyári időszakban csökkenti a túlzott felmelegedést (hőcsillapítás),
- védik az épületszerkezetet az időjárás hatásaitól,
- akusztikai védelem,
- csatornahálózat terhelésének csökkentése,
- víztisztítás, öntözővíz biztosítása,
- a talaj vízháztartásának biztosítása, szabályozása,
- pszichológiai hatások (kellemes közérzet, esztétikai élmény, csökken a civilizációs ártalmak veszélye),
- biodiverzitás fenntartása.

A telepített növényzet szinte minden esetben számos előnnyel jár, függetlenül attól, hogy az egyes beépítéseknél az előnyök nem mindegyike dominál. A különböző típusú beépítéseknél egyes ökológiai előnyök előtérbe kerülnek, míg némelyik előny – funkciójából eredően – háttérbe szorul. Így például a növényzettel telepített tetők esetében szinte minden – a korábbiakban felsorolt – előnnyel számolhatunk, míg például a kerti tavak, tófürdők esetében a domináns szerep az élettér bővítése, pszichológiai hatások, valamint a mikroklíma javítása.

A különböző beépítések, alkalmazások fontosabb jellemzőit az 1. táblázatban foglaltam össze. A táblázatból is látható, hogy az növényzetek telepítésekor – zöldtetők, homlokzatok, valamint az esőkertek esetében – a legfontosabb a fotoszintézis, a mikroklíma, valamint az épületfizikai megközelítések, elemzések.

## 1. táblázat



	Funkció	Zöld-tető	Zöld-falak, homlokzatok	Kerti tavak, tófürdők	Eső-keretek	Természet-közeli szennyvíz-tisztítás
<b>Mikroklíma</b>	A levegő páratartalmának, hőmérsékletének szabályozása.	x	x	x	x	x
	Por, szennyező anyagok megkötése.	x	x	x	x	
<b>Fotoszintézis</b>	CO <sub>2</sub> elnyelés, O <sub>2</sub> termelés	x	x		x	
<b>Épületfizika (Hőtechnika)</b>	Téli időszakban csökkenti az ép.szerkezetek hőveszteségét, nyári időszakban csökkenti a túlzott felmelegedést.	x	x			
	Véd az időjárás hatásaitól.	x	x			
<b>Akusztika</b>	Zajártalmak csökkentése.	x	x			
<b>Vízgazdálkodás</b>	Csatornahálózat terhelésének csökkentése.	x			x	
	Víz tisztítás, öntözővíz biztosítása.				x	x
	A talaj vízháztartásának biztosítása, szabályozása.				x	
<b>Biodiverzitás</b>		x	x	x	x	x
<b>Rekreáció</b>	Pszichológiai hatások (kellemes közérzet, esztétikai élmény, csökken a civilizációs ártalmak veszélye).	x	x	x	x	

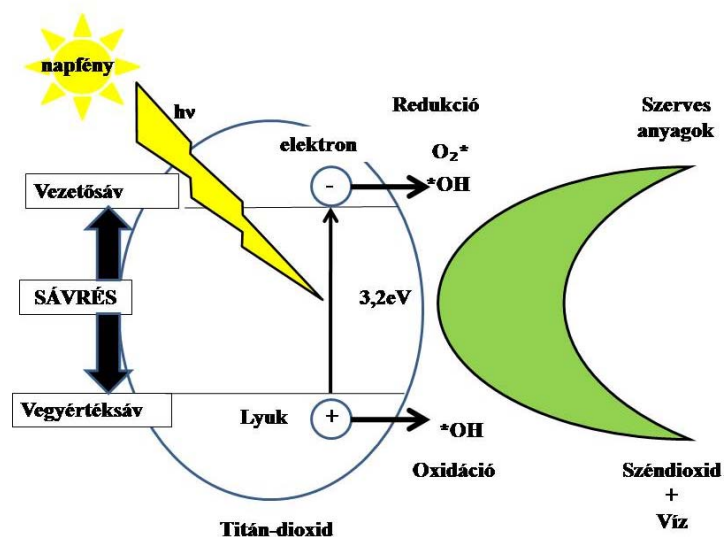
*Az egyes alkalmazások funkcionalitása*

## 1. ALAPOK

### Fotokatalízis, fotoszintézis

Maga a katalízis a vegyiparban általánosan ismert folyamat, a lényege, hogy a kémiai reakcióban a katalizátor játszik fontos szerepet. A katalizátor egy olyan anyag, az adott kémiai reakciót úgy gyorsítja fel (aktivátorok), illetve lassítja le (inhibitorok), hogy ő maga a reakció során nem változik meg maradandóan. Jelenlétükben a reakciók alacsonyabb aktiválási energiájú részfolyamatokon keresztül játszódhatnak le (a reakciósebesség növekszik). Sokféle anyag (szervetlen, szerves, elemek, enzimek, stb.) lehet katalizátor, de jelen témakörhöz köthetően a fény is szerepet játszik. A fény hatására lejátszódó reakciókat, folyamatokat fotokatalitikus folyamatoknak nevezzük.

Bár nem tartozik szorosan a zöldépítéshez, de a betontechnológiában a „legismertebb” fotokatalitikus folyamat az öntisztuló felületek alkalmazása. Lényege a titándioxid egyik módosulatának hatásán alapszik. A módosulat a fény hatására gerjesztődik, és a kialakuló sávrés aktív, reakcióképes (2. ábra). A reakcióképesség, valamint a környezeti hatások következtében a korábban a felületen megtelepedő szennyeződések, valamint a felülettel érintkező levegő szennyeződései a lejátszódó kémiai reakciók eredményeképpen a környezet szempontjából „semlegesé” válnak, azaz a közvetlen szennyező hatás megszűnik.

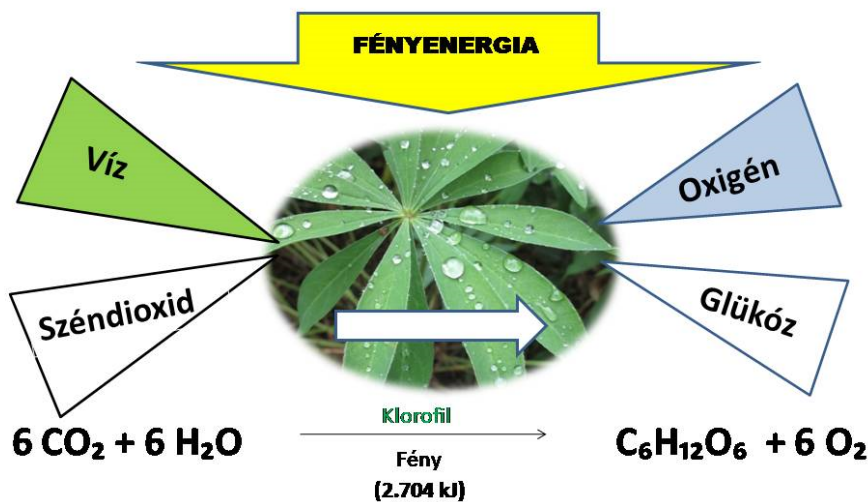


2. ábra

*A TiO<sub>2</sub> fotokatalitikus folyamatának hatásmechanizmusa*

A természetben ismert fotokatalitikus jelenség a fotoszintézis, amely az emberi lét egyik alappillére.

A **fotoszintézis** olyan biológiai folyamat, melyben az élőlények a napfény energiáját felhasználva szervetlen anyagból szerves anyagot hoznak létre. A fotoszintézis olyan metabolizmus, amely lebontó (katabolikus) folyamat a fényreakció (a fényenergia kémiai energiává alakul) és felépítő (anabolikus) folyamatból (a széndioxid megkötése) tevődik össze. A bonyolult kémiai reakciók végén az eredmény 6 cukormolekula és 6 oxigénmolekula (3. ábra). A cukormolekula a növény testépítésére, gyarapodására szolgál, míg a felszabaduló oxigén a légkört dúsítja. A folyamat fontos eleme a transpiráció, vagyis a levegő páratartalmának növelése.



3. ábra

*A fotoszintézis mechanizmusa*

Dr. Radó Dezső, a Budapesti Városvédő Egyesület alelnöke egyik tanulmányában írta a múlt század végén:

*„Levegőnk állapotát figyelembe véve, a legfontosabb hatásnak a szén-dioxid feldolgozását kell tekinteni. 1 hektár 70–80 éves erdő fennállása alatt 900 tonna szenet von ki a levegőből. Egyetlen fa életműködése alatt 20 millió köbméter levegőt képes kémiailag megtisztítani a szén-dioxidtól. Egy idős fa évi oxigénproduktuma közel 200 kg, vagyis több mint egy ember évi felhasználása. Egy autó évi oxigén-felhasználása 5000 kg, azaz ezt már 30 fa tudná pótolni.”[1]*

Egy korábbi mérés szerint német kutatók egy százéves bükkfa élettevékenységét vizsgálva megállapították, hogy a mérések, számítások szerint a 160 m<sup>2</sup> koronavetületű fa évente 200 kg oxigént termel a vegetációs időszak folyamán [2]. Egy ember átlagosan 175 kg oxigént fogyaszt évente, azaz a bükk egy felnőtt ember éves oxigén szükségletét messzemenően biztosítja. Ez az értékarány viszonylag jónak mondható, azonban ha hozzávesszük az ipari és háztartási tevékenységből eredő oxigén felhasználást, akkor már korántsem egyértelmű a megítélés.

## A LEVEGŐ TISZTÍTÁSA, A PORSZENNYEZÉS CSÖKKENTÉSE

A fotoszintézis mellett másik fontos ökológiai előny a környezeti levegő mechanikai szűrése. Akárcsak az előző funkció, ez a tulajdonság is szoros összefüggésben van a zöldfelület nagyságával. A növényeknek megvan az a speciális képességük, hogy ki tudják szűrni a levegő por és szennyező részecskéit. A levelek felületéhez tapadt részecskéket később az esővíz a talajra mossa. Emellett a levegőben gáz alakban jelenlévő káros anyagokat, és az aeroszoloikat is adszorbeálják. Néhány – általánosan előforduló – fafajta zöldfelületi jellemzőit a 2. táblázat ismerteti. Vizsgálatok kimutatták (Bartfelder, Köhler, 1986), hogy az erősen szennyezett levegőjű belső kerületekben a fák lombozata még a nehézfémeket is megköti.

2. táblázat

	Fafaj	1 levél felülete, cm <sup>2</sup>	Levélszám		1 m <sup>3</sup> -ben m <sup>2</sup> felület
			db/m <sup>2</sup>	db/m <sup>3</sup>	
Kislevelűek	Akác	6	1.666	7.000	4,2
	Fűz	12	835	4.200	5
	Lepényfa	4,5	2.200	9.000	4,1
Középlevelűek	Zöld juhar	36	278	1.100	3,8
	Fekete nyár	34	2.290	1.100	4
	Mezei juhar	48	208	1.040	5
	Bükk	39	256	950	3,7
Nagylevelűek	Platán	216	46	180	3,8
	Vadgesztenye	90	111	430	3,9
	Szivarfa	260	38	160	4,2

*Fafajták zöldfelületi jellemzői [3]*

A zöldfelületek szerepe kettős, mert egyfelől rajtuk nem keletkezik légszennyezés, másfelől a beépített felületeken előálló szennyezés ellen védelmet nyújtanak. Ezt a védelmi funkciót nem csupán a fák és cserjék töltik be, hanem a pázsitfűfélék is (3. táblázat), mert sűrű térállásuk miatt (30-40 ezer szál/m<sup>2</sup>) nagyobb asszimiláló felülettel rendelkeznek, mint azt gondolnánk.

3. táblázat

A növényzet típusa	Levélfelület 1m <sup>2</sup> tető- ill. falfelületen
gyep: 3 cm magas	6
5 cm magas	9
Mező: 60 cm magas fűvel	max.225
Extenzív tető: nyáron fűtető*	min. 100
szedum (varjúháj)	1
8 cm magasságig	2,4
10 cm magasságig	
Homlokzatra futtatott vadszőlő	
10 cm vastag	3
20 cm vastag	5
Homlokzatra futtatott borostyán	
20 cm vastag	11,8

Megj.: \*60 cm magas, kaszálatlan fű, csak kivételes esetekben fogadható el (esztétika, tűzrendészet, karbantartás)

*A levélfelületek értékei a Kassel-i egyetem vizsgálatai alapján[4]*

1 m<sup>2</sup> levélfelület több mint 1 kg szennyezőanyag kiszűrésére képes a vegetációs időszak alatt, ami különösen hatékony, ha a fák és a cserjék forgalmas útvonalak mentén helyezkednek el. 1 hektár erdő évente 70–100 tonna szennyezőanyagot közömbösíthet.

Egyes szakértők véleménye szerint a fák a keletkező pormennyiség 70%-át megkötik. Megállapították, hogy egy zárt fatelepítéssel 30-60 tonna közötti porszűrés érhető el hektáronként (a 30 tonna túlevelű erdőre, a 60 tonna lombos erdőre vonatkozik).

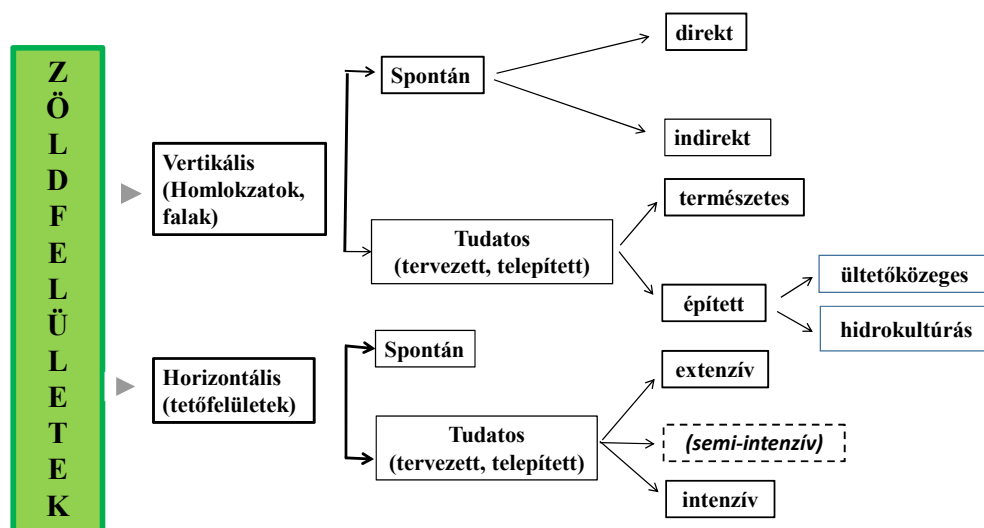
A következő vizsgálatot Radó Dezső végezte egy 30 éves juharfán (*Acer campestre*), melynek kb.40.000 levele van 22 lombköbméter kiterjedéssel. A fa a vegetációs időben kb. 100 kg port kötött meg, így egy levélre kb. 2,5g pormennyiség, 1 lombköbméterre pedig 4,5 kg por jut.

## 2. ZÖLDFELÜLETEK

Ma már „kissé elhasznált” a zöldfelületek esetében az ókor hét csodája közül Szemirámisz függőkertjére hivatkozni, de ha belegondolunk, akkor a zöldépítésben – függetlenül a legendától – bizony előremutató megoldásokat alkalmaztak. Így például a tetőkertek szigetelési rendszerének kialakításánál természetes bitument (aszfalt), valamint fémlemez (ólom) szigetelést alkalmaztak, és telepítették a tetőkertet. A függőleges felületekre pedig, a teraszok szélein a felületek eltakarására kúszónövényeket telepítettek, és így egységessé tették a látványt. Azt, hogy a kutatások szerint az egyes teraszok öntözését is megoldották, valamint – mai elnevezéssel – kertépítési műtárgyakat (pl.: szökőkutak, vízfolyások, patakok stb.) is elhelyeztek szintén a kevés, néha egymásnak ellentmondó leírások is megemlítik.

A későbbi korokban – szinte elfeledve az ókori eredményeket – csak elvétve épültek „tudatosan” kialakított zöldfelületek. Az igazi áttörést a XX. század közepe, második fele jelentette, ekkor ismerték fel a növényzetek jelentőségét az épített környezetben, függetlenül attól a tényről, hogy a ma úgynevezett népi építészetben szinte folyamatosan alkalmazták (pl.: függőleges felületek esetén a kúszó-, futónövények spontán telepítése, árnyékolók – lugasok – kialakítása, a növényzettel fedett tetők esetében az északi országokban alkalmazott fűtetős megoldások, illetve akár hazai viszonylatban a pincék építése).

A növényzettel telepített, ún. zöldfelületek egyszerűsített felosztását a 4. ábra mutatja be. Az alapvető felosztási szempontunk a zöldfelület elhelyezkedése az épületszerkezetben, így lehet függőleges (falak, homlokzatok), ferde (pl. árnyékolók, támfalak, magastetők), illetve vízszintes (tetőfelületek).



4. ábra  
Zöldfelületek felosztása

A függőleges felületek esetében megemlíthetjük a zöldhomlokzatokat, illetve a falakat. A zöldhomlokzat olyan rendszer, amelyben a növényzet önmaga, vagy kiegészítő tartó szerkezetekkel, illetve konténeres, vagy modul kialakítással jön, illetve hozható létre. A zöldfalak általában kisebb szerkezeti egységekből, előre beültetett panelekből (modulokból) állnak, és ezeket az egységeket a falra vagy önálló szerkezetekre rögzítik. A modulok, panelek anyaga (pl.: kerámia, műanyag, textília, stb.) széleskörű, és

kialakításukkal – ültető közeges, hidrokultúrás – a legkülönbözőbb növényekkel ültethető be, ezáltal sűrűségük, fedettségük jelentősen nő. Az előreszerelt jellegből adódóan megvalósításuk lényegesen kevesebb időt vesz igénybe. Jelentősége a beltéri kialakítások, megvalósítások esetében döntő. Ekkor funkciójuk elsősorban a belső tér relatív páratartalmának szabályozása, ezáltal az ott tartózkodók hőérzetének javítása, valamint pszichológiai, esztétikai hatások kedvező biztosítása.

Ferde felületek esetében (vegetációs támfalak) a szerkezetet úgy alakítják ki, hogy a növényzet – elsősorban gyökérzete révén – a meredek lejtőket stabilizálja, azaz megakadályozza a talajcsúszást, míg a növényzet a fedettségtől függően az eróziót akadályozza meg. Kialakításuk szerint épülhet talajból, zúzott kőből – a természetes rézsűszög figyelembevételével (1. kép) –, illetve kisebb elemekből lépcsőzetes elhelyezéssel (2. kép), és ezek helyezik el az ültetőközeget, valamint a vegetációt. Magastetők esetében a legfontosabb szempont a lecsúszás elleni védelem stabil kialakítása.



1. kép

*Növényzettel telepített földmű [5]*



2. kép

*Előregyártott, kiselemes támfal kialakítás[6]*

A következő szempont, hogy emberi beavatkozással, vagy nélküle jön létre a zöldfelület. Nyilvánvaló módon, jelen cikk a tudatos kialakításokat tartja szem előtt, bár falak, homlokzatok esetében a spontán kialakítások bizonyos értelemben átfedik a tudatos, természetes kialakításokat (3. kép). Tetőfelületek esetében a különböző tájegységeken alkalmazott pincefedéseket a későbbiekben sem tárgyaljuk (4. kép).

Az előzőekben ismertettem az egyes alkalmazások funkcionalitását, és részletesen elemeztem a fotoszintézist, valamint a levegő tisztításának fontosságát. Ezen folyamatok is befolyásolják az ún. mikroklíma alakulását, de a növényzet számos egyéb biofizikai tulajdonsága, hatása is befolyásolja a helyi klíma létrejöttét, szabályozását. Maga a mikroklíma, mint fogalom, a felszínközeli mikrometeorológiai folyamatok rendszere, azaz a hatásokat a felszín és a légkör közvetlen kölcsönhatása váltja ki [7], jellemzően szélsőségesebb, mint a makroklíma.



3. kép

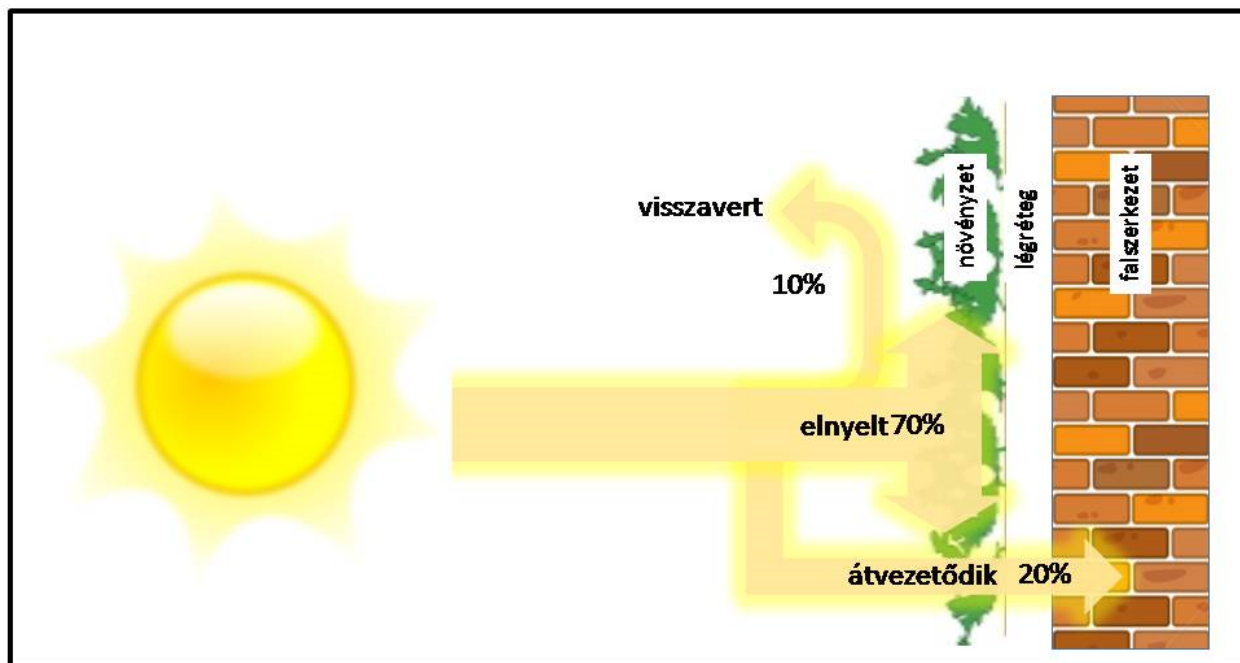
*Spontán függőleges zöldfelület*



4. kép

*Hagyományos pince kialakítás*

A zöldhomlokzatok növényeinek levélzete egyes felmérések szerint [8] általánosságban a beeső napsugárzás csupán 10%-át engedi át (5. ábra). Az elnyelt, sugárzott energiát a növények a fotoszintézishez, valamint a párologtatáshoz használják. Más irodalmi adatok [9] szerint a sugárzás 5-30%-át áteresztik, 5-30%-át visszaverik. Természetesen a megadott értékek az egyéb tényezők (pl. tájolás, beesési szög stb.) mellett az adott növényzet fedettségi szintjétől, valamint a levelek méretétől, felületi érdességétől, valamint a helyi adottságoktól függenek.



5. ábra  
A beeső napsugárzás megoszlása

A növényzet jelentős szerepet tölt be a klimatikus viszonyok alakításában is. Nyári melegben a növények transzspirációja (párologtatása) 5-6°C-kal is lehűtheti a környezetet. A kialakuló hőmérsékletkülönbség légmozgást hoz létre, amely magával viszi a port és egyéb szennyeződések. Kimutatták például, hogy az angol borostyán előnyös humánbiológiai tulajdonsággal is rendelkezik, azaz akár 94%-kal képes csökkenteni a levegőben lebegő penész mennyiségét [10], ezáltal pedig az allergia és a tüdőirritáció kialakulásának kockázatát is mérsékli.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Radó D.: Városok zöld szigetei, Budapest, ÉTK, 1983
- [2] Dr. Osztrólczy M. és mtsai: Növény a városban, tanulmány, 1997
- [3] Dr. Radó Dezső: A növényzet szerepe a környezetvédelemben, Zöld Érdek Alapítvány, Levegő munkacsoport, Budapest, 2001
- [4] Katzschner, L: Ergebnisse des VersuchszurAbflussmessungeinesGraasdachs, unveröffentlichterBericht, GesamthochschuleKassel, 1991
- [5] <http://www.viragokert.hu/kert>
- [6] [http://ezermester.hu/cikk-8034/Ultetokosaras\\_tamfalak](http://ezermester.hu/cikk-8034/Ultetokosaras_tamfalak)
- [7] Dr. Lakotár Katalin: Mikroklímatológia [eghajlattan.nyme.hu/Erdei\\_mikroklima\\_08.pdf](http://nyme.hu/Erdei_mikroklima_08.pdf)
- [8] Zöldszerkezetek, YMMF, „Az épített környezetért” Alapítvány, Budapest, 1995
- [9] Zöldhomlokzatok, Zöldinfrastrutúra füzetek 2., Budapest Főváros Városépítési Tervező kft, Budapest, 2016
- [10] <http://www.blikk.hu/szolgalatas/egeszseg/6-noveny-amely-jot-tesz-az-egeszsegunknek-a-haloban/rjrggzp>

# Öszvérszerkezetű hidak feszítése

## Methods of Introducing Initial Effort Into Composite Bridge Structures

### Metode de întroducerea eforturilor inițiale în poduri cu structură compusă

MOLNÁR Lajos, doktorandusz

Kolozsvári Műszaki Egyetem

#### ABSTRACT

*The material presents the methods used to introduce the initial stresses in reinforced concrete beams, prestressed concrete-, steel-concrete composite structures and steel beams, chronology of the methods and systems used for pre- or post-tensioning and the phases of their development up to our days.*

**Keywords:** civil engineering, steel beams, tensioning methods

#### ÖSSZEFOGALÓ

*Az anyag az öszvérszerkezetű hidakban történő kezdő feszültségek létrehozását ismerteti vasalt beton, feszített beton és öszvérszerkezet acél elemeinek megfeszítésével, valamint az elő- és utófeszítési rendszerek és módszerek fejlődését napjainkig.*

**Kulcsszavak:** közlekedésépítés, öszvérszerkezetű hidak, feszítések

#### 1. BEVEZETÉS

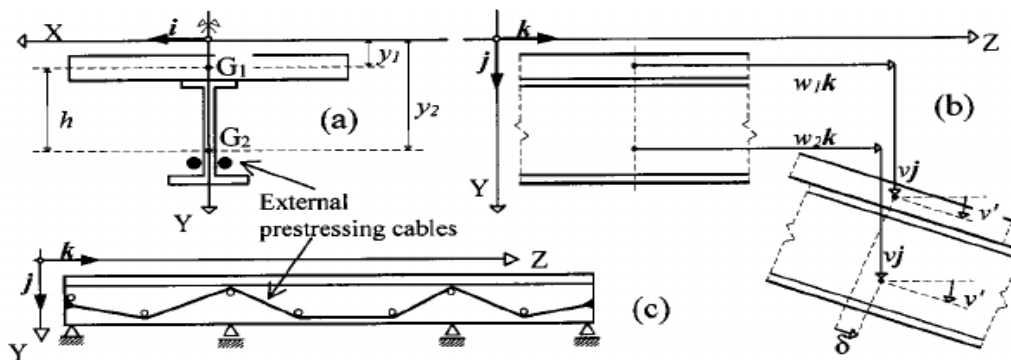
A hidak építésénél alkalmazott együttműködő acél-beton öszvérszerkezetek fontos lépést jelentenek a hidak fejlődésében.

A két teljesen különböző anyag harmonikus együttműködésre való kényszerítése komoly műszaki-gazdasági előnyökhöz vezet, mint:

- a szerkezet merevségének növekedése a tisztán acélból készütekkel szemben,
- a szerkezet önsúlyának lényeges csökkenése a tisztán vasbetonból készütekkel szemben,
- az állandó terhelések csökkentése az öszvérszerkezetek esetében, ezáltal a földrengésekből adódó különleges terhelések arányának csökkenése a beton (vasbeton, feszített beton) szerkezetekkel szemben, egyúttal az alszerkezet valamint az alapokra való hatások csökkenése,
- a kivitelezési idő lényeges csökkenése az acél szerkezetek gyárban történő előkészítésével, párhuzamosan a helyszíni alapozási és alszerkezeti munkálatokkal,
- egyszerűbb megoldások alkalmazásának lehetősége a kivitelezés alatt,
- nagy nyílások kivitelezésének lehetősége, nagy akadályok átívelése, mederbeli munkák kiküszöbölése,
- esztétikai szempontból tág lehetőségek állnak a tervezők rendelkezésére,
- karcsú, esztétikus, látványos szerkezetek tervezhetőek,
- komoly műszaki-gazdasági előnyökkel számolhatunk a hibrid/kompozit szerkezet elemeinek megfelelő kiaknázásával (az acél elem, nyúlásra, a beton elem, nyomásra viselkedik előnyösebben),
- az acél elem feszítésével csökkenthető a szerkezet magassága és növelhető a hasznos teher.

Ebben az anyagban a III. típusú tartók feszítésével foglalkozunk

A III. típusú tartók alatt értjük azon öszvérszerkezetű tartókat, amelyek eredendő feszültségeit a támaszok elmozdításával vagy utófeszített kábelekkel érjük el annak érdekében, hogy a lehajlás ellenkező irányú legyen, mint a hasznos teher által okozott lehajlás.



1. ábra

F2. Feszített tartó hossz- és keresztmetszete,

## 2. FESZÍTÉSI MEGOLDÁSOK

A továbbiakban „eredendő feszültségi és alakváltozási állapotnak” – az előfeszítéssel létrehozott feszültségi állapotot és elmozdulást valamint „végleges feszültségi és alakváltozási állapotnak” nevezzük az előfeszítéssel és az üzemeltetéssel létrehozott feszültségi állapotot és elmozdulásokat.

Az ésszerű, ellenőrzött körülmények között létrehozott eredendő feszültségi állapot lehetőségét biztosít arra, hogy az egységnyi feszültségi erők eloszlása az öszvérszerkezet hossz- és keresztmetszetében jobban kihasználják a szerkezetben résztvevő anyagok pozitív tulajdonságait (beton-nyomás, acél-húzás) a végleges feszültségi állapotban. A klasszikus szerkezetekkel szemben ilyenkor lényeges méret- és súlycsökkenést lehet elérni, igaz, gazdaságossági előszámításakor figyelembe kell venni a bonyolultabb tervezési és kivitelezési költségek növekményét is (további különleges anyagok és felszerelések valamint magasan képzett munkaerő igénybevétele).

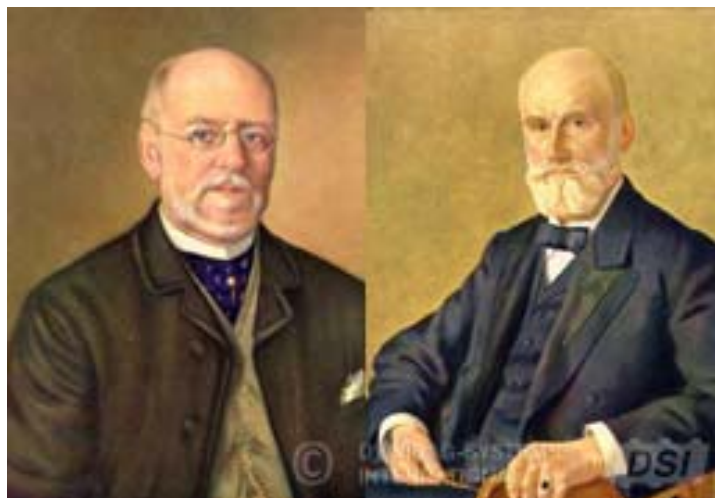
A feszültségek átvitelére az adott szerkezetbe több megoldás áll rendelkezésre a felhasznált anyagok függvényében – feszítőhuzal, feszítópászma feszítőkábel, feszítórúd.

A felhasznált acél minőségek tekintetében a feszített szerkezet normál minőségű acélból (mint a hagyományos szerkezetek esetében), a feszítésre használt acél viszont különleges minőségű, akár 6000 – 11000 kg/cm<sup>2</sup> (0,58 – 1,07 GPa) szakítószilárdságú anyagból áll.

Az eltelt 100 év alatt több feszítési megoldás született, belső- vagy külső-, tapadó- vagy csúszóbetétes, amelyek kivitelezésére négy letisztult rendszert alkalmaznak napjainkban a Dywidag-DSI (D), Freyssinet (F), BBR-VT (CH), valamint a VSL (CH). Ezen rendszerek rövid bemutatása az alábbiakban következik:



### 2.1. Dywidag



2. ábra

1869, Gottlieb Widmann és Eugen Dyckerhoff, Dyckerhoff & Widmann AG



W.G. Dyckerhoff (1805-1894) 1865-ben alapította cégét Lang & Co. néven Karlsruhe-ban (D) betonelem gyártás céljából. 1869-ben fia, E. Dyckerhoff (1844-1924) és apósa, G. Widmann (1817-1894) átnevezik Dyckerhoff & Widmann-ra, és Németország egyik legfontosabb, betont felhasználó, építőipari cégévé fejlesztik. A XIX. sz. végére kifejlesztik a „Stampfbeton” technológiát, mely az épületek és hidak beton alapjainak nyomás alatti kivitelezését szabályozza. 1907-ben a cég székhelyét átteszik Wiesbaden-ba. 1913-ban csatlakozik a céghez F. Dischinger, aki megalapozza a feszített acélrudak bevezetését a hídépítésbe, valamint U. Finsterwalder, aki alkalmazza ezt híd terveiben. (1925-1927 Alsleben (D) Saale íves alsópályás betonhíd  $L= 26,10+28,60+68,00+11,50+10,50+9,75$  m). Az 1920-as évek végére pedig kifejlesztik a Zeiss-Dywidag rendszert, amely beton héjak kivitelezésére alkalmas. A II. Világháború után a cég székhelye Münchenbe kerül. 1951-53 között megépítik Worms-ban (D) az első nagy feszített szekrénytartós beton hidat a Rajna fölött ( $L= 744$  m,  $l_{max} = 114,20$  m, tervező U. Finsterwalder). A feszített acél dywidag rúd annyira sikeressé válik, hogy a cég 1950-ben a nemzetközi piacra lép a dywidag licenc értékesítésével. Ettől kezdve Európa szerte és távol-keleten ezzel a rendszerrel épülnek az utófeszített beton elemekkel tervezett nagy nyílású hidak. 1962-65 között elkészül a Rajna fölött Koblenz-Bendorf között az utófeszített tartós betonhíd, ( $L= 1029$  m,  $l_{max}= 208$  m, világrekord, tervező U. Finsterwalder). 1972-ben a Siemens Bauunion valamint 1991-ben az Union-Bau AG bekebelezésével nő a cég. 1979-ben létrehozzák a DSI (Dywidag System International) céget, amely a Dywidag rendszer licencének forgalmazásával foglalkozik. 2005-ben a Dywidag céget feldarabolják, és legnagyobb része a Strabag AG tulajdonába kerül. 2011-ben a Triton európai befektetési társaság tulajdonába kerül a DSI, amely már komoly nemzetközi hálózattal rendelkezik. 2018 januárjától négy önálló üzletágra bomlik a tevékenység: Utófeszítés, Geotechnika, Nemzetközi szolgáltatások valamint Beton kiegészítők.

A továbbiakban az első üzletág által ajánlott feszítópászma, feszítőkábel rendszerek elemeinek bemutatásával foglalkozunk.

a.) horgonyok



3. ábra

Többsíkú horgony (MA)  
max. terhelés 1 201 – 15 354 KN



4. ábra

Sík horgony (SD) max. terhelés 721 – 2 511 KN

b.) kapcsolók



5. ábra

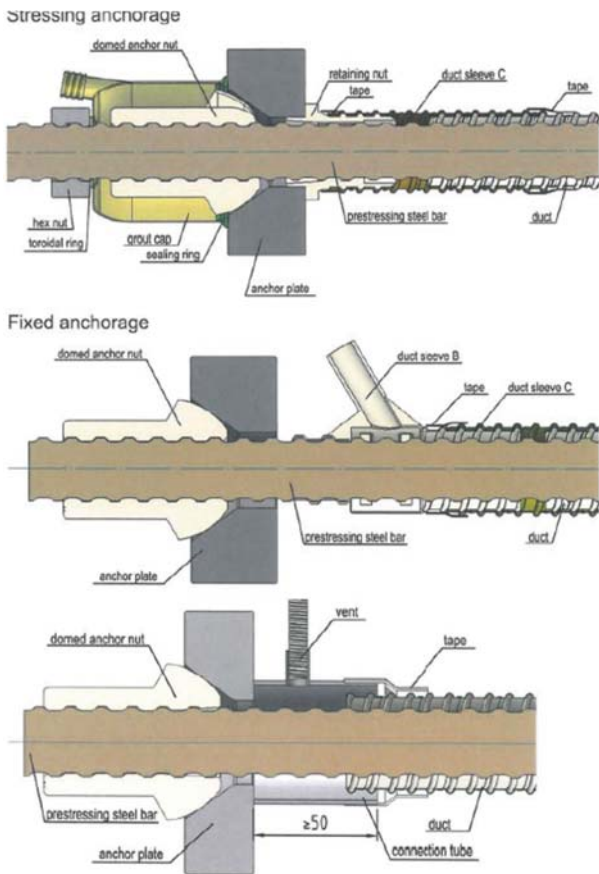
Rögzített kapcsoló (R)  
max. terhelés 1 201 – 10 323 KN



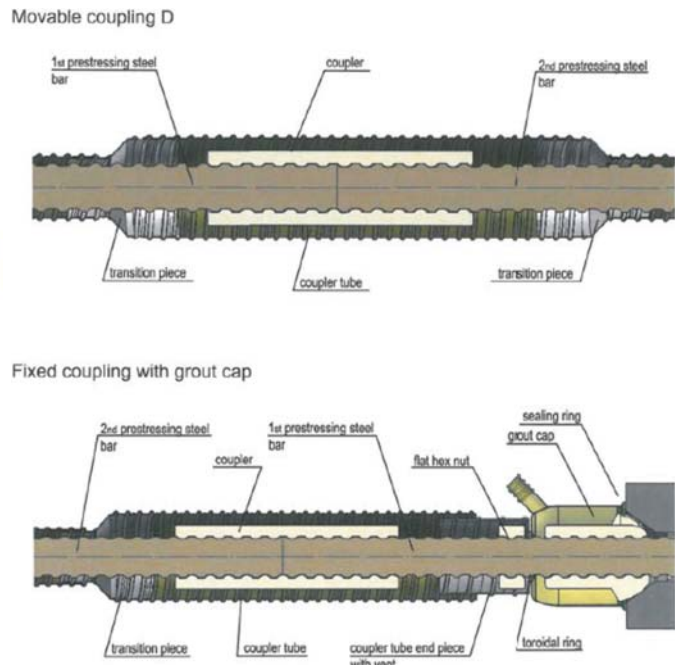
6. ábra

Lebegő kapcsoló (D) max. terhelés 1 201 – 10 323 KN

c.) a Dywidag márka első képviselője a feszített acélrúd rendszer:

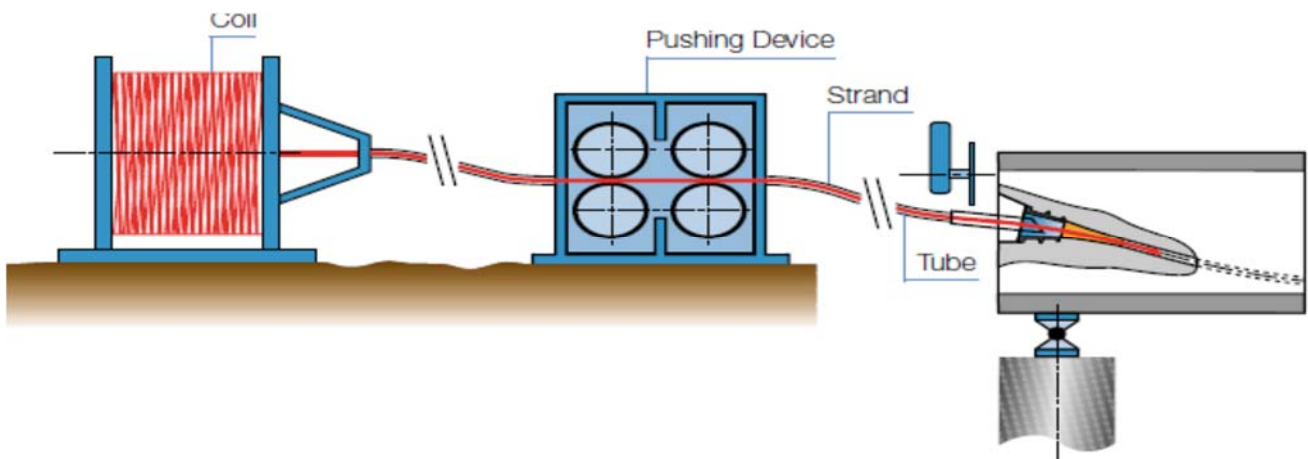


7. ábra  
Rögzített és lebegő horgony



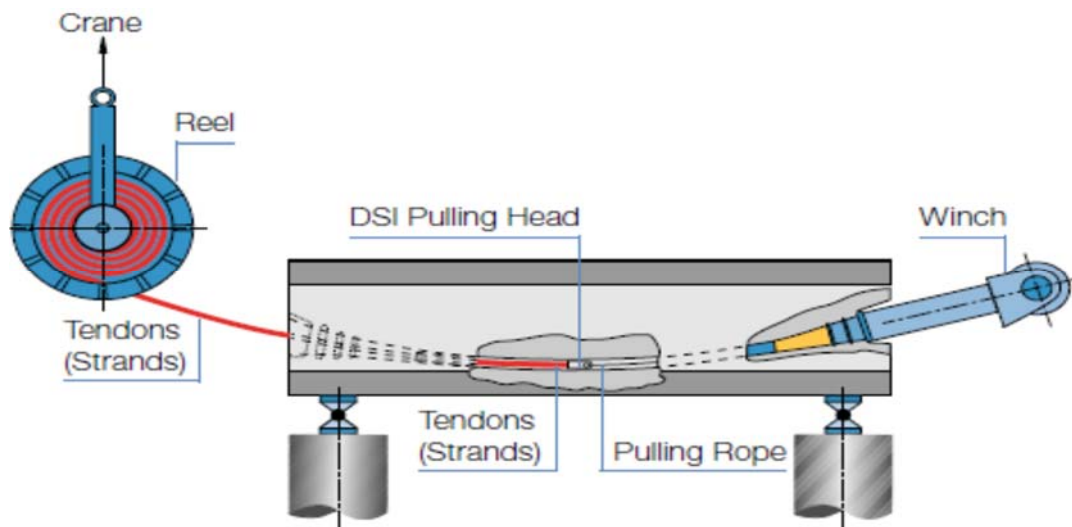
8. ábra  
Rögzített és lebegő kapcsoló

d.) A feszítőpászma betolással, 8 m/s sebességgel



9. ábra  
Pászma betolás

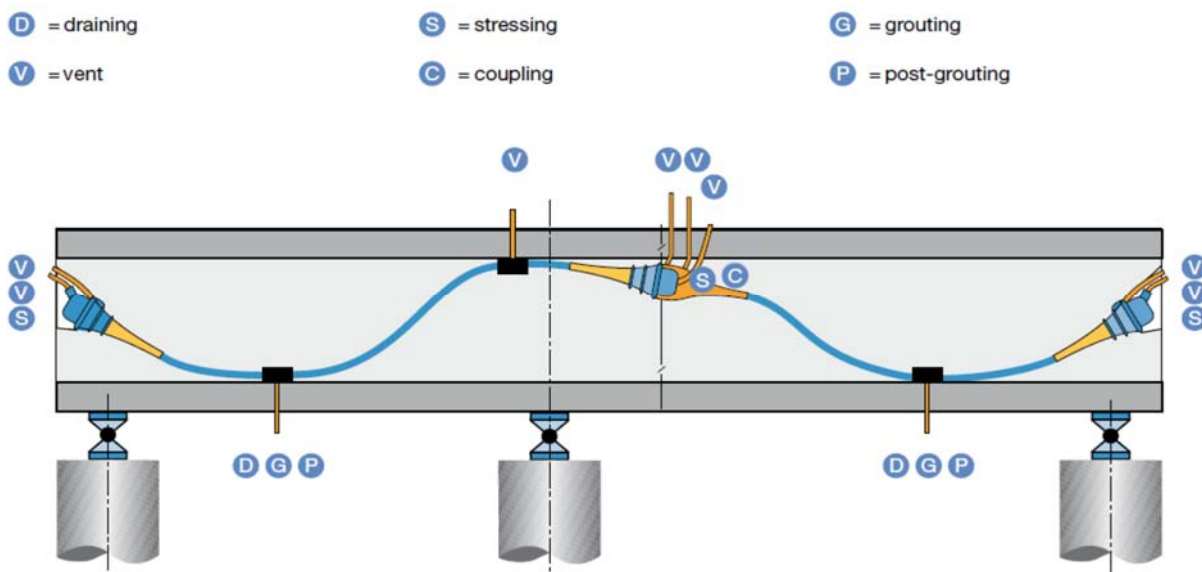
e.) A feszítőpászma behúzása



10. ábra  
Pászma behúzás

f.) Tapadóbetétes feszítőrendszer kivitelezése

A pászma, kábelek szigetelésének valamint a szerkezethez való tapadásának biztosítása érdekében a feszítési folyamat lezárása után a hüvelybe különleges maltet injektálnak.



11. ábra  
Hüvely/pászma nyomvonal

2.2. FREYSSINET

Eugene Freyssinet (1879-1962), Charles Rabut tanítványaként, tanulmányai elvégzése után (1905) a párizsi École Nationale des Ponts et Chaussées-ben tevékenykedett, az első világháború kitöréséig több forradalmi betonhidat is tervezett itt,





12. ábra  
Eugene Freyssinet  
a nyolcvanas éveiben

- 1911-ben Pont le Verdure, Vichy mellett, háromnyílású íves felsőpályás betonhíd  $L=3 \times 72,5$  m,
- 1919-ben a Pont de la Liberation, Villeneuve-sur-Lot íves betonhíd  $L=96,25$  m,
- 1923-ban a St. Pierre du Vauvaray íves, üreges, betonhíd  $L=132$  m,
- 1930-ban pedig a Plougastel híd  $L=180$  m.

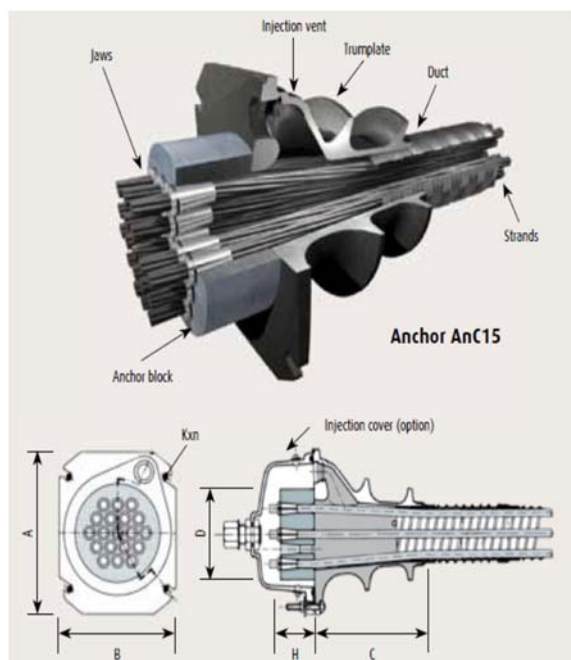
1935-től a Campenon-Bernard cég alkalmazottjaként folytatja tevékenységét a feszített betonhidak tervezésére koncentrálni.

1943-ban létrehozza saját cégét, Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte (STUP), amely 1976-ban felveszi a Freyssinet nevet. Freyssinet úttörőnek számít, habár nem ő fedezte fel és dolgozta ki az előfeszítés rendszerét, de alkalmazása közben komoly tapasztalatokra tett szert, ami a beton és az acél viselkedését illeti a vasbeton és feszített vasbeton szerkezeten belül.

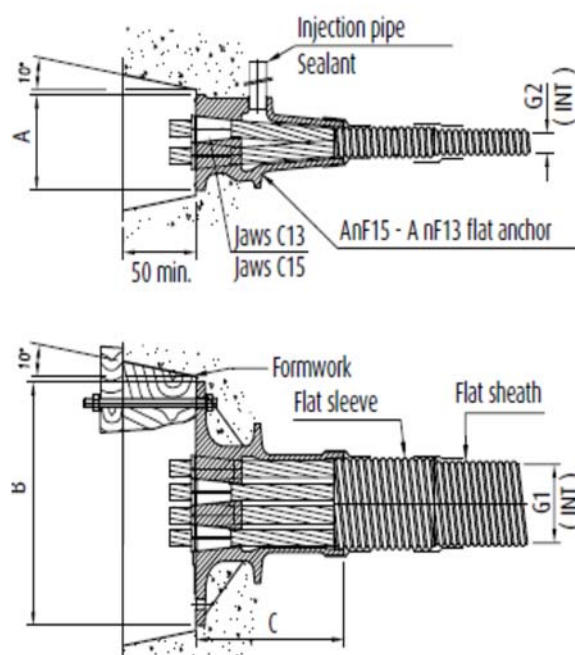
Olyan rendszert fejlesztett ki, amely biztosítja a szerkezetek üzemeltetés alatti biztonságos működését, korrózió elleni jótállását, valamint a feszítésben résztvevő elemek karbantartását, ráfeszítését a terhelés függvényében, esetleg cseréjét, ha szükségessé válik a szerkezet életciklusának meghosszabbítása érdekében.

Az utófeszítést alapvetően a hidak építésénél vagy felújításánál, kikötő móló építésénél, atomerőművek tartályainál, cseppfolyós gáztartályoknál, tengeri platformoknál, szélturbinák kivitelezésénél alkalmazzák. A feszítési rendszerek fontosabb elemei az alábbiak:

a.) Horgonyok:

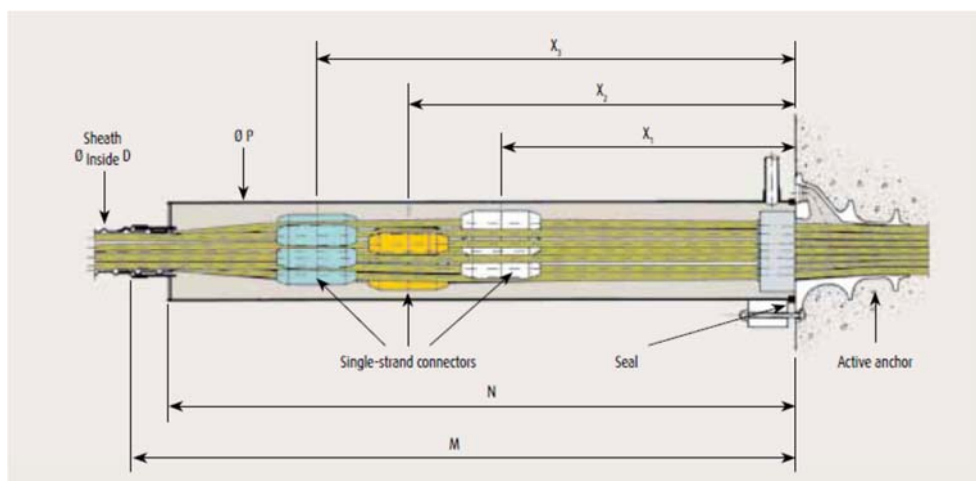


13. ábra  
C típusú, 3-55 pázsma használata esetében



14. ábra  
F típusú, 1-4 pázsma használatakor

b.) *kapcsolók:*



15. ábra  
CI típusú rögzített kapcsoló

c.) *pázmák:*  $\varnothing 15,7 \text{ mm}$  vagy  $0,6''$

### 2.3. BBR-VT



BBR A Global Network of Experts



16. ábra  
*A BBR – alapítói Max Birkenmaier, Antonio Brandestini és Mirko Robin Ros*

1944-ben három mérnök, Max Birkenmaier (1915-2002), Antonio Brandestini (1915-2003) és Mirko Robin Ros (1912-1968) létrehozta Svájcban a BBR céget, amely a függőkábeles technológia fejlesztését és alkalmazását tűzi ki célul.

A BBR technológia felhasználása az elmúlt 70 év alatt:

- 1945 Az első BBR termék, előfeszített pázma a szabadon szerelt hídelemek összekötésére,
- 1948 Megjelenik a BBR V utófeszítési, hidegen sajtolt acélhuzal,
- 1952 Az első komoly híd kivitelezése, az Adelfingen (CH) vasúti viadukt,
- 1960 A világ első ferdekábeles (HiAm) gyalogoshídja, Schillersteg Brücke, Stuttgart,
- 1972 BBR HiAm kábelekkel épül a müncheni olimpiai stadion. Kifejlesztik a BBR CONA PT rendszert,
- 1985 Részvétel a King Fahad, Szaud Arábiát Bahrein-el összekötő 25 km hosszú híd kivitelezésében
- 1999 Tataru híd (JP) kivitelezése, a XX sz. leghosszabb központi nyílású (890 m) ferde kábeles hídja
- 2005 Az EU által elfogadott BBR VT CONA CMX PT rendszer bevezetése,

- 2008 A BBR HiAm CONA kábel rendszer bevezetése,
- 2012 A ferdekábeles Ada híd a Száva felett Belgrádban (SRB), pilon H=200 m, L=964 m, 80 kábel használatával.

Az utófesztés (PT) több mint 25 méretű pászma, kábel, horgony és kapcsoló felhasználásával történik a szükséges erőigény függvényében. Három alapvető megoldást különböztetünk meg:

a.) Belső tapadó pászmás – a műanyag vagy fém hüvelyeket bevezetik a szerkezet betonelemeibe és a feszítés után a hüvelyeket kitöltik különleges cement – vagy műgyanta alapú tapadást biztosító malterrel. Alapvetően a feszített betonhidaknál, beton héjaknál alkalmazzák.



17. ábra  
*Cona CMI-BT horgony*



18. ábra  
*BH lebegő kapcsoló*



19. ábra  
*Műanyag horgonyzáró elem*

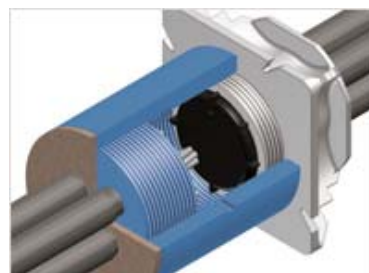


20. ábra  
*Védő hüvely*

b.) Belső csúszó pászmás – ebben az esetben a hüvely beépül a betonszerkezetbe, de a pászma nem tapad a hüvely falához, az erő csak a horgony és a beton felületen keresztül adódik át. Infrastruktúra szerkezetek kivitelezésénél használják, előnye, a feszítési erő ellenőrzésének és időbeni ráfeszítésének a lehetősége.



21. ábra  
*CONNA CMM kettő/négy*

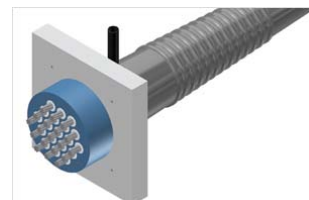


22. ábra  
*H kapcsoló*

c.) Külső csúszó pászmás – ebben az esetben a pászmákat a beton- vagy acélszerkezet külsejére fogják fel és feszítik meg, általában védőhüvelybe vezetve. Ez az a megoldás, amelyet a létező beton/acél hidak felújításakor vagy az öszvérszerkezetű hidak kivitelezésénél alkalmaznak. A szerkezet teher alatti viselkedésének ellenőrzését és a feszítő erő szintentartását, esetleg az igénybevétel növekedését ennek növelésével lehet elérni.



23. ábra  
*CONNA CME BT*



24. ábra  
*CONNA CME SP*



25. ábra  
*K rögzített kapcsoló*

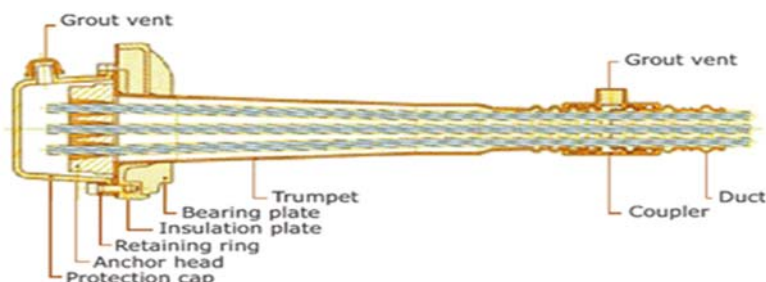


26. ábra  
*H rögzített kapcsoló*

## 2.4. VSL – member of Bouygues Construction



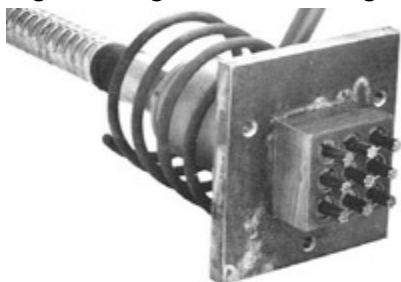
27. ábra



28. ábra  
VSL rendszer

A VSL vezetése a VSL Systems kifejlesztése alatt (27. ábra, balról jobbra): Hans Dietrich, feltaláló, Hans Elsässer, vezető, valamint Giovanni Crivelli, helyettes vezető.

1943-ban Eugen Losinger (1891-1951), svájci építőmérnök fantáziát lát a betonfeszítésben és vásárol egy Svájcra érvényes licencet. 1954-ben, 10 év tapasztalattal a háta mögött létrehozza a Précontrainte SA céget lausannei székhellyel, melynek fő célja egy saját, modern, feszítési rendszer létrehozása. 1955-ig sikerül is bejegyeztetni és levédeni a VSL (Vorspann System Losinger) feszített kábel rendszert, melyet már 1956-ban, a Pont de Cygnes építésénél Yverdon-ban (CH) használnak is. 1962-től Vinzenz Losinger (1935 – ), Eugen Losinger fia vezeti a céget, és 1965-ig kidolgozzák a nagyobb kapacitású feszített pászmákat használó



29. ábra  
Pászma horgon

– VSL strand system – rendszert. Ezáltal a vállalkozók, tervezők és kivitelezők egy olyan rugalmas pászma/kábelfeszítési rendszert alkalmazhatnak, amely révén 15–1200 to feszítési erő tartományt használhatnak a kivitelezésben.

A külső csúszó pászmás VSL feszítési rendszer nem csak olcsóbb, de gyakorlatiasabb is. Ez biztosítja a szerkezet tervezőket arról, hogy abban az esetben, ha előregyártott elemeket használnak, a szerkezet élettartama alatt ellenőrizhetik és módosíthatják a feszültségeket. A külső feszítési rendszerek fejlődése megengedi a feszítő erők beállításán és a terhelésekhez való alkalmazásán túl, akár a pászmák cseréjét is, ha időben szükségessé válik.



30. ábra  
PT plus rendszer

A "PT PLUS" rendszer fejlesztése 1988-ban készült el. A teljes rendszer elemei műanyagból készülnek, ezáltal biztosítják a rozsdásodás gátlását, és egyúttal lényegesen csökkentik a súrlódási ellenállást.



31. ábra  
*Composite Systems*

A kompozit CS – Composite System – rendszer 1992-ben kerül a piacra. A legfrissebb, magas minőségű betonok és malterok kutatási eredményeinek figyelembevételével dolgozták ki a különleges acélhorgonyzó fej és műanyag kiegészítő alkatrészek együttesét, amely alacsony súly és méret mellett magasabb fáradási- és korrózióálló tulajdonságokkal rendelkezik.



31. ábra  
*Nagy kapacitású prés*

A VSL utófeszítési rendszerei megfelelnek az ETA (European Technical Approval) követelményeknek. A VSL többszálás pászmái akár 55 db. 7x15,7mm szálak kábelből állhatnak, amelyek szakítószilárdsága 1860 Mpa. A felhasznált acélszál megfelel az EURONORM 138-79, ASTM A 416-85, BS 5896 szabványoknak. A csúszóbetétes rendszereknél a HDPE hüvelyeket egy különleges zsírral tömítik, amely a súrlódás csökkentésén kívül tovább biztosítja a pászmák rozsdamentességét.

### 3. ÖSZVÉRSZERKEZETEK FESZÍTÉSE – ÖSSZEFOGLALÓ

Az öszvérszerkezetekben mind a két – belső és külső – feszítési mód megtalálható, a belsőt a hidak pályalemezében, vagy a csarnokok betonpadlójában, míg a külsőt a hidak acél tartójának feszítésénél alkalmazzák.

A külső feszítéseket Karl Dischinger alkalmazta először a 20-as években, sajnos a feszített pászma/kábel nem megfelelő szigetelési eljárása miatt a rozsdásodás időben komoly károkat okozott, ezért egyre ritkábban alkalmazták. A 70-es évek végén viszont a már korosodó betonhidak felújításánál a növekvő terheléseknek való megfelelés céljából újra alkalmazni kezdték komoly sikerekkel, mivel a felhasznált anyagok és a közben kifejlesztett szigetelés technológiák megoldották a rendszer „gyerekbetegségeit”. A 80-as évektől az előregyártott betonelemekből vagy öszvérszerkezetekből összerakott nagy nyílású függő- vagy ferdekábeles hidak fő eleme a külső feszítés lett, amellyel gyors kivitelezési ütemet sikerült biztosítani, lényegesen csökkentve a költségeket és a kivitelezési időt.

A csúszóbetétes külső feszítési rendszer alkalmazásának előnyei:

- a vékony betonlemezeken könnyebben betonozhatóak, mivel a feszítés kívülről készül,
- vékonyabb és könnyebb betonlemezeken készülhetnek, mivel a vasalás keresztmetszete is csökkenthető,
- magasabb, különleges beton minőségek (C55 –C100) használatának lehetősége,
- a feszítési rendszer könnyebben szerelhető a szerkezetre, több hely áll rendelkezésre,
- a szerkezetbe épített védőhüvely helyenként eltérhet az ideális nyomvonalától, ezáltal növelve a súrlódást,
- műanyag hüvely használatával pedig tovább csökkenthető a súrlódási veszteség,
- a külső feszített pászmák cserélhetők vagy módosíthatók bennük a feszítési erő a szerkezet élettartama alatt,

A csúszóbetétes külső feszítési rendszer alkalmazásának hátrányai:

- a rendszer érzékenyebb a környezeti hatásokkal szemben – tűz, vegyszerek, korrózió, vandalizmus,
- mivel az erő csak a horgonyzásnál adódik át, nagyobb feszítőerőt, és feszített keresztmetszetet kell használni,



- mivel nincs a szerkezet teljes statikai keresztmetszete kihasználva, növelni kell a feszítő erőt,
- bizonyos szerkezetek keresztmetszete és az alkalmazott technológia megnehezítheti a feszítés végrehajtását.

Napjainkra tehát, az öszvérszerkezetek elő- vagy utófeszítéssel történő kivitelezésének technológiái, a felhasznált anyagok, valamint ezek tervezése eljutottak arra a szintre, hogy bátran alkalmazhatókká váltak, mind a magasépítés, mind a mélyépítés területén. A szerkezetek esztétikusabbak, látványosabbak, már-már a „józan ész” határait súrolják, és minden újabb épület vagy híd a következő lépést jelenti a fejlődés útján. Folyamatosan csökkentjük a felhasznált anyagok mennyiségét, a kivitelezési időt, ezzel az új megoldással pedig több mint 30%-al csökken az „ökológiai lábnyomunk” a környezetben.

## SZAKIRODALOM

- [1] Structuri compuse otel-beton  
a.Stefan I. Gutiu, Catalin Moga – Editura UT Press 2014
- [2] Structuri compuse otel-beton si beton precomprimat – beton armat,  
a.Avram, V. Bota – Editura Tehnica 1975
- [3] [www.bbrnetwork.com](http://www.bbrnetwork.com)
- [4] [www.dywidag-systems.com](http://www.dywidag-systems.com)
- [5] [www.freyssinet.com](http://www.freyssinet.com)
- [6] [www.vsl.com](http://www.vsl.com)
- [7] [structurae.de](http://structurae.de) – Die größte Internationale Datenbank für Bauwerke und Bauingenieure
- [8] Wikipedia