

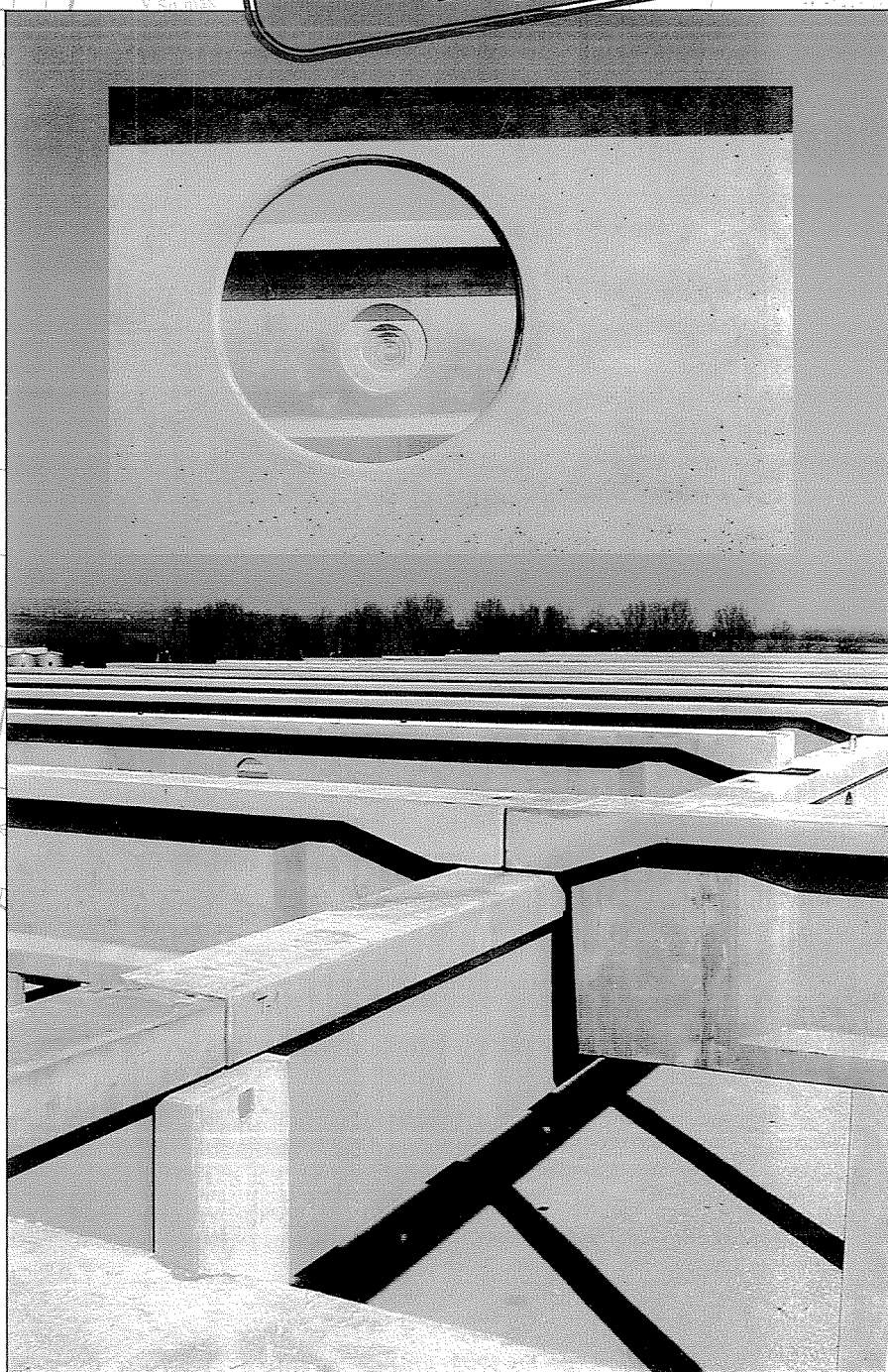
VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF **fib**



5 éves
a VASBETONÉPÍTÉS
folyóirat



Dr. Balázs L. György

Öt éves

a Vasbetonépítés folyóirat

2

Dr. Kausay Tibor

**Beton adalékanyagok
szemmegoszlási
jellemzőinek számítása
grafoanalitikus módon**

3

Dr. Erdélyi Attila

**Acélszálerősítésű betonok
tartóssága**

12

Forgó Lea Zamfira

**A hangemisszió-analízis
alapjai**

21

Dr. Pótáné Palotás Piroska –

Dr. Laykó Miklós

**A 2003. évi
Palotás László-díjak
átadása**

25

Palotás László díjat kaptak
2003-ban:

Dr. Erdélyi Attila

26

Prof. Popovics Sándor

29

Személyi hírek

31

Rendezvénynaptár

32

2004/1

VI. évfolyam, 1. szám



Bizalom, biztonság, minőség Az ÉMI-TÜV Bayern csapata

műszaki szolgáltatásaival sikerré kovácsolja munkáját
a minőségügy és a biztonságtechnika területén.

Vizsgálat, tanúsítás, személyre szabott szaktanácsadás
és szakértői tevékenység az alábbi területeken:

- Felvonók, mozgólépcsők,
színpadtechnikai berendezések
- Építő-, emelő- és
anyagmozgatógépek
- Nyomástartó berendezések,
kazánok, gázpalackok
- Hegesztési technológiák,
hegesztők, hegesztőüzemek
- Magas- és mélyépítőipari
létesítmények tartószerkezetei,
épület- és szakipari szerkezetek
- Szórakoztatóipari és
szabadidőberendezések
- Játszóterei eszközök
- Megfelelőség értékelés
és CE jel
- Minőségirányítási,
Környezetközpontú Irányítási
Rendszerek
TÜV CERT, TÜV MS és MRTI
tanúsítása (TGA és NAT
akkreditáció alapján)
Kórházi ellátási standardok
(KES)
Munka Egészségügyi és
Biztonságtechnikai Rendszerek
(MEBIR)
Élelmiszerbiztonság
(HACCP)
Integrált vállalati
rendszerek

ÉMI - TÜV Bayern

Központ:

H-2000 Szentendre

Dózsa György út 26.

Tel.: (+36) 26-501-120

Fax: (+36) 26-501-150

igazgatosag@emi-tuv.hu

www.emi-tuv.hu

www.tuevs.de

Budapesti iroda:

1043 Budapest

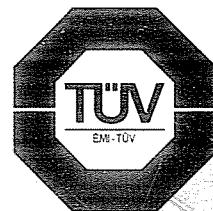
Dugonics u. 11.

Tel.: (+36) 1-399-3600

Fax: (+36) 1-399-3603

gmdaras@emi-tuv.hu

CEOC



Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Madaras Botond

Szerkesztőbizottság:

Beluzsár János

Dr. Bódi István

Csányi László

Dr. Csiki Béla

Dr. Erdélyi Attila

Dr. Farkas György

Kolozsi Gyula

Dr. Kovács Károly

Lakatos Ervin

Mátyássy László

Polgár László

Telekiné Királyföldi Antónia

Dr. Tóth László

Vörös József

Wellner Péter

Lektorai testület:

Dr. Deák György

Dr. Dulácska Endre

Dr. Janzó József

Királyföldi Lajosné

Dr. Knébel Jenő

Dr. Lenkei Péter

Dr. Loykó Miklós

Dr. Madaras Gábor

Dr. Orosz Árpád

Dr. Szalai Kálmán

Dr. Tassi Géza

Dr. Tóth Ernő

Dr. Träger Herbert

(Kéziratok lektorálására más
kollégák is felkérést kaphatnak.)

Alapító: a *fib* Magyar Tagozata

Kiadó: a *fib* Magyar Tagozata

(*fib* = Nemzetközi Betonszövetség)

Szerkesztőség:

BME Építőanyagok és Mérnökgeol. Tansz.

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Tel: 463 4068 Fax: 463 3450

E-mail: fib@goliat.eik.bme.hu

WEB <http://www.eat.bme.hu/fib>

Az internet verzió technikai

szerkesztője: Samarjai István

Nyomdai előkészítés: RONÓ Bt.

Egy példány ára: 1000 Ft

Előfizetési díj egy évre: 4000 Ft

Megjelenik negyedévenként

1000 példányban.

© a *fib* Magyar Tagozata

ISSN 1419-6441

online ISSN: 1586-0361

Hirdetések:

Külső borító: 150 000 Ft+áfa

belső borító: 120 000 Ft+áfa

A hirdetések felvétele:

Tel.: 463-4068, Fax: 463-3450

Címlapfotó: Lidl Logisztikai

Központ építés közben,

Székesfehérvár (2004. április 2.)

Fotót készítette: Leidl András

TARTALOMJEGYZÉK

2 Dr. Balázs L. György

**Öt éves a Vasbetonépítés folyóirat
(1999–2003)**

3 Dr. Kausay Tibor

**Beton adalékanyagok szemmegoszlási
jellemzőinek számítása grafoanalitikus
módon**

12 Dr. Erdélyi Attila

Acélszálerősítésű betonok tartóssága

21 Forgó Lea Zamfira

A hangemisszió-analízis elméleti alapjai

25 Dr. Pótáné Palotás Piroska – Dr. Loykó Miklós

A 2003. évi Palotás László-díjak átadása

Palotás László-díjat kaptak 2003-ban:

26 Dr. Erdélyi Attila

29 Prof. Popovics Sándor

31 Személyi hírek

Búcsú dr. Kollár Lajostól (1926–2004)

32 Rendezvénynaptár

A folyóirat támogatói:

Ipar Műszaki Fejlesztéséért Alapítvány, Vasúti Hidak Alapítvány,
Swietelsky Építő Kft., ÉMI Kht., Hidépítő Rt., MÁV Rt., MSC Magyar
Scetauroute Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft., Pfeiderer Lábatlani
Vasbetonipari Rt., Pont-Terv Rt., Strabag Rt., Uvaterv Rt., Mélyépterv Komplex
Mérnöki Rt., Hídechnika Kft., Techno-Wato Kft., Betonmix Mérnökiroda Kft.,
BVM Épelem Kft., CAEC Kft., Pannon Freyssinet Kft., Stabil Plan Kft., Union
Plan Kft., DCB Mérnöki Iroda Kft., BME Építőanyagok és Mérnökgeológia
Tanszéke, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

ÖT ÉVES A VASBETONÉPÍTÉS FOLYÓIRAT (1999–2003)



A *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata 1999-ben folyóiratot alapított VASBETONÉPÍTÉS címen, amellyel írásos fórumot szándékozott biztosítani a vasbeton anyagaival és a vasbeton valamint feszített vasbeton szerkezetekkel kapcsolatos új hazai és külföldi eredmények számára. Működési területeinkbe beleértettük a tervezés, a kivitelezés, az anyaggyártás, a betontechnológia, az előregyártás, a beruházás, az üzemeltetés, a felújítás, a megerősítés, az oktatás, a kutatás, a műszaki szabályozás és a minőségbiztosítás kérdéseit. A folyóirat címében szereplő VASBETONÉPÍTÉS szó mindezeket hivatott tükrözni.

Az elmúlt években a beton és a vasbeton jelentősége tovább növekedett. Ennek indoklásaként elég, ha itt csupán annyit említek meg, hogy az iparilag elérhető betonszilárdság az utóbbi időben a korábbi, szokványos szilárdságoknak többszörösére növekedett. Laboratóriumi körülmények között a betonacélok szilárdságát megközelítő szilárdságú betonokat is elő lehet állítani. Az új adalékszerek és betontechnológiai módszerek akár azt is lehetővé teszik, hogy tömörítés nélkül betonozzunk (öntömörítő betonok), stb. Az új vasalási és zsuglászati rendszerek segítik a gyors kivitelezést, miközben az előregyártás is megőrizte fontos szerepét rövid építési időt lehetővé téve. Mindezek hozzájárulnak a jobb minőség és a nagyobb tartósság biztosításához. Ma már talán nem is tudnánk megoldani műszaki feladatainkat vasbeton nélkül (gondoljunk csak az épületekre, a csarnokokra, a hidakra, az alagutakra, a vízépitési létesítményekre stb.) Eközben egyre magasabb esztétikai követelményeket tudunk kielégíteni.

A VASBETONÉPÍTÉS folyóirat elmúlt (első) öt évét kimondottan sikeresnek tekinthetjük, aminek elsődleges bizonyítéka, hogy előfizetői egész Magyarország területéről kerülnek ki. Emellett a világ 14 országában élő, magyar ajkú mérnök kollégához juttatjuk el.

Az öt év alatt 20 szám jelent meg mindösszesen 109 cikkel (ami számonként 5,4 cikket jelent átlagosan), összesen 91 szerző tollából.

Jelen visszatekintés elsődleges célja, hogy köszönetünket fejezzük ki cikkíróinknak (1. táblázat), támogatóinknak (2. táblázat), hirdetőinknek (3. táblázat) és mindenekelőtt olvasóinknak. Köszönjük.

Bizunk benne, hogy mindannyian szívesen vették kezükbe folyóiratunkat, ill. olvasták az interneten annak elektronikus változatát, és fogják azt a jövőben is tenni.

Budapest, 2004. március 31.

Dr. Balázs L. György, egyetemi tanár
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
főszerkesztő

1. táblázat: A VASBETONÉPÍTÉS folyóirat cikkírói 1999-2003-ban alfabetikus sorrendben

Almási József, Dr.	Matekovics Hajnalka
Arany Piroska, Dr.	Mátyássy László
Armuth Miklós	Mesko András, Dr.
Balázs György, Dr.	Mihalek Tamás
Balázs L. György, Dr.	Mistéth Endre, Dr.
Balogh Tamás, Dr.	Mohay Kálmán
Becze János	Németh Ferenc, Dr.
Beluzsár János	Németh István
Borosnyói Adorján	Novák László
Csák Béla, Dr.	Orbán Zoltán
Csányi László	Orosz Árpád, Dr.
Csányi Erika	Orosz László
Csató György	Pálossy Miklós
Csiki Béla, Dr.	Paulerné Szeiler Éva
Dalmy Dénes, Dr.	Péter Gábor Zoltán
Deák Ferenc	Pethő Csaba
Deák György, Dr.	Pintér Sándor
Draskóczy András, Dr.	Polgár László
Dulácska Endre, Dr.	Posgay György
Duma György	Pótáné Palotás Piroska, Dr.
Erdei György	Sajtos István, Dr.
Édes Imre	Salem G. Nehme
Faragó Tamás	Simon Tamás
Farkas György, Dr.	Stajrits Ferenc
Fodor József	Süveg Botond

Gilyén Jenő, Dr.
Gulyás András
Gyurity Mátyás
Hajmási Péter
Havasi Zoltán
Imre Lajos, Dr.
Jankó László, Dr.
Kálló Miklós, Dr.
Karkiss Balázs
Kiss Jenő, Dr.
Kiss Zoltán, Dr.
Kollár László P.
Koncz Lóránt
Kopcskó Katalin
Korda János, Dr.
Kovács Béla, Dr.
Kovács Károly, Dr.
Kovács Tamás
Köllő Gábor, Dr.
Lenkei Péter, Dr.
Madaras Gábor, Dr.

Seidl Ágoston, Dr.
Szalai Kálmán, Dr.
Szárász László
Szerbák László
Székely Veronika
Tamáska János, Dr.
Tariczky Zsuzsanna, Dr.
Tassi Géza, Dr.
Pintér Sándor
Tatai Erika
Tóth Ernő, Dr.
Tóth László, Dr.
Varvasovszky Péter
Várkonyi Péter
Verók Krisztián
Végh, Ludevít, Prof.
Végh, Petr, Dr.
Vörös József
Wellner Péter
Windisch László
Zsigovics István, Dr.

2. táblázat: A VASBETONÉPÍTÉS folyóirat támogatói 1999-2003-ban alfabetikus sorrendben

Betonmix Mérnökiroda Kft.
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke
BVM Épelem Kft.
CAEC Kft.
ÉMI Kht.
Hídepítő Rt.
Hídtechnika Kft.
Ipar Műszaki Fejlesztésért Alapítvány
MÁV Rt.
Mélyépterv Komplex Mérnöki Rt.
MSC Magyar Scetauroute Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft.
Pannon Freyssinet Kft.
Peristyl Kft.
Pfleiderer Lábatlani Vasbetonipari Rt.
Pont-Terv Rt.
Stabil Plan Kft.
Techno-Wato Kft.
Union Plan Kft.
Uvater Rt.
Vasúti Hidak Alapítvány

3. táblázat: A VASBETONÉPÍTÉS folyóirat hirdetői 1999-2003-ban alfabetikus sorrendben

ASA Építőipari Kft.
Betonplasztika Kft.
Betonútépítő Nemzetközi Építőipari Rt.
BVM Épelem Előregyártó és Szolgáltató Kft.
Construct-Trade Kft.
Csillagtér Építőipari Kft.
ÉMI-TÜV Bayern Minőségügyi és Biztonságtechnikai Kft.
FŐMTERV Fővárosi Mérnöki Tervező Részvénytársaság
Grace Construction Products
Hídepítő Részvénytársaság
Hídtechnika Kft.
Holcim Hungária Kft.
ISOPROF Szigetelésforgalmazó Kft.
KÉV-METRO Kft.
MAPEI Kft.
Mélyépterv Komplex Mérnöki Rt.
MSC Magyar Scetauroute Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft.
PERI Kft.
Pfleiderer Lábatlani Vasbetonipari Rt.
Pont-Terv Rt.

BETON ADALÉKANYAGOK SZEMMEGOSZLÁSI JELLEMZŐINEK SZÁMÍTÁSA GRAFOANALITIKUS MÓDON



Dr. Kausay Tibor

A beton adalékanyagok (homokok, homokos kavicsok, zúzottkövek, kölisztek stb.) szemmegoszlását számszerűen a szemmegoszlási jellemzők, nevezetesen a várhatóérték, a szórásnégyzet, a variációs tényező, az átlagos szemnagyság, a finomsági modulus és a térfogati fajlagos felület írja le. A cikk a szemmegoszlási jellemzők számításának egységes rendszerét ismerteti. A kidolgozott grafoanalitikus számításmód a grafikus módszer szemléletességét és az analitikus módszer következetességét egyesíti. A módszer alkalmazása a szemmegoszlási jellemzőket – a megfelelő abszcisszatengelyű koordináta-rendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbék alatti vagy feletti területtel – kifejező egyenletek megoldásában áll.

Kulcsszavak: beton adalékanyag, homokos kavics, zúzottkő, köliszt, szemmegoszlás, finomsági modulus, fajlagos felület

1. BEVEZETÉS

Kutatási, fejlesztési és igényesebb tervezési feladatok megoldása során a betonok, habarcsok, aszfaltok adalékanyagául, esetleg töltőanyagául szolgáló homokok, homokos kavicsok, zúzottkövek, kölisztek stb. szemmegoszlását számszerűen a várhatóértékkel, a szórásnégyzettel, a variációs tényezővel, az átlagos szemnagysággal, a logaritmikus finomsági modulus-sal, és a térfogati fajlagos felülettel jellemezhetjük (Kausay, 1975). Ezek kiszámítása mindig a szitavizsgálat, vagy szedimentálás eredménye alapján, de kétféle módon, grafikusan és analitikusan történhet aszerint, hogy a szemmegoszlási jellemzőkkel arányos koordináta-rendszerbeli görbe alatti, illetve feletti területek nagyságát, vagy a szemmegoszlási jellemzőket kifejező momentumokat határozzuk meg. A terület meghatározását lényegében mérésrel, a momentum meghatározását kizárólag számítással végezzük.

Mindkét eljárásnak differenciális és differenciás változata is van (Bodnár et al., 1979):

Differenciálszámítás esetén a grafikus módszerhez a vizsgálati eredményekből szerkesztett szemmegoszlási görbének az ismeretére (Palotás, 1952, 1961 és Popovics, 1952, 1953), az analitikus módszerhez a vizsgálati eredményekből számított regressziós szemmegoszlás függvénynek, például a Fuller (1907), a Gates (1915), a Gaudin (1926), a Rosin-Rammler-Sperling (1933), a Bennett (1936), a Schuhmann (1940), a Kolmogorov (1941), a Rényi (1950), a Fáy-Zselev (1960, 1961) elméletek valamelyike szerinti ismeretére (Beke, 1963) van szükség. A szemmegoszlási jellemzők számításának elméleti alapját a grafikus és analitikus eljárás differenciál módszerére épülő megfontolások képezik.

Differenciaszámításnál mind a grafikus, mind az analitikus módszer esetén a szemhalmazt idealizált szemmegoszlású, és a vizsgálati szemnagyságok által meghatározott rész-halmazok összegeként fogjuk fel. A differencia módszer a gyakorlat eszköze, grafikus formában elsősorban a mindennapi munkában (például az MSZ 4713-3:1977), analitikus formában inkább csak a tudományos munkában alkalmazzuk. Ez a kettősség az eredmények eltérésében is megmutatkozik, ami egy egységes számítási módszer kidolgozásának szükségességét vetette fel.

A kidolgozott módszer a grafoanalitikus differenciaszámítás jegyeit viseli magán. A módszer grafoanalitikus, mert te-

rületszámítással momentum meghatározást végzünk, és differenciaszámítás, mert a szemmegoszlási jellemzők számításához közvetlenül a szitavizsgálat, vagy szedimentálás eredményeit használjuk fel (Kausay, 1975, Bodnár et al., 1979).

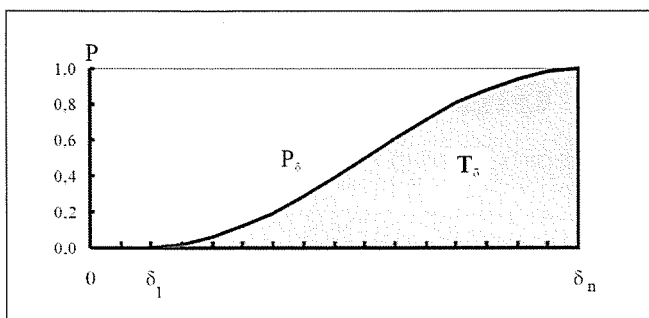
2. A SZÁMÍTÁSOK ALAPELVE

Számítási alapelvként a szemmegoszlási jellemzőknek azt a közös tulajdonságát használjuk fel, hogy mindegyikük értéke kifejezhető a jellegüknek megfelelően transzformált abszcisszatengelyen ábrázolt szemmegoszlási görbe alatti vagy feletti területtel. Ehhez az abszcisszatengelyek beosztását úgy kell megválasztani, hogy a koordináta-rendszerbeli területek a szemmegoszlási jellemzőkkel arányosak legyenek, amit a szemmegoszlási görbe eredetileg lineáris abszcisszatengelyének esetenkénti transzformációjával lehet elérni. A lineáris skála-beosztású abszcisszatengely a szemnagyságnak, a transzformált tengely a szemnagyság származékának hordozója.

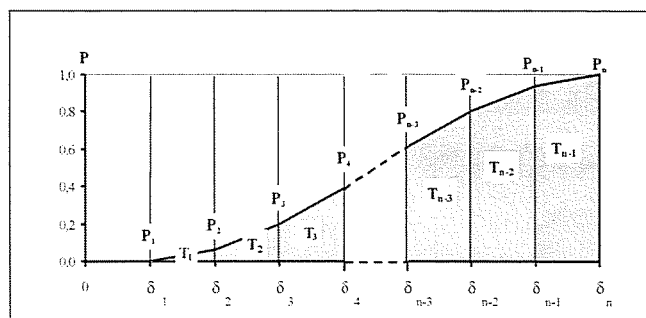
A szemnagysággal a várhatóérték egyenes, a szórásnégyzet négyzetes, az átlagos szemnagyság és a logaritmikus finomsági modulus logaritmikus, a térfogati fajlagos felület fordított arányú összefüggésben áll. Ezért a várhatóértéket lineáris, a szórásnégyzetet négyzetes, az átlagos szemnagyságot és a logaritmikus finomsági modulus logaritmikus, a térfogati fajlagos felületet reciprok beosztású abszcisszatengelyre rajzolt szemmegoszlási görbével jelenítjük meg.

A szemmegoszlási görbét egyenes szakaszokból összetettnek tekintjük. Az egyenes szakaszok sarokpontjait a vizsgálati szemnagyságok abszcissza, és a vizsgálati szemmegoszlások ordináta rendezővonalainak megfelelő metszéspontjai adják meg. Megállapodásunk az abszcisszatengely beosztások mindegyikére érvényes, tehát a valóságtól eltérően abszcisszatengely beosztásonként más-más – de a transzformált abszcisszatengelyre vonatkozóan mindig lineáris – rész-szemhalmaz eloszlásokkal dolgozunk, ami a módszer egyetlen (szűk rész-halmazhatárok esetén elhanyagolható) pontatlansága.

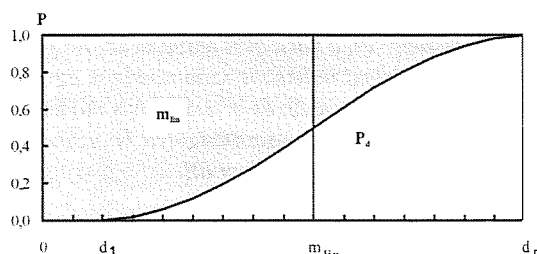
A vizsgálati szemnagyságok a rész-szemhalmazok halmazhatárait szolgáltatják, amelyekhez, illetve amelyek származékához tartozó abszcissza rendezővonalak a szemmegoszlási görbe alatti területet részterületekre osztják. Feladatunk e rész-



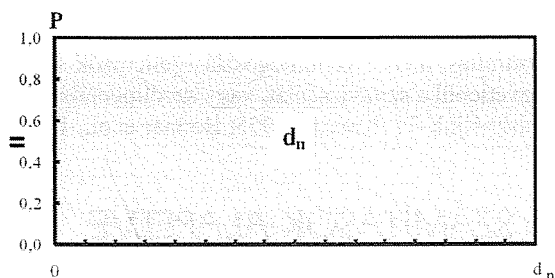
1. ábra: A P_δ szemmegoszlási görbe alatti T_δ terület



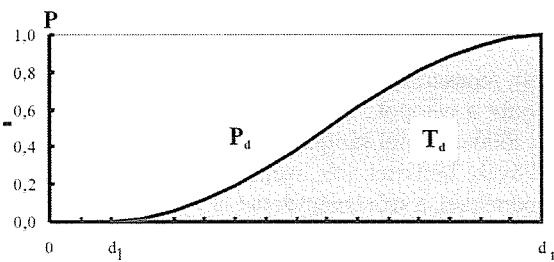
2. ábra: A T_δ terület felosztása részterületekre



3. ábra: A P_d szemmegoszlási görbe feletti m_{lin} terület



4. ábra: A $P = 1$ egyenes alatti d_n terület



5. ábra: A P_d szemmegoszlási görbe alatti T_d terület

területek nagyságának kiszámítása, összegezése, és a szemmegoszlási jellemzőkre vonatkoztatása.

Oldjuk meg a területszámítást először általánosságban, mert a szemmegoszlási jellemzők számítása a szemmegoszlási görbe alatti terület általános alakú összefüggésének megoldására vezethető vissza.

A dolgozatban a p_δ sűrűségfüggvény és származékai alatt mindig tömegarányt kifejező *valószínűségi sűrűségfüggvényt*, a hozzá tartozó P_δ eloszlásfüggvény és származékai alatt mindig *relatív tömeg-eloszlásfüggvényt* kell érteni, akkor is, amikor az ordinátatengely beosztása tömeg%.

Jelöljük az 1. és 2. ábra értelmezésében a szemmegoszlások értékét P -vel, a részhalmaz-határokat δ -val, amely az abszcisszatengely lineáris beosztása esetén d -t, négyzetes beosztása esetén d^2 -et, logaritmus beosztása esetén $lg d$ -t, reciprok beosztása esetén d^{-1} -t jelent. A d mértékegysége mm. Utaljának az alsó indexek a részhalmaz-határokat, az 1 az első-re, az n az utolsóra, azaz a két utóbbi a szemhalmaz legkisebb és legnagyobb szemmagyságára.

Az általános alakú összefüggés felírásához tekintsük a szemmegoszlási görbét egyenes szakaszokból összetettnek és számítsuk ki a P_δ szemmegoszlási görbe alatti T_δ területet:

$$T_\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_n} P d\delta = \sum_{i=1}^{n-1} T_i = \frac{1}{100} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_i\% + P_{i+1}\%}{2} \cdot (\delta_{i+1} - \delta_i) =$$

$$= \frac{1}{100} \cdot \left[\frac{P_1\% + P_2\%}{2} \cdot (\delta_2 - \delta_1) + \frac{P_2\% + P_3\%}{2} \cdot (\delta_3 - \delta_2) + \dots + \frac{P_{n-1}\% + P_n\%}{2} \cdot (\delta_n - \delta_{n-1}) \right] =$$

$$= \frac{1}{200} \cdot \left[100 \cdot (\delta_n - \delta_{n-1}) + \sum_{i=2}^{n-1} P_i\% \cdot (\delta_{i+1} - \delta_{i-1}) \right] \quad (1)$$

Keressük ezek után a kapcsolatot a megfelelő görbe alatti területek és a különböző szemmegoszlási jellemzők között.

3. VÁRHATÓÉRTÉK VAGY LINEÁRIS FINOMSÁGI MODULUS

A d szemmagyság *várhatóértéke*, vagy más néven a lineáris finomsági modulus azonos a *lineáris beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordináta-rendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe $d=0$ és d_n határu intervalluma feletti m_{lin} területtel (lásd a (2) jelű egyenletet és a 3., 4. és 5. ábrákat).

$$m_{lin} = v_1 = \Psi_0 = \int_{d_1}^{d_n} d \cdot p dd = \int_0^{d_n} dd - \int_{d_1}^{d_n} P dd = d_n - T_\delta =$$

$$= \frac{1}{200} \cdot \left[100 \cdot (d_{n-1} + d_n) + \sum_{i=2}^{n-1} P_i\% \cdot (d_{i-1} + d_{i+1}) \right] \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

4. SZÓRÁSNÉGYZET

Leegyszerűsítve mondhatjuk, hogy a p_d sűrűségfüggvény és a hozzá tartozó P_d eloszlásfüggvény várhatóértékével és szórásnégyzetével jellemezhető. Láttuk, hogy a várhatóérték a p_d sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett v_1 elsőrendű nyomatékával egyenlő.

A szórásnégyzet a p_d sűrűségfüggvény alatti területnek a várhatóérték függőlegesére vett μ_2 másodrendű centrális nyomatéka. Bizonyítható, hogy a szórásnégyzet, azaz a μ_2 másodrendű centrális nyomaték egyenlő a v_2 másodrendű nyomaték és a v_1 elsőrendű nyomaték négyzetének különbségével, ami nem más, mint a lineáris beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe feletti terület – az ordinátatengelyre vett – kétszeres Ψ_1 elsőrendű nyomatékának és a várhatóérték négyzetének különbsége:

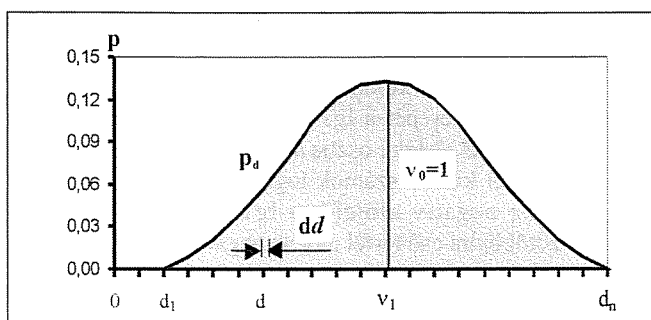
$$\sigma^2 = \mu_2 = v_2 - v_1^2 = 2 \cdot \psi_1 - m_{lin}^2 \quad [\text{mm}^2]$$

ahol esetünkben $k=2$ alkalmazása mellett, μ_k általánosságban a p_d sűrűségfüggvény alatti területnek a várhatóérték függőlegesére vett k -adrendű centrális nyomatéka:

$$\mu_k = \int_{d_1}^{d_n} (d - v_1)^k \cdot p \, dd \quad [\text{mm}^k]$$

Ha a P eloszlásfüggvényt nem lineáris, hanem *négyzetes beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázoljuk, akkor a kétszeres Ψ_1 elsőrendű nyomaték helyébe nulladrendű nyomaték lép, azaz a *szórásnégyzet* egyenlő a *négyzetes beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe $d=0$ és d_n^2 határu intervalluma feletti $(d_n^2 - T_{d^2})$ terület és a várhatóérték négyzete különbségével, azaz

$$\sigma^2 = d_n^2 - T_{d^2} - m_{lin}^2 =$$



6. ábra: A p_d sűrűségfüggvény alatti $v_0=1$ terület

A (2) jelű egyenlet felírásához szükséges T_d kifejezés az (1) jelű egyenletből $\delta=d$ helyettesítéssel származtatható.

A (2) jelű egyenlet tartalma a 3., 4. és 5. ábrákon jelölt területekkel kifejezve:

$$m_{lin} (=) T_{4. \text{ ábra}} - T_{5. \text{ ábra}}$$

A (2) jelű egyenlet magyarázatául utalni kell arra, hogy a p_d sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett k -adrendű v_k nyomatéka:

$$v_k = \int_{d_1}^{d_n} d^k \cdot p \, dd \quad [\text{mm}^k]$$

és a P_d eloszlásfüggvény feletti területnek az ordinátatengelyre vett $(k-1)$ -edrendű Ψ_{k-1} nyomatéka (ha k nem negatív szám):

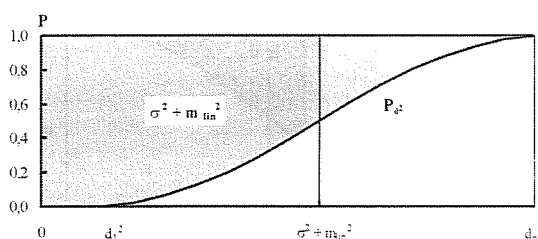
$$\psi_{k-1} = \int_0^{d_n} d^{k-1} \cdot (1-P) \, dd \quad [\text{mm}^k]$$

A definícióból következik, hogy v_0 nem más, mint a p_d sűrűségfüggvény alatti terület, és értéke $v_0=1$ (6. ábra).

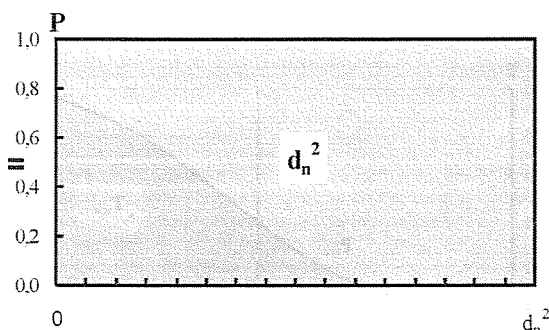
Továbbá, ha $k \neq 0$, illetve, ha $k=1$ akkor:

$$v_{k \neq 0} = k \cdot \Psi_{k-1} \quad [\text{mm}^k] \quad \text{és} \quad v_1 = \Psi_0 = m_{lin} \quad [\text{mm}]$$

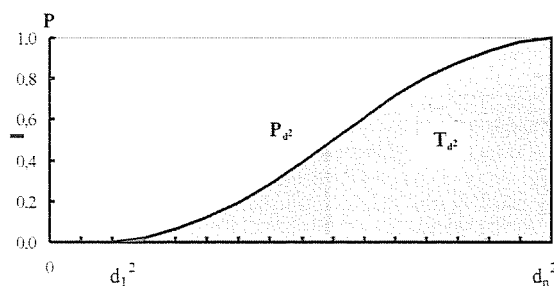
azaz az utóbbi egyben a lineáris finomsági modulus definíciója is.



7. ábra: A P_d szemmegoszlási görbe feletti $\sigma^2 + m_{lin}^2$ terület



8. ábra: A $P=1$ egyenes alatti d_n^2 terület



9. ábra: A P_d szemmegoszlási görbe alatti T_{d^2} terület

$$= \frac{1}{200} \cdot \left[100 \cdot (d_{n-1}^2 + d_n^2) + \sum_{i=2}^{n-1} P_i \% \cdot (d_{i-1}^2 - d_{i+1}^2) \right] - m_{lin}^2 \quad [\text{mm}^2] \quad (3)$$

A (3) jelű egyenlet tartalma a 7., 8. és 9. ábrákon jelölt területekkel kifejezve:

$$\sigma^2 (=) T_{7. \text{ ábra}} - m_{lin}^2 = T_{8. \text{ ábra}} - T_{9. \text{ ábra}} - m_{lin}^2$$

A σ^2 szórásnégyzet felhasználásával kiszámítható a σ szórárs, a σ^2/m_{lin}^2 relatív szórásnégyzet, a σ/m_{lin} relatív szórárs azaz variációs tényező.

5. LOGARITMIKUS VÁRHATÓÉRTÉK ÉS ÁTLAGOS SZEMNAGYSÁG

A szemmegoszlási görbe várható értékét vagy más néven lineáris finomsági modulusát lineáris beosztású abszcisszatengelyű koordináta-rendszerben értelmeztük. Ha a szemmegoszlási görbét tízes alapú *logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordináta-rendszerben ábrázoljuk, akkor az előzőekben tárgyalt várhatóérték helyébe a *logaritmikus várhatóérték* lép. Minthogy a logaritmikus várhatóérték nem más, mint az átlagos szemnagyság tízes alapú logaritmus ($\lg d_{\text{átlag}}$), következik, hogy felhasználásával az *átlagos szemnagyság* kiszámítható. Az átlagos szemnagyságot tehát tízes alapú logaritmikus beosztású abszcisszatengelyű koordináta-rendszerben értelmezzük, és számértéke eltér a lineáris finomsági modulus számértékétől.

A várhatóértéket meghatározása szerint az eloszlásfüggvény feletti terület fejezi ki. A zérus kezdőértékű lineáris abszcisszatengely felett e terület határai $d=0$ és d_n , azaz az ordinátatengely és a legnagyobb szemnagyság.

Logaritmikus beosztású abszcisszatengely esetén a legnagyobb szemnagyság a $\lg d_n$ helyen található, de az ordináta-

tengely helyének értelmezése ennél bonyolultabb, mert az abszcisszatengely kezdőértéke – mivel $\lg 0 = -\infty$ – az eddigiektől eltérően zérustól különböző szám kell, hogy legyen. Az ordinátatengely szerepét a $\lg 1 = 0$ értékű abszcisszarendező veszi át, amely két térfélre osztja a koordináta-rendszert. Mint-hogy az egynél kisebb számok logaritmusai zérusnál kisebb értékű, azaz negatív előjelű, a $\lg 1 = 0$ értékű abszcisszarendezőtől balra eső térfél előjele negatív lesz. A $d_i < 1$ mm legkisebb szemnagyságú szemmegoszlási görbe a legnagyobb szemnagyság értékétől függően e negatív térfélben helyezkedik el (ha $d_n < 1$ mm), vagy a pozitív térfélből oda átnyúlik (ha $d_n > 1$ mm). Ez utóbbi lehetőséget tekinthetjük a gyakorlatban leginkább előforduló általános esetnek.

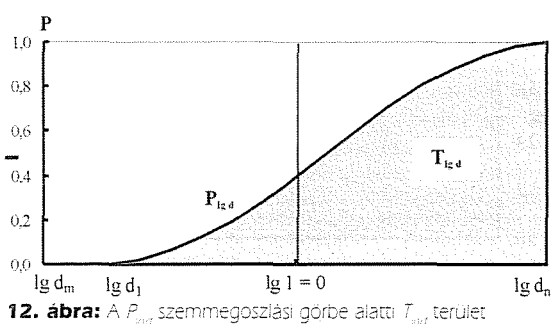
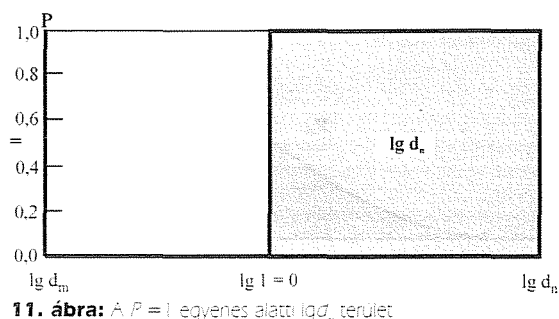
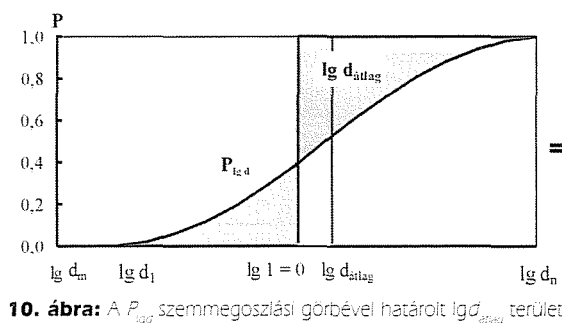
Így a logaritmikus várhatóértékkel kapcsolatban nem beszélhetünk görbe feletti, hanem csak görbével határolt területről. Eszerint a *logaritmikus várhatóérték* azonos a logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordináta-rendszerben ábrázolt eloszlásfüggvénnyel határolt területtel, amely a $\lg 1 = 0$ értékű abszcisszarendezőtől balra lévő negatív térfélben görbe alatti, az attól jobbra lévő pozitív térfélben görbe feletti részterület (10. ábra), amit a következőképpen lehet kifejezni:

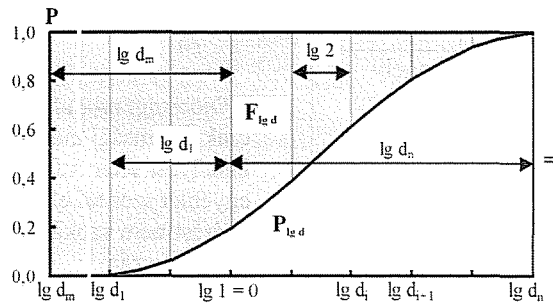
$$\begin{aligned} \lg d_{\text{átlag}} &= \lg d_n - T_{\lg d} = \\ &= \frac{1}{200} \cdot \left[100 \cdot (\lg d_{n-1} + \lg d_n) + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=2}^{n-1} P_i \% \cdot (\lg d_{i-1} - \lg d_{i+1}) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

A (4) jelű egyenletbe a d értékét mm-ben helyettesítjük be, a $\lg d_{\text{átlag}}$ értékét pedig nevezetlen számnak tekintjük.

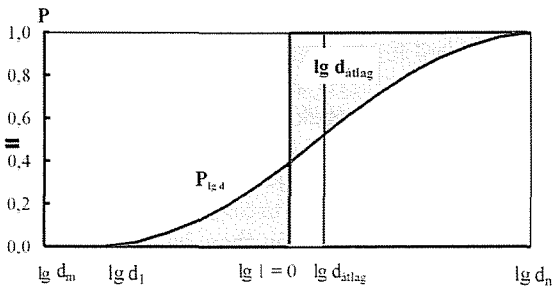
A (4) jelű egyenlet tartalma a 10., 11. és 12. ábrákon jelölt területekkel kifejezve:

$$\lg d_{\text{átlag}} (=) T_{10. \text{ ábra}} = T_{11. \text{ ábra}} - T_{12. \text{ ábra}}$$

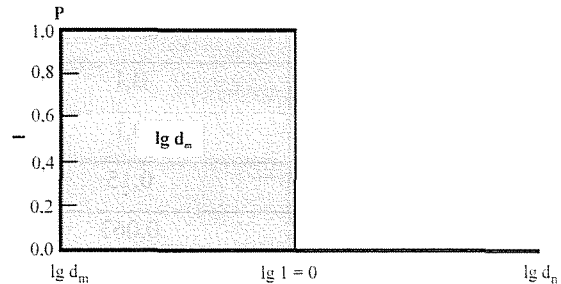




13. ábra: A $P_{lg d}$ szemmegoszlási görbe feletti Hummel-féle $F_{lg d}$ terület



14. ábra: A $P_{lg d}$ szemmegoszlási görbével határolt $lg d_{átlag}$ terület



15. ábra: A $P = 1$ egyenes alatti $lg d_m$ terület

Az átlagos szemmagyság ($d_{átlag}$) a logaritmikus várhatóérték ($lg d_{átlag}$) numerusa, amelyet a (4) jelű egyenlet értékének meghatározása után számíthatunk ki:

$$d_{átlag} = 10^{lg d_{átlag}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

A 10. ábrán kiemelt területet szemlélve belátható, hogy a $lg d_{átlag}$ logaritmikus várhatóérték, és így a $d_{átlag}$ logaritmikus átlagos szemmagyság is, független az abszcisszatengely $lg d_m$ kezdőértékétől.

6. HUMMEL-FÉLE TERÜLET ÉS LOGARITMIKUS FINOMSÁGI MODULUS

A logaritmikus finomsági modulus a logaritmikus várhatóértékből származtatható. Levezetéséhez kell számítani az $F_{lg d}$ Hummel-féle területet, amely a klasszikus megfogalmazás szerint azonos a tízes alapú logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordináta-rendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe feletti területtel, amely az abszcisszatengely $lg d_m$ kezdőértékéig terjed. A művelet úgy hajtható végre, hogy a $lg d_{átlag}$ és a $lg d_m$ által képviselt területek különbségét kell képezni, ami a $lg d_m$ negatív előjele miatt számszakilag összeadást jelent:

$$F_{lg d} = lg d_{átlag} - lg d_m = m_{lg} \cdot lg 2 \quad (6)$$

A $d_{átlag}$ és d_m értékek mértékegysége mm, az $F_{lg d}$ értéke nevezetlen szám, az m_{lg} a logaritmikus finomsági modulus, ugyancsak nevezetlen szám.

A (6) jelű egyenlet tartalma a 13., 14. és 15. ábrákon jelölt területekkel kifejezve:

$$F_{lg d} (=) T_{13. \text{ ábra}} = T_{14. \text{ ábra}} - T_{15. \text{ ábra}}$$

A 13. ábrán jól lehet látni, hogy a Hummel-féle terület nagysága és következésképpen annak származékai, mint az alább

tárgyalásra kerülő logaritmikus finomsági modulusok, jelentős mértékben függenek a Hummel-féle területet határoló $lg d_m$ abszcisszatengely kezdőérték, illetve az ahhoz tartozó $d_m \neq 0$ szemmagyság megállapodás tárgyát képező értékétől.

A XX. század első felének betonkutatói, így az amerikai Abrams (1918), a német Hummel (1930), majd követőik, mint a német Spindel (1931), az osztrák Stern (1932), és később itthon Palotás (1952, 1961), Popovics (1952, 1953), Balázs (1994), a beton adalékanyagok szemmegoszlását a – gyakorlat számára kétségtelenül szemléletes és jól kezelhető – görbe feletti $F_{lg d}$ területtel hozták összefüggésbe, és nem az abszcisszatengely kezdőértékétől független $d_{átlag}$ logaritmikus átlagos szemmagysággal jellemezték. Ezen a gyakorlaton ma már nem igen tudunk változtatni.

Abrams a szemmegoszlás vizsgálatához az amerikai Tyler-féle szitasorozatot használta, amelynek jellemzője, hogy a legfinomabb szita lyukbősége, azaz az abszcisszatengely kezdőértékéhez tartozó szemmagyság 0,147 mm, és a többi szita lyukbősége mindig a sorozatban előtte álló szitáénak a kétszerese, azaz $0,147 \cdot 2^{(i-1)}$, ahol $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Ezt logaritmizálva a szitalyukbőségek helye a logaritmikus beosztású abszcisszatengelyen: $(lg 0,147) + (i-1) \cdot (lg 2)$, azaz egymástól való távolságuk mindig $(lg 2)$, tehát konstans (13. ábra).

Felhasználva a Tyler-féle abszcisszatengely beosztásnak ezt a tulajdonságát, a Hummel-féle terület ($F_{lg d}$) felírható olyan részterületek összegeként, amelyek mindegyikének alaphossza $(lg 2)$, magasságuk pedig a részterületek oldalhosszából, azaz a $(1-P_i)$ ordinátametszékekből kiszámítható (2. ábra, 13. ábra). A (6) jelű egyenlet felírásakor ezt a módszert követtük:

$$F_{lg d} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(1-P_i) + (1-P_{i+1})}{2} \cdot lg 2 = m_{lg} \cdot lg 2 \quad \text{és így} \quad m_{lg} = \frac{F_{lg d}}{lg 2} \quad (7.1)$$

a logaritmikus finomsági modulus. Értéke nevezetlen szám.

Ettől bizonyos mértékben eltér a beton adalékanyag termékek szemmegoszlása jellemzésének szokványos gyakorlata,

1. táblázat: Abszcisszatengely kezdőértékhez tartozó szemnagyság a finomsági modulus és Hummel-féle szétmorzsolódási tényező számításához

Forrás megnevezése	Abszcisszatengely kezdőértékhez tartozó szemnagyság d_m [mm]
Finomsági modulus számítása	
Abrams, 1918	0,147
Hummel, 1930	0,1
Spindel, 1931	0,001
Stern, 1932	0,001
Palotás, 1952	0,1
MSZ 4713:1955	0,1
Palotás, 1961	0,15
MSZ 4713-3:1977	0,063
MSZ 18288-1:1983	0,063 vagy 0,125
MSZ EN 12620:2003	0,125
MSZ EN 13139:2003	0,125
Könnyű adalékanyagok Hummel-féle szétmorzsolódási tényezőjének számítása	
Hummel, 1954	1,0
IME 37:1959	1,0
MSZ 7030:1962	1,0
MSZ 18287-3:1983	0,5

amely az ugyancsak $\lg 2$ alaphosszakhoz tartozó $(1-P_i)$ ordinátametszékeket – azaz a duplázódó lyukbőségű szita-sorozattal végzett szítálás göngyöltett relatív tömegmaradékait – nem a részterületek oldalhosszának, hanem magasságának tekinti, és akkor a Hummel-féle terület termékminősítő értéke:

$$F = \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \cdot \lg 2 = m \cdot \lg 2 \quad \text{ahol: } m = \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (7.2)$$

a finomsági modulus termékminősítő értéke, amit egyszerűen csak finomsági modulusnak szoktak nevezni. Számértéke valamelyest eltér a logaritmikus finomsági modulus (7.1) jelű egyenlet szerinti elméleti számértékétől, de a gyakorlatban az eltérést nem szokás figyelembe venni. Értéke ugyancsak nevezetlen szám.

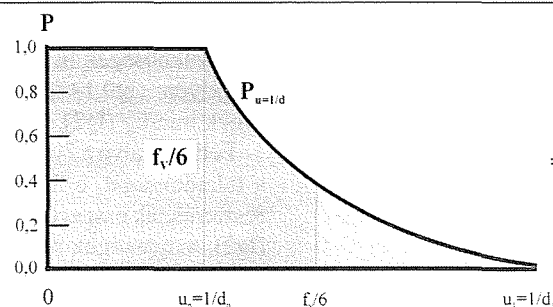
A Tyler-féle szitasorozatot és abszcisszatengely beosztást az Abrams utáni idők betonkutatói is lényegében megtartották, de a legfinomabb szita lyukbőségeként, azaz az abszcisszatengely kezdőértékéhez tartozó szemnagyságként főképp Európában, az itteni hossz mértékeknek és egyéb szempontoknak jobban megfelelő, egyéb számértékeket választottak. Ezekről az 1. táblázatban ad áttekintést.

A logaritmikus finomsági modulus és a termékminősítő finomsági modulus értékét tehát jelentősen befolyásolja az abszcisszatengely kezdőértékéhez tartozó szemnagyság, amelyet ma hazánkban a betonteknológiában, ha $d_i \geq d_m$, gyakorlatilag és általában – egyéb feltételek hiányában – mindig $d_m = 0,063$ mm-nek veszünk fel.

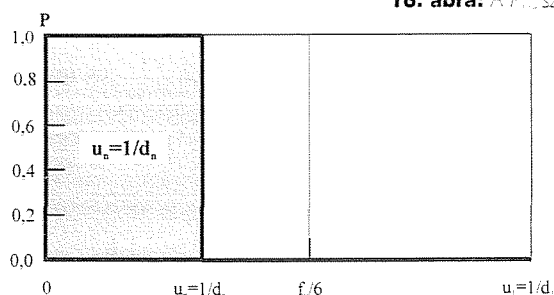
Az abszcisszatengely kezdőérték nagysága természetesen a Hummel-féle szétmorzsolódási tényezőt is befolyásolja, ez azonban nem szemmegoszlási jellemző, hanem szemhalmazszilárdsági mutatószám, amely jelenlegi vizsgálódásainknak nem képezi közvetlen tárgyát.

7. TÉRFOGATI FAJLAGOS FELÜLET ÉS (TÖMEGI) FAJLAGOS FELÜLET

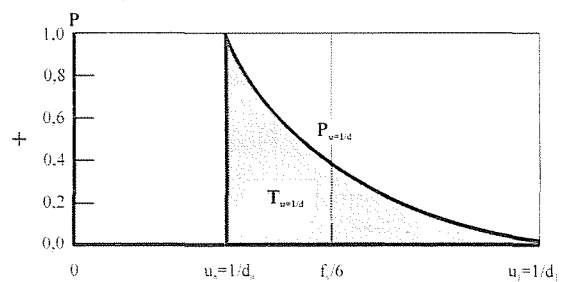
A térfogati fajlagos felület az egységnyi testtérfogatú szemhalmaz szemekinek felületösszege, azaz a szemhalmaz szemek külső felülete összegének és a szemek – többnyire pórusokat is tartalmazó, tehát a külső felület által határolt – térfogata összegének hányadosa. Grafikus számításának részletes elemzését Fáy és Kiss (1961) végezték el.



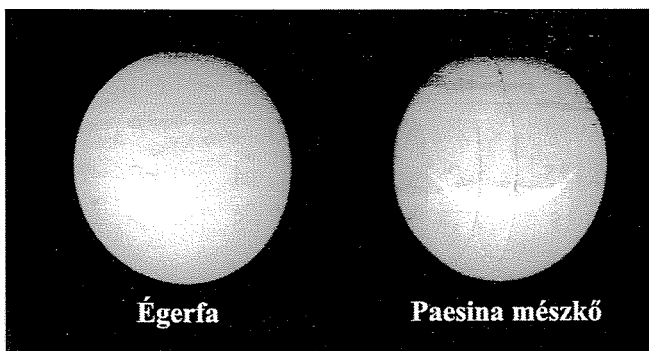
16. ábra: A $P_{\dots}$ szemmegoszlási görbe alatti $f_v/6$ terület



17. ábra: A $P = 1$ egyenes alatti $1/d_n$ terület



18. ábra: A $P_{1/d}$ szemmegoszlási görbe alatti $T_{1/d}$ terület



19. ábra: Közel azonos átmérőjű fa és kő golyó a 2. táblázat példájához

Golyó anyaga	Égerfa	Paesina mészkő
Átmérő [mm]	40,5	40,6
Felület [mm ²]	5153	5178
Térfogat [mm ³]	34783	35041
Tömeg [g]	19,52	86,05
Testsűrűség [kg/m ³]	561	2456
Fajlagos felület [m ² /kg]	0,2640	0,0602
Térfogati fajlagos felület [mm ² /mm ³]	0,14815	0,14778

2. táblázat: Példa két közel azonos átmérőjű, de eltérő testsűrűségű golyó fajlagos felületének és térfogati fajlagos felületének összehasonlítására

A gömb vagy kocka alakú, tehát idealizált szemalakú szemek halmazának f_V térfogati fajlagos felületét kifejezhetjük, mint a p_u sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett (-1)-rendű v_{-1} nyomatóka hatszorosát:

$$f_V = 6 \cdot v_{-1} = 6 \cdot \int_{d_1}^{d_n} d^{-1} \cdot p \, dd \quad [\text{mm}^{-1}]$$

Bevezetve az $u=d^{-1}$ [mm⁻¹] jelölést és a fenti egyenletbe behelyettesítve megfélelőit, bizonyítható, hogy

$$f_V = 6 \cdot v_{-1} = 6 \cdot \left(\int_0^{u_n} du + \int_{u_n}^{u_1} P_u \, du \right) \quad [\text{mm}^{-1}]$$

Eszerint a térfogati fajlagos felület a *reciprok beosztási abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe alatti terület hatszorosával egyenlő, azaz

$$\begin{aligned} f_V &= 6 \cdot (d_n^{-1} + T_{d^{-1}}) = \\ &= \frac{3}{100} \cdot \left[100 \cdot (d_{n-1}^{-1} + d_n^{-1}) + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=2}^{n-1} P_i \% \cdot (d_{i-1}^{-1} - d_{i+1}^{-1}) \right] \quad [\text{mm}^{-1}] \end{aligned} \quad (8)$$

A (8) jelű egyenlet tartalma a 16., 17. és 18. ábrákon jelölt területekkel kifejezve:

$$f_V (=) 6 \cdot \{T_{16. \text{ ábra}}\} = 6 \cdot \{T_{17. \text{ ábra}} + T_{18. \text{ ábra}}\}$$

A szemhalmaz térfogati fajlagos felületének értéke nagyon

érzékeny a finomszemek nagyságára és mennyiségére. Például szélső esetként a $d_i=0$ legkisebb szem nagyságú szemhalmazok térfogati fajlagos felületének számítása kifejezetten nehézségekbe ütközik, mert ha $d_i=0$, akkor $u_i=\infty$ és $f_V=\infty$, azaz a térfogati fajlagos felület értéke végtelen nagyra adódik. Ezért feltételül szoktuk szabni, hogy $d_i \geq 0,001$ mm illetve $u_i \leq 1000$ mm⁻¹ kell legyen. Bár e feltétel önkényes, értéke azért fogadható el, mert a beton adalékanyagban a legfinomabb szemek az agyag szemek, (amelyek szem nagysága 0,002 mm-nél kisebb,) és ezek mennyiségét egyébként is tudatosan korlátozzuk.

Az építőanyagipari gyakorlatban a szemhalmazok egységnyi mennyiségére eső felületet a *térfogati fajlagos felület* helyett szívesen fejezik ki a *tömegi fajlagos felülettel* (Nischer, 1996), amit egyszerűen *fajlagos felületnek* neveznek. Ennek mérés technikai oka van, míg ugyanis a térfogati fajlagos felület egy számított szemmegoszlási jellemző, addig a fajlagos felület értékét meg lehet mérni. A fajlagos felület mértékegysége m²/kg, ami 1000 mm²/g-nak felel meg.

Az f fajlagos felület és az f_V térfogati fajlagos felület kapcsolatát a (9) jelű egyenlet írja le.

$$f = 10^3 \cdot \frac{f_V}{\rho_T} \quad [\text{m}^2/\text{kg}] \quad (9)$$

ahol:

f_V = a térfogati fajlagos felület [1/mm]

ρ_T = a kiszáritott állapotú szemhalmaz szemekinek átlagos testsűrűsége [kg/m³]

A fajlagos felület az anyag testsűrűségének is függvénye, ezért – a térfogati fajlagos felülettel ellentétben – nem tekinthető kifejezetten szemmegoszlási jellemzőnek, hiszen a fajlagos felület csak az azonos testsűrűségű szemek halmazai felületének közvetlen összevetésére alkalmas.

Ennek alátámasztására a 2. táblázatban példát mutatunk be a közel azonos átmérőjű, de eltérő tömegű és testsűrűségű égerfa és paesina mészkő (19. ábra) golyó fajlagos felületének és térfogati fajlagos felületének összehasonlítására. A közel azonos átmérőkből kifolyólag a golyók térfogati fajlagos felületei is közel állnak egymáshoz, míg az eltérő testsűrűségek jelentős mértékben, fordított arányban eltérő (tömegi) fajlagos felületeket eredményeznek.

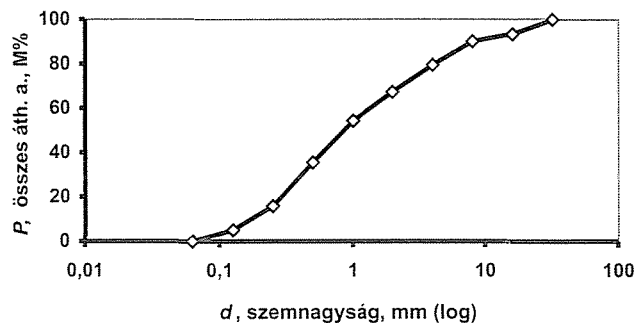
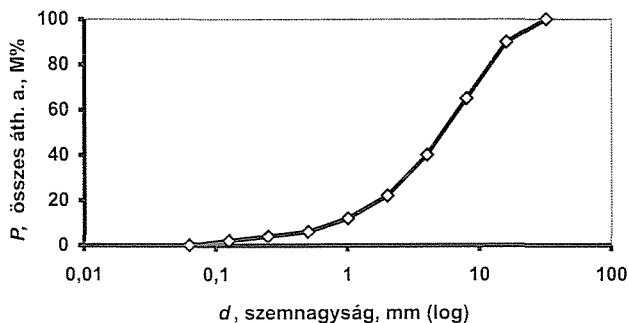
8. PÉLDA

A 3. táblázatban két példát mutatunk be, egymással párhuzamba állítva, a szemmegoszlási jellemzők számításának eredményére. A 3. táblázatban látható durvább és finomabb szemmegoszlási jellemzőinek összevetéséből jól látható, szemmegoszlások hogy a szemmegoszlási jellemzők értékei a szemmegoszlási görbe változásait érzékenyen követik, elhelyezkedését kifejező módon leírják.

9. KÖVETKEZTETÉSEK

A szemmegoszlási jellemzők meghatározására kidolgozott grafoanalitikus számításmód előnye, hogy alapelve egységes szemléletű, a szitavizsgálathoz tetszőleges lyukbőségű sziták használatát – szedimentálásnál tetszőleges szem nagyságok ülepedésének vizsgálatát – teszi lehetővé, a szemmegoszlás függvény meghatározását szükségtelenné teszi, a koordinátarendszerbeli terület, illetve az azzal arányos hosszúság mérést kiküszöbölő, és tulajdonképpen a vizsgálat teljességéhez

Durvább szemmegoszlás				Finomabb szemmegoszlás			
d [mm]	P [tömeg%]	d [mm]	P [tömeg%]	d [mm]	P [tömeg%]	d [mm]	P [tömeg%]
$d_1=0,063$	$P_1=0$	$d_6=2$	$P_6=22$	$d_1=0,063$	$P_1=0$	$d_6=2$	$P_6=67,3$
$d_2=0,125$	$P_2=2$	$d_7=4$	$P_7=40$	$d_2=0,125$	$P_2=5$	$d_7=4$	$P_7=79,4$
$d_3=0,25$	$P_3=4$	$d_8=8$	$P_8=65$	$d_3=0,25$	$P_3=15,9$	$d_8=8$	$P_8=90,0$
$d_4=0,5$	$P_4=6$	$d_9=16$	$P_9=90$	$d_4=0,5$	$P_4=35,5$	$d_9=16$	$P_9=93,5$
$d_5=1,0$	$P_5=12$	$d_{10}=32$	$P_{10}=100$	$d_5=1,0$	$P_5=54,2$	$d_{10}=32$	$P_{10}=100$



m_{lin}	σ^2	σ	σ^2/m_{lin}^2	m_{lin}	σ^2	σ	σ^2/m_{lin}^2
7,648	57,598	7,589	0,985	3,414	41,472	6,440	3,557
$lg d_{\text{átlag}}$	$d_{\text{átlag}}$	$F_{dm=0,063}$	m_{lg}	$lg d_{\text{átlag}}$	$d_{\text{átlag}}$	$F_{dm=0,063}$	m_{lg}
0,629	4,258	1,830	6,079	0,028	1,066	1,228	4,081
f_v	f ($\rho = 2640 \text{ kg/m}^3$)			f_v	f ($\rho = 2640 \text{ kg/m}^3$)		
4,357	[mm ⁻¹]			13,735	[mm ⁻¹]		

3. táblázat: Példák a szemmegoszlási jellemzők számításának eredményére

hozzátartozó szemmegoszlási görbe megszerkesztését sem igényli. A számítási módszer alkalmazása egyszerű és hasonló alakú képletek megoldásában áll, amelyek könnyen számítógépre is vihetők.

A számítási módszert az egykori, a *BME Ásvány- és Földtani Tanszékén* működött szabványosítási bizottság annak idején elfogadta, és a *Magyar Szabványügyi Hivatal* szabványosította [MSZ 18288-5:1981]. Az európai szabványok között hasonló témakörű szabvány megjelenése nem igen várható, ezért reményeink szerint az MSZ 18288-5:1981 szabvány az európai szabványok honosítása és az azonos tárgykörű nemzeti szabványok visszavonása után is érvényben maradhat; lehetséges, hogy az MSZ 18280... nemzeti kő-kavics szabványsorozat tagjai közül egyedülként.

10. LEGFONTOSABB JELÖLÉSEK

d	a névleges szemmagyság, független változó
$d_{\text{átlag}}$	az átlagos szemmagyság tízes alapú logaritmikus beosztású abszcisszatengely esetén, a $lg d_{\text{átlag}}$ logaritmikus várhatóérték numerusa
d_i	az i -edik rész-szemhalmaz határ
d_m	a $lg d_m$ abszcisszatengely kezdőértékének a numerusa, az abszcisszatengely kezdőértékéhez tartozó szemmagyság a logaritmikus finomsági modulus számításához
f	a fajlagos felület
f_v	a térfogati fajlagos felület
F	Hummel-féle terület gyakorlati termékminősítő értéke
F_{lgd}	a Hummel-féle terület

k	a függvény alatti terület nyomatókának rendje
$lg d_{\text{átlag}}$	az átlagos szemmagyság tízes alapú logaritmus, a logaritmikus várhatóérték
$lg d_m$	az abszcisszatengely kezdőértéke tízes alapú logaritmikus beosztású abszcisszatengely esetén
m	a logaritmikus finomsági modulus gyakorlati termékminősítő értéke
m_{lg}	a logaritmikus finomsági modulus
m_{lin}	a várhatóérték, vagy más néven a lineáris finomsági modulus
n	a vizsgálati szemmagyságok száma
p_d	a sűrűségfüggvény
p_δ	a δ szerint transzformált sűrűségfüggvény
P_d	az eloszlásfüggvény, illetve a szemmegoszlási görbe
P_δ	a δ szerint transzformált eloszlásfüggvény illetve szemmegoszlási görbe
P_i	az i -edik rész-szemhalmaz határhoz tartozó eloszlásfüggvény érték
T_z	A z -edik ábrán jelölt terület
T_δ	a P_δ transzformált eloszlásfüggvény alatti területet
δ	a δ szemmagyságnak a szemmegoszlási jellemzőkkel arányosan transzformált értéke
μ_2	a p_δ sűrűségfüggvény alatti területnek a várhatóérték függőlegesére vett másodrendű centrális nyomatóka
μ_k	a p_δ sűrűségfüggvény alatti területnek a várhatóérték függőlegesére vett k -adrendű centrális nyomatóka
$v_0=1$	a p_δ sűrűségfüggvény alatti terület
v_{-1}	a p_δ sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett (-1)-rendű nyomatóka

$v_1 = \Psi_0$	a p_δ sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett elsőrendű nyomatéka, amely egyenlő a P_δ eloszlásfüggvény feletti területtel
v_2	a p_δ sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett másodrendű nyomatéka
v_k	a p_δ sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett k-adrendű nyomatéka
ρ_T	a kiszáritott szemhalmaz szeméinek átlagos testsűrűsége
σ	a szórás
σ^2	a szórásnégyzet
σ/m_{lin}	variációs tényező
σ^2/m_{lin}^2	a relatív szórásnégyzet
Ψ_1	a P_δ eloszlásfüggvény feletti területnek az ordinátatengelyre vett elsőrendű nyomatéka
Ψ_{k-1}	a P_δ eloszlásfüggvény feletti területnek az ordinátatengelyre vett (k-1)-edrendű nyomatéka (ha k nem negatív szám)

11. HIVATKOZÁSOK

- Abrams, D. A. (1918), "Design of concrete mixtures", *Bull. 1. Structural Materials Research Laboratory, Lewis Inst., Chicago*
- Balázs Gy. (1994), "Beton és vasbeton I. Alapismeretek története", *Akadémi Kiadó, Budapest*
- Beke B. (1963), "Aprításelmélet", *Akadémi Kiadó, Budapest*
- Bodnár G., Puskásné H. I., Kausay T. (1979), "A szemeloszlásjellemzők grafoanalitikus számításmódja", *Építőanyag*, XXXI. évf. 8. szám, pp. 291-297.
- Fáy Gy., Kiss M. (1961), "Örlemények finomságának és homogenitásának meghatározása grafikus eljárással", *Energia és Atomtechnika*, 14. évf. 8-9. szám, pp. 360-364.
- Hummel, A. (1930), "Die Auswertung von Siebanalysen und der Abrams'sche Feinheitsmodul", *Zement*, H. 15. pp. 355-364.
- Hummel, A. (1959), "Das Beton-ABC. Ein Lehrbuch der Technologie des Schwerbetons und des Leichtbetons", *Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin*
- Kausay T. (1975), "Homokos kavicsok és zúzott adalékanyagok szemeloszlásjellemzőinek analitikus megállapítása", *Mélyépítéstudományi Szemle*, XXV. évf. 4. szám, pp. 155-164.
- Kausay T. (2003), "Kőanyag-halmazok szemmegoszlási jellemzőinek grafoanalitikus számítása", *Mérnökgeológiai Jubileumi Konferencia*, Szerkesztette: Török Ákos, Műegyetemi Kiadó, pp. 159-177.
- MSZ 4713-3:1977, "A beton alapanyagainak munkahelyi vizsgálata. Adalékanyag", *Magyar Szabványügyi Hivatal*, 6 p.
- MSZ 18288-5:1981, "Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlásjellemzők számítása", *Magyar Szabványügyi Hivatal*, 6 p.
- Nischer, P. (1996), "Verbesserung der Betoneigenschaften durch Optimierung der Betontechnologie", *Beton + Fertigteil-Jahrbuch*, 44. Ausgabe, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 78-85. pp.
- Palotás L. (1952), "Minőségi beton", *Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, Budapest*
- Palotás L. (1961), "Építőanyagok" II. kötet. *Akadémi Kiadó, Budapest*
- Popovics S. (1952), "A betonadalék szemszerkezetének számszerű jellemzéséről", *MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei*, 7. kötet, 1-3. szám, pp. 45-75.
- Popovics S. (1953), "Eljárások a betonadalék szemszerkezetének elbírálására", a Mérnöki Továbbképző Intézet jegyzete, *Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest*
- Spindel, M. (1931), "Zeichnerische Darstellung des Zusammensetzung von Beton und Betonzuschlagstoffen im Vierstoffparallelogram", *Beton und Eisen, Berlin*, H. 1-2. pp. 18-21., 32-37.
- Stern, O. (1932), "Vorschlag für eine Norm: Kornpotenz, Feinheitsmodulloser Haufwerke" *Sparwirtschaft, Wien*, H. 4. p. 125.
- Kausay Tibor (1934), okl. mérnök (1961), okl. vasbetonépítési szakmérnök (1967), egyetemi doktor (1969), a műszaki tudomány kandidátusa (1978), Ph.D. (1997), a BME Építőanyagok Tanszék címzetes egyetemi docense (1985), a BME tiszteleti egyetemi tanára az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken (2003). A *fib* Magyar Tagozatának tagja (2000). Az MTA Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének gróf Lónyay Menyhért emlékérmes tiszteletbeli tagja (2003). Tevékenysége a betontechnológiai és a kő- és kavicsipari kutatásra, fejlesztésre, oktatásra, szabványosításra terjed ki. Publikációinak száma mintegy 120.

GRAPHO-ANALYTICAL CALCULATION OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF CONCRETE AGGREGATES

Dr. Tibor Kausay

The important particle size distribution characteristics of concrete aggregates include mean value, standard deviation, coefficient variation, average particle size, fineness modulus and specific surface (on volume basis).

A new calculation method is described which incorporates the benefits of both graphical and analytical methods; it can be well used in research and practical work and is ready for standardization. The calculation includes the solution of simple equations, being formally similar; the numerical values of the sieve and sedimentation tests can be directly substituted into the equations. The equations can be rapidly solved by a simple program written for a PC.

ACÉLSZÁLERŐSÍTÉSŰ BETONOK TARTÓSSÁGA



Dr. Erdélyi Attila

Az acélszál erősítésű beton (régábban acélrost- vagy acélhajbeton) tartósságát, fagy- és sózásállóságát, lényegesen kevésbé ismerjük, mint a szálak bekeverése révén elérhető szívósság növekedést. Egyesek feltételezik, hogy a felvett sólé, víz (pl. csapóeső) megfagyásakor keletkező repedések miatt az acélszálakhoz jutó oxigén, klorid, széndioxid és a nedvesség hatására a szénacél szálak megrozsdásodnak és rozsdafolt, ill. a rozsdanyomás miatt lepattogzás keletkezik. Megvizsgáltuk a 3%-os NaCl oldattal fokozatosan telített betonhasábok tömegvesztését a szokásosnál szigorúbb körülmények közt egyrészt végig sóoldatban tartva fagyasztottunk és olvasztottunk, másrészt a kapilláris felszívódást folyamatosan lehetővé tettük. Emiatt már 32 ciklus után 5% körüli, tehát az MSZ 4719 szerint a fagyállóság kimerülését jelentő tömegvesztéseget mértünk. Meghatároztuk még a kezdeti, E_0 rugalmassági modulusokat és a hasábszilárdságokat is fagyasztás előtti és utáni állapotban. Megmértük az acélrostok által okozott fajlagos villamos ellenállás csökkenését is, változó acélrost tartalmú és különböző fizikai állapotú (szárított, sóoldattal telített) betonok esetén.

Kulcsszavak: fagyállóság, olvasztósóállóság, lehámlás (lepattogzás), E-modulus változása, fajlagos villamos ellenállás

1. BEVEZETÉS

Az acélszállal erősített beton előnyös mechanikai tulajdonságait és egyes különleges paramétereitől, pl. az acélszál folyáshatárától függő szívósságát (Vandewalle, 1996), vagy a repedés utáni „szívós” szilárdságot (PCS=post crack strength) a szálfajta (hossz, karcsúság, a huzalvég kiképzése stb.) és az adagolás ($25 \dots 75 \text{ kg/m}^3$) hatását a nemzetközi szakirodalom bőségesen tárgyalja (ezekről összefoglalást egy korábbi T 016683 sz. OTKA munkánkban alapuló cikkekben beszámoltunk, illetve elemeztük ezeket (Erdélyi, 1997, 1999; Cassanova, Rossi, Barr 1996). A fagy és sózásállóság vizsgálatának módszertani és betonösszetételi kérdéseit külön is vizsgáltuk. (Erdélyi, 1996). A tartósságot (elsősorban a fagy- és olvasztósó állóságot) jelen OTKA T 032883 számú kutatásainkban a fagyasztási ciklusok okozta lehámlás (tömegvesztés), az E_0 modulus változás, a hasábszilárdság csökkenés (1:2 arányú próbatestek) és a különféle összetételű betonok vákuumos és másféle vízfelvétele alapján mértük. Meghatároztuk a sóoldat és az acélszálak mennyisége okozta villamos vezetőképesség növekedését is. A megrepesztett és kiékel (e módszert tudomásunk szerint elsőként alkalmaztuk), klimatikusán fárasztandó gerendák erő-lehajlás diagramjának változása és a prEN 12390:9 (2002, D) egyoldali sóoldatos lehámlás mértéke közt kívánunk összefüggést találni jelenleg folyó kísérleteink alapján. Az acélszáltartalom esetünkben és $25 \dots 75 \text{ kg/m}^3$ kétféle, de nem különlegesnek (mint pl. Rossi, Renwez, Guerrier, 1996) számító betonszilárdság (kb. 52 illetve 62 N/mm^2 , 6 éves, tehát már jól karbonátosodott betonok) és a kétféle (30/0,5 DRAMIX, illetve hullámosított D&D) huzalfajtát is összehasonlítva). Az osztrák „Richtlinie Faserbeton” (2002. március, ÖVBB) az acélrostbeton tartósságára megjegyzi, hogy horganyzott huzalok esetében a beton lúgossága miatt inhibitorokat kell alkalmazni, – de a tiszta szénacélrostok rozsdásodása csak a védő, nem karbonátosodott betonzónán túlnyúló huzalszakaszt érinti és a szokásos húzott vagy forgácsolt acélrostok rozsdásodása nem okozhat lepattogzást, s az egyes rostok közti kontakt-korrózió esete is kizárt. A felületre kikerkező szálak rozsdafoltja a látszóbetont (a látványt) rontja, – de a teherbírást nem. Eppen ezt kívántuk a T 032883 OTKA mun-

kánkban többek között ellenőrizni. Külön cikkben elemezzük majd a most induló és a már említett prEN 12390:9(2002, D) szerinti lehámlási referencia módszer eredményeit, valamint az ultrahangos vizsgálati eredményeket. E módszer egyelőre nem látszik alkalmasnak a külső lehámlás-lepattogzás (tömegvesztés) nyomon követésére, ha a próbatest belső „magja” repedezetlen és ép marad.

2. A FAGY- ÉS SÓZÁSÁLLÓSÁG VIZSGÁLATI MÓDSZEREI ÉS KRITIKÁJUK

Az ASTM minősítés módszerként csak a közvetlen fagyasztással-olvasztással és a NaCl (konyhasó) oldattal valamiképp telített acélszálas (és a szál nélküli, etalon betonok) összehasonlítását fogadja el. Ezért itt nem tárgyaljuk az ún. közvetett fagyállósági módszereket, amilyenek pl. jellegzetesen a szilárd beton csiszolatán láthatóvá tett és mért légbuborék rendszer jellemzői: átlagos buborékméret, a gömb alakú buborékok fajlagos felülete (m^2/m^3), az 1 mm-nél kisebb légbuborékok összes térfogata betonban cm^3/m^3 , illetve $\text{tér}\%$) és mind ezekből számítható ún. távolsági tényező (mm; angolul: spacing factor, SF; németül: Abstand Faktor AF). Utóbbira a nemzeti szabványok vagy műszaki előírások $\leq 0,18 \text{ mm}$, $\leq 0,22 \text{ mm}$, $\leq 0,25 \text{ mm}$ stb. (a kisebb szám a szigorúbb esetekre vonatkozik) értéket írnak elő. Bevizsgált adalékszer esetén az MSZ EN 206-1:2002 megelégszik a friss beton mért $\geq 4 \text{ tér}\%$ légtartalom kimutatásával. A különféle NAD-ok (nemzeti alkalmazási dokumentumok, szabályok) azt is pontosan előírják, hogy d_{max} (mm) legnagyobb szemnagyságtól (tulajdonképpen a telített beton péptartalmától) függően csökkenő d_{max} -hoz legálább mekkora növekvő légtartalom szükséges.

Közvetett módszer még az 1 bar nyomáson és a 150 bar nyomáson felvett víz térfogatának hányadosa is: $V_1/V_{150} \leq 0,8$ követelménnyel (DIN). Ezeket régábban részletesen tárgyaltuk hazai mérések és külföldi adatok, illetve előírások alapján (Erdélyi, 1988; Balázs, Erdélyi, Kovács, 1990 és 1991; Erdé-

lyi 1996, Erdélyi, 1997; szerk.: Balázs) – de a csiszolalelemzési módszert pontosan leírja a szerző által lektorált MSZ EN 480-11:1998 (légbuborékelemzés) szabvány is.

Jelen cikkben közvetlen módszerként a sóoldatba ismételt, ténylegesen befagyasztott és abban felolvasztott különféle próbatesteken mért tömegveszteségeket, a „fagyasztott” és „nem fagyasztott”, illetve a fagyasztás előtti és fagyasztás utáni hasábok $\sigma - \varepsilon$ diagramját, E_0 kezdeti rugalmassági modulusát, hasábszilárdságát elemeztük. A rezonancia frekvenciás vizsgálat, tehát, az n_0 természetes (ön)rezgés számot ugyanazon próbatest bármely állapotában mérő műszer országos hiányában és így az n_0 -ból kiszámítható $E_{din} = K \cdot n_0^2$ (és ennek változása) helyett – csak az ultrahang terjedési sebesség mérését használhattuk roncsolásmentes módszerként, noha az USA-ban az előbbi az igazán elfogadott módszer (Cohen et al, 1992). Az E_0 -nak osztrák előírások szerinti mérése, azaz a nyomószilárdság 1/3 részének – ez kb. 12-14 N/mm² volt – megfelelő feszültségi szintig 3-szori ismétlésben s az utolsó ágból számított kezdeti statikus húrmódulus mérése helyettesítette nálunk – félig roncsolásmentes módszerként – az E_{din} önrezgésszámos mérést, amelyet egyébként a legjobbnak találunk (Cohen et al, 1992; Jacobsen, Sellevold, 1996).

Szerte a világon alapvetően kétféle közvetlen vizsgálati alapelv és módszer van:

a) A teljes próbatest oldatban vagy vízben fagyasztása/olvasztása és – előírt ciklusszám után a tömegveszteségnek, a szilárdságnak az egész a ciklusok miatt belülről, egész térfogatában mikrorepedezett próbatesten való mérése: a „térfogatos tönkremenetel” mérése roncsolásosan és/vagy e folyamat roncsolásmentes végigkísérése az n_0^2 (Hz²) és az ultrahang, UH (km/s) változásával: mindezek a teljes tömeget, a teljes térfogatot „világítják át”. Az USA-ban, Japánban 300 ciklusig is elmennek.

b) Újabban inkább a felületi lehámlást (angolul: scaling off, németül: Abplatzung, Abwitterung) mérik lemez alakú próbatesteknek csak az egyik oldalán alkalmazott és fagyasztott/olvasztott víz vagy sóoldat hatására néhány ciklusonként (pl. ÖNORM B 3003-nál 5 ciklusonként), egyébként szigorúan előírt körülmények között. A ciklusszám 28 vagy 56 szokott lenni, utóbbi a svéd SS 137244 szerinti legkisebb ciklusszám.

Példaként a hosszas tudományos munka eredményeként nemsokára végleges szabványként életbe lépő prEN 12390-a (Draft, Entwurf) 2002. áprilisi előírásait ismertetjük.

A hivatkozott prEN 12390:9 (2002, D)

b.1) *referencia módszerként az ún. lemez-eljárást írja elő, amely szerint egy 150 mm-es kockából kivágott 50 ± 2 mm-es betonszeletet kell $50 + 20$ mm magas gumiszalaggal körberagasztani, majd PE-fóliával lefedni, miután 3 mm-es magasságú folyadékkal (desztillált vízzel, ill. 3%-os NaCl oldattal) feltöltötték. Szigorúan előírt hőmérsékleti program szerint (szabványos fagyasztószekrény!) olvasztott/fagyasztott próbatestokról 7-14-28-42-56 ciklus után előírt módon le kell önteni és szűrni a lehámlott anyagot. Mértékadó az 56 ciklus utáni egyedi (próbatestenkénti) és az átlagos lehámlás végösszege (≤ 1 kg/m² a svéd NAD követelménye, tehát $\leq 0,1$ g/cm²).*

b.2) *helyettesítő (alternatív) módszer a „kockavizsgálat”; 100 mm-es (nem 150 mm) teljesen folyadékban álló telített kockákat kell egy különleges (táguló) tartályba helyezve fagyasztani/olvasztani és 56 ciklus után kell a kockák tömegveszteségét megállapítani: mértékadó a 7-14-28-42 és 56 ciklus utáni tömegveszteség, 0,1 % pontossággal megadva.*

b.3) *helyettesítő (alternatív) CF-CDF módszer. A CF módszer esetében desztillált vizet (Capillar-Frost-Resistance), a CDF módszer esetében 3 %-os NaCl oldatot használnak (Capillar-Deicing-Frost-Resistance) úgy, hogy minden egyes (kb. 70 mm*

vastag) próbatestet alatti oldatot külön hűtve és fűtve úgy kell kezelni, hogy a próbatest alulról, kapillárisan szívja föl az oldatot (vizet) és lefelé hámlasztja le az alatta álló edénybe a „lefagyó betont”. Erről a CDF-módszerről most csak mint harmadikként ajánlottról szólnak, noha már 1996-ban megjelent a szakirodalomban (Setzer, Fagerlund, Jansen, 1996).

Az általunk ebben a rostbeton tartósságát elemző (az acélszál itt a mértékadó a kloridos környezet miatt) OTKA munkában az b/1 alatt alatti referencia-módszert választottuk s ehhez a készüléket 2003. év végén be is tudtuk szerezni. Eredményeikről majd csak későbbi cikkünkben tudunk beszámolni

Egy, a b.1, b.2 és b.3 módszert helyettesítő, „CDF-izű” eljárást „találtuk ki”, a kutatás megindíthatósága végett. Ebben a kapilláris vízfelszívás szerepet kap, s a tönkrementeli ciklusszám csökken.

3. TARTÓSSÁGI KÉRDÉSEK: FAGYÁS, OLVASZTÁS, SÓZÁS

3.1 Áttekintés, előzmények

A beton, illetve vasbeton (így az acélosztos vagy más néven acélszálereősítésű beton) tartósságának egyik ismérve, hogy egyrészt az MSZ-EN 206-14:2002 szerinti, ottani 1. táblázatban megadott XD3 kitéti osztálynak (környezeti körülmények) megfelel, azaz váltakozva nedves és száraz állapotban a vasbetétet támadó kloridnak (Cl⁻ tehát pontosabban klorid-ionoknak) kitéve megfelelően ellenálló (pl. sópermetnek kitett híd szerkezeti elemek, parkológarázsok födémek, vasbeton burkolatok, végig vasalt, vagy a hézagoknál tüskézett hézagvasalt pályalemezek), másrészt megfelel az XF2 és XF4 szerinti kitéti osztálynak, amely a beton tartósságát kívánja meg függetlenül illetve vízszintes betonfelületektől, sópermettel vagy közvetlen sózással igénybevet, mérsékeltten vagy erősen vízzel telített állapotban. (pl. térburkolatok, Ujhelyi, 1999).

Sajnálatos, hogy a Na⁺-ionok veszélyes hatásával az EN 206-1 nem foglalkozik, ezek ugyanis a cementkövet még külön is tönkreteszik Na⁺ és Ca⁺⁺ cserebomlás révén (Taylor, 1998).

Az MSZ EN 206-1 F1 nem kötelező mellékletében XD3-ra $v/c \leq 0,45$, $c_{min} = 320$ kg/m³ C35/45 az ajánlott tulajdonságok – az XF2-ben és XF4-ben (csak a szigorúbbat véve) $v/c \leq 0,45$, $c_{min} = 340$ kg/m³ és C30/37 az ajánlott követelmény, ha a frissbeton lég(buborék) tartalma $\geq 4,0$ térf.% és az adalékanyag is fagyálló, a prEN 12620:2000 értelmében. A szabvány fenti F1 mellékletében az (a) megjegyzés szerint a beton fagyállóságát vizsgálattal kell igazolni, ha nem alkalmaznak légbuborékképző adalékszert. Ez volt a mi esetünk is, aholis közismerten fagyálló dunai homokos kavics adalékanyagot alkalmaztunk és az acélosztok (szálak) fagyállósági hatását (vagy

1. táblázat: Lehámlási tömegveszteség, I. sorozat

Betonjel	3-3 db hasáb légszáraz tömege (g)	Összes szártított lehullott morzsalék (g)	Tömegveszteség összesen %	
			Bruttó*	Nettó**
NA II E (szál nélküli)	6569	456 (+44,5)	6,9 7,6	6,9 7,6
NA II 25	6428	297 (+13,1)	4,6 4,8	4,6 4,63
NA II 50	6519	250,5 (+13,3)	3,8 4,0	3,86
NA II 75	6608	257 (+22,6)	2,9 4,2	3,0
KA I E (szál nélküli)	6072	383,2 (+13,8)	6,3 6,5	6,3
KA I 25	6451	379,5 (+13,8)	5,9 6,1	5,95
KA I 50	6459	334 (+18,6)	5,2 5,5	5,3
KA I 75	6584	223 (+30,5)	3,4 3,8	3,5

Megjegyzés: *teljes tömeg; **csak a beton tömegére

hatástalanságát) éppen ezért *nem légbuborékos betonokon* vizsgáltuk, hogy a buborékrendszer kedvező hatása „ne takarja el” az acélrostok esetleges javító hatását.

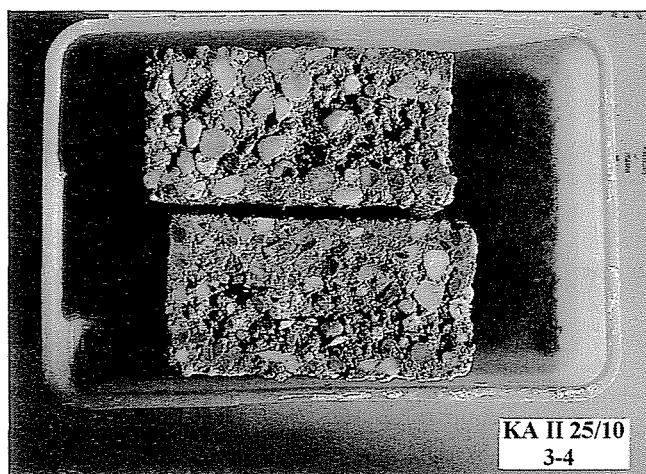
„K4” jelű (K = kisebb szilárdság) betonjainak $c = 300 \text{ kg/m}^3$ CEM I. 42,5 (bélapátfalvai) cementtel és $v/c = 0,54$ -gyel 28 napos vízben tárolás után 150 mm élhosszúságú kockán $49-51-49-54-47-45-47 \text{ N/mm}^2$ nyomószilárdságúak voltak (itt száltartalomtól függetlenül, gyártási sorozatonként), tehát átlagosan $f_{cm} = 49 \text{ N/mm}^2$ adódott, amelyhez $\sigma = 5 \text{ N/mm}^2$ szórást feltételezve $49-1,645,5 \approx 41 \text{ N/mm}^2$ küszöbérték (f_{ck}) tartozik: ez *nem* éri el az XD3-ra előírt C35/45-öt.

„NA”-jelű (nagyobb szilárdságú) betonjaink $v/c = 0,42$; $c = 400 \text{ kg/m}^3$ cementtartalommal (ismét a száltartalomtól függetlenül, sorozatonként rendre) $51-56-54-54-53-56-55-57 \text{ N/mm}^2$ kockaszilárdságúak voltak, ezek átlaga $f_{cm} = 54,5 \text{ N/mm}^2$ és ebből a karakterisztikus (küszöb) érték $f_{ck} \approx 54,5 - 8 = 46,5 \text{ N/mm}^2 > 45 \text{ N/mm}^2$. Ez az „NA” betontípus tehát kielégíti az MSZ EN 206-1 szerinti XD3 C35/45 szilárdsági követelményt. Az eredményeket a megelőző T 016683 számú OTKA témánk Zárójelentése „B” kötetéből (részeredmények) vettük, (Erdélyi, Gálos, 1997. július) itt – többek között – az acélrostos gerendák hajlítási szívósságát és a megrepedés utáni szilárdságot vizsgáltuk (PCS = Post Crack Strength) bemetszett $75 \times 150 \times 700 \text{ mm}$ -es gerendákon ($l = 600 \text{ mm}$, $l/h = 75/600 = 1/8$), továbbá a repedésterjedési sebességet stb. (lásd még: Erdélyi, 1993, 1994, 1995, 1997 és Kovács, 1997).

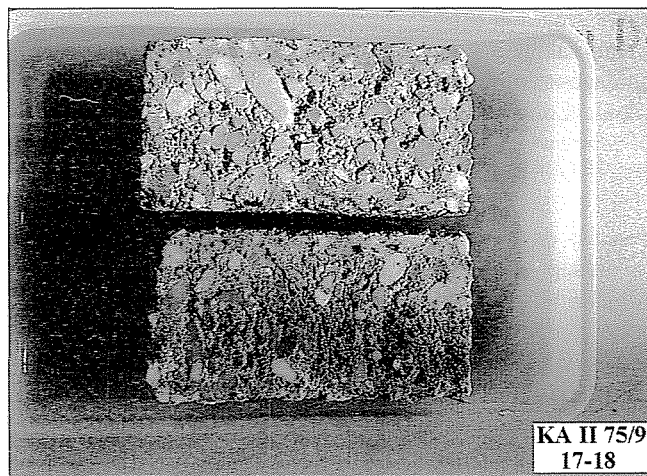
Ebben az 1997-ben befejezett OTKA munkában (T 016683) már annyi és olyan próbatesteket készítettünk, hogy a tervezett (remélt) tartóssági vizsgálat folytatáshoz elegendőek legyenek. Így több éves karbonátosodás (száraz laborlevegőn való tárolás) utáni anyagunk volt. A készített, már említett kockákon és gerendákon kívül $120 \times 120 \times 360 \text{ mm}$ -es (1:3) hasábokat (hajlító megrepesztés és ciklusos klimatikus fárasztás és F- Δh lehajlási diagramok értékeléséhez), $\varnothing 100 \text{ mm}$ hengerek szeleteit ($v = 60 \text{ mm}$) – Cl-ion áthaladási és villamos vezetőképeségi vizsgálat céljára – s végül, de nem utolsósorban – a $75 \times 150 \times 700 \text{ mm}$ -es gerendákból kivágott $50 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ -es szeleteket alkalmazunk, majd 2004-ben a prEN 12390-9 (tervezet, 2002. április) szerinti lehámlasztás fagy- és sóállósági vizsgálat elvégzésére – egy adott speciális hűtő-felolvasztó készülék üzembe helyezése esetén. Elharmadolt $120 \times 120 \times 360 \text{ mm}$ hasábok kb. 120 mm élhosszúságú kockáiból a fagyasztás kezdetekori szilárdságot állapítottuk meg (kb. 6 éves korban $52,5$ illetve $62,5 \text{ N/mm}^2$). Minthogy lemez lehámlasztó fagyasztó szekrényünk a megpályázott és elnyert OTKA T 032883 munka elején (2000) még nem volt meg, így egy minden eddigi hazai módszernél szigorúbb fagy- és sóállósági vizsgálatot találtunk ki, amelyet két sorozatban (tehát egy ismétléssel) a Betonlith K+F Kft. (később Cemkut Kft.) Betonlaborja a saját automata fagyasztó-olvasztó szekrényében alvállalkozóként roppant gondosan elvégzett, a 32–32 ciklus alatt lehámlott tömegveszteséget mérte és az egyéb paramétereket (pl. p_L látszólagos porozitás stb.) számította. Az MSZ 4715, ill. MSZ 4719 szabvány egyébként pontatlanul értelmezi a víztelített állapotban való fagyasztást (nem telítik előre 150 bar nyomáson) és „túl laza” a kis ciklusszám, a levegőn való fagyasztás és az emiatti párolgás miatt.

3.2 Az általunk eddig alkalmazott új módszer

A $75 \times 150 \times 700 \text{ mm}$ -es, több éves gerendákból $75 \times 75 \times 150 \text{ mm}$ -es, 1:2 arányú hasábokat fűrészeltünk le. A hazai egyéb fagy-



1. fénykép: II. fagyasztási kísérlet 32 ciklus után (forgatás nélkül), 25 kg/m^3 acélszállal



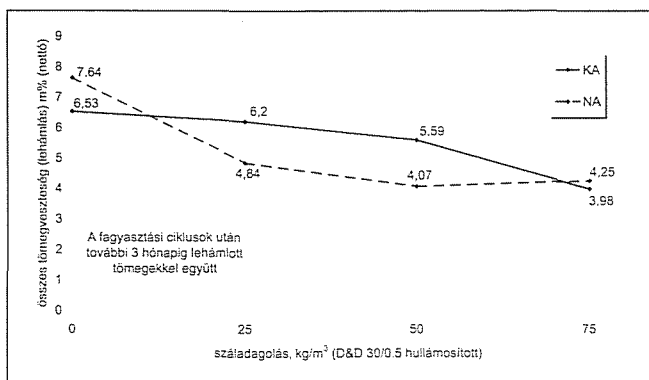
2. fénykép: II. fagyasztási kísérlet 32 ciklus után (forgatás nélkül), 75 kg/m^3 acélszállal



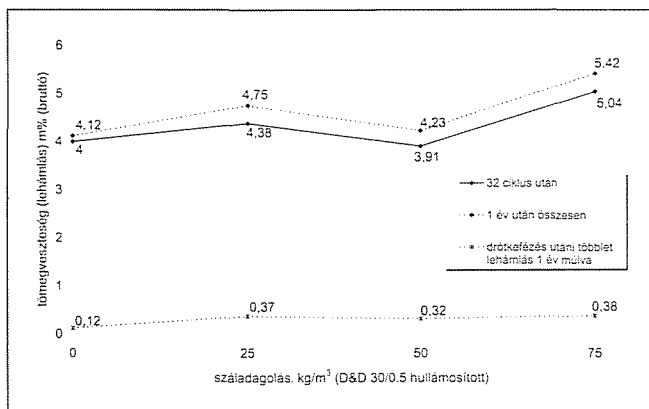
3. fénykép: I. fagyasztási kísérlet forgatással, „N” beton, 75 kg/m^3 acélszállal (a felszínen álló/fekvő huzalok rozsdásak)

állósági vizsgálatoktól eltérően szigorúbb: 3%-os NaCl oldatba befagyasztva és abban kiolvasztva vizsgáltuk (-20°C és $+20^\circ\text{C}$) úgy, hogy a fekvő hasábok kb. $\frac{1}{2}$ részükig merültek az oldatba és a levegővel érintkező felső szabad felük egy részét lehetővé tette az oxigén és a széndioxid jelenléte miatt az acélszállak korrózióját, másrészt a NaCl-oldat kapillárisan felszívódott, feldúsult a felső „szabad” félben és így a „szárazon” kikristályosodható só nyomása fokozhatta a fagyás/olvadás okozta tönkremenetelt.

Mindezt a mellékelt 1., 2. és 3. fényképeken jól láthatjuk: egy tálkában 3-3 db (I. menet), illetve 2-2 db (II. menet) azo-



1. ábra: 32 ciklusos fagyasztási-olvasztási I. kísérlet (forgatással): „KA” és „NA” jelű betonok összehasonlítása, összes tömegvesztés (fajtánként 3-3 próbatétel átlaga)



2. ábra: 32 ciklusos fagyasztási-olvasztási II. kísérlet „KA” jelű betonok (forgatás nélkül), tömegvesztés (lehamlás), sóoldattal feltöltött próbatestek

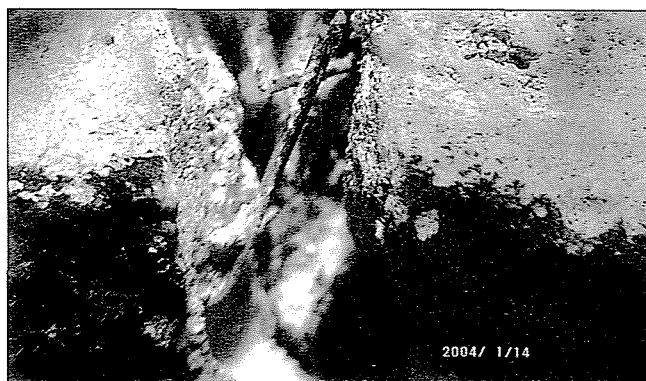
nos keverésből való hasáb fekiúdt, az ezekről leváló részeket tehát a 3, illetve 2 hasábra együtt (átlagosan) tudtuk kezelni.

Az I. sorozatban a hasábokat 8 ciklus után 90°-kal hossz-*tengelyük körül elfordítottuk*, s így a 32 ciklus alatt mind a 4 „hasábfél” 8-8 cikluson át teljesen folyadékban fagyott és olvadt, illetve teljesen „levegőn” (-20°C vagy +20°C) volt. A teljes kiolvadás érdekében a klímaszekrényben az olvasztó periódusban +30°C hőmérsékletet állítottunk be, hogy az egyébként *nem nagy méretű* (75 mm!) hasábok *közepe* is biztosan teljesen fölmelegedjék +20°C-ra. (Hőmérsékleti gradiens tartósan – ilyen körülmények és méretek esetén – nem keletkezhetett érdemlegesen – ami viszont nagyobb méretű, pl. az MSZ 4715 és 4719 szerinti 150 mm-es kockák esetén már felléphet.) Az eredményeket az 1. táblázat mutatja be.

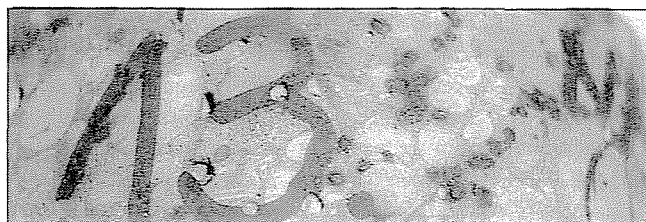
I. sorozat: 32 ciklusos forgatásos fagyasztás-olvasztás tömegvesztési végeredménye (Részletek: OTKA T-032883 1. számú Részjelentés F/1. Mellékletben.) Minden eredményt 3-3 db, 75x75x150 mm-es, hasábon mért érték átlagaként adtunk meg 2001.03.12. dátummal. 3 hónappal a fagyasztás-olvasztás befejezése után a félig oldatban álló próbatestekről még a zárójeles megadott tömegű „lehamlást” lehetett eseteléssel eltávolítani. Ezt is beszámítva adódnak a *vastag* bruttó tömeg % veszteségek, pl. 7,6; 4,8 (lásd az 1. ábrát, a „K” és „N” rostbetonok összehasonlítását).

A II. (ismétlő) sorozatban a 32 cikluson át a fekvő hasábokat *nem forgattuk*, s az összes lehamlást (külön a betonrészeket, külön az acélrostokat) ugyanúgy páronként értékeltük.

A fagytól, olvasztástól és a sótól „megviselt” hasábfelületek a fényképeken is jól láthatók. A fagyasztás/olvasztás + sózás *csak* a betont támadja – a Na⁺-nak a Ca⁺⁺-ionnal való cseréje miatt (Taylor, 1998). A klorid *csak* akkor többelthatás, ha a szálakon keletkező rozsdá nyomása a lepattogzást növeli. A hasáb fényképein és az ÉMI-nél, mint alvállalkozónál elvégzett villamos vezetőképességi mérések (ezt egy másik fejezet-



4. fénykép: Hasított korongban elrozsdásodott huzalvég a felszínhez közel



5. fénykép: Ø100x60 mm kifűrt korong képe (villamos ellenállás méréshez) a felszínre érkező acélszálak rozsdafoltjaival

ben elemezzük) és a *koronghasítási* vizsgálat után fényképeken, a „belsőbe” belenézve is jól látszik, hogy

- a *betonba ágyazott* acélrostok nem rozsdásodtak vagy esetleg csak a karbonátosodott vékony rétegben néhány mm mélységben (4. fénykép)
- a *felületre* kinyúló szálvégek vagy a *felületen fekvő szálak* azonban rozsdások (5. fénykép), s ez a rozsdá még átütött a villamos vezetőképesség (ρ [Ω .m]) mérhetősége érdekében felhordott csatlakoztató fekete lakk-pasztnán is (SIKA-floor 220 W). Az előkészítést az Építőanyagok tanszéki csoport végezte. Mindezért tehát
- acélrostos *látszóbeton* felületeket (angolul: „exposed concrete” azaz *időjárásnak kitett* „építészeti nyersbeton”, angolul: „architectural concrete”) *csak olyan betonfestékekkel bevonva* érdemes *külsőben* alkalmazni, amely a CO₂, a Cl⁻, az O₂ és a H₂O (pl. csapóeső), de legalább a víz behatolását megakadályozza, s ezzel együtt a felületre kiérkező acélrostok okozta rozsdafoltosodást is!

Az általunk választott, részben folyadékba merített fagyasztás/olvasztás némileg hasonló hatású, mint az ún. CDF-módszer (Setzer, Fagerlund, Janssen, 1996), amelynél a próbatest alsó fele állandóan – hűtött, ill. melegített – sóoldatban van, de fölfelé a kapilláris felszívás lehetséges. E módszer *helyett* végülis a CEN (Comité Européen de Normalisation) azért döntött a következő pontban ismertetett „*ráöntött folyadék alatti*” és fagyás/olvasztási ciklusok okozta *lehamlás* mérés mellett, mert *egyrészt* erre a régebbi svéd (SS 137244) és osztrák szabvány (ÖNORM B 3003) alapján kedvező ismételhetőségi tapasztalatokat szereztek, *másrészt* (és főleg), mert a CDF-módszert időközben szabadalmaztatták és a CEN *nem ír (nem írhat) elő magáncég által szabadalmazott módszert* kötelezően „egész Európa” számára.

3.3 A prEN 12390-9 (tervezet) szerinti módszer

E módszert az általunk – tudtunkkal elsőként – alkalmazott, előbb ismertetett, „félig sóoldatba merített” vizsgálati eredmények és a majd véglegesítendő, fenti prEN szerinti, rátöl-

2. táblázat: 32 fagyasztási ciklus előtti (F_c) és utáni (F_u) eredmények I. kísérletsorozat szemelvényes mechanikai tulajdonságok

Sor-szám	Próbatest jele	Kezdeti E_{03X} kN/mm ²		Hasáb szil., (F_u) N/mm ²	ϵ_{max} (F_u) ‰
		(F_c)	(F_c)		
F2	NA-II-E/2	33,7	7,2	12,8	4,72
F5	NA-II-25/2	36,0	11,9	28,4	3,43
F7	NA-II-50/4	35,0	19,0	34,0	2,25
F11	NA-II-75/3	31,0	17,3	34,1	2,61
F14	KA-E/4	32,9	11,9	28,7	5,0
F17	KA-I-25/6	28,7	14,9	36,4	
F21	KA-I-50/6	33,5	15,1	32,2	
F23	KA-I-75/6	29,7	22,3	36,9	

tött folyadék alatti lehámlási mérték összehasonlítására kívánjuk alkalmazni: ehhez vehettük meg (2003 végén) az új, erre a célra gyártott „fagyasztó szekrényt” és e miatt kaptunk az OTKA Irodától 1 év kísérleti idő hosszabbítást is.

A mi módszerünkkel fagyasztott/olvasztott hasábokon nemcsak a lehámlást mértük meg, hanem a fagyasztás (F_c) előtti $\sigma - \epsilon$ diagramot is felvettük a más próbatesteken mért szilárdságnak kb. 1/3-ad részéig ($\sigma_0 \cong 13$ N/mm²) terhelve és tehermentesítve és a 3. tehermentesítési vonalból számítottuk az ϵ_{03X} -et (kN/mm²), majd nem fagyasztott és fagyasztott (F_u) hasábok összehasonlítása végett a 32 fagyasztási/olvasztási ciklus után (I. sorozat, forgatás) *ismét megmértük* – most már törésig – a teljes $\sigma - \epsilon$ diagramot, megállapítottuk az ugyanazon σ_0 -hoz tartozó F_u „fagyasztott” E_{03X} modulust, a hasáb-szilárdságot és a legnagyobb erőhöz (a szilárdsághoz) tartozó ϵ_{max} összes hosszváltozást: a teljes összenyomhatóságot. Részleteket az OTKA R1 és R2 részjelentésünk tartalmaz; 2001. ill. 2002. márc. Ezekből (szemelvényesen) a 2. táblázatban közlünk adatokat.

Értékelés: (egyelőre a nem fagyasztott etalon szilárdsági adatai nélkül; – ezeket most vizsgáljuk).

- az F_c kezdeti modulusok alig függtek a száltartalomtól (20...35 kN/mm²), de
- az erősebb (N) beton esetében valamivel nagyobbak voltak, mint K-nál
- az F_u modulusok lényegesen kisebbek (1/3 – 1/2) az F_c modulusokhoz képest, – a fagy okozta romlást tehát az ÖNORM alapján kiválasztott E_{03X} jól kimutatja (v.ö. rezonancia frekvencia, ill. n_0^2 csökkenése a szakirodalmi adatokban)
- a nagyobb rosttartalom ridegebb viselkedést jelentett („N”-betonnál az ϵ_{max} 4,7-től 2,6%-ra csökkent, miközben E_{03X} is csökkent, tehát az itt nem közölt diagramok alatti terület is lényegesen csökkent: a fagyasztás/olvasztás rontotta a szilárdságot.

4. PRÓBATESTÉK, MÉRÉSI MÓDSZER, EREDMÉNYEK, ÉRTÉKELÉS A FAGYÁLLÓSÁGHOZ

4.1 A 4 éves acélszálas betonok alapadatai a fagyvizsgálat kezdetekor

4.1.1 Próbatestfajták

Az itt tárgyalt betonokat a megelőző OTKA munka során készítettük 1996 jan. és febr. folyamán, további vizsgálatra megőriztük, kb. 60% rel. páratartalmú labortérben tároltuk (XC3 kitéti osztály).

A próbatesteket az alábbi típusú, nagyobb elemekből vágtuk ki:

⇒ 75 x 150 x 700 mm-es gerendákból:

- névleges 75x75x150 mm-es (1:2 arányú) hasábokat fagy- és olvasztósó állóság vizsgálatára
- 75 x 150 x 150 vagy 200 mm-es lemezeket vízzáróság (V) vizsgálatára

⇒ 120 x 120 x 360 mm-es hasábokból: névleges 120 mm-es kockákat nyomószilárdság vizsgálatra a fagyasztás indítása előtt

⇒ a megmaradó kb. 120 x 120 x 230 mm-es részből Ø100 mm hengereket fűrtünk ki, hogy az ASTM C 1202:1997 szerinti klorid-áthatolási vizsgálatához szükséges Ø100 mm, $h = 60$ mm magas korongokat megkaphassuk. Ezt a vizsgálatot a Betonolith K+F Kft. végezte – alvállalkozóként – az e célra más kutatás során előzőleg épített készüléken. A fagyasztási kísérleteket mindkét ciklusban a Betonolith K+F Kft. végezte (Laborvezető: Máhr Géza, később Szegőné Kertész Éva) egy következő cikkünkben számolunk be.

4.1.2 Összetétel, utókezelés

Cementfajta: Bélapátfalvi 42,5-ös tiszta portlandcement (kb. S-100-as), tehát mérsékelt szulfátálló. (A folyamatban szulfátos korróziós vizsgálat ezért és – esetleg – a rostok miatt egyelőre romlást nem mutat.)

Adalékszer: Melment folyósító.

Tárolás: első 28 napon vízben, utána végig labor levegőn (MSZ-EN 206-1:2002).

„K”-jelű betonok: 300 kg/m³ cement, v/c = 0,54, $V_{pép} = 259$ l/m³

„N”-jelű betonok: 400 kg/m³ cement, v/c = 0,42, $V_{pép} = 297$ l/m³

Száladagolás (és jele): 0–25–50–75 kg /m³ azaz (térfogat %-ban): 0 – 0,32 – 0,64 – 0,96 %

E – jel: etalon (nincs szál)

I = Dramix (belga) 30/0,5 mm, karcsúsága 60, ill. II = D&D Miskolc hullámos 30/0,5 mm, karcsúsága mindkettőnek 60. A huzalfajták jeleit (I. v. II.) a betonjel is tartalmazza.

6. fénykép: Elhasított Ø100x60 mm-es korong; alul az egyenetlen szátleoszlás látszik (Dramix)



Konzisztencia, légtartalom: k_{CF} (RILEM Glanville készü-lékkel) $\cong 0,86 - 0,92$ (képlékeny „K”) de akadt egy-egy 0,964 („F”=folyós), illetve 0,822 („KK” kevésbé képlékeny) eset is.

A számított légtartalom szélső értékei 3,04 térf.%, illetve 0,5 térf.%. Utóbbi egy etalon (szál nélküli) betonhoz tartozik, az előbbi egy 50 kg/m³ száladagolásúhoz. A $k_{CF} = 0,822$ egy 75 kg/m³ száladagoláshoz tartozott (KA-75-I.), - 2,6 térf.% légtartalommal (Dramix).

A gondos labormunka (kényszerkeverő) és a lamellázott Dramix szál ellenére is nehezebben bedolgozhatók a 75 kg/m³-es keverékek, itt a folyósítószer adagját még növelni kellett volna. A 6. fényképen is látszik, hogy a ragasztott Dramix lamellák huzaljai „csomóban” maradtak – a gyári nagy keverőben kedvezőbb is lehet a helyzet.

Értékelés: szigorúan véve csak azonos nettó testsűrűségű, azonos konzisztenciájú és légtartalmú betonok hasonlíthatók össze. A sok acélrostot tartalmazó betonokat különös gonddal kell folyósítani, keverni és bedolgozni, és több pépbe – habarcsba kell „beágyazni” – ellenkező esetben rosszabb eredményt is kaphatunk.

4.1.3 Kockaszilárdságok

E vizsgálat csupán arra szolgált, hogy a fagyasztani kezdett, kb. 4 éves betonok nyomószilárdságát ellenőrizzük és tisztáz-zuk, hogy a célul kitűzött tartóssági vizsgálatokat (fagy/sóoldat hatása, szulfát oldat, kloridáthatóság, vízbehatalás/vízzá-róság) kb. milyen nyomószilárdságú betonon kezdjük meg. A jeleket a 4.1.2 pont szerint kell értelmezni, a kockák névleges mérete 120 mm élhosszúság volt (3. és 4. táblázat).

A kétféle v/c tényezőjű és cementtartalmú (péptartalmú) betonról megállapíthatjuk, hogy

- a nyomószilárdság a száltartalommal lényegében nem vá-ltozik (Erdélyi, 1994),
- a kétféle (K és N) beton között átlagosan 10 N/mm² szilárdság különbség van,
- az összes beton átlagszilárdsága 50 és 65 N/mm² közötti, tehát „jó”, de nem ún. nagyszilárdságú betonokon kezdtük meg a tartóssági vizsgálatokat, eme második OTKA ku-tatásban. (Az MSZ EN 206-1:2001 szerint a C55/67 be-tonjeltől kezdve beszélünk nagyszilárdságú („NSZ”) be-tonokról, – ezekhez $f_{cm} = 65 + 8 = 73$ n/mm² átlagszilárdság tar-toznék).

3. táblázat: „K” csoport (v/c = 0,54) adatai

Jel	Légszáraz bruttó testsűrűség kg/m ³ *	Nyomó-szilárdság N/mm ²
E	2252	56,6
I/25	2268	51,5
I/50	2466	49,8
I/75	2303	52,3

Névleges csoportátlag, „K”	2322	52,5
----------------------------	------	------

* acélszálakkal együtt

4. táblázat: „N” csoport (v/c = 0,42) adatai

Jel	Légszáraz bruttó testsűrűség kg/m ³ *	Nyomó-szilárdság N/mm ²
E	2320	60,5
I/25	2321	63,4
I/50	2343	58,7
I/75	2400	64,3
II/25	2342	64,5
II/50	2290	61,5

Névleges csoportátlag, „N”	2336	62,2
----------------------------	------	------

* acélszálakkal együtt

4.2 Fagyállósági vizsgálatok

4.2.1 Módszer (I. kísérleti menet)

8 ciklus (4 nap) után a próbatesteket hossz tengelyük körül 90°-kal elforgattuk, hogy ezután egy másik lapjuk kerüljön a fa-gyasztó légterébe. (CO₂, O₂, H₂O váltakozása)

Már 32 ciklus után látható volt, hogy a 3-3 hasábról együtt (egy-egy dobozban) lemállott anyag 5 tömeg % körüli – tehát a fagyállóság határát jelzi – (lásd MSZ 4719)– ezért ekkor a fagyasztást abbahagytuk és ezután 3 hónapig a próbatesteket minden 3. napon 90°-kal elforgattuk a sólében, de a dobozo-kat egyébként laborlevegőn, kb. +22°C-on tartottuk. Ennek során további szemcsék peregtek ki a próbatestekből, amely a só kristályosodásának és/vagy (esetleg) a rozsdanyomásnak következménye lehet(ett). Ezt a többletet is hozzáadtuk a le-hámláshoz (tömegveszteséghez) – lásd pl. az 1. ábrán.

4.2.2 Eredmények (I. kísérleti menet)

A vártnál sokkal hamarabb kaptunk lényeges lehámlást. Hang-súlyozzuk, hogy szándékosan nem légbuborékos (nem LP) betonokat készítettünk.

Az itteni 5. táblázatban és az I. ütemben (fagyasztás + ol-vasztás forgatással), illetve a II. ütemben (félíg NaCl oldat-ban, laborlevegőn +22°C) külön-külön és együttesen kapott tömegveszteségeket soroljuk fel. (Lásd az 1. ábrát is.)

A tömegveszteségekről az alábbiak következtethetők ki:

⇒ a száltartalom nöttével a veszteségek csökkennek, – tehát a rostvasalás nem fölösleges (7,64-ről 3,35%-ra, ill. 6,53-ról 4,25-re); az N beton jobb a K-nál.

⇒ az 5. táblázatbeli N és K csoportok közötti két gyártási különbség van:

- a „I” (Dramix, Belgium) két végén hajlított, a II. (D&D Miskolc) hullámosított. Ez a különbség azonban az elő-ző OTKA munkánk tanulsága szerint a mechanikai (szívóssági, törésmechanikai) viselkedésben csak ele-nyésző különbséget okozott, és okozhat itt is: fagyálló-ság tekintetében I. és II. együtt kezelhető.

- a másik különbség: a v/c tényezők különbsége jelentős: a diagramon látható, hogy az acélrostos kisebb porozi-tású beton fagyás/olvadás okozta tömegvesztesége egy-értelműen kisebb, mint a másiké!

„N” (v/c = 0,42) átlaga 4,09 tömeg%, ill.

„K” (v/c = 0,54) átlaga 5,26 tömeg%

Az önkényes, az MSZ 4719 szerinti 5%-os követelmény alapján az „N” rostbeton $c=32$ cikluson még „fagyálló” – a másik a „K” beton viszont már éppen „nem fagyálló” lenne! A fagyállóság –ennek ellenére – elsősorban nem a szilárdság függvénye! (Cohen et.al.,1992.)

Az acélszál nélküli betonok (E) nem fagyállóak. Az eddigi magyar gyakorlatot (fagyasztás légtérben, olvasztás vízben; túl kicsi ciklus számok) a hivatkozott prEN szerinti sóoldat alatti egváldali lehámlasztással érdemes helyettesíteni, mert ez egy-szerűbb, mint 100 mm-es kockák oldatban való fagyasztása.

Értékelés:

- az 57-60 N/mm² szilárdságú NA-E és KA-E (vasalatlan) próbatestek a többinél jóval nagyobb tömegveszteséget szenvedtek (~6,5–7,6 m %).

- a fagyállóság egyébként látnivalóan nem csak nyomószilárd-sági kérdés: az „igen jó”, nem légbuborékos N-betonok is károsodtak, a habarcsrész kifagyott (lásd a fényképeket), de – az N acélrostos betonok 3,3–4,8; míg a K acélrostok 4,0–6,2 tömeg% veszteséget szenvedtek, – tehát a szálakat beágya-zó mátrix, ill. a v/c tényező önmagában is hat!

A 3. 4. és 5. ábra a NaCl oldat felvételt, a szárítás utáni vízfelvételt, végül a p_L látszólagos porozításokat mutatja be.

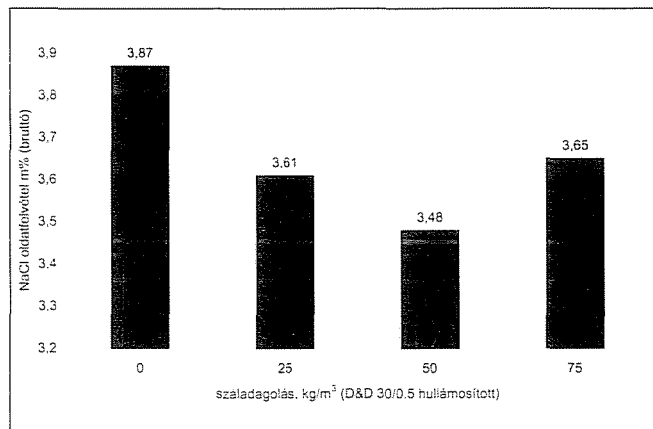
5. táblázat: Fagyasztás – olvasztási tömegvesztések, I. kísérleti menet

Jelek		I. ütem, 32 ciklus után, tömegvesztés %		II. ütem, 3 hónap félíg oldatban %		I.+II. %	átlag
doboz sorszá m	3-3 db test	bruttó*	nettó*	bruttó*	nettó**	nettó**	nettó**
F 1	NA-E	6,94	6,94	0,7	0,7	7,64	7,64
F 2	NA-II.25	4,6	4,63	0,2	0,21	4,84	4,09
F 3	NA-II.50	3,8	3,86	0,2	0,21	4,07	
F 4	NA-II.75	2,9	3,0	0,34	0,35	3,35	
F 5	KA-E	6,3	6,3	0,23	0,23	6,53	6,53
F 6	KA-I.25	5,9	5,95	0,25	0,25	6,2	5,26
F 7	KA-I.50	5,2	5,3	0,29	0,29	5,59	
F 8	KA-I.75	3,4	3,5	0,46	0,48	3,98	
Σ	24 db	E próbatesteket tovább vizsgáljuk σ-ε diagramra					-

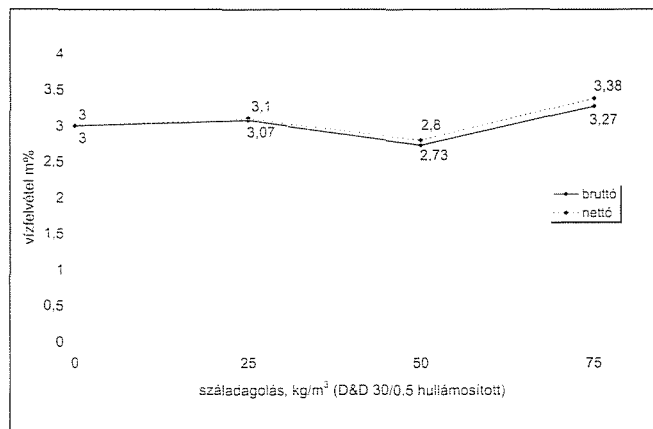
* bruttó: a 3-3 db próbatest 24 ó/60°C szárított teljes tömegére számítva

** nettó: csak a 3-3 próbatest tömegének betonrészére számítva,

– az acéltartalmat levonva (az nem mállik)

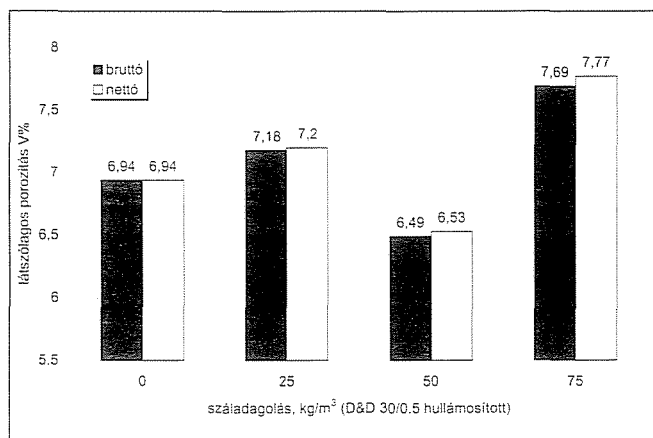


3. ábra: 32 ciklusos fagyasztási-olvasztási II. kísérlet „KA” jelű betonok (forgatás nélkül), NaCl oldatfelvétel, fagyasztás előtti telítés sóoldattal



4. ábra: 32 ciklusos fagyasztási-olvasztási II. kísérlet „KA” jelű betonok (forgatás nélkül) vízfelvétel 60°C szárítás után, látszólagos porozitás vizsgálathoz

5. ábra: 32 ciklusos fagyasztási-olvasztási II. kísérlet „KA” jelű betonok (forgatás nélkül), p_i látszólagos porozitás



4.3 A fagyás/olvadás okozta romlás nyomon követése a beton kezdeti rugalmassági modulusával – az első, a fagyasztás előtti (F_e) eredmények

A sóoldattal telített próbatesteket a fagyasztás megkezdése előtt akkora teherrel nyomtuk meg (3 ismétléssel), hogy kb. 15 N/mm² feszültség keletkezzék bennük, ez kb. 25%-a egy vélt 60 N/mm² nyomószilárdságnak („N”), illetve 30%-a az 50 N/mm²-nek („K”): a 4 éves betonok eddig a határig a 3. ismétlés után elvileg már lineárisan rugalmasan viselkednek (lásd YOSHIDA-féle hiszterézis törvény, illetve az ÖNORM előírása a romlás roncsolásmentes nyomon kísérésre 0,3 R_{max} határig E₀ megállapítására).

A kapott 24 db (lásd 5. táblázat) „rövid” σ-ε diagramot itt nem mellékeljük – az ezekből megállapított E₀ illetve E_{03X} (húr) modulusokat ill. ezek átlagát (betonfajtánként 3-3 db) az alábbiak szerint értékelhetjük:

– száltartalom függvényében (0-25-50-75 kg/m³)

– betonszilárdság (K, N) függvényében (lásd 6. táblázat)

A 6. táblázathoz az alábbi megjegyzéseket fűzzük.

– Az E₀ értékét a 3. ismétlés egyenes szakaszából számította a program: „E_{03X}” a jele.

– Régebbi OTKA kísérletünkben kimutattuk, hogy az „E” enyhén csökkent, (emiatt) a Poisson–tényező növekedett, a törési összenyomódás enyhén nőtt, a nyomószilárdság pedig 50 kg/m³-ig nőtt, azután (nyilván a légzárványok miatt) tovább nem nőtt a száladagolással együtt (Erdélyi, 1999, márc.)

Az itteni 6. táblázatból megállapítható, hogy

– az E₀ húrmodulusok 0-25-50 kg/m³ száltartalom esetén változatlan (30–34 kN/mm² körüliek), 75 kg/m³-nél azonban már kisebbek (kb. 28 kN/mm²) → légzárvány!

– az „N” beton (~ +10 N/mm² kockaszilárdság) E₀ értéke alig haladja meg a „K” betonét, – 75 kg/m³-nél már a rosszabb bedolgozhatóság és a zárványok okozta „puhulás” (többször légtartalom) eltünteti az acélszálak okozta 2–4 kN/mm²-es többletet.

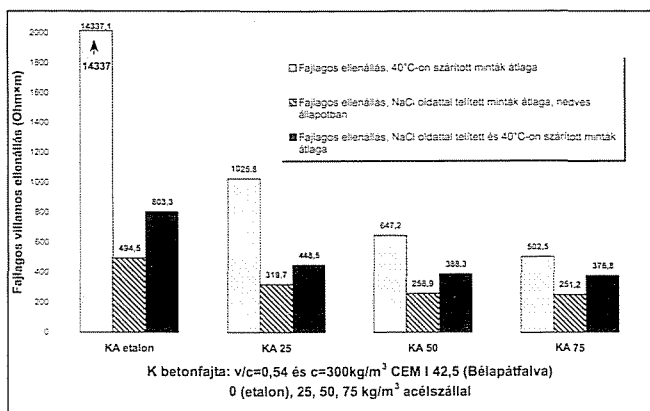
5. FAJLAGOS VILLAMOS ELLENÁLLÁS

A mellékelt oszlopdiagramok tartalmazzák (6. és 7. ábra) – az első ilyen hazai méréséknél – a +40°C-on szárított, majd a sóoldattal fokozatosan telített és végül az ezután ismét +40°C-on újra szárított névleges Ø 100 x 60 mm-es korongok

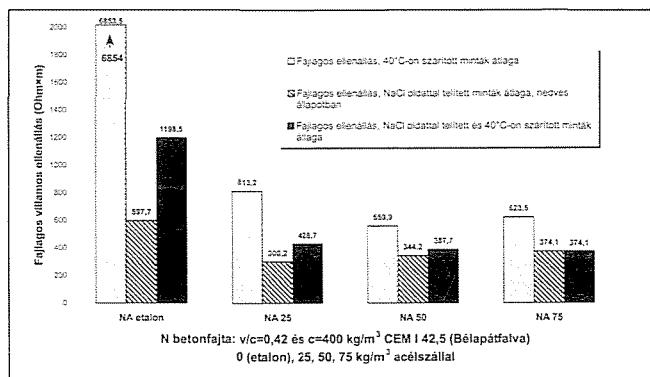
$$\rho = \frac{A \cdot (m^2) \cdot R \cdot (\Omega)}{l \cdot (m)}$$

6. táblázat: N és K betonok kezdeti átlagos E_{03X} adatai

Próbatest jele	E _{03X} kN/mm ²	átlag kN/mm ²
N-II.-E	33,9	31,8
N-II.-25	30,4	
N-II.-50	34,5	
N-II.-75	28,6	
K-I.-E	32,4	31,2
K-I.-25	32,3	
K-I.-50	32,0	
K-I.-75	28,1	



6. ábra: Fajlagos villamos ellenállás a betonfajta („K”) és a hidrotechnikai állapot függvényében



7. ábra: Fajlagos villamos ellenállás a betonfajta („N”) és a hidrotechnikai állapot függvényében

[Ω m] fajlagos villamos ellenállását. Ezek különbsége korróziós különbségeket okozhat nemcsak az acélszállakban, de a fővasalásban és a kengyeleknél is.

Megállapítható, hogy

- ⇒ a sótartalom nélküli, száraz beton fajlagos ellenállása a legnagyobb (N-betoné kisebb, mert tömörr; K-betoné nagyobb, mert üresek a kapilláris pórusok),
- ⇒ a sózott – telített betonok sokkal jobb vezetők (ez kedvezőtlen lehet a kóboráramok, az elektrolit hatékonysága és a fővasbetétek korróziójának veszélye miatt),
- ⇒ a sózott, de utána „megszáradt” betonok fajlagos ellenállása valamivel nagyobb, mint a telítetteké, de a bentlévő sóoldat, pontosabban a nedvességtartalom hatása a döntő (Brown, 1980.).
- ⇒ a növekvő acélszáltartalom csökkenti a [Ω m] fajlagos ellenállást (az etalonhoz képest),- de ez a csökkenés kevésbé száltartalomfüggő „sózott – nedves” és „sózott – szárított” állapotban, mint a sózatlan száraz betonok esetében, ott ugyanis 25 kg/m³-nél 800 és 1000, – 75 kg/m³-nél pedig 600 és 500 „ Ω m” a fajlagos ellenállás. Ilyen szempontból toronymagasan legjobb az acélszál nélküli, szárított etalon: 6800 és 14000 Ω m értékkel. A valóságban azonban a sózott, és nedves állapot a mértékadó, – ez esetben a száltartalom hatása a jobbik (v/c=0,42) betonban már nem lényeges (300–340–370 Ω m).

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A kutatás e cikkben közölt részének célja az volt, hogy bemutassuk mekkora lehámlást (tömegveszteséget) szenvednek egyébként jó, de nem légbuborékos betonok egy erőteljes, folyamatos telítődést, kapilláris sóoldat felszívást egy egyúttal O_2 , CO_2 hozzáférést is lehetővé tévő NaCl oldatban való

fagyasztás/olvasztás esetén. Vizsgáltuk a száladagolás (0, 25, 50 és 75 kg/m³), ill. a v/c és péptartalom (0,42, ill. 0,54 és 300 ill. 400 kg/m³ esetén), – szándékosan nem légbuborékos betonokat készítve, s azokat karbonátosodásnak kitett módon éve-kig tárolva. Mértük a fajlagos villamosvezető-képességet, s néhány esetben a fagyasztás/olvasztás okozta E_0 kezdeti rugalmassági modulus, ill. hasábszilárdság változásokat is.

Az ultrahang terjedési sebességnek, a *hasábok* σ - ε *diagramjának* fagy okozta változásával a kloridáthatóság mértékével, vízzáróssággal és a karbonátosodás mélységével, stb. egy következő cikkünkben foglalkozunk.

A jelenlegi hazai gyakorlatnál lényegesen szigorúbb a prEN 12390-9:2002/D elveihez közelebb álló sóoldatban fagyasztott/olvasztott és kapilláris oldalfelvételt lehetővé tévő 0–25–50–75 kg/m³ acélszál tartalmú, jól hidratált, 4 éves és felületükön karbonátosodott próbatestek megismételt (a gyors tönkremenetelt akartuk még egyszer ellenőrizni) 32 ciklusos vizsgálatából az kaptuk, hogy

- a rosttartalom növekedésével a lehámlás kb. 60 N/mm² nyomószilárdság esetén valamelyest csökken (1. ábra) – a kisebb v/c tényezőjű betonok tömegvesztesége kisebb,
- a „K” jelű (fagykezdetkor kb. 50 N/mm² szilárdságú) betonok tömegvesztesége viszont nagyobb (2. ábra) és a száladagolással nem csökken, mert c = 300 kg/m³ cementtartalom esetén a beágyazó kb. 260 l/m³ cementpép mennyisége – úgy tűnik – nem elég a tökéletes bedolgozhatósághoz, ami egyébként (1 térf.% légtartalom) alapkövetelmény. Ezt igazolják a p_L látszólagos porozítások 75 kg/m³-nél kiugró nettó értékei is (5. ábra).

A rosttartalom egyáltalán és növelése – a szigorúbb (for-gatásos) I. fagyasztási menet szerint – csökkentette a lehám-lást, tehát hasznos (1 ábra).

A hazai eddigi fagyasztási/olvasztási vizsgálati módszert gyökeresen módosítani kell, mert az 5% vagy 4...5% tömegveszteség 32, a valóságban is előforduló ciklus esetén bizonyítja, hogy légbuborékképző szer nélkül 50–60 N/mm² szilárdságú fagyálló betonok (szállal v. anélkül) nem készíthetők, amint ez az MSZ EN 206-1:2001 is föltételezi.

– a szálak csak a karbonátosodott zóna legszélén, ill. a felüle-ten rozsdásodtak, rozsdanyomás tehát nem okozhatta a lehám-lást, amely a rost nélküli betonoknál éppen a legnagyobb (1. ábra).

A fajlagos villamos ellenállás [Ω m] a rosttartalommal csökken (6. és 7. ábra) – a sóoldattal telített állapotban még inkább, mint szárazon, vagy kiszáritva. A kevesebb kapilláris pórust tartalmazó „N” beton (v/c=0,42) villamos ellenállása alig változik a rosttartalom nöttével (7. ábra), – tehát az amúgy is drága acélrostot nagyobb mennyiségben csak nagyobb szilárdságú betonba érdemes beletenni. A DIN 1045-2 (a német NAD) C30/37 alatti betonminőséget meg sem enged ipari kopásálló padlóba!

A beton kezdeti rugalmassági modulusa (2. táblázat) a fa-gyasztás hatására lényegesen csökken, a csökkenés a rosttar-talmú betonoknál kisebb, mint az etalonbetonnál: ez (is) az acélrostok haszna. Az eddigiek alapján tehát megállapíthat-juk, hogy az acélszállal erősített betonok tartóssága/fagyál-lósága jobb, lehámlása kisebb, mint a szál nélkülieké.

A felszínre kinyúló vagy ott fekvő acélszálak azonban roz-sdafoltot okoznak, tehát látszóbeton minőségű felület esetén még más intézkedésre (pl. vízlevezető, víztaszító bevonat, áttet-sző vékony impregnálás stb.) is szükség lehet.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A témavezető elsősorban az OTKA irodának köszöni meg, hogy a régebbi (T 016683 sz.) az acélrostbeton szívósságával

és törésmechanikai jellemzőivel foglalkozó kutatási támogatásnak mintegy folytatásaként a jelen OTKA T 032883 sz. pályázatunkat: az acél rostbetonok tartóssága tárgykörben elfogadta, bővítette és az új (prEN szerinti) készülék megvásárlása és kipróbálása érdekében a határidőt meg is hosszabította.

Az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék résztvevő oktatóit, kutatóit, doktoranduszait, technikusait nem sorolom fel név szerint – de külön köszönet illeti a *Betonolith Kft.* (később *Cemkut Kft.*) Betonlaboratóriumát (Szegőné Kertész Éva) és technikusait, mert ilyen eszköz tanszéki hiányában az összes fagyasztiási kísérletet ott végezték az automatikusan vezérelhető készülékükben; továbbá az ÉMI Kht. Vegyészet és Alkalmazástechnikai Tudományos Osztály kutatóit, (pl. Pásztoryné Katalin, Péteriné Eszter) akik e munkában szintén részt vettek.

8. HIVATKOZÁSOK

- Balázs Gy., Erdélyi A., Kovács K. (1990) „Fagy és olvasztósók hatása a beton tartósságára (Effect of frost and deicing agents on the concrete's durability)”, *Építőanyag* XLII. évf. (42) 2., pp. 1-11
- Balázs Gy., Erdélyi A., Kovács K. (1991) „Az acél korróziója kloridok hatására”, *Építőanyag* 43. évf. (42) 6., pp. 202-218
- Balázs Gy. (1997) Beton és vasbetonszerkezetek diagnosztikája I. 2. fejezet, *Műegyetemi Kiadó* 1997. október 29. pp. 129-137
- Barr, B., Gettu, R., Al-Oraimi, S. K. A., Bryars, L. S. (1996) „Toughness Measurement – the Need to Think Again” *Cement and Concrete Composites* 18, pp. 281-297
- Brown, R. D. (1980) „Mechanism of corrosion of steel in concrete in relation to design inspection and repair of off-shore and coastal structures” *Performance of concrete in marine environment, ACI, Special Publ. 65.*
- Cassanova, P., Rossi, P. (1996) „Analysis of metallic fibre-reinforced concrete beams submitted to bending” *Materials and Structures/Matériaux et Constructions*, Vol. 29, July 1996, pp. 354-361
- CEN prEN 12390-9 ENTWURF (2002) „Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung” April 2002
- CEN/TC 51 N 743 (2002) „Testing hardened concrete – Part YYY: Freeze-Thaw – Internal structural damage” Prague 2002-10-03/04
- Cohen, M. D – Zhou, Y – Dolch, W. L. (1992) „Non-Air-Entrained High-Strength Concrete – Is it Frost Resistant?”, *ACI Materials Journal* Vol. 8, No 4, July – August 1992, pp. 406-416
- Erdélyi A. (1983) „Beton- és habarcskiegészítő anyagok”, *Építőanyag praktikum* (Szerk. dr. Balázs György, a műsz. tud. doktora) *Műszaki Kiadó* pp. 181-210
- Erdélyi A. (1988) „A beton fagyállóságának megítélése közvetett módszerekkel”, *Építőanyag* 1988/4. pp. 138-141
- Erdélyi A. (1993) „The toughness of steel fibre reinforced concretes” *Periodica Polytechnica Ser: Civil Eng.* Vol. 37. No. 4. pp. 329-344
- Erdélyi A. (1994) „Acélrost erősítésű betonok” *Beton* II. évf. 3.sz. pp. 4-13
- Erdélyi A. (1995) „Acélszál erősítésű beton (rostbeton, acélhajbeton)”, *Beton* III. évf. 4. pp. 1-6
- Erdélyi A. (1996) „Légpórusrendszer és betontartósság”, *Betonszerkezetek tartóssági konferencia* 1996. okt. 29. (Szerk.: Balázs Gy.) *Műegyetemi Kiadó* pp. 129-138
- Erdélyi A. (1997) „Acélrost erősítésű betonok szívóssága”, *Budapest Műszaki Egyetem Építőmérnöki Kar Építőanyagok Tanszék Tudományos Közlemények* 37. *Műegyetemi Kiadó* pp. 99-106
- Erdélyi A., Gálos M. (1997) „Acélszál erősítésű beton szívósságának értékelése törésmechanikai módszerekkel”, *OTKA T16683 (Régi szám: T01-169682)* 1997. júl.
- Erdélyi A. (1999) „Acélszál-erősítésű gerendák hajlítási szívóssága”, *Szálerősítésű Betonok* Budapest 1999. március 4-5. pp. 85-93
- Erlin, B., Verbeck, G. J. (1975) „Corrosion of metals in concrete” *Needed research SP. 49-4, ACI* Detroit. USA
- Jacobsen, S., Sellevold, E. J. (1996) „Frost testing high strength concrete: Scaling and cracking” *4th Intern. Symp. On Utilization of High-strength – High performance concrete*, Paris 1996, pp. 597-605

- Kovács I. (2000) „Modelling of fiber reinforced concrete in uniaxial tension”, *Proceedings of the International PhD Symposium in Civil Engineering* Vienna October 5-7, 2000, pp. 203-212
- Richtlinie (2002) „Faserbeton” 2002. április Bécs, *ÖVB*
- Rossi, P., Renwez, S., Guerrier, F. (1996) „Les bétons fibrés à ultra-hautes performances L'expérience actuelle du LCPC”, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées – 204 – Juillet-Aout 1996*, pp. 87-95
- Setzer, M. J., Fagerlund, G., Janssen, D. J. (1996) „CDF Test – Test method for the freeze-thaw resistance of concrete – tests with sodium chloride solution (CDF)” *Material and Structures/Matériaux et Constructions*, Vol. 29, November 1996, 523-528
- Taylor, H. F. W. (1998) „Cementchemistry” *Telford*, 2nd 1998, pp. 365-367
- Ujhelyi, J. „Térburkolatok kivitelezése – szakértői tapasztalatok” *Közüti és Mélyépítési tudományi Szemle* 1999. 2. szám pp. 80-82
- Vandewalle, L. (1996) „Influence of field strength on the toughness of SFRC-HSC” *Proceeding of the CCMS Symposium „Worldwide Advances in Structural Concrete and Masonry”*, Chicago, April 15-18, 1996, pp. 495-505

Dr. Erdélyi Attila (1933) okl. mérnök (1956), kivitelező a Máv Hídépítő Vállalatnál 1961-ig, majd tervező a Vízitervnél 1963-ig. Tanársegéd, majd 1965-től adjunktus dr. Palotás László professzor mellett a BME, Építőanyagok Tanszéken. 1973-ban egyetemi doktor, 1984-ben a műszaki tudomány kandidátusa, 1985-től egyetemi docens, 1991-től 1995-ig tanszékvezető. A FIP, majd *fib* Acélbizottságának magyar tagja, az ÉTE Előregyártási és SZTE Betonszakosztályának vezetőségi tagja. 2003-ban Palotás-díjat kapott. *Szakterületei*: feszítő acélok relaxációja, feszítési veszteségek, adalékszerek különleges út-, hid-, vízépitési -, nagyszilárdságú, tömeg- és gyorsbetonokhoz, – egyúttal ilyen jellegű műtárgyak betontechnológusa. Hazai és európai szabványosítás. Szakmérnöki, továbbképző, doktorandusz és angol nyelvű oktatás a fenti tárgykörökben.

DURABILITY OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETES (SFRC)

Dr. Attila Erdélyi

Two grades of concrete: C35/45 (w/c = 0.54; 300kg/m³ CEM I 42.5) and C45/55 (w/c = 0.42; 400kg/m³) made with 25,50 and 75 kg/m³ of cold drawn steel fibres (30/0.5: Dramix-Bekaert and D&D, Hungary, - the latter fibre was undulated) and a plain reference one were tested for freeze-thaw resistance when saturated with 3% NaCl solution. The 4 years old mature prismatic 75x75x150 mm (1:2) specimens (water cured for 28 days) have been tested firstly for initial Young's modulus (E₀) then immersed in salt solution up to the half of their with lying in plastic boxes (see photos 1,2), thus enabling the capillary absorption of salt to the "free" upper half exposed also to oxygen and carbon dioxide (steel corrosion risk factors). 32 automatically controlled freezing and thawing cycles were applied. The prisms have been rotated 4 times to allow all the four sides to be immersed for 8 cycles: thus we maintain much more severe conditions to deteriorate both the concrete and let to corrode the wires lying near to the carbonated surfaces or extruding from it (see photos with rust patches). After 32 cycles the initial E₀ plain concrete modulus dropped to abt. 1/3 while the SFRC moduli only with abt. 1/2 of the original values. The loss of mass was abt. 6.5-7.5% for the plain concretes and the scaling off values decreased to abt. 4% with 75kg/m³ fibre content. (The acceptance level in Hungary is £5% by mass). The loss of strength of prisms was not so significant (Table. 2). *Intentionally* we did not use air entraining agents to make clearer the pure effect of fibres and their possible corrosion on the durability rather than the frost resistance of the matrix, as the merits of a good air-void system is anyhow well known. We may conclude that even 25kg/m³ of fibres results in less than 5% loss of mass with the better concrete: *therefor expensive fibres should be used only in good concretes!* The apparent porosity (volume of absorbed solution over the volume of the concrete, Fig. 5) shows abt. + 1 Vol% surplus air pockets remained in the fibre-rich mixes due to poorer compactibility. This could have been counteracted with even more superplasticizer. The same refers also for strength and mainly for E-moduli values. *Fibres and electric resistance*: The specific resistance r₀ [W.m] was also measured for all types of concretes (Fig. 6 and 7) in three conditions: *dry, salt solution saturated wet and dried again*. The smallest values belong to the wet and NaCl solution saturated and lower grade concretes while the influence of fibre dosages 25 to 75kg/m³ is small in the saturated cases ie. just with eg. bridge decks or with marine structures. All these should be taken into account during the design work in the case of eg. electric stray currents and other corrosion risk factors for the main reinforcement and/or unprotected tendons if surrounded with SFRC.

A HANGEMISSZIÓ-ANALÍZIS ELMÉLETI ALAPJAI



Forgó Lea Zamfira

A hangemisszió-analízis olyan roncsolásmentes vizsgálati módszer, melynek segítségével az anyag károsodását folyamatában követhetjük nyomon. A detektált hangemissziós jelek lokalizálásával időben és térben helyezhető el a károsodási folyamat, míg a nyomatéki tenzor invertálásának és grafikus ábrázolásának segítségével törésmechanikai jellemzést adhatunk. Ezen elméleti alapokat leíró cikk folytatásaként a következő számban egy beton nyomókísérlet bemutatása és kiértékelése szolgál gyakorlati példaként.

Kulcsszavak: hangemisszió, hullámterjedés, törésmechanika, lokalizálás, nyomatéki tenzor-invertálás

1. BEVEZETÉS

Ha valamilyen terhelés hatására a szerkezeti elemen belül bárhol egy atom- vagy ionpár távolsága túllépi a kritikus atomtávolságot, a kötési kohéziós energia vagy annak egy része felszabadul, és hőként, illetve rezgésként jelenik meg. Ez a képlekeny, vissza nem fordítható belső deformációs folyamatok által előidézett rezgés a hangemisszió (vagy akusztikus emisszió), ami tapasztalható az emberi fül számára hallható és a nem érzékelhető tartományban egyaránt (1. ábra).

A hangemisszió *menyiségi vizsgálata* (lokalizálása) a károsodási folyamat időbeli és térbeli követését teszi lehetővé. A *minőségi vizsgálat* során a feljegyzett paraméterek és hullámformák a nyomatéki tenzor invertálásával értékelhetők. Ezekből következtethetünk többek között a törés típusára, a törési felület irányultságára és a kisugárzott szeizmikus energiára (Grosse, 1996; Finck, 2001).

2. A VIZSGÁLATI MÓDOK ÁTTEKINTÉSE

Az ötvenes években sikerült elsőként a nem hallható hangok detektálására képes műszereket készíteni, lendületet adva a kapcsolódó tudományok napjainkig is töretlen fejlődésének. A hetvenes évek elejére született meg az első, a gyakorlatban is hasznosítható hangemissziós készülék. Hazánkban a Központi Fizikai Kutató Intézetben 1976 óta folynak e téren kutatások. Jelentős eredményként említhető például, hogy 1989-től a paksi atomerőmű szivárgási ellenőrző rendszere a hangemisszió-analízisen alapul (Czigány, 1999; Klimaj, 2001).

Az *aktív ultrahang-módszerek* mellett, ahol (pl. piezoelektromos) ultrahang-jeladó, golyóimpaktor vagy kalapács segít-

ségével akusztikus energiát közlünk a szerkezeti elemmel – így többek közt szerkezeti elemek méretét határozhatjuk meg, vagy repedéseket, üregeket detektálhatunk nehezen, ill. nem hozzáférhető helyeken – léteznek *passzív eljárások* is, többek közt az e cikkben tárgyalt módszer. Ezen vizsgálatoknál az egész szerkezeti elem akusztikus energiája vagy rezgése külső hatások (pl. földrengések, szél) következtében lezajló belső folyamatok (pl. törések) során keletkezik.

A *paraméter alapú hangemisszió-analízisnél* a hangemissziós jeleket számítógépen, online elemezzük, és csak egyes paramétereket tárolunk (lásd 3. ábra, lenn). Ez az eljárás a hangemisszió gyors, egyszerű helymeghatározását teszi lehetővé. Alkalmazása akkor célszerű, ha elegendő számunkra egy durva, de átfogó kép a károsodásról. A *jel alapú hangemisszió-analízis* esetén hangemissziós események komplett hullámszakaszait tároljuk, így módunk nyílik törési folyamatok részletes vizsgálatára, a zavaró jelek kiszűrésére és deformációk, tönkremeneteli módok okainak elemzésére. Ez a technika szükséges olyan más módszerekhez is, mint pl. a tomográfia, a reziduum-technika vagy a koherencia-analízis (Grosse, 1996).

3. HANGEMISSZIÓ-ANALÍZIS

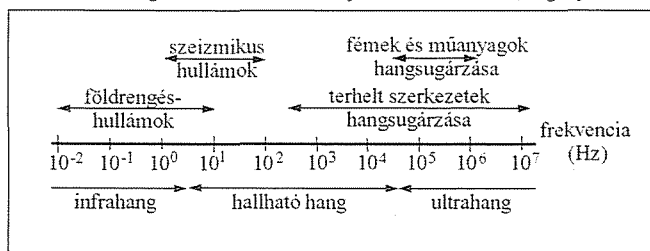
3.1 Hangemisszió lokalizálása

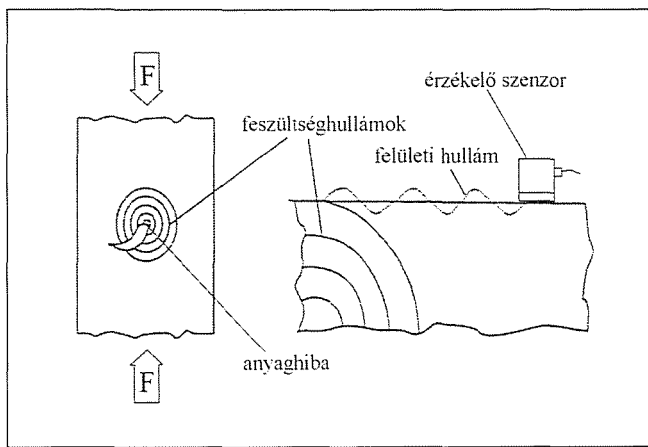
*Hangemisszió*n rugalmas, tranzienst feszültség-hullámok megjelenését, emisszióját értjük egy feszültséget viselő anyag szerkezetváltozása során. Az anyag izotrópiája és homogenitása esetén ezen hullámok valamely hibahelyről kiindulva gömbszimmetrikus térhullámokként terjednek, és megfelelő eszközökkel a felszínen felületi hullámokként regisztrálhatók (2. ábra).

A hangemisszió megjelenését a leggyorsabban, mindamellett leggyengébben fellépő longitudinális kompresszióhullámhoz kötjük, és vizsgálataink során annak megjelenését keressük. Mivel elsőként ez a hullámforma lép fel, primer hullámnak is (*P-hullám*) nevezzük. Ezt követik a transzverzális vagy szekunder hullámok (*S-hullámok*) és egyéb hullámformák.

A regisztráció során fontos szerepet játszik az ún. trigger. A trigger egy adott jelszint túllépését érzékeli. A háttérzajokból származik egy folytonos hangemissziószint (3. ábra fenn). Az ezt meghaladó, az anyag károsodásából eredő kitöréses

1. ábra: A hangok frekvenciatartomány szerinti felosztása (Czigány, 1998)





2. ábra: Feszültség-hullámok keletkezése, terjedése és detektálása szilárd testben terhelés hatására (Czigány, 1999 nyomán)

emisszió (3. ábra fenn) megjelenésekor a trigger elindítja, majd annak lecsengésekor leállítja a regisztrációt. A 3. ábra lenti része néhány, a forgalomban lévő műszerek által rögzített hangemissziós paramétert mutat be. Ilyenek pl. a triggerhullámok túllépésének időpontja, a maximális amplitúdó, a felfutási idő, a triggerhullámot átlépő rezgések száma vagy a jel időtartama a triggerszint alá lépésig.

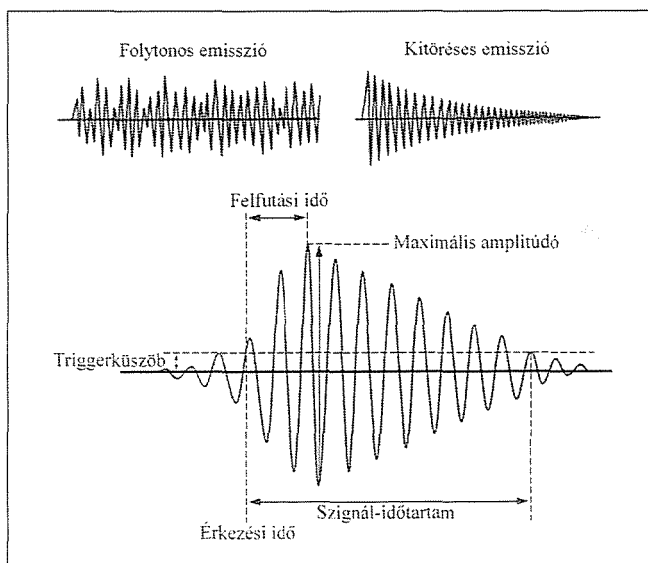
A betonban lévő légpórusok, adalékanyag-szemcsék, valamint repedések nagy befolyással bírnak a hullámok terjedésére (csillapítás, szóródás, oldalfalról való visszaverődés, stb.), adott esetben akadályozva a P-hullám megjelenésének meghatározását. A gépek és a környezet által keltett zajok is nehézségek okozói a kiértékelés során, ezért már a hangemissziós események regisztrálása alatt igen fontos az elfogadható jel/zaj-arány elérése.

Egy háromdimenziós testben egy hangemissziós esemény jellemzésére négy érzékelő szükséges, mivel négy ismeretlen (a három térkoordinátát és a keletkezési időt) kell meghatároznunk. Több szenzor esetén a

$$v_p (t_s - t_0) - (x_s - x_0) = 0 \quad (1)$$

egyenleten alapuló túlhatározott egyenletrendszer kapunk, ami sikeresebb és megbízhatóbb lokalizálást tesz lehetővé (v_p : az ultrahang terjedési sebessége az anyagban, t_s és x_s : az adott szenzor által érzékelt idő és út, t_0 és x_0 : kiindulási idő és a szenzor koordináta-rendszerbeli helyzete).

3. ábra: Fenn: folytonos és kitéréses emisszió (Klimaj, 2001). Lenn: Példa egy detektált hangemissziós jel paramétereinek meghatározására



A hangemissziós források lokalizálása a hangemisszió hypocentrumának meghatározását takarja (azaz azt a helyet definiáljuk, ahonnan az anyag törése vagy az anyag részecskéinek egymáshoz képesti elmozdulása megindul). A lokalizálás által a károsodási folyamatok időbeli és térbeli követése válik lehetővé. Az adatok kiértékelésekor a zavaró zajok és a hangemissziós események megkülönböztetése mellett ez az első és legfontosabb lépés.

Szabályos próbatestek esetén egy bizonyos terhelési szint alatt nemigen jelentkeznek hangemissziós események. Kísérleti tapasztalatok szerint ilyenkor a *Kaiser-effektus* lép fel, azaz a vizsgált anyag 'emlékezik' korábbi feszültségi állapotának maximális értékére. A fentiek tükrében a hangemisszió analízis alkalmas a primer feszültségek meghatározására. Közvetekre alkalmazva Csorba és Huszár (1988) vizsgálta a jelenséget.

3.2 Törésmechanikai alapok

A törésmechanika a repedések keletkezésének és terjedésének körülményeit kutatja. E tudományágról Broek (1982, 1989), Blumenauer és Push (1987) általános mérnöki megközelítésben ad áttekintést, míg betonokra alkalmazva Bazant és Planas (1998), valamint Carpinteri és Aliabadi (1999) tárgyalja a témát.

A törésmechanika inverziós módszereinek természetes adatokon való ellenőrzéséhez ismert és tiszta törési módok szükségesek. Míg húzókísérletek során a tisztán húzási törés (I. típus – szakadás; egyszerű repedéskinyílás) könnyen előidézhető, addig a síkbeli nyírási törés (II. típus – nyírás; hosszirányú elnyíródás) elérése nehezebben valósítható meg. Általánosságban véve beszélhetünk még nem síkbeli nyírási törésről is (III. típus – csavarás; keresztirányú elnyíródás). Reinhardt és Xu (1998) kimutatták, hogy megfelelő geometria és terhelési mód mellett a fél oldalhosszú függőleges megoszló teherrel terhelt próbatestek nyomókísérletei alkalmasak a síkbeli nyírási tönkremenetel létrehozására.

3.3 Nyomatéki tenzor és inverziója

A hangemissziós események leírását pontforrások matematikai leírására alapozzuk, és általánosítjuk őket a hangemisszió-analízis kísérleteknek megfelelően (Czigány, 1999; Grosse, 1999).

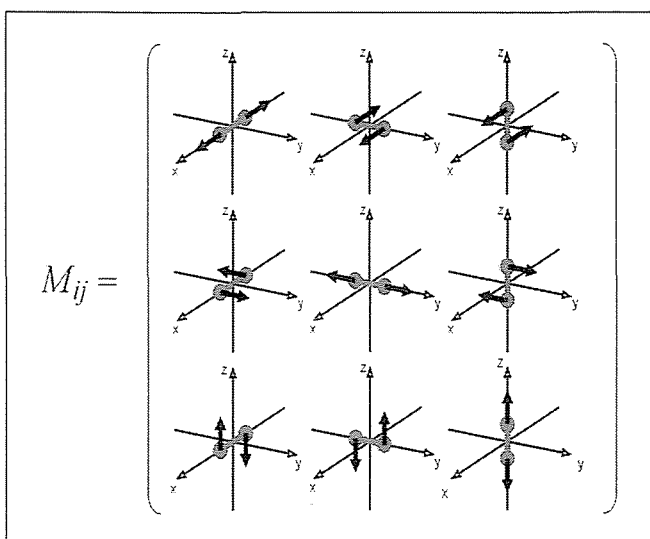
A 10 mm-t nem meghaladó méretű adalékanyaggal készült beton mérés-technikai szempontból homogénnek tekinthető, mivel a kísérleteknél használt hullámhossz többnyire 20 mm-nél nagyobb (Finck et al., kiadás alatt). Ennek megfelelően a továbbiakban homogén, izotróp anyagot feltételezünk.

A nyomatéki tenzor, ami a hangemisszió-forrás idő- és helybeli tulajdonságait maradéktalanul leírja, a következő – egy mástól független – törésmódokra bontható fel (Aki, Richards, 1980):

$$M = M^{ISO} + M^{DC} + M^{CLVD}, \text{ továbbá} \quad (2)$$

$$M^{DC} = M^{II} + M^{III}. \quad (3)$$

M^{ISO} jelöli a forrás izotróp részét (tágulás vagy összehúzódás). M^{DC} és M^{CLVD} deviatorikusak, nem térfogatváltozók. Mint azt a fenti egyenlet mutatja, a nyírási rész tovább bontható. Az M^{II} -mód esetén a repedésterjedés és a részecskemozgás párhuzamos, míg az M^{III} -módnál a két mozgás egymásra merőle-

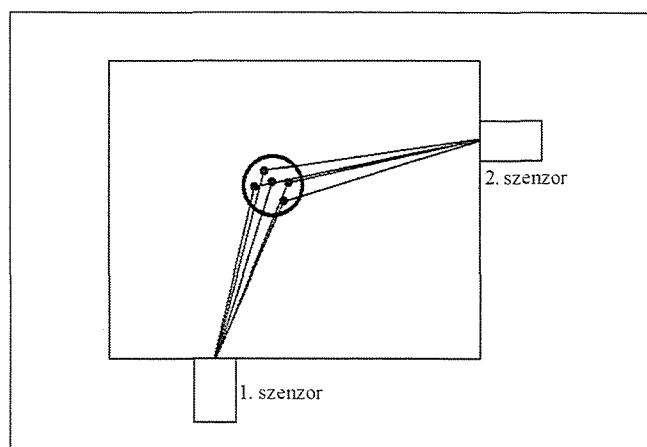


4. ábra: A tenzorkomponensek erőpároként való be-mutatása (Finck, 2001)

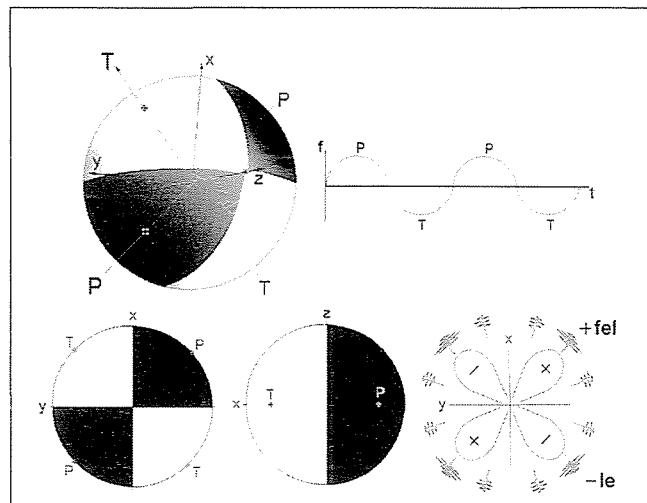
ges. A CLVD-rész kompenzált lineáris vektordipólust takar, azaz egy olyan fizikai modellt ír le, amelynél húzás mellett arra merőlegesen kontrakció jön létre.

A 4. ábra a tenzor fizikai jelentését mutatja be. A mellékát-ló elemei függetlenek a főátló elemeitől, és a felcserélhetősé-gi tételek értelmében páronként felcserélhetők. A tér mindhá-rom irányába mutat egy-egy dipólus, végén egy-egy erőpár-ral, szintén a tér mindhárom irányába. A főátlóban az erőpár-ok párhuzamosak a dipólusokkal, a mellékátlókban merőle-gesek a dipólusokra. A z-tengely körüli forgásszimmetriát fel-tételezve a tenzor matematikailag felbontható az 5. ábra sze-rinti alakokra.

Mivel a Green-féle függvények (Bojtár, 1988), amik az anyag hullámformákra gyakorolt befolyását jellemzik, ismer-retlenek, a nyomatéri tenzor közvetlenül nem invertálható. A Dahm-féle *relatív nyomatéri tenzor-inverzió* (1993, 1996) megoldást ad a problémára. Hogy a megtett hullámutaknak a szenzorokra gyakorolt befolyását azonosnak vehessük, térben egymáshoz közel eső hangemissziós jelek összegyűjtésével csoportokat képzünk (6. ábra). A primer hullámok megjele-nésekor mérhető amplitúdót is meghatározva a *Green-féle függvények* végül kiküszöbölhetők (Grosse, 1999).



6. ábra: Hangemissziós jelek csoportosítása a Green-féle függvények kiküszöbölése céljából



7. ábra: A nyomatéri mező egy lehetséges sematikus ábrázolása tiszta nyírási törés esetén. Fenn balra: nyomatéri mező a nyomatéri főtengetyekkel, balkezes koordinátarendszerben (nyomás: fekete, ill. pozitív; húzás: fehér, ill. negatív). Fenn jobbra: amplitúdó az azimut felett (két teljes szinuszhullám; a nyomatéri mezővel összevetve jól látható, hogy a főtengetyeknél a legnagyobb az amplitúdó, illetve a húzott és nyomott rész határán zérus). Lenn balra és középen: Lambert-féle projekció az x/y- és x/z-síkra. Lenn jobbra: sugárzási karakterisztika az x/y-síkon (a hullámok nyomásnál felfelé, húzásnál lefelé indulnak meg; a jelek a főtengetyeknél a legerősebbek, az attól eltérő irányokba gyengébbek, húzás és nyomás határán pedig nem észlelhetők).

5. ábra: Fenn: A nyomatéri tenzor komponenseinek egy lehetséges felbontási módja (Grosse, 1999). Lenn: elmozdulásmodellek (Broek, 1982; Finck, 2001 nyomán) a megfelelő P-T-ábrákkal

M	M ^{ISO}	M ^{II}	M ^{III}	M ^{CLVD}
$\begin{pmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{yx} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{zx} & M_{zy} & M_{zz} \end{pmatrix}$	$\frac{1}{3} (M_{xx} + M_{yy} + M_{zz}) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -\frac{1}{2} (M_{yy} - M_{xx}) & M_{xy} & 0 \\ M_{yx} & +\frac{1}{2} (M_{yy} - M_{xx}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & M_{xz} \\ 0 & 0 & M_{yz} \\ M_{zx} & M_{zy} & 0 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{3} \frac{1}{2} (M_{xx} + M_{yy} - M_{zz}) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}$
Részecskemozgás Repedésterjedés				

3.4 A nyomatéki mező grafikus ábrázolása

Törés esetén a szeizmikus energia teljes kisugárzása grafikai-lag ábrázolható a földi félgömbre való projekcióként, pl. a Lambert-féle felülettartó azimutális módon. A nyomatéki mező leképezésén a legerősebb sugárzás természetesen a nyomott, ill. a húzott zóna közepén látható, és a maximális (P, pressure) ill. a minimális (T, tension) főnyomatékkal írható le. A P-T-ábra a nyírási DC-részt jellemzi (7. ábra).

A nyomatéki mező ábrázolása bonyolult. Ha a tenzor fő-tengely-transzformációját végrehajtjuk, három sajátvektort kapunk a hozzájuk tartozó sajátértékekkel együtt. Térfogat-növekedés esetén mindhárom sajátérték egyforma nagy és pozitív. Húzási törésnél egy sajátérték (a húzási irányban lévő) nagyobb a másik kettőnél. Tiszta nyírási törés esetén egy sa-játérték nulla, míg a fennmaradó kettő egyforma nagy, de el-lentéses előjelű (Weiler, 2000).

A húzási törések ábrázolása hasonló a nyírási törésekéhez. A T-tengely a húzási iránynak felel meg, P-tengelynek a két tengely egyikét választjuk azonos sajátértékkel. A húzási és nyírási törés megkülönböztetésére a számítások sajátértékeit is figyelembe kell venni, egyedül a P-T-ábra alapján nem le-hetséges a döntés (Weiler, 2000).

4. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A hangemisszió-analízis az anyag belső elmozdulásai okozta rezgések detektálásán alapuló roncsolásmentes anyagvizsgá-lati módszer.

Az eljárás bevezethető gépek és berendezések üzemelés közbeni felügyeletére is, mivel a keletkező hanghullámok fi-zikai paramétereiből következtetni lehet a tönkremenetel vár-ható idejére (Czigány, 2000).

A hangemisszió-analízis nagy érdeme, hogy a károsodási folyamatok nyomon követését egészében teszi lehetővé, mé-lyebb és részletesebb információt nyújtva az anyagvizsgálók számára, szemben a törést önmagában, eredményként vizsgá-ló módszerekkel. A tönkremenetelhez vezető út ismerete mind a meglévő anyagok viselkedésének tanulmányozása, mind az előnyösebb tulajdonságú anyagok kifejlesztése szempontjá-ból vitathatatlan jelentőségű.

Megjegyzendő, hogy napjainkban a jel alapú hang-emisszió-analízis során az eredmények kiértékelése nehézkes és hosszadalmas folyamat. A folyamatos, és részben sikeres törekvés azonban az adatfeldolgozás automatizálására (Finck et al., kiadás alatt) a módszert igen ígéretessé teszi az anyag-vizsgálat, a diagnosztika és a gyártásellenőrzés terén.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki Florian Fincknek a szakmai irányí-tásért. A Stuttgarti Egyetem Építőanyagok Tanszékén való ta-nulmányaimat a Sokrates/Erasmus program és a Tempus Köz-alapítvány tették lehetővé.

6. HIVATKOZÁSOK

- Aki, K., Richards, P.G. (1980) "Quantitative Seismology – Theory and Methods" *Freeman and Company*, San Francisco, 932 p.
- Bažant, Z., Planas, J. (1998) *Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials* CRC Press, Boston, 616 p.
- Blumenauer, H., Push, G. (1987) "Műszaki törésmechanika" *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest, 208 p.
- Bojtár I. (1988) "Mechanikai anyagmodellek" *Tankönyvkiadó*, Budapest, 290 p.
- Broek, D. (1982) "Elementary engineering fracture mechanics" *Martinus Nijhoff*, Boston, 469 p.
- Broek, D. (1989) "The practical use of fracture mechanics" *Kluwer Acad. Publ.*, Dordrecht, 521 p.
- Csorba L., Huszár I. (1988) "A közetek akusztikus emissziós vizsgálata" *Bányászat* 121. évf. 7. szám, pp. 448-452.
- Carpinteri, A., Aliabadi, M. (1999) "Computational fracture mechanics in concrete technology" *WIT Press*, Boston, 223 p.
- Czigány T. (1998) "Az akusztikus emisszió szerepe a műanyag kompozitok törésmechanikai vizsgálatánál" *Anyagvizsgálók lapja* 8. évf., 1. szám, pp. 13-16.
- Czigány T. (2000) "Az anyag hallhatatlan hangja" *Élet és Tudomány* 55. évf., 15. szám, pp. 461-463.
- Czigány T., Marosfalvi J. (1999) "A károsodási zóna meghatározása polimer kompozitoknál akusztikus lokalizációval" *Anyagvizsgálók lapja* 9. évf., 2. szám, pp. 66-68.
- Dahm, T. (1993) "Relativmethoden zur Bestimmung der Abstrahlcharakteristik von seismischen Quellen" *disszertáció*, Universität Karlsruhe
- Dahm, T. (1996) "Relative moment tensor inversion based on ray theory: theory and synthetic tests" *Geophysical Journal International* 124, pp. 245-257.
- Finck, F. (2001) "Application of the moment tensor inversion in material testing" *Otto-Graf Journal*, Vol. 12, pp. 145-156.
- Finck, F., Kurz, J.H., Grosse, C. U., Reinhardt, H.-W. (kiadás alatt) "Fortschritte in der Datenbearbeitung zur Automatisierung der signal-basierten Schallemissionsanalyse"
- Grosse, C.U. (1999) "Grundlagen der Inversion des Momententensors zur Analyse von Schallemissionsquellen" In *Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen, Libri BOD*, Hamburg, pp. 82-105.
- Grosse, C.U. (1996) "Quantitative zerstörungsfreie Prüfung von Baustoffen mittels Schallemissionsanalyse und Ultraschall", *disszertáció*, Universität Stuttgart
- Klimaj G. (2001) "Az anyag hangja" *TDK dolgozat*, BME Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék
- Reinhardt, H.-W., Xu, S. (1998) "Experimental Determination of KIIc of normal strength concrete" *Materials and Structures*, Vol.31, pp. 296-302.
- Weiler, B. (2000) "Zerstörungsfreie Untersuchung von Stahlfaserbeton" *disszertáció*, Universität Stuttgart, *Shaker Verlag*, Aachen, 2000

Forgó Lea Zsófia (1978) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar, 2003), doktorandusz a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén (2003), BME Műemlékvédelmi szakmérnök hallgató (2003). Fő érdeklődési területei: műemléki közetek vizsgálata, kőkonzerválás, roncsolásmentes vizsgálati módszerek alkalmazása. Az SZTE és az ICOMOS MNB tagja.

THEORETICAL BACKGROUNDS OF ACOUSTIC EMISSION ANALYSIS

Lea Zsófia Forgó

Acoustic emission analysis is a non-destructive test method in order to monitor internal damage of materials. Damage progress can be detected in time and space by localisation of acoustic events. We can give a fracture mechanical characterisation of crack propagation. By means of moment tensor inversion and graphical presentation. A practical example will continue this elementary theoretical review by presentation and evaluation of a compressive test in the next issue of the Concrete Structures.

A 2003. ÉVI PALOTÁS LÁSZLÓ-DIJAK ÁTADÁSA

Nem csak megtiszteltetés, hanem kiváltság is számomra, hogy a Palotás-díj negyedik átadásán is részt vehetek.

Köszönöm a **fib** Magyar Tagozat Kuratóriumának a lehetőséget, hogy ismét én üdvözölhetem a díjazottakat. Az ő életük és munkásságuk Márai Sándort idézi: "Dolgozni nem lehet öncél. Dolgozni csak úgy érdemes, ha az ember alkot valamit." És ők alkottak.

További sikeres munkát kívánok mindannyiuknak.

Dr. Pótáné Palotás Piroska

TISZTELT HÖLGYEIM ÉS URAIM!

Dr. Loykó Miklósnak
a Palotás László-díj Kuratórium
elnökének, a 2003. évi díjak
átadásakor elhangzott beszéde

Negyedszer kerül sor Palotás László-Díj átadásra. Azt hiszem, nyugodtan mondhatjuk, immár hagyományosan. Visszatekintve a korábbi három alkalomra, az akkor kitüntetettek – említsük is meg őket: *Wellner Péter*,

Dr. Köllő Gábor, *Dr. Almási József*, postumus *Dr. Jávorka Tibor*, *Polgár László*, *Dr. Kiss Zoltán* kollégák – az átadások körülményeire és a szakmai visszajelzésekre, igazolva látszik az a közös törekvésünk, hogy méltó emléket állítsunk Palotás László professzor úrnak, illetve évente tisztelegjünk azon kollégáink előtt, akik az egyesület javaslatai szerint kiemelkedőt alkotnak, vagy alkottak a szakmában. Kuratóriumunk reméli, hogy az ideai megemlékezés nem csak folytatása, de megerősítése is az eddigi folyamatnak.

A **fib** Magyar Tagozatának a díj alapításával az volt a törekvése, hogy elismerést kapjanak a beton- és feszített vasbetonszerkezetek terén azok a magyar alkotók, akik jelentősen segítettek tevékenységükkel a vasbeton építési kultúra fejlődését, öregbítették a szakma hazai és nemzetközi hírnevét.

A kuratórium meggyőződése, hogy az idei díj kitüntetettjei a Tagozat törekvését teljes mértékben kielégítik. Tájékoztatom a tisztelt Közgyűlést, hogy a kuratórium a közgyűlés által elfogadott szabályzat és a beérkezett javaslatok részletes elbírálása alapján, a 2003. október 30-i ülésén úgy határozott, hogy 2003. évben legyenek a Palotás László-díj kitüntetettjei:

Dr. Erdélyi Attila úr és Dr. Popovics Sándor úr.

Dr. Erdélyi Attila, okl. mérnök, a műszaki tudományok kandidátusa, szakmánk egyik első számú reprezentánsa. Már fiatalon kitűnt mind az elméleti, mind a kísérleti kutatásban való kiemelkedő készségével, amihez igen jó pedagógiai érzéke is párosult. Erdélyi Attila díjunk névadójának méltó követője. Palotás professzor évtizedekkel ezelőtt a kitüntetéses mérnöki oklevelet szerzett hallgatóban felismerte azt a szakembert, aki hosszú évek során megedződve, kiemelkedő szakmai tudással felvértezve, utóbb az ő nyomdokaiba lépett.

Erdélyi Attila sokat tett a hazai és a nemzetközi szakmai szervezetek sikeréért. Mind az egyetemi oktatásban, mind a szakmai bizottságokban folytatott vezetői tevékenysége igen értékes és eredményes volt. Külön ki kell emelnünk a FIP, ill. **fib** Magyar Tagozat keretében végzett munkáját. Nincs soraink közt senki, aki hosszabb ideig, eredményesebben képviselte volna a magyar színeket a nemzetközi szervezetben. Nem



(Dr. Loykó Miklós, Dr. Balázs L. György, Dr. Madaras Gábor, Dr. Pótáné Palotás Piroska)

hagyható szó nélkül Erdélyi Attila szakirodalmi tevékenysége sem, ami egészen kiemelkedő: feljegyzéseink szerint 106 szakkikk, 2 disszertáció, 8 egyetemi jegyzet, 3 tudományos könyvben 8 önálló könyvrészlet fűződik nevéhez.

Dr. Popovics Sándor, okl. mérnök, az Amerikai Egyesült Államokban élő kutató mérnök. Pályafutása igazi XX. századi történet. 2003. december 24-én lesz 82 éves. 1944-ben szerzett diplomát a József Nádor Műszaki Egyetemen, 1945-től anyagvizsgálati és anyagszerkezeti kutatásokkal foglalkozik az Éti-ben, illetve annak elődintézményében. Kutatásai a kezdetektől Palotás László hatása alatt fejlődnek a tanítvány-mester kapcsolat alapján. 1955-ben beadott "Számszerűen jellemzett konzisztencia eléréséhez szükséges betonösszetétel számításáról" c. kandidátusi értekezését 1956-ban fogadták el. A disszertáció eredményei nemzetközi figyelmet keltettek. 1957-ben a forradalom után Popovics Sándor elhagyta az országot szakmai jövőjének kilátástalansága miatt. A bécsi egyetemen Rockefeller-ösztöndíjat kapott, majd ősszel már egy amerikai egyetemen kezdi meg doktori cselekményeit. 1959-ben megjelenik a "Beton adalékanyagok minősítési értébecslésének módszere" c. doktori értekezése. 1960. januárjában docens az Auburn University Építőmérnöki Karán, majd ugyanitt hamarosan egyetemi tanár. Ezután 33 évi oktatói-kutatói munka következik, 1993-ban a Drexler University-ről vonult nyugdíjba. 1950-2001 között 200-nál több műszaki publikációja jelent meg, köztük 2 magyar és 3 angol nyelvű könyv. Az angol nyelvű cikkei széles körben ismertek és hivatkoztak. Könyvei a szakkönyvtárakban szerepelnek, így idehaza is.

Popovics Sándor mind a mai napig magyarnak vallja magát, ápolja hazai kapcsolatait, szakmai megítélése a világban erősíti a magyar mérnöktársadalom hírét.

Tisztelt Erdélyi Attila! Tisztelt Popovics Sándor!

Mind a kuratórium, mind a magam nevében szeretettel és szívből gratulálok a Palotás László-díj elnyeréséhez. Kívánjuk, hogy további eredmények kísérjék munkásságukat, melyeket jó erőben és egészségben érnek el mindnyájunk öröme, tiszteletünkől övezve.

Budapest, 2003. december 8.

Palotás László-díjat kapott 2003. december 8-án



1933-ban születtem Sopronban. Elemi és középiskolai tanulmányaimat evangélikus egyházi iskolákban végeztem. *Emberre* itt nevelődtem, *szakemberre* az egyetemen, felnőtté pedig az „életben”.

1951-ben az akkor indított Szegedi Közlekedési Műszaki Egyetem Vasútépítő Karán kezdtem az egyetemet és 1956-ban Budapesten diplomáztam a BME-n a Hid- és Szerkezetépítő Szakon, kitüntetéses eredménnyel. Diplomamunkámat a Korányi Imre vezette I. sz. Hidépítési Tanszéken készítettem, majd 1961-ig a MÁV Hidépítő Vállalatnál voltam építésvezető-helyettes, építésvezető, végül a központi tervező csoportban önálló tervező. Kollégáimmal együtt több újítást adtam be a hagyományos „hidfő + felszerkezet” típusú *kishidak helyett az előregyártott zártkeretes kishidakra*: azóta ezekből *MÁV típusú lett*. 1961–63 között a VÍZITERV Műszaki Fejlesztési Osztályán dolgoztam. Egyetemi és oktatói pályafutásom előtt tehát *építési- és tervezési gyakorlatot szereztem*, s eközben az oktatóitól *teljesen különböző felépítésű és szellemiségű szervezetekben* (a MÁV Hidépítőnél, ill. az OVH-hoz tartozó VÍZITERV-ben) dolgozva az önérvényesülés helyett csapatmunkát tanultam, s egy életre azt is, *hogy a hazai gyakorlatban is használható fejlesztési kutatással foglalkozzam*, és azt tanítsam majdani egyetemi pályafutásom alatt, amire a magyar műszaki-mérnöki társadalomnak ma és holnapután szüksége van és lesz, s nem azt, ami éppen „csak nekem” tetszik. Ez a szemléletem kiteljesedett, amikor dr. Palotás László Kossuth-díjas professzor meghívott tanársegédnek az 1963-ban alapított önálló *Építőanyagok Tanszékre*. Mielőtt valami „érdekesebb” feladatot kellett megoldanom, a vonatkozó hazai kutatóintézeti, továbbá a német és angol nyelvű szakirodalmat (a szabványokat is) alaposan átnéztem, s nemcsak „írtam a cikkeket” (irodalomjegyzékem a tanszéki www.eat.bme.hu honlapon olvasható) – hanem *először olvastam is*. Ezt első főnököm, Palotás professzor tőlem el is várta, s bizalma jeléül küldött ki 1966-ban (!) külföldre „tanulni”. Ekkor már adjunktusként, majd docensként dolgoztam, tanítottam, kutattam és irányítottam ipari megbízásból végzett fejlesztési/kísérleti munkákat, vagy részt vettem ilyenekben. Szinte minden más tanszékkel (pl. Műszaki Mechanika, Mechanikai Technológia, Útépítési, Talajmechanika, Gépelemek, Vasbetonszerkezetek stb.) *dolgoztam együtt*, hogy saját szakvéleményünkben, adott „kényesebb” esetben egy *teljes BME állásfoglalást* érjek el. (Pl. hegeszthetőségi kérdések a Császár-fürdő üvegrúdként elpattant Ø40 mm-es alaptüskéi esetében, vagy az új D&D pászmák mikroérdeességi vizsgálata a Gépelemek Tanszéken).

A *beton anyaggal* való hivatásszerű foglalkozásom a tervezett nagymarosi gát előtanulmányai és előkísérletei során indult el (ezek részben az akkori SZIKKTI-vel közös kutatások voltak), a *vízépítési* (kis hőfejlesztésű) *cementek és a kopás- és fagyálló, vízzáró betonok területén*. E témában az akkori OVH megbízásából vezetésemmel *Vízépítési beton* c. műszaki segédlet is készült. Egy másik fő megbízó az akkori KPM volt: mégpedig az M7 beton autópálya *só- és fagyállósági kérdései*. Nagy eredménynek számított annakidején a BNV-n is bemutatott készülék: a Betonútépítő Vállalat (dr. Liptay András fejl. főmérnök) megrendelésére dr. Balázs

György és főként néhai dr. Zimonyi Gyula fizikus és néhai Páger István műszerész tervezésében és szerkesztésében elkészült a ma is használt *légbuborékmérő mikroszkóp*, amellyel a beton *fagyállóságára jellemző számok* (pl. távolsági tényező stb.) a betoncsiszolaton megmérhetők (Powers-féle elv). A Ferihegyi *új műszaki előtér*, az *új futópálya*, a Határ úti földalatti állomás *2,4 m vastag, haditechnikailag biztos alaplemeze*, valamint ismétlődően a *vasúti aljak minőségi* – a MÁV és a gyártó közötti – vitájának műszaki eldöntése kiemelt feladataim voltak (utóbbi id. Balázs Györggyel együtt).

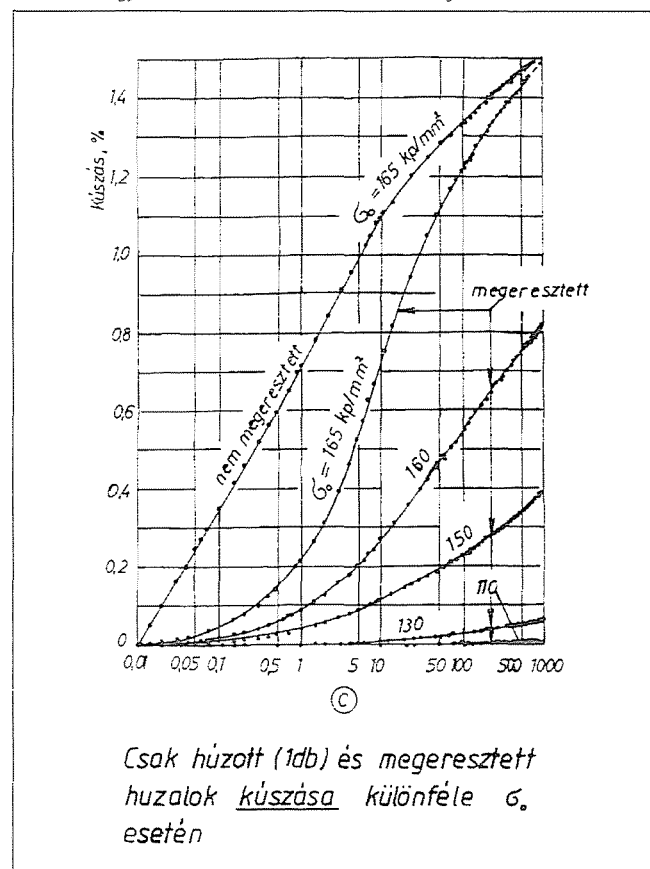
A *feszítőbetétek* a hídgerendákban, a Span-Deck födémpanelelekben és a vasúti aljakban stb. a vártnál sokkal kisebb feszítőerőt tartottak meg (sok kísérletet az ÉTI-vel együtt végeztünk el, beleértve a huzalok lehorgonyzási hosszát közönséges és könnyűbetonban is). Mindez a *relaxációra* (= *ernyedésre*) *irányította figyelmemet*. Kérdés: mennyi a várható összes „végső” veszteség és *milyen függvénnyel* írható le az első 100 év (10^6 óra = 114 év).

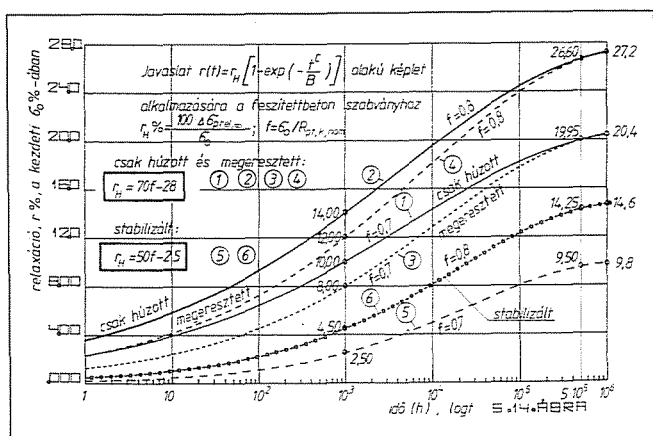
Az 1. ábra (a szakirodalomból) azt igazolja, hogy minden kúszási vagy relaxációs mért görbe egy

$$r_t = r_\infty \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{t}{t_r} \right)^c \right) \right]$$

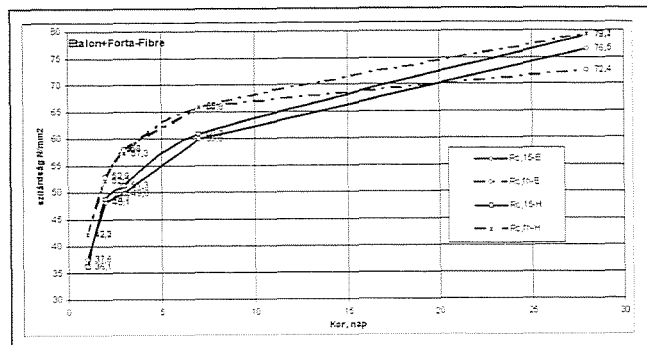
alakú függvény *eltérő szakaszaira* esik és t_r (a „belső időmértek”) attól függ, hogy *mekkora kezdeti feszültséggel*, *milyen*

1. ábra: Eltérő kezdeti feszültség és gyártási mód hatása a kúszási görbék ugyanazon időtartam alatt mérhető alakjára





2. ábra: Határértékhez tartó $(1-e^{-t})$ alapú függvények tervezők számára a relaxáció becsléséhez 114 év ($= 10^6$ óra) időtartamig



4. ábra: M7 autópálya gyorsbeton táblacsere kísérletek (Cemkut Kft)

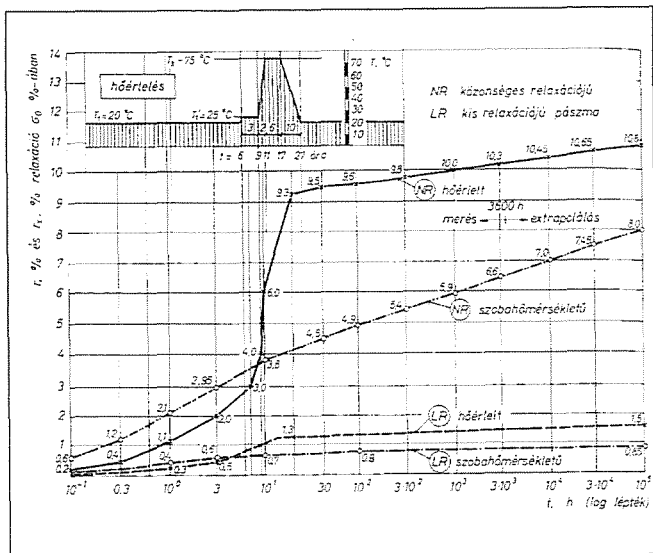
gyártmányú (csak húzott, megeresztett és a legújabb stabilizált) húzott mennyi ideig vizsgálunk, milyen hőmérsékleten.

E két utóbbi tényező felcserélhetősége teszi lehetővé a Larsen–Mille-féle extrapolációt.

A 2. ábrán (tervezők számára készült) 114 év= 10^6 óráig terjedő görbék láthatók kétféle húzalgyártmányon és kétféle (70-, ill. 80%-os) kezdeti feszültségre.

A beton akkor szokásos hőérlelése (gőzölése) okozta feszítési többletvesztés (relaxációs többlet), a hosszúpados gyártással együtt járó lazulási veszteség lett kutatásainknak (és disszertációimnak) fő területe, beleértve a mérési (több ezer órás) időtartamok és az extrapolálható „végső” veszteség összefüggését, ill. becslését.

A 3. ábra igazolja, hogy a bármilyen T 20°C hőérlelés okozta relaxációs többletvesztés csak „végtelen” idő múlva tűnik el, – a gyakorlati élettartamon belül nem (Vaskut mérések, Takács Sándor). „Rejtélyes” ügyeket is sikerült – csapatmunkában – megoldani. Pl. a hosszúpados Span-Deck födémpanelek gyártásakor átálltak az osztrák Felten helyett hazai D&D 7-eres pászmák alkalmazására, – és a feszítőerő oldásakor nagyobb lett a pászmabecsúszás – és kisebb a feszítőerő. „Rossz a beton, rosszak a D&D pászmák, a felületük stb.” – mondta az elemgyár. Ekkor mérte meg a mikroérdességet a Gépele-



3. ábra: A szakaszosan nagyobb hőmérséklet okozta többletrelaxáció kétféle (R2 és R1 – lásd Model Code) feszítőacél gyártmányra

5. ábra: Szilikapör nélküli gyorsbetonok – Cemkut tanfolyamokon

EN 206 tanfolyamon bemutatásra készített "gyorsbetonok" szilárdsága [N/mm²]

3-3 db 15×15×15 cm-es kocka és 7×7×25 cm-es hasáb, 42,5R ill. 52,5 cc nent 420 kg/m³, A16, m = 6,62, hőmérséklet: kb. 23 °C, végig vízben

Kor nap	nyomó 15×15×15	nyomó 7×7×25	húzó-hajlító 7×7×25	hasító	cement	adalékszer	v/c	konzisztencia*
I. tanfolyam, 2000.01.19.								
1	48,2	56,1	7,5	4,8	"A" gyár	"T"	0,32	3p, T: 38cm
7	64,7	76,0	9,4	5,3	42,5R	2,40%		30p, T: 37cm
28	71,5	85,1	8,8***	5,8				
II. tanfolyam, 2000.02.02.								
1	47,2	50,7	7,5	4,8	"A" gyár	"T"	0,32	3p, R: 6mm, 30p, R: 6mm
7	62,8	64,9	8,9	4,1***	42,5R	2,40%		30p, V: 13s
28	68,4	64,9	9,2	6,2				30p, T: 45cm
III. tanfolyam 2000.02.14., A előkísérlet								
1	59,0	-	-	-	"B" gyár	"M"	0,32	4p, T: 41cm, 40p, T: 40cm
7	-	-	-	-	52,5	1,25%		6p, R: 12mm, 40p, R: 12mm
28	76,3	-	-	-				10p, V: 20s, 40p, V: 40s,
III. tanfolyam 2000.02.14., B előkísérlet								
1	64,0	-	-	-	"B" gyár	"M"	0,26	5p, T: 41cm
7	-	-	-	-	52,5	1,75%		10p, R: 10mm
28	81,7	-	-	-				40p, T: 40cm
III. tanfolyam, 2000.02.16.								
1	66,2	67,9	9,2	5,3	"B" gyár	"M"	0,26	5p, V: 36s
7	-	94,4	9,9	7,1	52,5	2,00%		
28	83,7	95,7	11,3	6,0***				
IV. tanfolyam, 2000.02.23.								
1	60,5	67,1	7,9	6,0	"A" gyár	"M"	0,26	10p, Walz: 1,25
7	-	90,4	10,2	7,0	42,5R	2,40%		
28	85,4**	98,5	11,3	7,3				

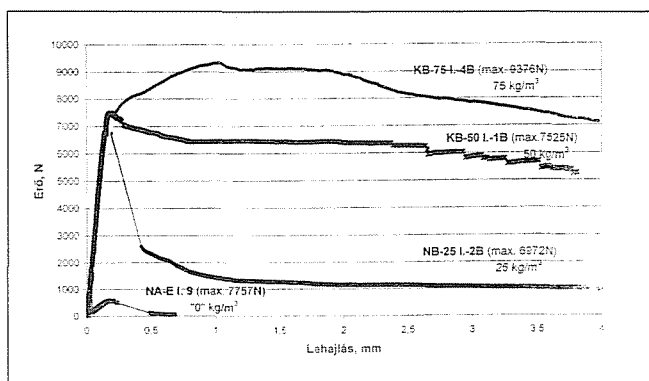
*T = terülés, R = roskadás, V = Vebe idő, Walz = tömörítési mérőszám (MSZ ISO 4111), p = perc

** ha az első 24 órában + 5 °C-on tároltuk a próbatesteket, a 28 napos szilárdság 90,7 N/mm²-re adódott

***A három eredmény terjedelme nagy, az átlagérték a várhatónál gyengébb, az eltérés okát nem vizsgáltuk

Készítette:

Máhr Géza laboratóriumvezető



6. ábra: 30/0,5 mm-es acélszállal erősített és száll nélküli bémetszett gerendák erő – lehajlás diagramjai: repedés utáni szilárdság

mek Tanszék, s annyit még a Felten minőségi vezetője is elárult, hogy a legutolsó húzógyűrűt enyhén vibráltatják az osztrákok. Végül kiderítettük, hogy a Felten pászma *csak R1 meg-eresztett* („stress relieved”) minőségű volt, – a D&D pedig *stabilizált R2* osztályú, s emiatt ebben a pászmában a beton *hőérlelése* miatt alig keletkezett veszteség – míg az osztrákban igen, s így a D&D pászma a kisebb veszteség, azaz *nagyobb maradó feszítőerő* miatt (lásd 3. ábra) csúszott be erősebben.

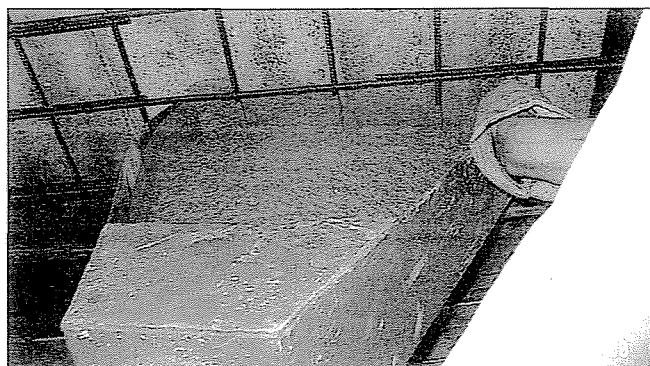
A Tanszék (az én témavezetésemmel) végezte az első, *ide-haza megjelenő külföldi adalékszer gyártó cég, a „Meynadier”* Barra-termékeinek bevizsgálását, s az *adalékszeres betonok* következtetéses kutatása vezetett végül a *gyorsbeton* (24 óra alatt 30–40 N/mm² szilárdság, M7 táblacsere), az *öntömörödő beton* (ÖTB) alkalmazásához (csepeli Ferr-Alpi csarnok pillérek kéregerősítése, a Holcim Rt. Betongyárával együttműködve; tervező: Pannon-Freyssinet Kft.). A *gyorsbeton* (táblacsere kísérlet az M7 autópályához) 1 napos korban 36–42 N/mm² körüli szilárdságú volt (4. ábra).

1997-től – 4 évnyi tanszékvezetés után – a Betonolít K+F Kft.-nél, mint tanácsadó dolgoztam, és középfokú tanfolyamokon kevert és tört 1 napos, ill. a 28 napos gyorsbetonjaink eredményei *szilikapor nélkül, közönséges adalékanyaggal, jó folyósítóval* a következők voltak: 48/71 – 41/68 – 59/76 – 64/82 – 60/85,4 (5. ábra, táblázat: a vastag számok 24 órás adatok).

Az *acélszálerősített (acélrost) betonnal* 0–25–50–75 kg/m³ adagolásával elértük az „erő-lehajlás” diagramok (OTKA 16688/95, lásd a 6. ábrán) teljesen „*rugalmas-képlékeny*”, sőt a „*felkeményedő*” *anyagmodell* szerinti viselkedését, a törési (nem repedési!) biztonság és szívósság növekedését és megállapítottuk a repedés utáni „szívós” szilárdságot (Post Crack Strength).

A *kimondottan betontechnológiai-elvi jellegű* kutatásaim – érdekes véletlenként – éppen dr. Popovics Sándor ÉTI-ben

7. ábra: 12 cm-es öntömörödő kéregbeton (ÖTB) készítése a szivattyúcső végére erősített elosztó lapáttal



készített tanulmányának (betonösszetétel, konzisztencia, szemmegoszlás alapú becslőképletek) elemzésével kezdődtek, egy új konzisztenciamérő bevizsgálása kapcsán, még 1964-ben.

A konzisztencia szerepének legjelesebb bizonyítási területe ma az *öntömörödő beton* (ÖTB; SCC=self compacting concrete; SVB=Selbstverdichtender Beton). Ennek alkalmazását betontechnológiai szakértőként vezettem és 12 cm vastag, *télen 1 napos korban már kiszaluzható* pilléreköpenyző kéreg *látszóbeton* minőségben elkészült (7. ábra: behordó terítő lapát; 8. ábra: a végeredmény. [Erdélyi-Holcim-Beton-Pannon-Freyssinet].

A legigényesebb *tömegbeton* munkám, a 2,4 m vastag Hátár úti Metró vastaglemez volt, amely 2x1,2 m *fogásban* („lift”) és kétszer 3x0,4 m=1,2 m vastag „*frisset-frissre*” egybebetonozott–egybevibrált készletetett, 0,4 m-es *rétegekben* készült. A két *fogás* betonozása között négy nap időkülönbség volt (megvizsgáltuk az 1.fogás kihülését) – a *rétegeket* 18 órára kellett készletetni, hogy összevibrálhatók legyenek. Ehhez a helyszínei mérések előtt 1,2 m magas laboratóriumi 1 m²-es hőszigetelt tömbön *minden változatban* végigmértük a keletkező belső hőmérsékletet: [Szombathy Zoltán] a legnagyobb hőmérséklet 55°C volt.

A Nemzetközi (feszített) Betonszövetség (régén FIP, ma *fib*) acélbizottságában 1970 óta Magyarország képviselője voltam, a „*feszítőbetétek*” voltak a különleges betonok mellett fő területem. A „FIP/fib”-ben végzett munkámat a magyar fib tagozat egy külön kiadványában (természetesen) másokéval együtt méltatták – idevágó szakirodalmi adataim (benne egy angol nyelvű FIP Report on Prestressing steel is a hőérlelés és relaxáció összefüggéséről) a tanszéki www.eat.bme.hu honlapon megtalálhatók. Jelenleg – elég hosszú szabványkészítési múlt után – az MSZ EN 206-1:2002 európai betonszabvány nemzeti kiegészítésének (NAD) lektora vagyok és szakmérnöki, doktorandusz képzési teendőim, angol nyelvű „Tartósság és összeférhetőség” (építész 5. éves tantárgy – több előadóval közösen – továbbá MTI-i előadásaim több mint elég feladatot jelentenek: *várom az engem helyettesítő fiatalokat!*

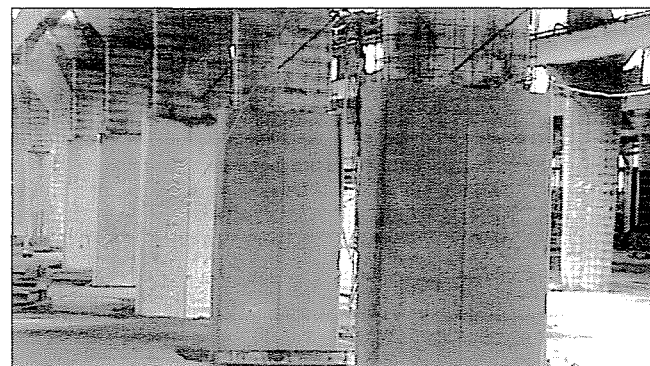
A *gyorsbetonból* („fast track paving”) kifejlesztett *nagyteljesítőképességű – nagyszilárdságú* (HPC–HSC, magyarul NT–NSZ) betont a közeljövőben valamilyen módon az új, lassacskán mégiscsak épülni kezdő *beton autópályákkal kapcsolatban* valahol kipróbálhatjuk.

Ez a folyóirat 2003/2 (62.old.) már utalt rá: – mindezt *csak együttműködő kollégákkal, megbízókkal, (vállalatokkal) együtt* valósíthatjuk meg: ezt minden szakmaszerető és e munkámat segítő kollégámnak és barátomnak szívjből köszönöm. Amit fent leírtam, az *ő eredményük* is.

Remélem, hogy mindezzel Magyarország műszaki haladását is szolgálhattam.

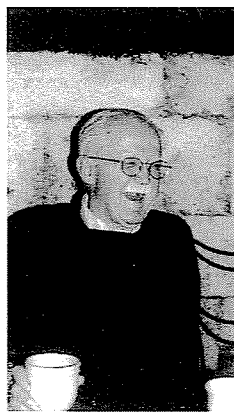
Dr. Erdélyi Attila

8. ábra: A látszóbeton minőségű kiszaluzott, félmagasságig már kéregerősített pillérsor



PROF. POPOVICS SÁNDOR

PALOTÁS LÁSZLÓ-DÍJAT KAPOTT 2003. DECEMBER 8-ÁN



Palotás László munkásságának összességét vizsgálva az ember nem tudja elkerülni azt a végkövetkeztetést, hogy ő korának legfontosabb kultúr-mérnöke volt. Minél távolabb kerülünk

ettől a kortól időben, és szellemileg, annál inkább növekszik Palotás László jelentősége. Nem csak a szerkezetek elméletében és gyakorlatában volt kimagasló, nem csak új módszerekkel fejlesztette tovább a szakmánkat, hanem, aminek meg ezeknél is tartósabb a hatása, egy egész mérnök generáció tanítója lett könyvein keresztül a legfelsőbb fokon. Abban az időben, amikor a magyarok el voltak zárva évtizedeken keresztül a nyugati irodalomtól, írásainak óriási jelentősége volt. Így nagy kitüntetésnek érzem azt, hogy a 2003. évi külföldi Palotás-díjat én kaptam meg. Szeretném hinni, hogy Laci bácsi jóvá hagyná ezt a döntést.

Én egy generációval fiatalabb voltam, mint Palotás László. A mérnöki diplomát 1944. végén kaptam meg hidas vonalon. Személyesen a negyvenes évek végén ismerkedtünk meg. A kezdeti tanítvány-mester, majd beosztott-főnök viszony barátsággá fejlődött, ami a kölcsönös szakmai megbecsülésen kívül a világnézetünk hasonlóságán alapult. Ezt a barátságot az amerikai évek sem szakították meg.

Mit is tanultam Palotás Lászlótól? Nem kópiroztam le az ötleteit, ámbar jó néhány korai publikációm az ő eredményeire volt alapozva. Eltekintve az akkori új statikai módszerek bemutatásától, három területen volt a példaképem. *Az első a munka, második a szakma szeretete és harmadik a szakma megbecsülése.* Próbáld mindig produkálni a legjobbat, még akkor is, ha nincs ebből hasznod! Az ő munkásságát az akkori hivatalos korok nem ismerték el, mások kapták a rangot, a kitüntetést, a hírnevet, a pénzt, de ő ennek ellenére rengeteget dolgozott, és produkált.

Az én mérnöki karrierem sem volt teletűzdelve hivatalos sikerekkel. 1945. elején Budapest székesfőváros alkalmazott. Kitétek a minőségellenőrző laboratóriumba, Kőbányára segédmérnökként. A munka teljesen rutinjellegű minőségellenőrzés volt, amit akkor alacsonyrendűnek tartottam. Azért egy pár évig ez jó iskola volt, mert megismerkedtem a szabványokkal, megtanultam, hogy milyen fontos a pontosság laboratóriumi vizsgálatoknál, hogyan kell mérnöki módon az eredményeket közölni, és szabatosan fogalmazni műszaki szöveget.

A hivatalos munkaköröm azonban évek múlva sem változott meg akkor sem, amikor a laboratóriumot az Építéstudományi Intézethez csatolták. Így saját magam továbbképzése és a kutatás csak esténként és hétvégek alatt volt lehetséges. Elolvastam minden rendelkezésre álló szakmai könyvet és cikket, ami statikához, szerkezetekhez és anyagvizsgálathoz tartozott. Bár a német szakirodalmat is olvastam, a legnagyobb hatással Palotás László írásai voltak rám.

A második terület, ahol Palotás Lászlót próbáltam követni, az írás volt, az eredmények publikálása. Nagyon nehéz lenne felülmúlni a publikációinak akár a mennyiségét, akár a minőségét. Első cikkei a húszas évek végén jelentek meg és folytatódtak a haláláig. Ezer és ezer oldal jelent meg a neve alatt rengeteg fontos eredménnyel. Felismerte például, hogy az adalék szemszerkezetének számszerű jellemzése előnyös a szemszerkezeti görbe helyett. Ezért kísérletekkel bizonyította a finomsági modulus érvényességét a szemszerkezet jellemzésére a betontechnológiában. Rámutatott a betonszilárdság és víz-cement tényező közötti összefüggés fontosságára és alkalmazhatóságára németül is.

Az én első, számottevő tanulmányom 1950-ben jelent meg (Popovics, 1950), az utolsó 2003-ban (Popovics, 2003). A közbeeső több mint öt évtized alatt öt könyvet és mintegy kétszáz tanulmányt publikáltam különböző nyelveken. Ezek közül elég sokat használnak más kutatók referenciaként. Például a Web of Science korlátozott kutatása szerint 2003. évben 40 publikáció használta írásaimat referenciaként. Mindez Laci bácsi közvetett hatása.

A második számottevő cikkemet azért említem meg, mert ebben Palotás László személyesen is bele volt vonva. A szemeloszlással foglalkozó kéziratot neki adták ki lektorálásra. Egy idő múlva behivatott az irodájába, hogy megbeszéljük a kéziratot. Ámbár a tanulmány az ő módszerének a továbbfejlesztése volt, nem féltékenykedett a fiatal feltörrőre, nem is dicsérte nyíltan. Néhány változtatást javasolt homályos pontok tisztázására, azután összecsukta a kéziratot és csak annyit mondott: "Te még sokat fogsz publikálni". Ez a kijelentése megütött, mert bennem éppen az ellenkező érzés uralkodott. Így kifelé menet azt mondtam magamban hogy "Mennyire téved Palotás. Nem tudja, hogy én ezzel a cikkel az utolsó mondatot is kiírtam magamból. A tartály üres. Nincs bennem semmi, amit még publikálni tudnék".

Az idő persze megmutatta, hogy Palotásnak volt igaza, nem Popovicsnak, de hát ez senkit sem lep meg. Visszanézve 50 év távlatából látom, hogy ez a jóslata az ő szabatos, mérnöki módján nagyobb elismerést jelent mintha valaki más az égig dicsért volna. Közbevetőleg, a kérdéses tanulmányt Laci bácsi javaslatára a Tudományos Akadémia kiadta az Osztályközleményekben, majd az Acta Technica-ban is, és, ami még ennél is többet jelentett akkor, még Hummel is belevette a Beton ABC-jének utolsó kiadásába. Ennek ellenére sem ez a cikk, sem a többi tanulmányom (kb. 30) nem keltett visszhangot magyar körökben.

Ez a rosszakaratba hajló közönyösség, az egyre növekvő politikai nyomás mellett kényszerített arra, hogy az oroszok visszatérése után elhagyjam az országot. Világos volt, hogy mind a rosszakarat, mind pedig a politikai nyomás még fokozottabban hatott Laci bácsira. Ő részben kora miatt, részben családi körülményei miatt itthon kellett, hogy maradjon, úgy hogy ő extra munkában és írásban keresett menedéket.

A harmadik terület, ami talán a legtartósabb hatással volt rám, a mérnöki filozófiája a betontechnológiára alkalmazva. Egy új világot nyitott meg előttem, a kezdő mérnök előtt, megmutatván, hogy a betontechnológiát is lehet racionálisan kezelni. Az ő idejéig a betontechnológia nemzetközileg is próbakeverésekre volt alapozva. Ő volt egyike és elsőnek, sőt néhány esetben a legelső, aki próbakeverés helyett matemati-

kai összefüggéseket javasolt és kifejlesztett például a beton összetétele és szilárdsága között. Ma ezt matematikai modellezésnek hívják, de akkor ez olyan új, forradalmi gondolat volt, hogy a módszernek nem is volt neve. A *Minőségi beton* című úttörő könyvében megmutatta, hogy szakácskönyvszerű receptek helyett, mérnöki alapelvekre lehet, és kell építeni a betontechnológiát. Ez a gondolkodásmód volt az, amit én, a kezdő mérnök, olyan követendőnek találtam, és most, a pályám végén még mindig vallok.

Egy további kérdés az, hogy mit tudnánk még tenni a Palotás név megérdemelt, további közismertté tételére. Egy lehetőség lenne egy emlékkönyv kiadása Laci Bácsi születésnapjának 100. évfordulójára. Ehhez magyar és külföldi kutatókat lehetne felkérni műszaki tanulmányok készítésére, például angolul a betontechnológia és szerkezetek terén. Egy másik lehetőség lenne egy nemzetközi verseny kiírása ugyan ezeken a területeken diákok, vagy mondjuk 25 éven aluliak részére. Ez hasonló lehetne a *fib* 40 évnél fiatalabb kutatók részére kiírt díjához.

Végül még egyszer szeretném megköszönni Dr. Balázs L. György professzor úrnak és Dr. Bódi István docens úrnak valamint a kuratóriumnak azt, hogy méltónak találtatok a 2003. évi külföldi Palotás-díjra.

HIVATKOZÁSOK

- Popovics, S. (1950), "Betonadalék szemszerkezetének elbírálása", *Építéstudományi Közlemények*, 3-4 sz. Budapest, július-december 1950. 24-29 oldal.
- Popovics, S. (1955), "Zahlenmassige Bewertung der Kornzusammensetzung von Betonzuschlagstoffen" *Acta Technica*, Tom. XIII, Fasc. 1-2. Budapest, pp. 93-114
- Popovics, S. (2003), "Progress in Ultrasonic Testing in Concrete", *Brittle Matrix Composites 7*, Edited by A. M. Brandt, V. C. Li and I. H. Marshall, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge and Warsaw, 2003. pp.421-429.

*Sándor Popovics, professor emeritus
Drexel University
Philadelphia, PA 19104 USA*

MŰSZAKI RÖVIDHÍREK NEMZETKÖZI BETONÚT SZIMPÓZIUM A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIÁN

Újra a betoné a jövő!

A Magyar Cementipari Szövetség kezdeményezésére 2004. március 11-én rendezték meg a Nemzetközi Betonút Szimpóziumot. Az eseményt Dr. Kovács Ferenc a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium helyettes államtitkára nyitotta meg a Magyar Tudományos Akadémián. Az egynapos rendezvényen elismert külföldi és hazai szakértők ismertették a betonburkolatok építésével és üzemeltetésével kapcsolatos tudnivalókat.

A Magyar Cementipari Szövetség a programot a Magyar Útügyi Társasággal és a Magyar Betonszövetséggel közösen szervezte meg. A szimpózium célja volt, hogy támogassa a hazai gyorsforgalmi úthálózat építési program megvalósítását, ezzel elősegítve, hogy Magyarország mielőbb korszerű, a mai követelményeknek megfelelő, jó minőségű utakkal rendelkezzen. Így tél végén a burkolathibákat és kátyúkat kerülgetve különös jelentőséget kap ez a törekvés.

A rendezvényen közel 300 hazai résztvevőnek nyílt lehetősége a betonút építéssel kapcsolatos legújabb ismeretek, tapasztalatok cseréjére. Az egynapos program keretében az európai országok (Ausztria, Svájc, Németország) elismert szak-

értői, valamint a témát kitűnően értő hazai szakemberek szólnak a megvalósítással és üzemeltetéssel kapcsolatos kérdésekről.

Az utóbbi időben Európa-szerte ismét növekvő érdeklődés mutatkozik a beton, mint útburkolati anyag iránt, hiszen egyre nagyobb a járművek teherbírása, és egyidejűleg növekszik a forgalom is. A betont három fontos jellemző teszi alkalmas útépítő anyaggá: teherbírása, alaktartása és tapadó képessége, így elkerülhető aszfaltburkolatoknál jellemző nyomvályusodás. Környezetvédelmi szempontból is előnyös, hiszen a beton alkalmazása kisebb talaj- és vízzennyezési kockázattal jár, és az elhasználódott és feltört burkolat újrahasznosítható.

Külföldön 50-70 éve építenek betonburkolatú utakat, melyek közül számos még ma is megfelel a forgalmi követelményeknek. A gyorsforgalmi utak, az autópályák a nagyobb forgalmi terhelés következtében egyenesen igénylik a betonburkolat alkalmazását.

Magyar Cementipari Szövetség

BÚCSÚ DR. KOLLÁR LAJOSTÓL (1926-2004)



A Magyar Tudományos Akadémia nevében szeretnék elbúcsúzni dr. Kollár Lajos akadémikustól.

Kollár Lajos 1949-ben a kitűnő eredménnyel megszerzett mérnöki diplomával a zsebében a Műegyetem Mechanika Tanszékén helyezkedett el tanársegédként. Kiválóan oktatott, kutatási eredményeit rendszeresen publikálta, így karrierje is meredeken indult: két év elmúltával egye-

temi adjunktusnak nevezték ki, '54-ben pedig megszerezte a műszaki tudományok kandidátusa fokozatot is.

De nyitott szemmel élt, ezért '56-ban vállalta az egyetemi forradalmi bizottságban való részvételt. Emiatt '57-ben el kellett távoznia az egyetemről. Szerencsére, ezzel nem tört meg tudományos pályája. Az Ipartervben kiváló mérnökök mellé került. Kollár Lajos a tervezőintézetben felmerülő mérnöki problémákhoz is tudományos alapossággal fordult, így a tervezési munkák mellett rendszeresen publikált, és '63-ban megszerezte a műszaki tudományok doktora fokozatot is.

Kiváló érzéke volt ahhoz, hogy különleges szerkezetek esetén is olyan egyszerűsített modelleket állítson fel, amelyekkel kézi számítással közelítőleg meghatározható a szerkezet erőjátéka, és kiolvasható az egyes paraméterek hatása. E modellek segítségével lehet felvenni a szerkezetek főbb adatait, és ellenőrizni a pontosabb, de részleteiben átláthatatlan, számítógépes modellekkel kapott eredményeket.

Ezt a tulajdonságát nem csak az Ipartervben, majd a Buvátiban, ahol statikus szakfőmérnök volt, használhatták, hanem máshonnan is gyakran hívták szakértőnek, tanácsadónak. Ezért vehetett részt több szabvány kidolgozásában is.

Kiváló nyelvtudása felhasználásával megismerte a szakirodalmat. Komplikált jelenséget pontosan, mások számára is érthetően el tudott magyarázni. Tudását másoknak is szívesen átadta, ezért sok cikke jelent meg, majd könyveket is írt.

Az első könyvét a héjvekről írta. A függőtetők számításáról Szabó Jánossal, a héjak horpadásáról Dulácska Endrével írt könyvet. Az előbbi két nyelven, az utóbbi három nyelven is megjelent. A Beton-Kalender kétszer is őt kérte fel a héjszerkezetekkel foglalkozó rész megírására. Hegedűs Istvánna könyvet írt a rácsos tartókból kialakított héjak tervezéséről és számításáról. A ponyvaszerkezetekről szóló könyv szerkesztésekor már több szerző munkáját is össze kellett fognia.

A szakmában látszólag mindent elért. Tervezhetett érdekes szerkezeteket, megbecsülését mutatták a szakértői megbízások, négyszer lett kiváló dolgozó, '86-ban a kiváló munkáért kitüntetés is megkapta, kutathatott és szabadon publikálhatott bel- és külföldön egyaránt, elérte a legmagasabb hazai tudományos fokozatot, mehetett külföldre, sőt már '64-ben 6 hónapig Hollandiában is dolgozhatott, de 1989 előtt nem lehetett egyetemi tanár a Műegyetemen, és nem lehetett akadémikus.

A Műegyetemen a szakmérnöki tagozaton oktathatott, államvizsgáztathatott, tarthatott előadásokat a Mérnöki Továbbképző Intézetben, kutatásaihoz az Acélszerkezeti Tanszék laboratóriuma végzett kísérleteket, de az 1976-ban benyújtott egyetemi tanári pályázatát politikai indok alapján elutasították.

Így "csak" külföldön lehetett egyetemi tanár. Két alkalommal Bochumban, '74-ben Calgaryban, '84-ben Dortmundban volt vendégprofesszor.

Az MTA-tól kapott Akadémiai jutalmat, megkapta az Akadémiai Díj I. fokozatát, tarthatott két felolvasóülést, az Akadémiai Kiadó nívódíjjal jutalmazta könyvét, lehetett a TMB egyik szakbizottságában elnök, szerkeszthette az Akadémia Acta Technica Civil Engineering folyóiratát, de levelező taggá választásához rendszerváltozás kellett.

1990-ben lett akadémikus, '91-ben pedig a BME egyetemi tanára.

Új tantárgyakat dolgoz ki, ezeket a gazdag diagályűteményét felhasználva előadja, vizsgáztat, részt vesz az doktoranduszok elindításában, majd a képzésben, doktoranduszok tudományos vezetője lesz, tagja lesz egyetemi bizottságoknak. Munkáját professor emeritusként akkor is nagy lelkesedéssel folytatja, amikor 70 éves lesz, és a törvény szerint kötelező nyugdíjba mennie.

Az Akadémia Műszaki Mechanikai Bizottsága két ciklusban is elnökének választja, 1995-ben az MTA rendes tagja lesz, 6 évig a Műszaki Tudományok Osztályának elnökhelyettese.

És fáradhatatlanul publikál. A mérnöki stabilitásméletről szóló könyv szerkesztője, és több fejezetének szerzője, ez is megjelent magyarul és angolul is. Vámosy Ferencce a mérnöki szerkezetek esztétikájáról ír könyvet. 2000-ben jelent meg a többszerzős Mérnöki építmények és szerkezetek tervezése c. könyve.

Sorba jönnek a kitüntetések is: 1991-ben a Braunschweigi Egyetem díszdoktorává, '92-ben a londoni Európai Akadémia tagjává választja, ugyanebben az évben megkapja a Széchenyi-díjat, '98-ban a Szent-Györgyi Albert-díjat, 2000-ben a Magyar Köztársasági Érdemrend Középkeresztjét.

Élete során nagyon sok hazai és nemzetközi szervezetben dolgozott, látott el különböző tisztségeket. Néhány szervezetet felsorolok:

Nemzetközi Hid- és Magasépítési Egyesület,
Héj- és Térbeli Szerkezetek Nemzetközi Egyesülete,
Magyar Mérnöki Kamara,
Építőipari Tudományos Egyesület,
Közlekedéstudományi Egyesület,
Magyar Akkreditációs Bizottság,
Professzorok Batthyány Köre.

A „Műegyetem 1956” Alapítvány Kuratóriumának első elnökeként nagy örömmel és lelkesedéssel szervezte az október 22-i műegyetemi ünnepségeket.

A kisebb létszámú ülések előtt, várva a még hiányzó tagokat, vagy utána, szedelődzkodés közben Kollár Lajos sokszor adomázott, mondott vicceket. Az utóbbi években leggyakrabban az unokái egy-egy érdekes-szellemes-mulatságos mondatát mesélte el. Mert Kollár Lajos nemcsak kiváló mérnök, tudós és oktató volt, hanem szerető férj, apa és nagyapa is.

Isten Veled Lajos! Nyugodj békében!

Dr. Gáspár Zsolt
az MTA rendes tagja

RENDEZVÉNYNAPTÁR

fib Symposium on

Concrete Structures: the Challenge of Creativity
2004.04.26-28 – Avignon – France
web: www.fib-avignon2004.org
org: tel: +33 1 46 11 32 90
e-mail: francoise.raban@equipment.gouv.fr

5th international PhD Symposium in Civil Engineering

2004.06.17-19 – TU Delft – The Netherlands
web: www.phdce5.nl
org: Tom Scarpas tel: +31 15 278 5883
e-mail: info@phdce5.nl

Int. Symposium on Ultra High Performance Concrete

2004.09.13-15 – Kassel – Germany
web: www.uni-kassel.de/uahpc2004
org: University of Kassel tel: +49 561 804 2601
e-mail: ghlueke@uni-kassel.de

BEFIB 2004

Sixth Rilem Symposium on Fibre Reinforced Concrete
2004.09.20-22 – Varenna, Lake Como – Italy
web: www.lecco.polimi.it/befib04.htm
org: Giselda Barina tel: +39 0341 98 3084
e-mail: giselda.barina@polimi.it

2nd Int. Workshop on

Structural Health Monitoring of Innovative Civil Engineering Structures
2004.09.22-23 – Winnipeg, Manitoba – Canada
org: ISIS Canada tel: +1 204 474 8506
e-mail: muftia@cc.umanitoba.ca

IABSE Symposium on

Metropolitan Habitats and Infrastructure
2004.09.22-24 – Shanghai – China
web: www.iabse2004.org.cn
org: tel: +86 21 6598 3451
e-mail: secretariat@iabse2004.org.com

fib Symposium on

Segmental Construction in Concrete
2004.11.26-29 – New Delhi – India
web: www.fib2004.com
org: tel: +91 11 2627 2447
e-mail: fib2004@rediffmail.com

11th International Conference on Fracture

2005.03.20-25 – Turin – Italy
web: www.icf11.com
org: tel: +39 011 244 69 11
e-mail: icf11@congressiefiere.com

fib Symposium 2005 Budapest

“Keep Concrete Attractive”
2005.05.22-25 – Budapest – Hungary
web: www.eat.bme.hu/fibSymp2005
org: Hungarian Group of **fib** tel: +36 1 463 4068
e-mail: fibSymp2005Budapest@eik.bme.hu

6th International Congress

Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities
2005.07.05-07 – Dundee – Scotland
web: www.ctucongress.co.uk
org: R K Dhir tel: +44 1382 344347
e-mail: r.k.dhir@dundee.ac.uk

A győri Széchenyi István Egyetem, Építési és Környezetmérnöki Intézet Szerkezetépítési Tanszéke
2004. november 4-5-én **mérnökszeizmológiai konferenciát** rendez. Címe:

MAGYARORSZÁG FÖLDRENGÉSBIZTONSÁGA

Modellezés, méretezés.

A konferencia témája: földrengéskockázat, veszélyeztettség, biztonság, szerkezeti kialakítás, épületek sérülékenysége, modellezés, méretezés.
Felhívjuk erre a téma iránt érdeklődők figyelmét, és kérjük őket, hogy vegyenek részt a konferencián, tartsanak előadást, és szándékukat mielőbb jelezzék! Az előadásokat szeretnénk összegyűjtve mind könyvben, mind CD-n átadni minden jelentkezőnek 2004. nov. 4-én, amennyiben az írásos változatot időben megkapjuk.

A konferencia előzetes programja:

2004. nov. 4., csütörtök:

- ⇒ délelőtti plenáris ülés, szekcióülések;
- ⇒ ebéd;
- ⇒ délután kerekasztal beszélgetés aktuális témákról, bemutató;
- ⇒ este kulturális program (színház, balett vagy hangverseny).

2004. nov. 5., péntek:

- ⇒ délelőtti szekció ülések, plenáris ülés.

Érdeklődése esetén, kérjük az alábbi időpontokat szíveskedjék betartani:

Jelentkezés

2004. április 20.

Aki előadást tart, írja meg annak címét, és 2-3 sorban a témáját is.

Visszajelzésünk a leírt előadás formai követelményeivel

2004. május 10.

Az előadás beküldési határideje

2004. szeptember 10.

Jelentkezés részvevőként a fizető cég/személy megadásával

2004. szeptember 20.

Számlát küldünk

2004. október 10.

Befizetési határidő

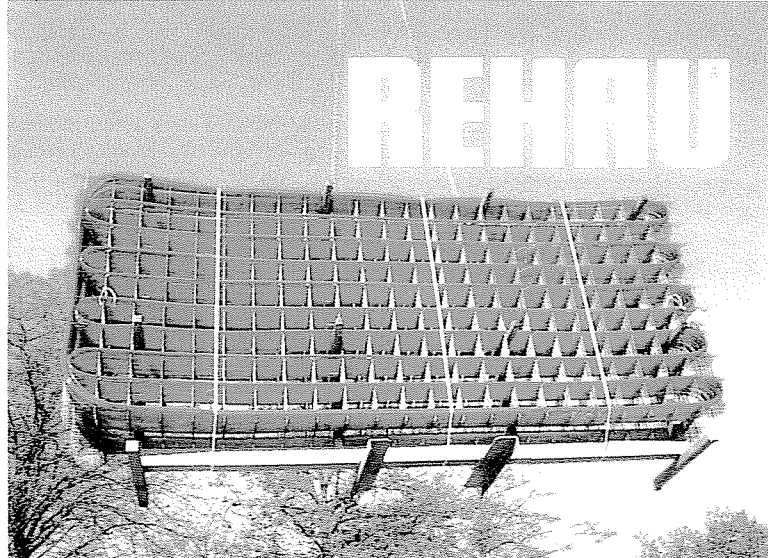
2004. október 30.

Részvételi díj: 10.000 Ft, mely magában foglalja a csütörtöki közös ebéd és a konferencia kiadványának költségeit is.

Jelentkezni lehet az alábbi címeken:

- ⇒ postai levélben: dr. Kegyes Csaba, Széchenyi István Egyetem
- ⇒ elektronikus levélben: lorincz@sze.hu, dr. Lőrincz György.

A szervező bizottság nevében: Dr. Kegyes Csaba egyetemi docens



REHAU épületszerkezet-temperálás – a gazdaságos hűtés

Az épületszerkezet-temperálás a nagytömegű monolit födémek hőtároló képességének kihasználásán alapszik. A statikai épületelemekben áramoltatott víz szükség szerint fűtési, vagy hűtési igényeket elégít ki.

Megvalósulása a tervezés első lépésétől a statikus, az épületgépész és az építész tervező szoros együttműködésének eredménye.

- Hűtés és fűtés egy rendszerrel.
- Költségcsökkentés a létesítés és az üzemeltetés során.
- REHAU előregyártott BKT modulok épületszerkezet-temperálás
- REHAU helyszínen fektetett épületszerkezet-temperálás

REHAU Kft.
2051 Biatorbágy,
Rozália park 9.
Tel.: (23) 530-700
Fax: (23) 530-707
Budapest@REHAU.com
www.REHAU.hu

Kérem küldjenek részemre tájékoztatót!

Név:

Cég:

Tel.: Fax: