

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*

PROF. DR.-ING.
LASZLO M. PALOTAS, PH.D.

A 2021. ÉVI PALOTÁS LÁSZLÓ-DÍJ ÁTADÁSA

2

DR. TÓTH ERNŐ ELŐADÁSA A PALOTÁS-DÍJ ÁTADÁSAKOR

5

DR. KOPECSKÓ KATALIN –
BARANYI ATTILA

A CEM I 42,5 N PORTLAND CEMENT EN 196-3 SZABVÁNY SZERINTI KÖTÉSI IDEJÉNEK ÉS HIDRATÁCIÓS HŐFEJLŐDÉSÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

14

SZEPESHÁZI ATTILA –
DR. MÓCZÁR BALÁZS

BUDAPESTEN MEGVALÓSULT MÉLY MUNKATÉRHATÁROLÁSOK MOZGÁSMÉRÉSI EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE

22

2022/1

XXIV. évfolyam, 1. szám



MAPEI
RAGASZTÓK • FUGÁZÓK • ÉPÍTÉSKÉMIAI TERMÉKEK

www.mapei.hu

Már elsőre végleges építési megoldások

Mapefast Ultra, a fenntartható beton innovatív technológiája

A Mapei új MAPEFAST ULTRA adalékszere rekord-idő alatt tette lehetővé az új genovai híd megépítését, az itt használt beton fenntartható, tartós és ellenáll az agresszív szereknek. Az új genovai híd építésének vezérelve a fenntarthatóság volt. A betongyártáshoz a CEM III/A típusú cementet használták, amelynek előírás a klinker 40%-ának kohósalakkal - az acélglyártási ciklus mellékterméke - történő helyettesítése. Ezt a cementet alacsony CO₂-kibocsátás (körülbelül 500 kg CO₂/tonna, szemben a hagyományos Portland cement körülbelül 900 kg CO₂/tonna értékével), valamint az agresszív anyagoknak ellenálló, tartós beton előállításának bizonyított képessége jellemzi, mint ahogyan azt a híd építésénél is tervezték (az UNI EN 206 európai szabvány szerinti XA1 környezeti kitéti osztály).

Új híd 13 hónap alatt a Mapei támogatásával

A projekt második jellemző eleme eme alapvető infrastruktúra létrehozása volt a lehető leggyorsabban Genova városának gazdasági újjászüléséhez. 2019. június 25-től, a 9-es pillér első öntésének időpontjától a 2020. augusztus 3-i felavatásig mindössze 13 hónap telt el, ami a munka méretéhez képest rekordidő. A híd legimpozánsabb elemei a 18 pillér, a 45 méteres beton óriások, amelyek a hídpályát tartják. Keresztmetszetük (9,50 x 4 méter) a függőleges profil mentén állandó a munka perspektívikus egységének biztosítása érdekében. Az azonos típusú, moduláris falú külső zsaluzat használatának köszönhetően sikertelen jelentősen felgyorsítani a technológiai időket.

A Mapei a Padovai Egyetemen közösen dolgozott a megfelelő megoldásért

A speciális technológiák ellenére azonban nem lehetett volna időben befejezni a munkát a MAPEFAST ULTRA innovatív szilárdulás gyorsító adalékszer alkalmazása nélkül, amelyet a Mapei kutatólaboratóriumaiban fejlesztettek ki a Padovai Egyetem Földtudományi Tanszékének Circe Központjának közreműködésével. Ennek az az oka, hogy a CEM III/A cement - kohósalakkal gazdag összetétele miatt - nem tudta biztosítani a pillérek gyors felállításához szükséges mechanikai szilárdságot, különösen télen, amikor az alacsony hőmérséklet erősen lassította a cement hidratációját. A kötőanyag 40%-át kitevő salak puccolános reakciója nem azonnal alakul ki, hanem csak néhány héttel az öntés után kezd jelentősen hozzájárulni a mechanikai szilárdsághoz.

A MAPEFAST ULTRA használatának köszönhetően az öntéstől számított 16 óra elteltével még a tél közepén is el lehetett távolítani a zsaluzatokat, és rendkívüli ütemben, havi 3 pillérral lehetett folytatni a munkálatokat.

A MAPEFAST ULTRA-t a többi összetevővel együtt a normál gyártási ciklusban adagolták a betonhoz. A DYNAMON XTEND W400N és a DYNAMON EW szuperfolyósító szerek kombinációját használták az S5 konzisztenciaosztály (roskadás > 210 mm) 120 percnél túli megőrzésére, a betonüzemből az építkezés helyszínére történő szállítás során. Az 1. táblázat mutatja a hídpillérek építéséhez használt beton összetételét.

A 2018-as Mario Giacomo Levi díjat a MAPEFAST ULTRA adalékszer kapta

A MAPEFAST ULTRA tanulmányozása és fejlesztése érdekében végzett kutatásért 2018-ban az Olasz Kémiai Társaság Ipari Kémiai Szakosztálya a Mapei-t és a Padovai Egyetem Circe Központját Giacomo Levi Aranyéremmel tüntette ki a legjobb közös ipari-akadémiai kutatásért, amely elérte az ipari meg-

valósítás szakaszát. A MAPEFAST ULTRA alapvető szerepe az új genovai híd építésében megerősíti az ipar és a tudományos közösség közötti együttműködés fontosságát az innovatív technológiák fejlesztése terén, és bizonyítja a Mapei elkötelezettségét az épületek fenntarthatóságára való áttérés előmozdítása és megkönnyítése mellett, valamint érzékenységet az újrahaznosított gazdaság alapelveivel kapcsolatban.

Szakirodalom

Artioli, G., Valentini, L., Dalconi, M.C., Parisatto, M., Voltolini, M., Russo, V., Ferrari, G., 2014. "Imaging of nano-seeded nucleation in cement pastes by X-ray diffraction tomography", *International Journal of Materials Research* 105 (7).
Artioli, G., Valentini, L., Voltolini, M., Dalconi, M.C., Ferrari, G., Russo, V., 2014. "Direct imaging of nucleation mechanisms by synchrotron diffraction micro-tomography: superplasticizer-induced change of C-S-H nucleation in cement". *Crystal Growth & Design* 15 (1).

ADATOK

Referencia: beton autópálya völgyhíd

Helyszín: Genova, Olaszország

Kivitelezés ideje: 2019-2020

Mapei termékekkel végzett munkálatok: adalékszer szállítása (mix design beton összetétel; javítóhabarcsok nem megfelelőség esetén; vízszigetelő termékek

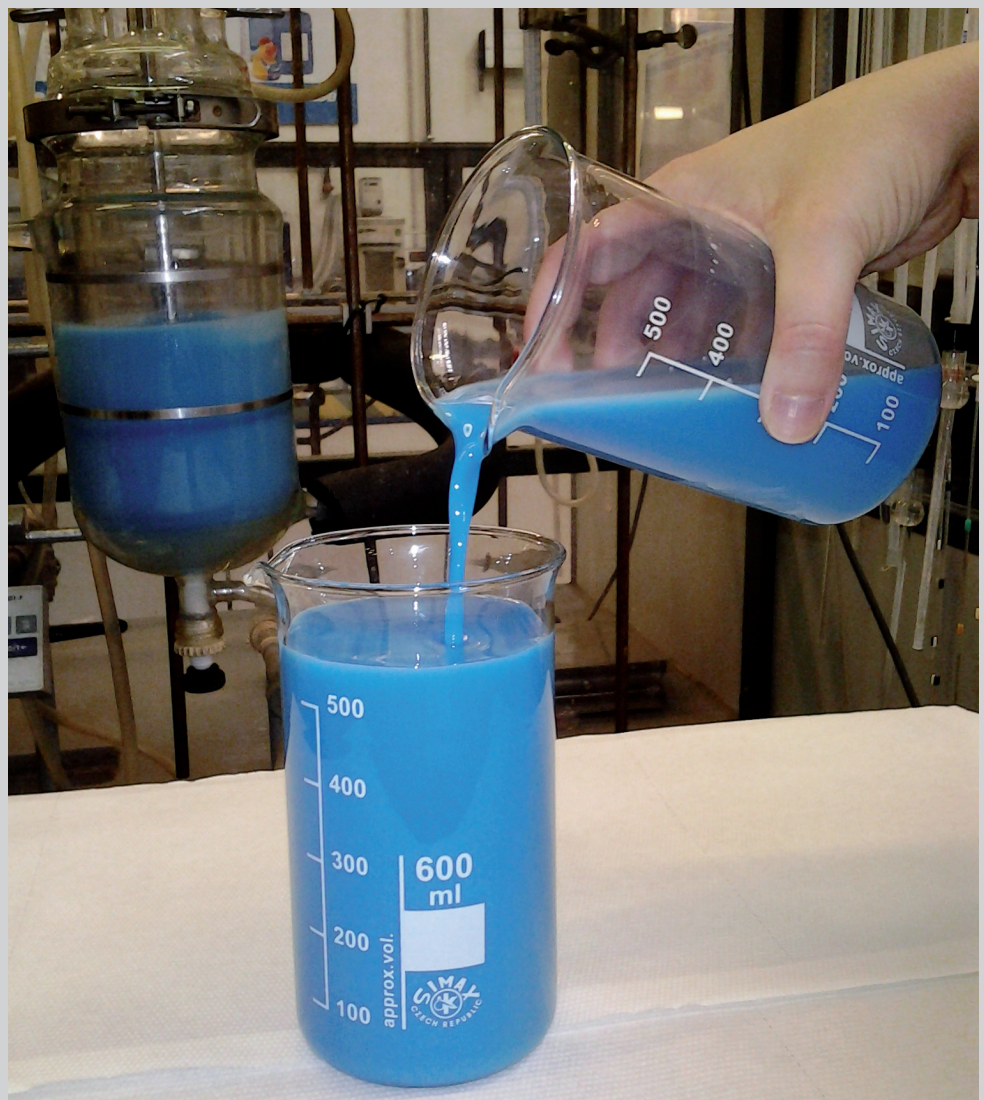
Beruházó: Újjáépítési Rendkívüli Biztos

Generálkivitelező: GENOVA részéről (Salini Impregilo Spa; Fincantieri Infrastructure Spa)
Kivitelező: Cossi Costruzioni SPA
Tervezők: RPBW Renzo Piano Building Workshop
Vezető mérnök: Stefano Mosconi
Mapei kapcsolattartó: Zaffaroni, Lattarulo, Broggio, Zamorani, Siboni, Citton, Ferrari, Rossi, Profili, Dimilito, Lanzini, Iliev, Calò

További információ: www.mapei.hu

I. táblázat: A genovai híd pilléreihez használt beton összetétele

Cement típus	CEM III/A 42.5N
A cement adagolása	400 kg/m ³
Kiegészítő anyag	70 kg/m ³
Dynamon Xtend W400N	A cement tömegének 0,75%-a
Dynamon EW	A cement tömegének 0,5%-a
Mapefast Ultra	A cement tömegének 2,66%-a
Konzisztencia osztály	S5 (roskadás > 210 mm)
Az aggregátumok maximális átmérője	16 mm



VASBETONÉPÍTÉS

műszaki folyóirat
a **fib** Magyar Tagozat lapja

CONCRETE STRUCTURES
Journal of the Hungarian Group of **fib**

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Dr. Träger Herbert[†]

Szerkesztőbizottság:

Barta János
Dr. Csíki Béla
Dr. Czoboly Olivér
Dr. Erdélyi Attila
Dr. Farkas György
Kolozi Gyula
Dr. Koris Kálmán
Dr. Kopecskó Katalin
Dr. Kovács Károly
Dr. Kovács Imre
Dr. Kovács Tamás
Lakatos Ervin
Dr. Lublóy Éva
Mátyássy László
Dr. Móczár Balázs
Dr. Nehme G. Salem
Dr. Orbán Zoltán
Pisch Zsuzsanna
Polgár László
Dr. Sajtos István
Telekiné Királyföldi Antónia
Várdai Attila
Dr. Völgyi István
Vörös József

Lektorai testület:

Dr. Dulácska Endre
Királyföldi Lajosné
Madaras Botond
Dr. Madaras Gábor
Dr. Orosz Árpád[†]
Dr. Szalai Kálmán
Dr. Tóth Ernő
(Kéziratok lektorálására más
kollégák is felkérést kaphatnak.)

Alapító: a **fib** Magyar Tagozata
Kiadó: a **fib** Magyar Tagozata
(**fib** = Nemzetközi Betonszövetség)
Szerkesztőség: BME Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
Tel: 463 4068 Fax: 463 3450
E-mail: fib@eik.bme.hu
WEB <http://www.fib.bme.hu>
Az internet verzió
technikai szerkesztője:
Bíró András, doktorandusz

Tervezőszerkesztő: Halmai Csaba

Egy példány ára: 1275 Ft
Előfizetési díj egy évre: 5100 Ft
Megjelenik negyedévenként
1000 példányban.

© a **fib** Magyar Tagozata
ISSN 1419-6441 online ISSN: 1586-0361

Hirdetések:

Külső borító: 220 000 Ft+áfa
belső borító: 180 000 Ft+áfa
A hirdetések felvétele:
Tel.: 463-4068, Fax: 463-3450

Címlapfotó: Oszló reptér épület, vasbeton
oszlopok, acél fejelemek és rétegelt-
ragasztott fatartók

Készítette: Dr. Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

- 2** PROF. DR.-ING. LASZLO M. PALOTAS, PH.D.
A 2021. ÉVI PALOTÁS LÁSZLÓ-DÍJ ÁTADÁSA
- 5** **DR. TÓTH ERNŐ ELŐADÁSA
A PALOTÁS-DÍJ ÁTADÁSÁKOR**
- 14** DR. KOPECSKÓ KATALIN - BARANYI ATTILA
**A CEM I 42,5 N PORTLAND CEMENT EN 196-3
SZABVÁNY SZERINTI KÖTÉSI IDEJÉNEK ÉS HI-
DRATÁCIÓS HŐFEJLŐDÉSÉNEK ÖSSZEHA-
SÓN-LÍTÓ VIZSGÁLATA**
- 22** SZEPESHÁZI ATTILA - DR. MÓCZÁR BALÁZS
**BUDAPESTEN MEGVALÓSULT MÉLY
MUNKATÉRHATÁROLÁSOK
MOZGÁSMÉRÉSI EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE**

A folyóirat támogatói:

Vasúti Hidak Alapítvány, Duna-Dráva Cement Kft., ÉMI Nonprofit Kft.,
A-Híd Zrt., MÁV Zrt., MSC Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft.,
Lábatlani Vasbetonipari Zrt., Pont-Terv Zrt., Swietelsky Építő Kft., Uvaterv Zrt.,
Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt., Hídtechnika Kft.,
Betonmix Mérnökiroda Kft., CAEC Kft., SW Umwelttechnik Magyarország Kft.,
Union Plan Kft., DCB Mérnöki Iroda Kft.,
BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

LASZLO M. PALOTAS ELŐADÁSA AZ ÁTADÓ ÜNNEPSÉGEN



Prof. Dr.-Ing. Laszlo M. Palotas, Ph.D.

<https://doi.org/10.32969/VB.2022.1.1>

**Mélyen Tisztelt Elnök Úr,
Tisztelt Hölgyeim és Uraim,
Kedves Online Ünneplő Vendégek.**

Ez év október 14-én még örömmel olvastam Balázs György professzor e-mailjét:

„...Tisztelettel jelzem előzetesen, hogy meg szeretném szervezni jelenléti rendszerben az ünnepélyes Palotás László-díj 2021 átadást és azt követően a szokásos fib MT Közgyűlést a BME Díszteremben 2021. dec. 6. (hétfő) 14-17.30 óra időszakban. Bizunk végre ismét a személyes találkozásban.”

Egy jó hónap elteltével az örömhöz némi aggodás, félelem, tehetetlenség és rezignáció érzései is párosultak, figyelembe véve a korona-világjárvány negyedik hulláma terjedésének exponenciális alakulását. Így a díjátadáson sajnos ebben az évben is csak online vehetek részt. Szeretettel köszöntöm díjazottunkat:

Dr. Tóth Ernő, okl. építőmérnököt,

a Közlekedési Minisztérium Hídosztályának, annak megszűnése után az Országos Közúti Főigazgatóság, majd jogutódjának az Útgazdálkodási és Koordinációs Igazgatóság Hídosztályának volt vezetőjét, a Köztársasági Ezüst Érdemkereszt tulajdonosát.

A korona-járvány jelenlegi világméretű, apokaliptikus helyzete kissé háttérbe szorította talán legsúlyosabb globális problémáink, a *fenntarthatóság*, a *klíma katasztrófális változásának* - már évtizedek óta ismert - problémáját.

Az üvegházhatású gázok, döntően a fosszilis üzemanyagok (szén, olaj, földgáz) égetéséből származó széndioxid kibocsátása okozza a Föld hőmérsékletének emelkedését, de további gázok (pl. dinitrogén-oxid, metán, fluorozott szénhidrogének) is jelentősen hozzájárulnak bolygónk felmelegedéséhez.

Mindnyájan ismerjük a globális felmelegedés komoly, sokszor tragikus következményeit:

- a tengerszint emelkedése,
- a gleccserek olvadása,
- az éghajlati zónák, a növényzeti zónák és az élettér eltolódása,
- az erősebb vagy gyakoribb erdőtüzek,
- az erősebb vagy gyakoribb időjárási szélsőségek, mint például az árvizek, viharok és aszályok,
- a paraziták és a trópusi betegségek terjedése,
- a környezeti menekültek számának növekedése.

1896-ban, több mint száz évvel ezelőtt, a svéd Nobel-díjas

Svante Arrhenius először számította ki, hogy a légkör CO₂-koncentrációjának megduplázódása mekkora hatással lenne a globális hőmérsékletre.

Arrhenius ekkor 4 fokos felmelegedés eredményére jutott a CO₂-koncentráció megduplázódásával. (Ma 3 fok körüli hőmérsékletet emelkedést feltételezünk.)

Arrhenius tehát – amiatt, hogy természetesen nem volt számítógépe, és főleg nem voltak olyan jó időjárási és éghajlati adatai, mint manapság – nem járt olyan messze a valóságtól.

2015-ben, a párizsi éghajlatvédelmi egyezményben nemzetközileg elfogadott 1,5 Celsius-fokos határérték végesen közeledik, a globális felmelegedés a Föld minden régiójára hatással van, számos változás pedig visszafordíthatatlan.

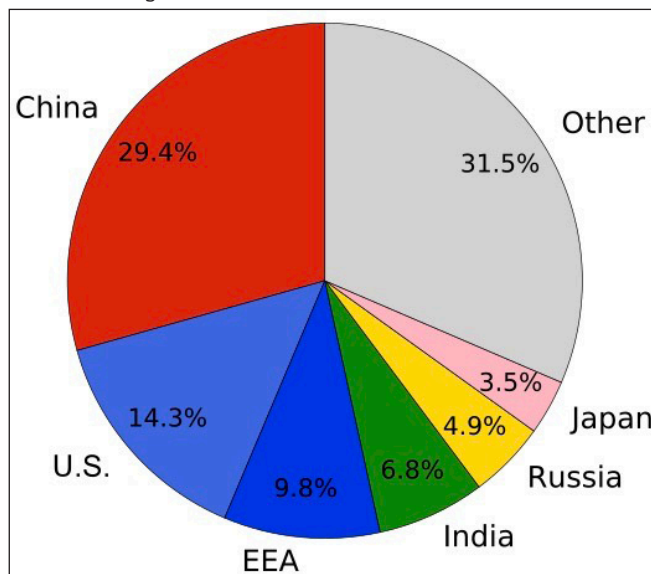
A 1,5 Celsius-fokos határ, ameddig még legfeljebb hagyhatjuk melegedni a Földet, persze csak egy kényszerűen, mesterségesen megjelölt pont, mivel a természet nyilván nem a Celsius-skálához fogja igazítani a földi élet feltételeit.

Erről a pontról viszont jelenlegi tudásunk alapján azt mondhatjuk, hogy *határérték alatta* még mindig valamennyire kezelhető keretek között maradnak a klímaváltozás következményei, míg *határérték fölött* súlyosabb kockázatokkal kell számolni.

A tudósok szerint bolygónk már 1,2 Celsius-fokkal melegebb az ipari forradalom előtti szinthez képest, ami az éghajlati szakértők szerint kritikus küszöbérték, és folyamatosan csak emelkedni fog (évtizedenként átlagosan 0,1 fokkal), ha nem teszünk ellene.

Közel 200 ország vállalta, hogy csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását a klímaválság legsúlyosabb következmé-

1. ábra: A világ széndioxid kibocsátása



nyeinek megelőzése érdekében, azonban még mindig óriási a különbség a *megígért* és a *szükséges* mennyiség között.

Kína a világ legnagyobb széndioxid-kibocsátója (29%), öt követik az Amerikai Egyesült Államok (14%), az EU (10%), India (7%), Oroszország (5%) és Japán (3,5%) (1. ábra).

Az EU-ban Németország vezet 2%-kal (2. ábra)!

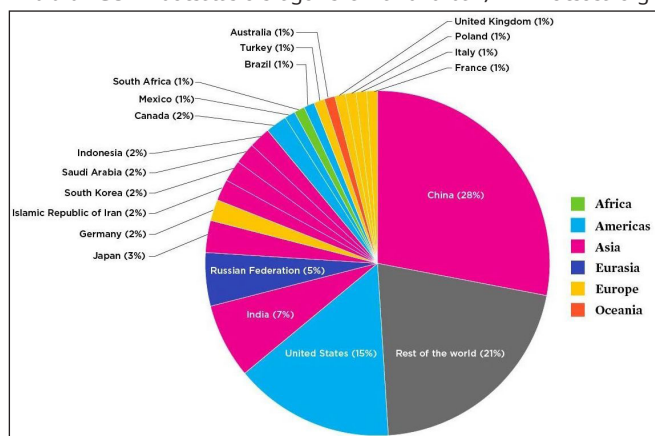
A környezetvédelem, a fenntarthatóság szempontjából

a vasbetonszerkezetek

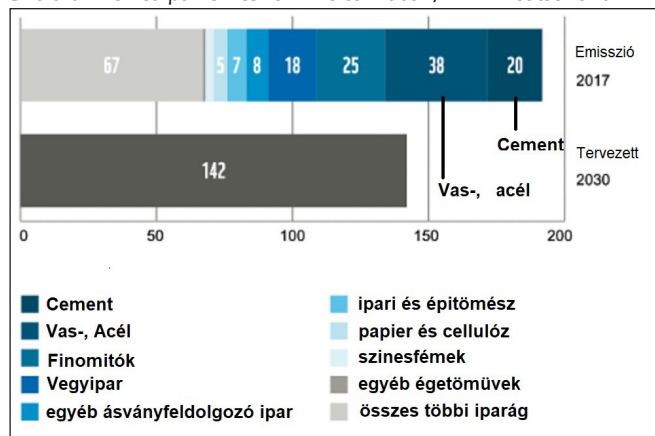
nem igazán ártatlanok! A cementgyártás az egyik *legkibocsátóbb, legintenzívebb* ipari folyamatok közé tartozik.

Németország kibocsátásának 20%-át a vas-, acél-, és jó 11%-át a *cementgyártás* okozza. Németországban évente 27,5 millió tonna cementet állít elő. Előjelzések szerint ez a mennyiség a jövőben valószínűleg csökkenni fog.

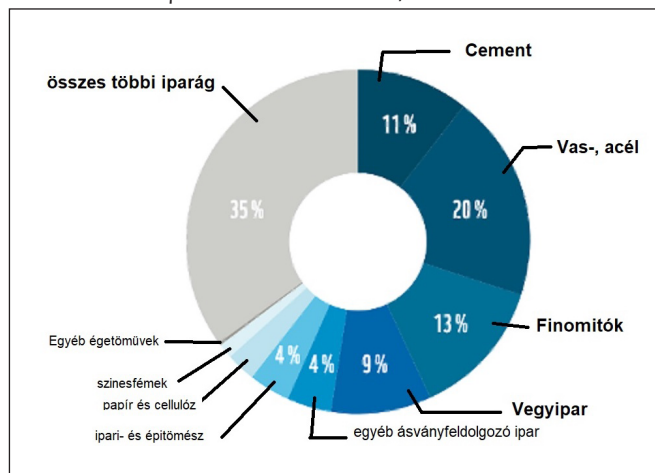
2. ábra: CO₂ kibocsátás országok szerint 2020-ban, www.ucsusa.org



3. ábra: Német ipari emisszió millió tonnában, WWF Deutschland



4. ábra: Német ipari emisszió százalékban, WWF Deutschland



2017-ben a német ipar 193 millió tonna CO₂-egyenértéket bocsátott ki, ebből 20,5 millió tonna CO₂ keletkezett a cementgyártás során.

A következő két ábra (4. és 5. ábra) a német ipari emissziót mutatja be millió tonnában ill. százalékban.

Világszerte azonban még kritikusan alakul a helyzet.

A globális igény, amely jelenleg körülbelül 4,65 milliárd tonna cementet tesz ki, az előrejelzések szerint 2050-ig 12-23%-kal fog emelkedni.

Ma évente háromszor annyi cementet állítanak elő világszerte, mint 2001-ben!

A legfrissebb becslések szerint a cementgyártás okozza a globális széndioxid-kibocsátás 8 százalékát!

Összehasonlítás kedvéért:

- a *cementgyártás* négyszer annyi CO₂ kibocsátást okoz, mint az összes nemzetközi légi forgalom okozta kibocsátás!
- Az „*egészségügyi ipar*“ több kibocsátásért felelős, mint a légi közlekedés vagy a hajózás.
- Az *internet* ugyanannyi kibocsátást okoz, mint a légi közlekedés.

A német szövetségi kormány klímavédelmi terve szerint 2050-re el kell érni a klímasegélyességet.

A hatékony klímavédelem érdekében tehát egyértelmű, hogy a kibocsátást világszerte csökkenteni kell a cementiparban is. A cementgyártás klíma károsító hatása elsősorban két folyamaton keresztül történik:

- a kibocsátások nagyobb része, *55 százalék* – mint ismert – az úgynevezett *folyamatkibocsátás*. (Amikor a mészkövet cementkemencékben cementklinkerré alakítják, az kémiai reakció, és a folyamat során széndioxid szabadul fel).
- a kibocsátások körülbelül *45 százalék* azért keletkezik, mert az égetéshez (1450°) hőre és áramra van szükség.

A 45 százalékos kibocsátást a megújuló energiák felhasználásával csökkenteni lehetne, a maradék folyamatkibocsátás csökkentéséhez új, alternatív megoldásokra van szükség.

A tudósok világszerte kutatják, hogyan lehet a betont klímabarátabbá tenni.

A jelenleg ismert – még nem teljesen kidolgozott megoldások kompakt leírása is – már túllépné tervezett rövid bevezetőm kereteit, így csak *két figyelemre méltó* fejlesztést említenék meg, az

- Ecopact Zero és a
- Celitement

kifejlesztését.

A hamburgi székhelyű vállalat *Holcim* 2020 januárjában bejelentette, hogy Németország első CO₂-semleges betonját kifejlesztették. Ennek megfelelően az új termék neve: *Ecopact Zero* (5. ábra).

A redukált klinker-cement használatán és a kötőanyag-tartalom optimalizálásán kívül a CO₂-kibocsátást még ellensúlyozzák *MoorFutures* szén-tanúsítványok megvásárlásával. (*MoorFutures* a lápok, mocsarak újrantedvesítésének projektje (6. ábra).

A lápok újrantedvesítése jelentősen csökkenti széndioxid kibocsátását, mivel a mók a legnagyobb és leghatékonyabb széntárolók a Földön: a mók kétszer annyi szenet tárolnak tőzegükben, mint amennyi a világ erdeiben található!

Az első CO₂-semleges beton eddig csak kompenzáción keresztül működött, tehát szigorúan véve nem teljesen mentes a CO₂-kibocsátástól.

A Celitement GmbH-t 2009-ben alapították a kutatás (KIT, Karlsruhe Institute of Technology)) és az ipar (SCHWENK Zement KG) együttműködésének részeként.

A Celitement egy hidraulikus *kötőanyag*. **Már vizet**



5. ábra: EcoPact Zero: A zöld cement (www.holcim.de)



6. ábra: Mocsarak, lápok újranedvesítési projektje (www.moorfutures.de)

tartalmaz, amely kémiailag kötve van a hidraulikusan aktív kalcium-hidroszilikátokban.

A Celitement elvileg ugyanazokkal a feldolgozási tulajdonságokkal és kiváló terméktulajdonságokkal rendelkezik, mint a hagyományos portlandcement (7. ábra).

A Celitement® gyártása 300 Celsius-fok alatti hőmérsékleten történik - szemben a cementgyártáshoz általában szükséges körülbelül 1450 Celsius-fokkal, vagyis viszonylag „hűvös” környezetben. Ily módon a teljes gyártási folyamat során az energia 50 százaléka is megtakarítható a hagyományos portlandcement előállításához képest.

Ellentétben a beton- és habarcsgyártásban használt, helyenként szűkös erőforrást képviselő speciális homokminőséggel, az **őrölt sivatagi homok** is problémamentesen használható a Celitement gyártási folyamatában. A gyártási folyamatok megváltoztatása azonban valószínűleg nem elég.

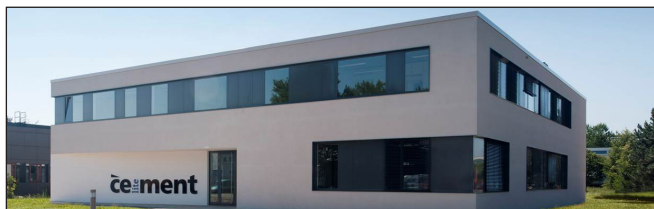
Egy másik stratégia az kell legyen, hogy összességében **kevesebb cementet** használjunk fel.

A *fa* talán lehet egy alternatíva. A kutatók számításai szerint ez önmagában 15 százalékkal csökkentheti a cementszükségletet.

Az is világos, hogy a politika és az ipar globálisan kell, hogy **akarja** a változást. Ha az egészet csak a piaci erőkre bizzuk, a cement valószínűleg nem fog igazán zöldülni.

Az ausztrál *ThinkTank* ezért azt javasolja, hogy a cementgyártásból származó széndioxid-kibocsátásnak adjanak árat. Ez vonatkozna az importált cementre is. „Ez is erős ösztönzés lenne a kibocsátásmentes cementipar felé”. A **fenntartható beton** a lehető legkisebb szén-dioxid-kibocsátással

7. ábra: Celitement GmbH&Co.KG Eggenstein-Leopoldshafen, www.celitement.de



való építkezéssel, valamint olyan hosszú élettartamú szerkezetekkel érhető el, amelyeket nem kell cserélni vagy javítani.

Tisztelt dr. Tóth Ernő, nagy örömmre szolgál, hogy ebben az évben is az a megtiszteltetés ért, hogy - sajnos csak online – én adhatom át szimbolikusan Édesapám nevét viselő **Palotás László-díjat, és elsőként gratulálhatok a díjazottnak.**

Végezetül engedjék meg, hogy idézzem Gyukics Péter fotóművész «Duna hidjai» c. könyv (melynek Tóth Ernő is társszerzője volt) képei kiállításával kapcsolatos szavait:

„dr. Tóth Ernő **úr hidász-mérnök, híd-történész** tartott nyitó tárlatvezetést! (Az Ő hatása volt döntő, hogy neki lássak a hídfotózásnak.) A rá jellemző **elkötelezettséggel, óriási tárgyi tudásával és magával ragadó előadásmódjával lenyűgözte hallgatóságát.**”

Tisztelt dr. Tóth Ernő a jövőben is sok sikert, alkotóerőt és mindenek előtt **jó egészséget kívánok.**

Köszönöm megtisztelő figyelmüket!

Prof. Dr.-Ing. László M. Palotas, Ph.D.

HIVATKOZÁSOK

<https://www.ucsusa.org/>
<https://utopia.de/>
<https://www.tagesspiegel.de>
<https://klimakatastrophe.wordpress.com/>
<https://maszol.ro/kulfold/Klimakatasztrofa-veszesen-kozeledunk-az-15-Celsius-fokos-hatarertekhez>
<https://www.wwf.de/Klimaschutz-in-der-Beton-und-Zementindustrie>,
<https://hu.euronews.com/2021/11/01/antonio-guterres-klimakatasztrofa-fele-tartunk>
<https://www.portfolio.hu>
<https://www.regenwald.org/themen/zement>
<https://www.fr.de/wissen/darum-zement-produktion-klimaschaedlich-11018039.html>
<https://www.vdz-online.de/zementindustrie/klimaschutz>
<https://www.spektrum.de/news/warum-beton-klimaschaedlich-ist/1760122>
<https://www.handelsblatt.com/themen/klimawandel>
<https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/klimabilanz-der-zementindustrie-372.html>
<https://www.greenpeace.org/hungary/blog/4580/klimavalsag-vagy-klimakatasztrofa/>
<https://www.welt.de/wissenschaft/>
<https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/herstellung/betonherstellung-und-klimaschutz-7229519>
https://www.hidfotok.hu/a_duna_hidjai
<https://www.celitement.de>
<https://www.holcim.de>
<https://www.moorfutures.de>

DR. TÓTH ERNŐ ELŐADÁSA A PALOTÁS-DÍJ ÁTADÁSÁKOR

A *fib* Magyar Tagozata Palotás László-díjasának írása



Dr. Tóth Ernő

<https://doi.org/10.32969/VB.2022.1.2>

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálásan köszönöm a Tisztelt Kuratóriumnak, hogy gyakorló megyei hídászai és országos irányítói munkásságomat – tisztelt professzorom nevével fémjelzett – díjra tartották méltónak.

Külön is köszönöm Apáthy Árpádnak, dr. Träger Herbertnek és dr. Balázs Györgynek, hogy mindig mellettem álltak, munkásságomat életreszólóan meghatározták. Köszönöm minden munkatársamnak, tervezőnek, kivitelezőnek, oktatónak, kutatónak, hogy nem hivatalból, hanem önként és a mai napig segítettek határokon innen és túl is.

SZAKMAI ÉLETUTAM VÁZLATOS BEMUTATÁSA

Csillaghegyen 1937-ben születtem. Gimnáziumi érettségi után az ELTE magyar-történelem szakára jelentkeztem, ám „helyhiány” miatt nem vettek fel. Egy évi gyári munka után (Orion) a ÉKME-re jelentkeztem, mivel igazából minden tudomány érdekelt, s édesapám - szolnoki születésű kazánkovács fia volt - azt mondta: olyan pályát válassz, amely igazán szép, komoly, mint a hajó- a repülő- vagy a hídépítés. Sikeres felvételi után 1956-ban egyetemi hallgató lettem, s itt a matematika majd a mechanika kedvenc tárgyam lett, így nem volt kérdéses, hogy szakosodáskor a hídszakot választom.

1961-ben, esküvőm napján, államvizsgáztam, így csak egy hét múlva tudtam meg, hogy a Hídépítő Vállalat herendi hídépítésénél kell jelentkezni. Menyasszonyom három évet Halászában (határsáv) volt – kötelezően – védőnő, így igyekeztem elintézni, hogy hétközben is találkozhatunk, hihetetlen, de sikerült: Székesfehérváron régen hiányzott a hídügyi előadó, ott örömmel vettek fel, ma is hálás vagyok, hogy itt kezdhettem, mert sok feladatot, nagy önállóságot kaptam munkámban. Három évig naponta Csillaghegyről jártam Fejér és Veszprém megyébe. Így kezdődött mérnöki munkám.

Pályafutásom látszólag egyszerűen alakult, könnyen áttekinthető.

1. **Hídügyi előadó voltam 1961-69 között Székesfehérváron** (9 év).
2. **Fenntartási osztályvezetőként** 1970-80 között Fejér megye út- és hídfenntartásáért voltam felelős (9 év).
3. **Fejlesztési osztály vezetőjeként** megtisztelő felkérésre vállaltam, hogy a Közúti főosztály „háttérintézményeként” néhányad magammal az országos közúthálózat fejlesztési ügyeivel foglalkozzam: 1979-1987 között (9 év).
4. **Osztályvezetőként** ismét felkérésre a hídügyek országos összefogását vállaltam (1988-1999 – 12 év) a Közlekedési

Minisztériumban, s folytattam az UKIG-nál.

5. **Nyugállományban, szakértőként, tanácsadóként** hídügyekkel, s néha az úthálózat kérdéseivel volt módom foglalkozni az UKIG-nál (átszervezések szerint ÁKMI, majd ismét UKIG, végül KKK keretein belül), egészen 2017-ig. Munkásságomból **18 évet** (9-9 év híd- és útügy) a **Fejér Megyei gyakorlati munkával töltöttem**.

Budapesten aktív munkakörben 21 évet szolgálhattam (9 év út-, majd 12 év hídügyek) országos elemző, fejlesztő munkával, 12 évig országos főhidászként.

Nyugállományban 2000-től állandó munkám a napi feladatokon túl a hídtörténelem és a hídirodalom gyűjtése és publikálása volt.

Kezdetől részt vettem az oktatásban (technikum, BME szakmérnök képzés, szakmunkás képzés stb.), a KTE-ben tevékenykedtem, elég sokat publikáltam, szóval összetett és szerteágazó volt munkásságom.

60 évvel ezelőtt, **munkásságom kezdetén 60 ezer, 1970-ben**, amikor fenntartási osztály vezetését kezdtem el, már **1 millió gépjármű** volt Magyarországon, **1988-ban pedig 3 milliónál több gépjármű volt hazánkban**. Ez alapvetően megváltoztatta a közúthálózat terhelését, az igényeket és így a mérnöki munkát is.

Örülök, hogy akkor kezdtem hídkorszerűsítéseket előkészíteni, ellenőrizni, amikor évente igen sok (országosan 100) építés folyt, majd **akkor lettem fenntartási osztályvezető, amikor igen rossz volt az úthálózat, de óriási fejlődés indult meg, 1979-ben, akkor kerültem Budapestre** országos feladat végzésére, **amikor az oly fontos úthálózat megfeleléségi értékelése készült és 1988-ban akkor kaptam megbízást** a hídügyek összefogására, **amikor átmenetileg újra szervező-dőtt a Hídosztály**.

Nyugdíjasként megérhettem, hogy rendkívüli folyami hídépítés program folyt (Baja, Dunaföldvár, Esztergom, Tiszaug, Szekszárd), s **elkészült mind a 19 megye hídtörténete**, részt vehettem 20 Útügyi Napon és 40 Hídmérnöki konferencián.

Tanultam, dolgoztam, irányítottam, tanítottam, írtam-publikáltam. Igen sok segítséget kaptam, hagytak dolgozni s ez nagy szó.

HÍDÜGYI ELŐADÓI MUNKÁM (1961-69)

1965-ig Veszprém és Komárom megye egy része is a Székesfehérvári Közúti Igazgatósághoz tartozott.

Az **igényes műszaki ellenőrzés** rendkívül fontos, mással nem pótolható. Nem könnyű, hisz a tervekhez/tervezéshez is



Előadás az 50. Hídmérnöki konferencián (2009)



Szabálytalan jármű miatt leszakadt halászi Mosoni-Duna-híd



Magas jármű ütközése EHGT-tartónak

érteni kell, a kivitelezéshez pedig még jobban. Tudni kell, hogy miben lehet az ellenőr elnéző és miben nem.

1961-69 között sok szép munkám volt Fejér, Komárom és Veszprém megyében: Tatabánya, Komárom vasút feletti öszvérhidak, Marcaltó Cigány-csatorna-, Marcal- és Rábaártéri monolit vasbeton hidak. A kis hidak korszerűsítése nagy ütemben folyt, volt olyan év, hogy 20-nál is több hídépítésnek voltam az ellenőre, s ebben egy technikus volt segítségemre. Nemcsak műszaki ellenőrzés volt a feladatom, hanem a tervezetés, szondázás, kisebb tervezések, egy időben a tervek jóváhagyása (autópálya műtárgyaké is).

Rengeteget tanultam, rengeteget utaztam, sikerült elérnem, hogy az eltakart munkák - alapozás, vasszerelés - átvételét mindig elvégeztem, s az érdemi betonozások idején - hétvégén, esetenként éjjel is - ott voltam. Örömmel állapítottam meg – 35-40 év múltán – hogy műszaki ellenőrzéssel épült hidak jó – felújítás nélkül – jó állapotban voltak.

Kitüntetésnek tartottam, hogy a **barcsi Dráva-híd műszaki**



Remetei Fekete-Körös-híd kilyukadt pályalemeze

ellenőre lehettem Jaczó Győző segítő munkájával (1967-68). A híd acélszerkezetét a Ganz Mávag gyártotta, a helyszíni munkákat a Mostogradnja végezte igen jó technikai felszereltséggel. Ennek a hídnek a tapasztalatai fontosak voltak munkásságomban.

Hídügyi előadói munkám mellett (1961-70) beletanulhattam az úttervezésbe is. A közúti igazgatóságok 1983-ig készítettek kisebb útkorszerűsítési terveket és végeztek hatósági és útfenntartási munkát.

Természetesen az úthálózat, **hidak megismerése volt az első feladat**, ami a kiterjedt úthálózat (kezdetben 2500 km), az úttájak megismerésére, ez a szerény járműpark miatt rendkívül **időigényes és fárasztó, de érdekes, hasznos volt**. Utazásaim során rengeteg érdekességet figyeltem meg pl. hófúvásveszélyes útszakaszokon jól és rosszul működő hóvédműveket, olvadási kártól tönkrement útszakaszokat, szép fasorokat.

Nagy örömmre a helyi **Jáky József útépitési technikumban óraadó lehettem**, így megtanulhattam, hogy lehet a diákoknak száraz tárgyakat is megtanítani.

Egész munkásságomban meghatározó volt, hogy kezdettől a **KTE-nek tagja lehettem**, s élénk egyesületi tevékenység folyt Fejér megyében, s ennek kapcsán a Fejér Megyei Műszaki Élet szerkesztőbizottságának is tagja lettem.

ÚT- ÉS HÍDFENNTARTÁS ÉS ÜZEMELTETÉS ELVI ALAPJAINAK MŰVELÉSE GYAKORLATI MUNKÁM MELLETT (1970-78)

Jó iskola – és fontos kereset-kiegészítő – volt a téli 24 órás hószolgálat (7 Ft/ó) rengeteget lehetett tanulni: időjárásról, gépekről és a felelős döntéshozatalról és a sószórás szükségességéről, de csak a feltétlenül indokolt minimális mennyiséggel.

Fejér megye élenjárt az utak portalanításában, s általában minden újdonság kipróbálásában (pl. bitumenemulzió gyártás).

1970-ben kineveztek a Területi fenntartási osztály vezetőjének.

Az 1969-70-es tél katasztrofális volt (hetekig járhatatlan volt néhány főút) s utána olvadási kár több utat járhatatlanná tett. A minisztériumban leváltották az egyébként kiváló mérnökökből álló vezetést, s új szemléletű vezetőt neveztek ki, aki az utak, kiemelten a főutak járhatóvá tételét a burkolatok szélesítésével és aszfaltbeton burkolattal (szőnyegezés) látta megoldhatónak a hagyományos korszerűsítés helyett, s aki az üzemeletetés szemléletét, az intenzív gépesítést honosította meg. Ebben az időben a kishidak korszerűsítése mellett sajnos



Tokaji Erzsébet királyné Tisza-híd felújítás közben kiszakadt pályalemez

az aszfaltszőnyegezéssel érintett útszakaszokon hidak korszerűsítésére nem került sor.

Kezdő fenntartási vezetőként a fenntartási munkák mellett forgalomtechnikával, hatósági ügyekkel is foglalkoznom kellett. Segítőként kollégákra találtam az UKI-nál, Uvatervnél, a KTE-ben és a BME Útépitési tanszékénél.

A mérések, a külföldi szakirodalomból lefordított cikkek s ifj. dr. Gáspár László USA-beli tanulmányúti beszámolója hozzásegített, hogy nekiláttam az útfenntartás elvi tervezési alapjaival foglalkozni: hol, mikor, mit kell csinálni ahhoz, hogy járhatók legyenek útjaink?

Nemcsak az országos közutak, hidak ügye foglalkoztatott, hanem a mezőgazdasági, tanácsi utak, hidak is, ezeket akkor ismertem meg, amikor TSz bekötőutakat terveztünk, műszaki ellenőriztünk.

Szükségét éreztem a továbbképzésnek, ezért 1973-74-ben elvégeztem az **útépitési és forgalomtechnikai szakmérnök**-két, és Nemesdy professzor buzdítására belekezdtem doktori disszertációm készítésébe, 1978-ban megszereztem a doktori címet.

A MEGFELELŐSSÉG ÉRTÉKELÉS EREDMÉNYEI

Nagy lehetőség volt számomra, hogy **1979-ben Töröcsik Frigyes minisztériumi osztályvezető felkért, hogy Budapesten folytassam munkám a Fejlesztési osztály vezetőjeként.** Első kiemelkedő feladat a **megfelelőségi értékelés kidolgozása** volt. E munkában részt vett a KÖTUKI, az Uvaterv, a BME Útépitési Tanszéke és az UTORG is.

A **megfelelőség értékelés módszerét sikerült 1979-ben véglegesíteni**, sőt az értékelés is elkészült ebben az évben.



Marcaltói Rába-híd átépítése

Mérföldkönek tekinthető a hazai útértékelésben ez a munka, amelyben a hidak is szerepeltek teherbírás és szélesség szerint is.

Ehhez, az **Európában egyedülálló értékelési rendszerünkhöz** megbízható **közúti adatbankra** volt szükség. Máig ez az út és hídgazdálkodás alapja, természetesen azóta óriási fejlődés volt mind a nyilvántartásban, mind a feldolgozásban.

TÉLI ÚTÜZEMELTETÉS

Az útüzemeltetésben különleges kihívásokat rejtegető téli feladatokkal hidásként Fejér megyében kilenc évig ismerkedtem, majd kilenc évig hivatalból is **foglalkoztam a síkosság elleni védekezéssel** és a hófúvás elleni védelemmel.

Sok hajnali utazás, szakirodalom tanulmányozás, meteorológusokkal, vegyészekkel, gépészekkel való egyeztetés alapján e témakörben igen sok tapasztalatot nyertem, amit országos feladatot ellátó munkakörömben (1979-1988) jól tudtam hasznosítani.

A HIDAK FENNTARTÁSÁVAL KAPCSOLATOS TEVÉKENYSÉGEM ORSZÁGOS SZINTEN

A **Fejlesztési Osztály vezetőjeként** 1979-től igyekeztem a hídfenntartással kiemelten foglalkozni, mert az 1970 utáni időszakban a síkosság elleni védekezés sósórással történt, ami rendkívüli mértékben rongálta a hídállományt, leginkább az elégtelen szigetelés nélkülieket. Munkámban nagy segítség volt **Németh István**, aki néhány évig osztályomon dolgozott, valamint dr. **Klatsmányi Tibor** és munkatársai (Távközlési és Műszaki Főiskola Győr), **dr. Tóth Zoltán**, **dr. Szécsi László**, **dr. Lublőy László**, **Agárdy Gyula** és sokan mások, így **dr. Illéssy József**, aki a dinamikus próbaterhelések alkalmazásának kezdeményezője és intézője volt. Igen fontos volt a Távközlési és Műszaki Főiskola tevékenysége a hidak korróziós kárai felmérésében, a védekezés módszereinek kidolgozásában.

1987-ben megtisztelő megbízásaként hídjaink állagmegóvásáról tarthattam előadást a Sárospatakon rendezett Útügyi Napokon. Fontosnak tartottam, hogy a hídügyekről az úthálózatért felelős vezetők jól tájékozottak legyenek, ezért igyekeztem felhasználni az Útügyi Napokat tájékoztatásra, információcserére.

Országos hídügyi feladatokat 1988-tól a Közlekedési Minisztérium Közúti főosztályán osztályvezetőként három munkatársammal végeztem, előtte 1983 óta dr. Träger Herbert egyedül intézte a hídügyeket.

A **tanácsi kezelésű hidakkal való foglalkozásban igény**



Utófesztéssel megmentett szolnoki Tisza-ártéri-híd

jelentkezett egy közérthető, tömör kiadványra, mely a hidépítés és fenntartás legfőbb tudnivalóit tartalmazza. **Ámon Tiborral egy sok ábrával, fotóval illusztrált zsebkönyvet írtunk és szerkesztettünk (1988).**

A hidak szigetelése csak 1988 után vált kötelezővé. A hagyományos védőbetonos szigetelés helyett védőaszfaltos szigetelési rendszereket vezettünk be.

1989-ben készült el a hidak pályalemezszigetelésére vonatkozó első előírás és 1999-ben már 8 Útügyi Műszaki Előírás állt rendelkezésre konzulensi munkám alapján. Ehhez hazai és külföldi tapasztalatok alapján sikerült előrelépni, óriási irodalma van ennek a fontos témának.

A **hidmérnöki értekezleteket** 1962 óta tartotta a hídszakma a jelentkező óriási igényeket figyelembevéve, 1988-tól a korábbiaktól eltérően sok segítséggel, kiállításokkal, munkahelyi bemutatóval, fizetős előadásokkal is szerveztünk. Az 50 hidmérnöki konferencia fontos tapasztalatcsere lehetőségek volt hazai és külföldi szakemberekkel.

A **hidak nyilvántartását, a hidvizsgálatokat, a megfelelőség értékelését sikerült fejleszteni**, kialakítottuk a hidak **5 fő jellemzőjére** (alépitmény, felszerkezet, pályaburkolat, tartozékok, környezet) kiterjedő szubjektív osztályozását (**1-5 osztályzat**). Javaslatom alapján készült a máig használt értékelési módszer. 1991-től minden hídra vonatkozóan rendelkezésre állnak a fő osztályzatok.

1988-ban magas jármű ütközése miatt leszakadt a gesztelyi Hernád-híd, ettől kezdve kiemelten foglalkoztunk a hidak járművek elleni védelmével: jelzések, védőkapuk elhelyezése, tárgyalás biztosítókkal, stb. Sajnos aktuális ma is hidjaink védelme mind a túlsúlyos, mind a túlméretes járművek ellen.

A szabványosítás, műszaki előírások kiadása alapvető feladat a hidakkal való foglalkozásban, ennek érdekében **Híd-szabályzat Bizottságot** szerveztem **1991-99** között. Ebben az oktatás, kutatás, hatóság, tervezés, kivitelezés legjobb szakemberei vettek részt. Évente általában négyszer ülésezett a rendkívül aktív (kb. 12-15 fős) bizottság, s munkabizottságokban dolgozta ki az előírások módosítását, új előírások készítését.

Kiemelten foglalkoztam a **hidak teherbírásának meghatározásával**. E fontos, ám bonyolult feladatban csak kisebb eredményt sikerült elérni, kutatási munka keretében (Illéssy József) a dinamikus hidvizsgálat használhatóságát, külföldi korábbi tanulmányút alapján pedig a **boltozatok teherbírás-számítást - MEXE módszer - tettem közkinccsé (1990).**

A **hidak törésig való próbaterhelést** egy-két esetben sikerült megvalósítani (pl. 55. sz. úti ártéri híd), s lebontás előtt (pl. Dinnyés vasút feletti híd) végzett „boncolás” támpontot adott a hidak tényleges állapotának meghatározására. Évente 50-60 időszakos hidvizsgálatot átnéztem, hídhiba katalógust dolgoztattam ki, ezek jó alapot adtak a hídállapotok megismerésére, a döntések megalapozására (felújítás – átépítés).

A **hidhibák elemzése alapján irányelvet készítettem a kerüendő szerkezeti kialakításokra** (Gerber-csuklók, H

szegély stb.). Hidosztályvezetőként kötelező utasításokat adtam ezügyben és a sókorrózió elleni védekezés témakörében.

A HÍDGAZDÁLKODÁS, ELVI ÉS GYAKORLATI FELADATAI (1992-1998)

A megalapozó munkák után (francia, dán, USA hidgazdálkodás megismerése, pályázat) az USA **PONTIS program alkalmazása mellett döntöttünk**, külön kis bizottságot alakítottunk (**Agárdy Gyula, dr. Gáspár László, Kolozsi Gyula, dr. Lublós László, Molnár István** volt a bizottság oszlopos tagja), sok munkával hazai adatokkal próba futtatásokat végeztünk. Kár, hogy ez nem vált a gyakorlati munka részévé.

Előadásokat tartottam, **beszámolókat írtam hidjaink állapotáról, az elvégzendő fenntartási feladatokról. A hídterveit rendszeresen zsúriztunk**, ezzel egységesebbé, színvonalasabbá lehetett tenni a tervezéseket.

Hídjaink megóvása érdekében bevezettük a Műszaki emlék (kb. 130 híd) **minősítést** azoknál a hidaknál, melyek valamilyen okból feltétlen megőrzésre szorulnak. Nemcsak az országos közutak, hanem önkormányzatok kezelésében lévő hidakat is felvettünk az önként vállalt védelmi körbe.

Külön **hídkorszerűsítési program is készült az Uvater (dr. Koller Ida) bevonásával** (1999-ben lett kész). A Duna- és Tisza hidak korszerűsítését külön vizsgáltattuk. Egy-egy folyami híd korszerűsítése külön nagy feladat volt (pl. záhonyi Tisza-híd vagy bajai Duna-híd), utóbbinál hosszas előkészítés és sok-sok vita után sikerült szétválasztani a közúti és vasúti forgalmat.

40-50 éves hidak megmentése ügyében dr. Szatmári István, dr. Szalai Kálmán, dr. Loykó Miklós és dr. Dalmy Dénes és mások is sokat tettek. Jó szívvel támogattam a solti kis-Duna, valamint **Ráckeve, Sárvár és Szeghalom hidjainak erősítését** és kb. 30 vasbeton gerendahíd **külső kábeles erősítését** és a KFCS-hidak megerősítését.

A minisztériumi **hídtervtár átvételét** a Közlekedési Felügyeletről **sikerült megvalósítani: dr. Träger Herbert rendkívüli hídismeretének és kitartó munkájának köszönhetően (1996).** A hidvizsgálatoknál, hídtervezéseknél pótolhatatlan információkat adnak régi tervek, törzskönyvek. Nélkülözhetetlen adatokat mentettünk meg a hidak napi üzemeltetéséhez.

Hídüzemeltetéshez használt **hidvizsgáló daruk** fejlesztése, nagyobb teljesítményű gépek beszerzése nagy segítséget adott. **Sikerült rendszeressé tenni a hidak mosását a téli sózási időszak után.**

A **Duna- és Tisza-hidak állapotával sokat foglalkoztam.** Örülök, hogy a régi hidak felújításában és új hidak építésében is óriási sikerült előre lépni.

HÍD- ÉS ÚTTÖRTÉNET ÍRÁS (1988-TÓL FOLYAMATOSAN)

Elég későn kezdtem el dr. Gáll Imre Régi magyar hidak (1970) című könyve nyomán érdeklődni hidjaink története iránt. Első írásom 1988-ban jelent meg a szabadszállási alumínium hídról. Cikkem a híd megmentését szolgálta sikeresen: ma Kiskőrösön a hídszkenzen fontos tagja.

1993-ban a Győrben tartott Hidmérnöki Konferenciára javasoltam a megye hídtörténetének megírását. Mentés Zoltán ny. főmérnök kiváló kutatónak bizonyult, az első megyei hídkönyv összeállításában meghatározó szerepe volt. A következő konferenciára (Sárospatak) a megyei hídállomány történetének megírását személyesen vettem kézbe, ekkor alakítottam ki a

máig keveset változott szerkezetet. 1994 óta évente egy újabb könyv jelent meg. Számomra ez nagy feladat és egyben öröm volt. Rengeteg munkával és sok közreműködővel elkészült az **összes megyei híd monográfia**, ami elérhető az interneten is (www.hidak.hu). A megyei hídtörténeti kötetekre számos tervezői **viSSzajelzést kaptam, hogy mennyire hasznosak a napi hídtervezési feladatokhoz**, mert megismerhető ezekből a híd építéstörténete **forrásokkal, adatokkal, ez volt a célom.**

A 19 megyei kötet összesen 24 év munkája, 3560 oldal, mintegy félezer egyedi hídleírással és 7500 fényképpel.

A **Kossuth híd elkészültének 50. évfordulóján kis kiállítást rendeztünk** a Fényes Elek utcai székházban. Erre az alkalomra a Kiskörösön őrzött eredeti tervek, a Közlekedési Múzeum, a tervező dr. Mistéth Endre és mások segítségével gazdag dokumentációt sikerült összegyűjteni.

Öröm volt számomra, hogy részt vehettem az **Erzsébet-híd építésének centenáriuma 2003-ban készített pazar kiállítású könyv** összeállításában, s még ennél is nagyobb feladat és öröm volt a 97 éves **dr. Gáll Imre: A budapesti Duna-hidak** című 2005-ben megjelent könyvének írásában részt venni.

MÉRNÖKÖKRŐL: MEGEMLÉKEZÉSEK, ÉLETRAJZOK (1990-)

Hídtörténettel való foglalkozásom kezdetén rádöbentem, hogy milyen keveset tudok neves mérnökökről. Elsőként **dr. Gállik István nyomába eredtem**, felkeresve fiát, az ugyancsak neves hidászt.

Megemlékeztem **Hargitai Jenő 80. és dr. Balázs György 70. születésnapján** a fáradhatatlan hídtörténet kutatóról, a beton „szerelmeséről”.

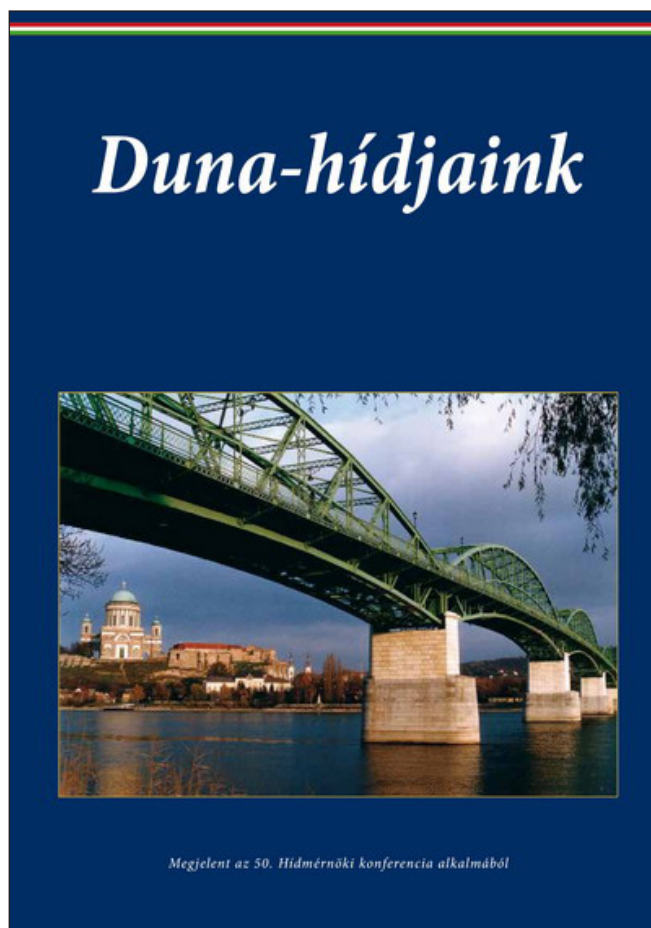
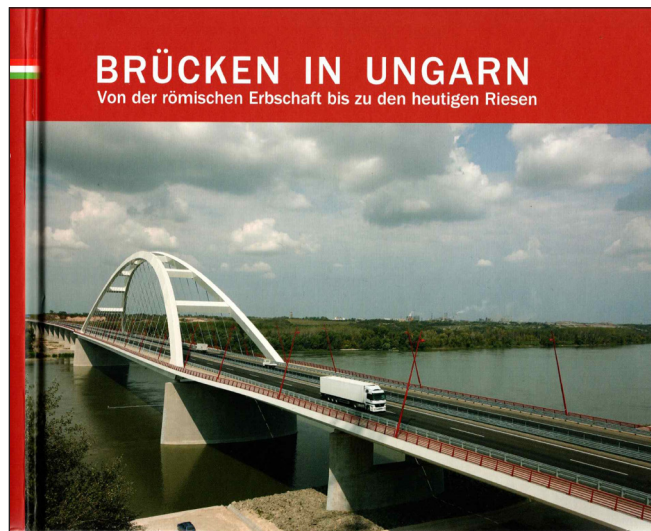
1993-ban Kiss József évfolyamtársammal **emlékezünk meg Palotás László professzor úrról.**

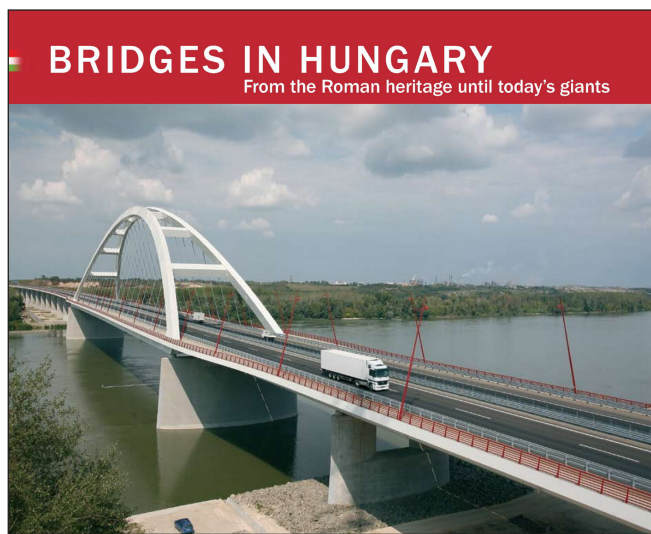
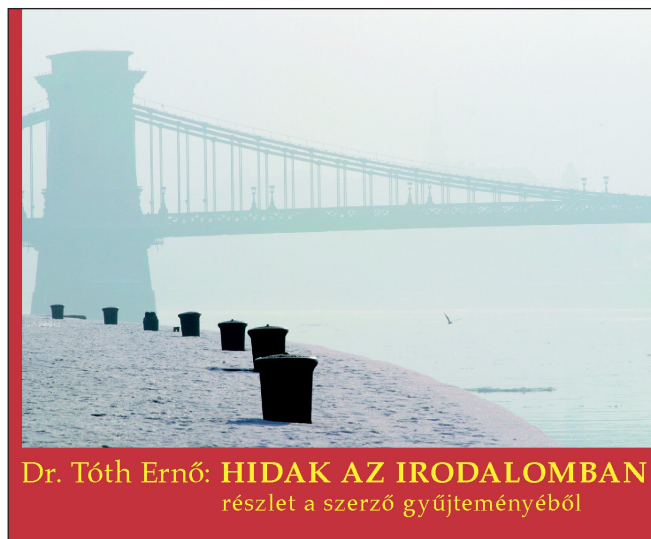
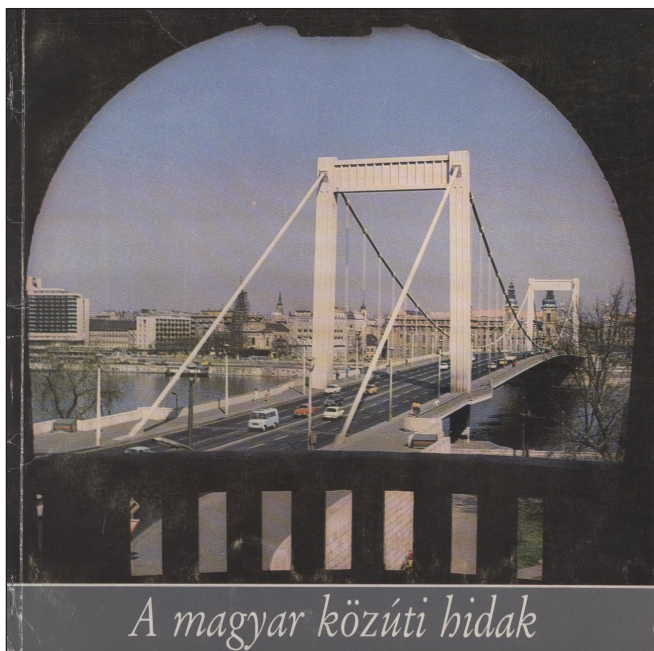
Szomorú kötelességemnek tettem eleget amikor **Apáthy Árpád és Zsámboki Gábor** pályafutásáról (1995), és **dr. Nemesdy Ervinről**, (2002) kellett **nekrológot** írnom.

dr. Gáll Imréről példaképemről a hídtörténet kutatás hazai nagy alakjáról 2002. szeptemberében írtam, majd elhunytakor (Mérnök Újság 2006. 3.) és életrajzi füzetet állítottam össze.

A Mérnöki Kamara történetét felkérésre 1993-ban írtam meg. **Thoma Frigyes** örökös titkár életrajzát ugyancsak felkérésre nehéz kutatás után sikerült nagyjából felvázolni. Sokat foglalkoztam **Feketeházy János** életével is.

Az említettekén kívül több neves mérnök életrajzi adatait gyűjtöttem össze. **Dr. Balázs György** harcostársaként dr. Borosnyói Adorján közreműködésével összeállítottuk a **Műegyetemen végzett építőmérnökök életrajz-gyűjteményét.** A 2007 és 2010 között négy kötetben megjelent életrajzok az 1943 és 1966 között végzett mérnökök életrajzait tartalmazzák.





Nagy öröm volt számomra, hogy **Mihailich Győző és Palotás László** professzorok életrajzi könyvéhez némi forrásanyagot tudtam Balázs György professzor úrnak gyűjteni.

KÜLFÖLDI TANULMÁNYUTAK, EGYESÜLETEK

A tapasztalateserét, a külföldi utakat, a hazai és külföldi kapcsolatokat rendkívül fontosnak tartottam és tartom.

1979 után több alkalommal külföldön tanulmányozhattam az út és hídfenntartást (Franciaország, Ausztria,

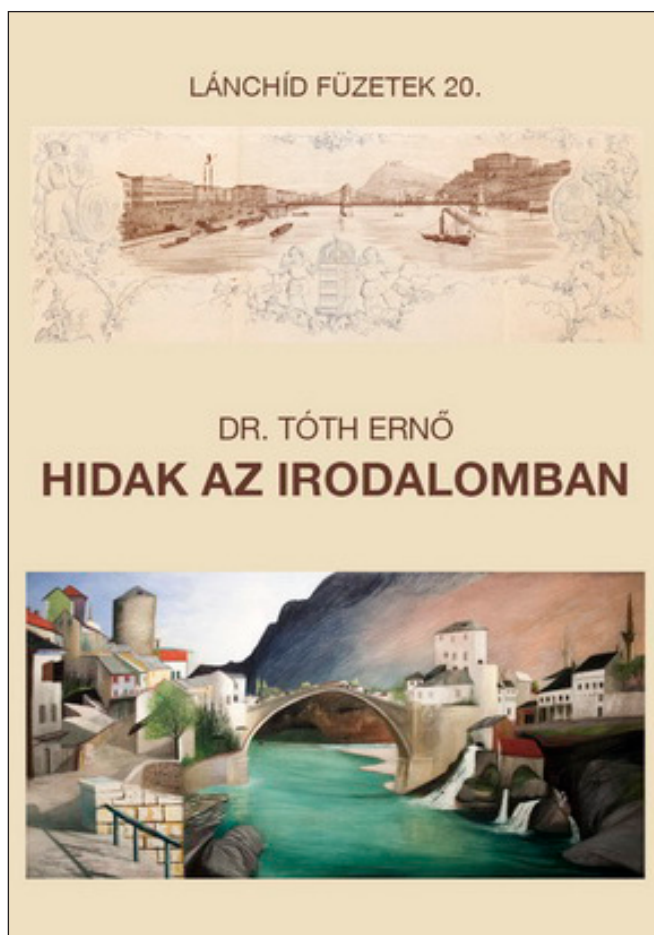
Németország, Anglia, Dánia, Finnország, Hollandia). Igyekeztem a tapasztalatokat előadáson ismertetni (KTE), írásban közkinccsé tenni, és legfőképpen hasznosítani. Nagy élmény és nagy lehetőség volt, hogy Hollandiában – szerény nyelvtudással – magánúton is lehettem (Vizi László kalauzolt) és a nekem járó szakirodalomból (Cement és Wegen) száznál több cikket lefordítottam, ismertettem.

Fontosnak tartom, hogy országos hídügyi feladataim kezdetekor (1988) részt vehettem Ruszton az évente két alkalommal rendezett **osztrák hidász összejövetelen**, s azóta mindig képviselte hazánkat valaki ezeken az alkalmakon. **Rengeteg segítséget kaptunk az osztrák kollégáktól** (szakirodalom, egy-egy kérdés megvitatása, helyszíni szemlék) **a szlovák, horvát, szerb, német kollégákkal is gyümölcsöző kapcsolatunk volt.**

A KTE-nek kezdettől aktív tagja vagyok, sok előadást tartottam helyi meghívásra és országos rendezvényekre. A **Magyar Útügyi Társaságnak** és a **fib**-nek is tagja vagyok, **mindkét szervezet munkáját nagyra értékelem**, s buzdítok minden kollégát, hogy ne sajnálják az időt, energiát e tevékenységtől. A Vasbeton építés ma a hídszakma egyetlen mértékadó folyóirata, igen nagy érték.

Az **oktatásról, továbbképzésről** már szóltam, fontossága miatt e helyen is kiemelem. A szakmunkásképzés korában rendkívül fontos: gyakorlati és az elméletben is jártas, az emberekkel szót érteni képes technikusok, mérnökök feladata ez, örülök, hogy kezdőként és aktív pályafutásom végén is részt vehettem ebben a munkában.

Köszönöm Balázs L. Györgynek, hogy a **fib** rendkívül



sokat foglalkozik a tagság személyi híreivel, figyelmes megemlékezésekkel.

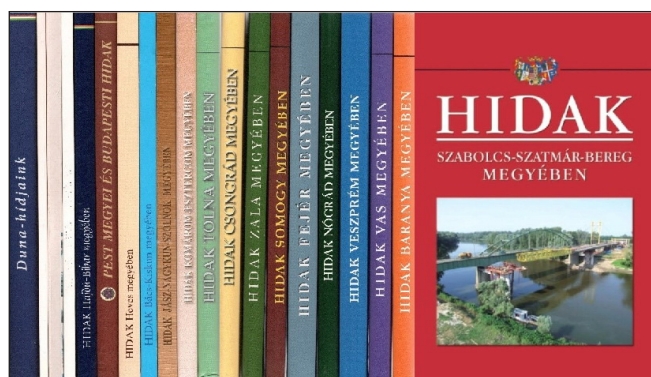
Hálás vagyok Nemesdy professzor úrnak, hogy meghívott az Útfenntartás (1978) és Útüzemeltetés (1980) előadására, s arra buzdított, hogy jegyzeteket is írjak. Örülök, hogy hídfenntartási szakmérnöki előadásokat tarthattam. Remélem, hogy sikerült a szakmai tudnivalók mellett más is (emberséget, szakmaszeretet) átadni. Az építés, fenntartás gyakorlati tapasztalat nélkül véleményem szerint nem oktatható.

A gyakorlati munka (megfigyelés, ellenőrzés) elmélettel való összevetése volt mindig a célom. Érdekelt minden „probléma”, figyeltem a hibákat és a jó megoldásokat. **A hibákról keveset publikáltam**, mert azt tapasztaltam, hogy sokan a „szakma elárulásának” tartják ezt, pedig ez egyáltalán nem így van. **Az általam kezdeményezett út és híd hibakatalógusok, a hidak „boncolása”** ügyében kiadott rendelkezésem a **jobbítást, a hiba megelőzést szolgálta.**

Egyetlen témában a vasalt talajtámfalak hazánkban alkalmazott egyik fajtájának ügyében jelent meg **dr. Szepesházi Róberttel** egy részletes írásom. **Rendkívül fontosnak tartom** ilyen „kényes” kérdésben is az **ok-kutatást, a helyes tájékoztatást.** Elődeink pl. Széchy Károly professzor bátrabb volt, az alapozási hibákról (konkrét példákkal) könyvet írt, s világsiker lett. Van, lenne miről írni ma is.

A **szakirodalom** – hazai és külföldi – **gyűjtése kezdettől fogva „hobbim” volt.** Igyekeztem megfelelő bibliográfiát készíteni, készíttetni – ez 2002-ben készült el. Főleg hídtörténeti munkáimban igyekeztem széleskörű kutatást végezni, s a forrásokat korrekten megadni.

A **kiskőrösi Úttörténeti Múzeum** – **Tóth László, Szászi András** – a tárgyi emlékeken kívül igen sok folyóirattal, könyvvel és más kiadványokkal rendelkezik. Gyűjteményem jelentős részét Kiskőrösnek átadtam, ezúton is felhívom a figyelmet, hogy **nem szabad selejtezni az értékes szakmai**



anyagokat, s használni kell a múzeumok, könyvtárak, levéltárak kincseit.

A fotózást kezdettől igyekeztem felhasználni munkámban. Sok forrásból – Hídepítő vállalat, **Ganz Mávag**, képeslapmúzeumok és **Gyukics Péter** fotós – sikerült a könyvekhez remek és érdekes képeket felhasználni.

Szerteágazó érdeklődésem és tevékenységemből többet nem említek. Talán **túl sok mindennel foglalkoztam, de nem öncélúan**, hanem **mindig igyekeztem megoldást találni az épp felmerülő kérdésekre és mindezt közkinccsé tenni, publikálni.**

Sokat köszönhetek elsősorban feleségemnek, főnökeimnek, munkatársaimnak, a KTE-nek, fib-nek. Egyedül nem tudtam volna ennyit se elérni.

Hídosztályvezetőként rendkívül sok támogatást kaptam – kérés nélkül is – **Balázs György** professzor úrtól, vállalatoktól, intézményektől, munkatársaimtól: **Kolozsi Gyulától, Sitku Lászlótól, Hajós Bencétől** és mindenkitől kérésre és kérés nélkül is.

Örülök, hogy **nemcsak hidakkal, hanem utakkal is foglalkoztam**, hiszen e két terület összetartozik, a **két szakterület mereven szétválasztása nem jó**, különösen a **hídszigetelések előírásainak kidolgozásánál tapasztaltam** ezt meg.

Buzdításnak szántam írásom azzal, hogy az elmúlt 60 évben **rengeteg minden történt a szakmánkban, folytatni, alkalmazni kell, ami jó volt** és elemezni kell a hiányosságokat. **Hálásan köszönöm minden tervezőnek, kivitelezőnek, kutatónak, oktatónak**, hogy a legnehezebb időszakokban is megértéssel fogadták a különböző kéréseimet.

A szakmát, hazámat kívántam szolgálni.

Áldás, békesség!

Soli Deo Gloria!

VÁLOGATÁS A FONTOSABB PUBLIKÁCIÓKBÓL

Megyei hídtörténeti monográfiák

- [1] Hidak Borsod–Abaúj–Zemplén megyében. Miskolc, Miskolci Közüti Igazgatóság 1994.
- [2] Hidak Békés megyében. Békéscsaba, Békéscsabai Közüti Igazgatóság 1995.
- [3] Hidak Hajdú–Bihar megyében. Debrecen, Debreceni Közüti Igazgatóság 1996.
- [4] Pest megyei és budapesti hidak. Budapest, Pest MÁK Kht. 1997.
- [5] Hidak Heves megyében. Eger, Heves MÁK Kht. 1998.
- [6] Hidak Bács–Kiskun megyében. Bács–Kiskun MÁK Kht. 1999.
- [7] Hidak Jász–Nagykún–Szolnok megyében. Szolnok, Jász–Nagykún–Szolnok MÁK Kht. 2000.
- [8] Hidak Komárom–Esztergom megyében. Tatabánya, Komárom–Esztergom MÁK Kht. 2001.
- [9] Hidak Tolna megyében. Szekszárd, Tolna MÁK Kht. 2002.
- [10] Hidak Csongrád megyében. Szeged, Csongrád MÁK Kht. 2003.

- [11] Hidak Zala megyében. Zalaegerszeg, Zala MÁK Kht. 2004.
 [12] Hidak Somogy megyében. Kaposvár, Somogy megyei MÁK Kht. 2005.
 [13] Hidak Fejér megyében. Budapest, Útgazdálkodási és Koordinációs Igazgatóság 2006.
 [14] Hidak Nógrád megyében. Budapest, Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ 2007.
 [15] Hidak Veszprém megyében. Budapest, Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ 2008.
 [16] Hidak Vas megyében. Budapest, Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ 2015.
 [17] Hidak Baranya megyében. Budapest, Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ 2016.
 [18] Hidak Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében. Budapest, Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ 2016.

Könyvek, önálló kiadványok

- [19] Az állami közúthálózat megfelelőségének mérése, különös tekintettel a közúti baleseti helyzetre. Doktori disszertáció BME 1977
 [20] Útellenőri kézikönyv. Szerkesztő és szerzőtárs. KPMKF KÖZDOK én
 [21] Téli útüzemeltetés (oktatási anyag). KPMKF 1981
 [22] Összefoglaló jelentések és bizottsági beszámolók XVI. Útügyi világkongresszus, Bécs (I.-II. kötet). KTI 4. kiadvány 1982
 [23] A megfelelőségi értékelés felhasználása, az országos közúthálózat műszaki minősítése és nyilvántartása I. KPMKF 1983
 [24] Az országos közúthálózat minősítése 1980-1983. Közlekedési Minisztérium, Közúti Közlekedési Főosztály, 1983
 [25] Közutak téli üzemeltetése, Szakirodalmi áttekintés. Dávid Tivadarral. KTI 22. kiadvány (Budapest) 1986
 [26] A közúti közlekedési zaj csökkentési lehetőségei. Dávid Tivadarral és Künnle Tamással. ÉTK 1987
 [27] Közutak Főbb Adatai 1987. Több éven át szerkesztő. KPMKF 1988
 [28] Közúti beton és vasbetonhidak felújítása (szakirodalmi tájékoztató, adatgyűjtemény) ÉTK 1988
 [29] Közúti hidak építési és fenntartási zsebkönyve. Szerkesztőtárs: Ámon Tiborral. Műszaki Könyvkiadó 1988
 [30] A magyar közúti hidak. Autópálya Igazgatóság. (megjelent angolul, németül, franciául és oroszul is) 1990
 [31] Mérnöki kézikönyv IV. (Sz.: Dr. Palotás László). Útfenntartás és Útüzemeltetés fejezetek. Műszaki Könyvkiadó 1990
 [32] A kationaktív bitumenemulzió útépitésben és fenntartásban történő alkalmazása. Szerkesztő és szerzőtárs. KÖZDOK. én
 [33] Válogatott fejezetek a közlekedés történetéből (Sz.: Dr. Katona András). Hidépítés története c. fejezet. Universitas 1994
 [34] Beton és vasbetonszerkezetek diagnosztikája I. és II. (egyetemi tankönyv) Szerkesztőtárs: Dr. Balázs György. Műegyetemi Kiadó. 1998
 [35] Hídmérnöki konferenciák 1962-1999. 40. Hídmérnöki konferencia 1999
 [36] Útjaink ezer éve. Szerkesztő és szerzőtárs. Közlekedési és Vízügyi Minisztérium 2001
 [37] Beton és vasbetonszerkezetek védelme, javítása és megerősítése II. (Sz.: Dr. Balázs György) 6/2 és 6/3 fejezetek Műegyetemi Kiadó 2002
 [38] A régi és az új Erzsébet híd. Eseménytár és irodalom részek. Budapesti Történeti Múzeum. 2003
 [39] A régi és az új Erzsébet híd tudományos ülés előadásainak gyűjteménye MAGÉSZ 2004
 [40] Az üzemmérnökségek 30 éve (1974-2004). Dávid Tivadarral és Simonyi Alfonzzal. Kiskőrösi Közúti Szakgyűjtemény 2004
 [41] Hidak Magyarországon. (angolul és németül is megjelent) Gyukics Péter fotóival. Yuki stúdió 2005
 [42] Térségek kapcsolatok hidak – 110 éves a Mária Valéria híd. UKIG 2005
 [43] A budapesti Duna-hidak. Dr. Gáll Imre átdolgozott, kiegészített művének szerkesztője Dr. Domanovszky Sándorral Kozma Károllyal és Torma Lászlóval. Hidépítő Rt. 2005
 [44] Értékek az utak mentén : az országos főútvonal hálózat jelentős részén látható és elérhető turisztikai nevezetességek, műemlékek, természeti, történeti és jelentős műtárgyak. társszerzőkkel Budapest, ÁKMI, 2005
 [45] Kiskőrösi Közúti Szakgyűjtemény évkönyve VI. kötet (2000-2006) Üzemmérnökségek története fejezet 2006
 [46] Hídjaink – A római örökségtől a mai óriásokig. Szerk. társ: Kara Katalin. KKK 2007
 [47] Hidak mentén a Tiszán. Hajós Bencével Gyukics Péter fotóival. Yuki stúdió 2007
 [48] Thoma Frigyes életrajza (1883-1962). Mérnöki Kamara, Logod Bt. 2007
 [49] Köszöntés Dr. Träger Herbert 80. születésnapja alkalmából. Hajós Bencével. Lánchíd füzetek 4. 2007
 [50] Műegyetemen végzett építőmérnökök és munkásságuk I. 1943-1951. Budapest, Műegyetemi Kiadó 2007
 [51] Műegyetemen végzett építőmérnökök és munkásságuk II. 1952-56. Budapest, Műegyetemi Kiadó 2008.
 [52] Bridges in Hungary – From the Roman heritage until today's giants. Szerzőtársakkal. Budapest, 2008
 [53] Duna-hídjaink, az 50. Hídmérnöki Konferencia alkalmából. Szerkesztő és szerzőtárs KKK 2009
 [54] 50 hídmérnöki konferencia (1962-2009). Szerkesztő és szerző Dr. Träger Herberttel és Vértes Máriával KKK 2009
 [55] Hídépítéstan. Szerzőtársakkal. Tankönyvmester kiadó 2009
 [56] Műegyetemen végzett építőmérnökök és munkásságuk III. 1957-1961. Budapest, Műegyetemi Kiadó, 2009
 [57] Műegyetemen végzett építőmérnökök és munkásságuk IV. 1962-1966. Budapest, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, 2010.
 [58] Brücken in Ungarn – Von der römischen Erbschaft bis zu den heutigen Riesen. Budapest, 2010
 [59] Híd történelem, műemlék hídjaink. id. dr. Gáspár László Útügyi Technológiai Továbbképzés 5. modul Hídász technológiai képzés jegyzete, Budapest, 2013
 [60] Hazánk, Magyarország ismert és rejtett hídjai. Budapest, Yuki Stúdió, 2015.
 [61] 150 éves a magyar aszfaltútépítés : történelmi szakkönyv. Társszerzőkkel Budapest, Magyar Aszfaltipari Egyesülés, 2017.
 [62] A Széchenyi lánchíd szerkezetének átépítése 1913 – 1915 között. Budapest, MAGÉSZ, 2018.
 [63] Hidak az irodalomban – Lánchíd füzetek 20. Biri, Első Lánchíd Bt. 2018.
 [64] 150 éves a magyar aszfaltútépítés : történelmi szakkönyv 2.. Társszerzőkkel Budapest, Magyar Aszfaltipari Egyesülés, 2019.

Folyóiratcikkek

- [65] Hozzászólás ifj. Dr. Gáspár László–Dr. Takách Gyula: Hazai utak rendszeres megfigyelésének néhány kérdése c. tanulmányához. In. MSz 1975/6
 [66] A vasúti szintbeni útátjárók kialakításának közúti szempontjai. In. MSz 1975/7
 [67] Az úttáplálás mérési módszerei. In. MSz 1975/9
 [68] Szubjektív úttáplálás-felvétel tapasztalatai. In. MSz 1976/9
 [69] A közutak forgalombiztonságának szubjektív értékelése. In. KSz. In. 1977.9. sz
 [70] Az útviszonyok hatásainak értékelése a gépjárművezető élettani reakcióinak mérésével. M. Lobanovval. In. MSz 1979/3
 [71] Az útfenntartás tervezésének kérdései. Ifj. Dr. Gáspár Lászlóval. In. KSz 1980/8
 [72] Útfenntartási tanulmányút Franciaországban. Dávid Tivadarral. In. MSz 1981/4
 [73] Zustandsaufnahme und Bewertung des ungarischen Straßennetzes. Szerzőtársakkal. In. Die Straße 1981/5
 [74] Kationaktív bitumenemulzió az útfenntartásban. Szerzőtársakkal. In. MSz 1981/7
 [75] Az aszfaltburkolatok hibakatalógusa. In. Műszaki Élet 1981/17
 [76] Az aszfaltburkolatok hibáinak és azok okainak rendszerezése. Schváb Jánossal. In. MSz 1983/8
 [77] Útpályaszerkezetek teherbírásának és hátralévő élettartamának meghatározása. In. KSz 1984/10
 [78] A magyar betonútépítés története. In. KMSz 1987/12
 [79] Felületi bevonatok készítésével szerzett újabb tapasztalatok. Kuna Leventénével. Szi KTMF V. tudományos ülészak 1987
 [80] A magyar betonútépítés története. In A Kiskőrösi Közúti Szakgyűjtemény Évkönyve 1981-1986, Közlekedési Minisztérium, Budapest, 1987 87-134. o.
 [81] A félig merev pályaszerkezetek alkalmazásának, méretezésének és fenntartásának néhány kérdése. In. KMSz 1989/3
 [82] Munkamegbeszélés a felületi bevonatokról. In. Út-Tükör 1989. január
 [83] A közúti hidak megfelelőségének értékelése. Apáthy Árpáddal. In. KMSz 1990/9
 [84] Maderspach Károly íven függő vonólánós vashídjai. Tóth Lászlóval. In. KMSz 1990/4
 [85] Aszfalt újrafelhasználás (keverőtelepi meleg eljárás). Vizi László holland nyelvű írásait fordítottam, szerkesztettem. In. KMSz 1990/5
 [86] Elkészültek a bajai híd oldalpályái. In. Út-Tükör 1990/9
 [87] Hídmérnöki értekezlet 1989 augusztus 28-30. Apáthy Árpáddal. In. KMSz 1990/8
 [88] Közúti vasbetonhidak tartóssága a hídszabályzatok tükrében. Dr. Balázs Györggyel. In. KMSz 1991/6
 [89] A linzi hídfenntartási konferencia (1990 május 16-18) In. KMSz 1991/4
 [90] A hídgyártás néhány kiemelt feladata. Szi KTMF VI. tudományos ülészak 1991
 [91] A szabadon szerelt, utófesztített közúti hidak állapota. Több szerzőtársal. In. Vasbetonépítés 1992/2
 [92] Az önkormányzati hidak fenntartása. In. KMSz 1993/12
 [93] Rekvem a mosztari hídról. In. Közút 1993/12
 [94] A sárbogárdi vasbeton Nádor-csatomahíd nyomában. Molnár Istvánnal. In. KMSz 1994/5
 [95] Az első öntöttvas hidak Magyarországon. Tóth Lászlóval. In. KMSz 1994/5
 [96] Gratulálók Jancsó Árpád kollégának. In. Közút 1995/11-12
 [97] Hidak bruttó és nettó értékének számítása. Dr. Gáspár Lászlóval. In. KMSz 1996/2
 [98] The Hungarian Lowland and its Effect on Bridge Design. Institute of Lowland Technology, Saga University 1996. március

- [99] Balázs György 70. születésnapjára. In. Közút 1996/4
- [100] Búcsúzunk a millicentenáriumtól, 1100 éves útügyi naptár. In. Közút 1996/7
- [101] A vasbeton hidak tartósságába vetett bizalom. In. Beton 1997/5
- [102] A közúti hidak országos helyzetképe, fejlesztési tervei. In. KMSz 1997/2
- [103] A magyar útgazdálkodás 50 évének áttekintése. In. KMSz 1997/12
- [104] Ami kimaradt a Pest megyei és budapesti hidak című könyvből. In. Közút 1997. november
- [105] Amit a hídügyekről tudni kell. In. Közút 1997. november
- [106] Vita a bajai Duna-híd korszerűsítéséről. In. Közút 1998. április
- [107] Dunai és tiszai hídjaink. In. Közút 1998. augusztus
- [108] Közúti vasbetonhidak javításának tapasztalatai. In. Technowato 1998
- [109] Közúti vasbetonhidak hibái, ezek elkerülésének lehetőségei. In. KMSz 1998/9
- [110] A Duna és Tisza-hídjaink állapota és jövője. In. KMSz 1998/9
- [111] Az esztergomi Duna-híd története és újjáépítése. In. KMSz 1999.11
- [112] Kiegészítő tájékoztató a vasalt talajtámfalakról. Dr. Szepesházi Róberttel. In. KMSz 2001/10
- [113] Az esztergomi Duna-híd 57 év után újjáépült. Kolozsi Gyulával. In. KMSz 2002/3
- [114] Acélszerkezeti ankétot rendeztek a BME-n. In. Közút 2002. június
- [115] Szegeden rendezték meg a 44. Hídmérnöki konferenciát. Dr. Träger Herberttel. In. Közút 2003. szeptember
- [116] A hidak elnevezéséről. Hajós Bencével. In. KSz 2004/7
- [117] Az eszéki török Dráva-híd. Hajós Bencével. In. Közúti és vasúti hidász almanach 2006, Lánchíd füzetek 5.
- [118] Hidásznapiak (Sopron, 2011. november 29-30.) In. MAGÉSZ Acélszerkezetek 2012/1 p. 4.
- [119] Dr. Kossalka János (1871-1944) A tudós, hidász professzor, hídtervező, közéleti ember, akinek sírja sincs. In. MAGÉSZ Acélszerkezetek 2013/2 p. 26-31.
- [120] Száz éve született – Apáthy Árpádra emlékezve (1912-1995). In. Híd-építők 2012/4 p. 34-35.
- [121] Hídhibák, hídkárok, balesetek. „Hidak érdekében tanuljunk a saját és mások hibáiból”. In. Vasbetonépítés 2013/1 p. 13.
- [122] A magyarországi hídtörténelem sötét lapjai. Hídhibák, hídkárok, balesetek dátum szerinti kivonata. In. Vasbetonépítés 2013/1 p. 14-18.
- [123] Búcsúbeszéd Dr. Balázs György temetésén. In. Vasbetonépítés 2013/1 p. 27-31.
- [124] Hídház elődeink (A Visegrádon 2013. szeptember 26-án tartott előadás szerkesztett változata). In. MAGÉSZ Acélszerkezetek 2014/1 p. 46-51.
- [125] Maderspach Károly (1791-1849) Korát megelőző, első ismert vashíd-építőnk. In. MAGÉSZ Acélszerkezetek 2014/3 p. 72-78.
- [126] 50 éves az Erzsébet kábelhíd. (Beszámoló az emlékülésről) Társzerző: Pisch Zsuzsanna In. MAGÉSZ Acélszerkezetek 2015/1 p. 26-32.
- [127] Hidak járműtközés miatti károsodása. In. MAGÉSZ Acélszerkezetek 2015/1 p. 82-87.
- [128] Lánchidak a világ körül. Lánchídjaink előképei és kortársai. Társzerző: Pisch Zsuzsanna In. MAGÉSZ Acélszerkezetek 2016/3 p. 6-19.
- [129] Interjú: Hídjaink múltjáról, jelenéről és jövőjéről. (Beszélgetés Dr. Tóth Ernővel és Sitku Lászlóval). In. Útügyi Lapok bejegyzés 2018. október 23.
- [130] Interjú: Hídhibák, hídesztétika. (Beszélgetés Dr. Tóth Ernővel és Sitku Lászlóval). In. Útügyi Lapok bejegyzés 2019. január 23.
- [131] A hazai vasbeton hídjaink 100 évének (1990-ig) esztétikai áttekintése. In. Vasbetonépítés 2020/4

Rövidítések:

- KKK Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ
- KMSz Közúti és Mélyépítési Szemle
- KPM Közlekedés és Postaügyi Minisztérium
- KPMKF Közlekedés és Postaügyi Minisztérium Közúti Főosztály
- KSz Közlekedéstudományi Szemle
- MAGÉSZ Acélszerkezetek
- MSz Mélyépítéstudományi Szemle
- UKIG Útgazdálkodási Koordinációs Igazgatóság

A CEM I 42,5 N PORTLAND CEMENT EN 196-3 SZABVÁNY SZERINTI KÖTÉSI IDEJÉNEK ÉS HIDRATÁCIÓS HŐFEJLŐDÉSÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA



Dr. Kopecskó Katalin - Baranyi Attila

<https://doi.org/10.32969/VB.2022.1.3>

A cementkötésű anyagok egyik legfontosabb jellemzője a kötési idő kezdete (IST) és vége (FST), amely segítséget nyújt a beton szállíthatóságának, bedolgozhatóságának, valamint a kiszaluzhatóságának időbeli tervezéséhez. A kötési idő meghatározására jelenleg használatos szabványok a behatolási ellenállás mérésén alapulnak, amely során egy meghatározott alakú és tömegű test (általában Vicat-tű) cementpépbe való behatolási mélységét mérik az idő függvényében. Az európai szabványok közül két szabvány foglalkozik kötési idő meghatározásával: az EN 196-3 és az EN 480-2. Az EN 196-3 szabványos folyósságú cementpépek kötési idejének meghatározására szolgál, az EN 480-2 a cement vizsgálati szabvány adalékszerekkel vagy azok nélkül készített, habarcsokra alkalmazott változata. A betonok vonatkozásában nem áll rendelkezésre európai szabvány. Ilyen mérések kivitelezéséhez az ASTM C403/C403M-16 szabvány segítségével kaphatunk közelítő eredményt.

A nem szabványos folyósságú cementkötésű anyagok és betonok kötési idejének meghatározására alkalmas módszer lehet a féladiabatikus kalorimetria (SAC). Ezzel az eljárással a cement hidratációs reakciója során bekövetkező hőfejlődést vizsgáljuk, amely arányos a kötési folyamat során bekövetkező viszkozitásváltozással, így a Vicat-tű behatolási mélységével is. A célunk e tanulmánnyal az volt, hogy egyszerűbb, pontosabb és olcsóbb alternatív mérési módszert találjunk a cementkötésű anyagok kötési idejének meghatározására, amely betonok esetében is alkalmazható lehet.

Kulcsszavak: Portlandcement, kötési idő, IST, FST, féladiabatikus kalorimetria, SAC, EN 196-3

1. BEVEZETÉS

A cementkötésű anyagok egyik legfontosabb paramétere a kötési idő kezdete (initial setting time, IST) és vége (final setting time, FST). Ezeknek az adatoknak az ismeretében lehet tervezni a vizsgált keverék bedolgozhatóságának maximális idejét (IST), ill. megbecsülhető a szilárdulás kezdeti időpontja (FST).

A cementet alkotó klinker ásványok (alit, belit, celit, felit) hidratációja során keletkező hidrát vegyületek hatására a viszkózus szuszpenzióból szilárd mátrix alakul ki. A jelenleg érvényben lévő szabványok ezt az átalakulási folyamatot különféle penetrációs eljárásokkal vizsgálják (ASTM C191-19, ASTM C266-20, ASTM C403/C403M-16, ASTM C807-20, ASTM C953-17, AASHTO T131-20, AASHTO T154-18, ISO 9597:2008). Ilyen technika lehet például a Vicat-tűpróba, Gillmore-tűpróba vagy a Hilti szögbelövési teszt (Lootens et al., 2007)

A kötési idő mérésére legelterjedtebb módszer a Vicat-féle vizsgálat, amelyet többek között az EN 196-3 szabvány is alkalmaz. Az eljárás során szabványos folyósságú cementpépbe meghatározott tömegű és átmérőjű tűt merítenek. A tű behatolási mélysége fordítottan arányos vizsgált anyag aktuális viszkozitásával, így a kötési folyamat előrehaladtával.

A módszer egyszerűsége és elterjedtsége ellenére számos kísérlet történt a penetrációs módszer kiváltására, mivel ez a technika csak cementpép vizsgálatára alkalmas és nem teszi lehetővé a kötési folyamat nyomon követését (monitoring). Ilyen módszer többek között az ultrahang impulzus sebesség mérési módszer (Reinhardt et al., 2000; Lee et al., 2004; Sant et al., 2009; Gabrijel et al., 2011; Taylor et al., 2015) és az elektromos ellenállás mérési módszer (McCarter et al., 2003; Wei et al., 2005; Li et al., 2007). Ezek a módszerek bonyolult felépítésűek és magas szintű szakértelmet igényelnek, amely megnehezíti a mindennapi használatukat.

Az utóbbi időben a féladiabatikus kalorimetrián (SAC) alapuló mérési módszer vált népszerűvé a cementkötésű anyagok kötési idejének meghatározására (Wang et al., 2007; Cost et al., 2009; Ge et al., 2009; Bentz, 2010; Rolo, 2013; Hu et al., 2014; Chung et al., 2016; Sanderson et al., 2017; Kang et al., 2020). Az eljárás során a cement hidratációs hőfejlődésének változását követik nyomon, mivel a klinker ásványok kémiai reakcióba lépnek a vízzel (hidratáció), amely hőfejlődéssel jár (exoterm reakció). A bekövetkező hőmérsékleti változások általában nagyon jól követik a mechanikai tulajdonságok változásait. A termikus analízis előnye a mérő rendszer egyszerű kialakítása, amely mindössze egy hőszigetelt edényből, egy termoelemből és adatgyűjtőből áll. Ezen kívül az

ASTM C1679 és ASTM C1753 szabvány segíthet megtervezni és fejleszteni a SAC vizsgálatok eredményes végrehajtását.

Vizsgálataink során a Magyarországon érvényben lévő EN 196-3 szabvány által előírt Vicat-módszer számos hátrányát tapasztaltuk: szakaszos, pontatlan mérés, korlátozott az ejtések száma, a nem szabványos konzisztenciájú (kissé képlékeny) keverékek vizsgálata nehézkes, automata készülékkel a kötési idő végének szabványos mérése csak körülményesen valósítható meg, különösen a hosszú kötési idejű cementpépek esetében (Egan, 1988; Csetényi et al., 1995; Han et al, 2010), ezen kívül az automata készülékek költséges berendezések.

Ebben a tanulmányban a CEM I 42,5 N tiszta portland cement EN 196-3 szerinti kötési idejét vetettük össze kalorimetrikus vizsgálatok során felvett hőfejlődési profiljával, három különböző v/c tényező mellett. A keverékekhez ioncserélt vízen kívül más adalék- és kiegészítő anyagot nem alkalmaztunk.

A hipotézisünk szerint a Vicat módszer kiváltható a cementpép hidratációs hőfejlődésének vizsgálatával a két eljárás összehangolásából kapott eredmények alapján.

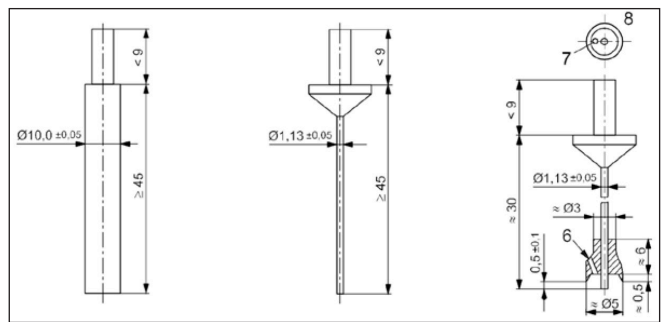
2. AZ EN 196-3 SZABVÁNY RÖVID ISMERTETÉSE

Jelenleg két európai szabvány van hatályban, amely a cement kötési anyagok kötési idejének meghatározására vonatkozik. Az EN 196-3 cement vizsgálati módszer, és az EN 480-2, amely a betonadalékszerek vizsgálatával foglalkozik, de ez a szabvány is a cement vizsgálati, vagyis a Vicat-módszert alkalmazza. Nincs ez másként az ASTM szabványok esetében sem. Ezek a módszerek is a cementkötésű anyagok kötése során fellépő behatolási ellenállást mérik Vicat-, ill. Gillmore-módszerrel. Azonban ezen szabványok között már található habarcs és betonvizsgálati szabvány is (ASTM C403/C403M-16, ASTM C807-20, ASTM C953-17).

Az EN 196-3 szabvány alapelve, hogy „a szabványos folyósságú cementpép meghatározott ellenállást tanúsít a szabványos merülőrúd süllyedésével szemben”. A szabványos folyósságú cementpép víztartalmát több, különböző keverésből kell meghatározni. A kötési idő alatt azt az időtartamot definiálja, „amely alatt a Vicat-tű a szabványos folyósságú cementpépbe meghatározott mélységig süllyed be”.

A szabvány a következő paramétereket rögzíti:

- laboratórium hőmérséklete 20 ± 2 °C, relatív páratartalma min. 50%,
- keverőgép: az EN 196-1 szerint,
- a cementpép elkészítése: cement mennyisége (500 ± 1 g), a keverés módja:
 - a cement, ill. a víz adagolását 10 s-on belül kell elvégezni (nullaidőpont),
 - lassú sebesség fokozaton (140 ± 5 rpm) 90 s-on keresztül kell kevertetni,
 - 30 s-ra le kell állítani a keverést – ez alatt le kell kaparni az edény faláról a cementpépet és a tál közepébe juttatni, újabb 90 s-os keverés következik – a teljes keverési idő 3 perc
- a próbatetekhez használt cement, víz és a készülékek hőmérséklete 20 ± 2 °C,
- vízalatti vizsgálat esetén a vízfürdőt termosztálni kell $20,0 \pm 1,0$ °C hőmérsékleten
- Vicat-készülék:
 - Merülőrúd a szabványos folyósság meghatározásához: henger alakú, min. 45 mm hosszúságú, $10,00 \pm 0,05$ mm átmérőjű,
 - Vicat tű a kötési idő kezdetének meghatározásához:



1. ábra: Merülő rúd szabványos folyósság meghatározásához (balra), Vicat-tű a kötési idő kezdetének vizsgálatához (középen), tű gyűrűs kiegészítéssel a kötési idő végének méréséhez (jobbra) (EN 196-3)

henger alakú, min. 45 mm hosszúságú, $1,13 \pm 0,05$ mm átmérőjű,

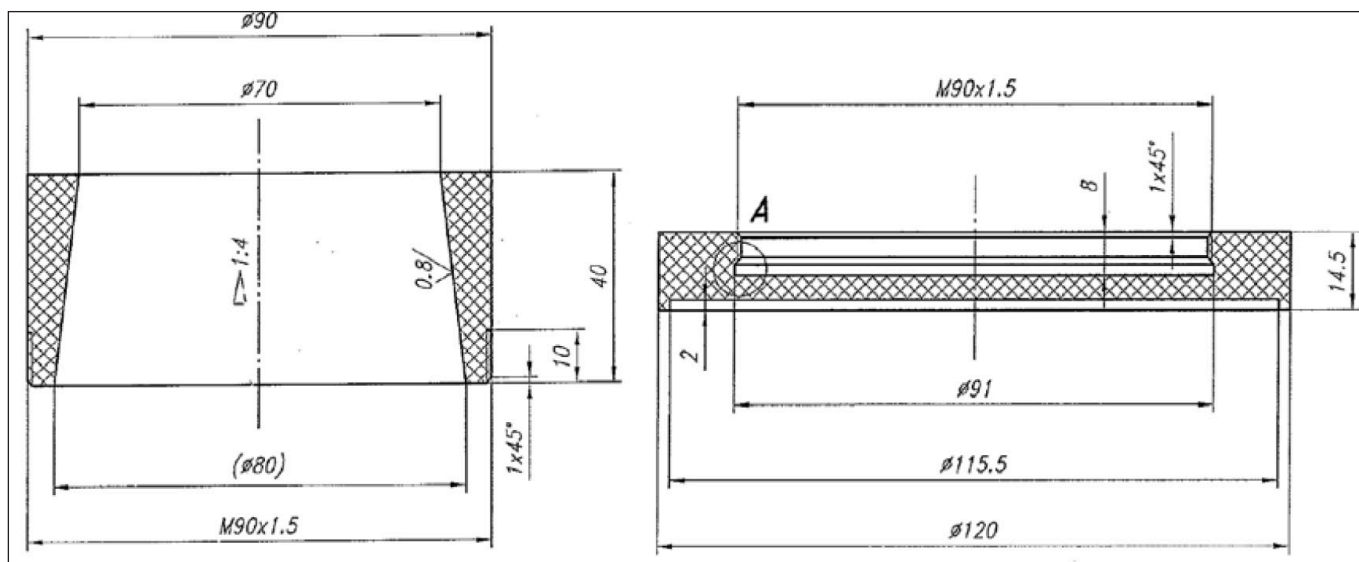
- a mozgó alkatrészek össz. tömege 300 ± 1 g,
- gyűrűs (kör alakú) kiegészítéssel ellátott tű a kötési idő végének meghatározásához (1. ábra)
- Vicat-gyűrű: kemény gumból, műanyagból vagy sárgarézből készült hengeres, vagy csonka kúp kiképzésű gyűrű. A magassága $40 \pm 0,2$ mm, a belső átmérője 75 ± 10 mm. A gyűrű alá olyan alaplapot kell helyezni, amely „gyűrűnél nagyobb és legalább 2,5 mm vastag, vízhatlan és a cementpép hatásának ellenáll”.

A cementpépet a szabványban leírt módon, a szabványos keverővel kell elkészíteni. Ezt követően a formaleválasztó anyaggal vékonyan bekent Vicat-gyűrűt üveglapra helyezik, majd megtöltik a cementpéppel, tömörítés és rázás nélkül. Megméri a lesímitott cementpép szabványos folyósságát, majd a merülőrudat kicserélik a min. 45 mm hosszúságú, $1,13 \pm 0,05$ mm átmérőjű tűre és meghatározzák az ehhez a víztartalomhoz tartozó cementpép kötési idejének kezdetét. A szabvány a kötési idő kezdetén azt az időtartamot érti, amely a cementpép keverésétől (nullaidőpont) addig az időpontig telik el, amíg a tű és az alaplap közötti távolság 6 ± 3 mm (penetráció 34 ± 3 mm) nem lesz. A kötési idő végének meghatározásához a Vicat-gyűrűt meg kell fordítani és a gyűrűs kiegészítéssel rendelkező tűvel kell folytatni a vizsgálatot. Azt az időtartamot tekintik a kötési idő végének, amikor a tű már kevesebb, mint 0,5 mm-re merül a cementpépbe, tehát csak a tű és nem a gyűrűs kiegészítés hagy nyomot a próbatest felületén.

3. A SZABVÁNYOS MÉRÉS SORÁN FELMERÜLŐ PROBLÉMÁK

Az EN 196-3 Vicat behatolási vizsgálat csak szabványos folyósságú cementpép vizsgálatára alkalmazható. Az ASTM C807 által javasolt módosított Vicat teszttel habarcs mérésére is lehetőség van, de ez a módszer sem használható a szabványostól eltérő konzisztenciájú habarcsra. Betonok vizsgálatára pedig az ASTM C403 segítségével mért behatolási ellenállás vizsgálattal kaphatunk közelítő eredményt. Az EN 196-3 által ajánlott módszerrel körülményes lehet a nem szabványos folyósságú (viszkózitású) keverékek meghatározása. A Vicat-gyűrű könnyen megbillenhet, ill. a kisebb viszkózitású anyagok kiszivároghatnak a gyűrű alján. Ezért egy olyan menetes Vicat-gyűrűt (2. ábra) terveztünk, amely magába foglalja az alaplapot is, és pontosan illeszkedik a vizsgálatainknál használt Controls Vicamatic2 készülék forgó tányérjára.

A menetes Vicat-gyűrű az IST meghatározása után szükség szerint szétszedhető, majd a benne elhelyezett cementpéppel együtt megfordítható az FST mérése céljából. Azonban a manapság használt automata Vicat készülékekkel történő



2. ábra: A menetes Vicat-gyűrű alaplappal

mérések esetén nem, vagy csak nagyon körülményesen valósítható meg a kötési idő végének szabvány szerinti meghatározása, így a legtöbbször a kötés kezdetére használt tűt használják a teljes vizsgálat során, ill. a mintát nem fordítják meg. Ebben az esetben figyelembe kell venni a próbatest zsugorodását, amely hatására az FST a legtöbb mérés esetén látszólag 0,5 mm-nél nagyobb penetrációs értéknél jelentkezik. A módszer egyik legnagyobb hátránya annak szakaszos jellegéből adódik, amely miatt a kötési folyamatot nem tudjuk pontosan nyomon követni. Csak eseti „mintavételekkel” közelíthetjük a cementpép behatolással szembeni ellenállását, amely arányos az anyag viszkozitásában bekövetkező változásokkal. Az általunk használt automata készülék 44 szabványos ejtést tud végezni, amely azt jelenti, hogy még ismeretlen kötési idejű keverékek mérése során ennyi „mintavétellel” kell gazdálkodni különösen a hosszú kötési idejű cementpépek vizsgálatakor. Előfordulhat, hogy a készüléket túl hamar indítjuk el, vagy túl hosszú késleltetést állítunk be, és lekésünk az IST-ről. Ezen kívül ügyelni kell a megfelelő ejtési szekvencia beállítására is, az elégséges mérési pontosság elérése céljából.

4. TERMIKUS KÖTÉSI IDŐ MEGHATÁROZÁS

A fent említett problémák, és a kötési folyamat nyomon követhetőségének érdekében, egyre inkább elterjedt módszer a féladiabatikus kalorimetria (semi-adiabatic calorimetry, SAC) a cementkötésű keverékek kötési idejének meghatározására (Wang et al., 2007; Cost et al., 2009; Ge et al., 2009; Bentz, 2010; Rolo, 2013; Hu et al., 2014; Chung et al., 2016; Sanderson et al., 2017; Kang et al., 2020). A SAC eljárás cementpép, habarcs és beton kötési idejének meghatározására is alkalmas módszer. A kötet folyamatában tudjuk nyomon követni (monitoring), pontosabb mérésre van lehetőség, nem zavarja a próbatest zsugorodása, egyszerűbb és olcsóbb mérőműszerrel végezhető el.

Az ASTM C403 két módszert javasol a kötési idő termikus meghatározására:

- A **deriváltak módszere** a kötési idő kezdetének (IST) azt az időpontot határozza meg, amely a hidratációs hőmérséklet-ideő függvényének második deriváltjából adódik (3. ábra). A kötési idő végének (FST) pedig a hőmérséklet-ideő függvény első derivált görbéjének csúcsához tartozó időt definiálja (4.

ábra). Ez a módszer jól működhet nagyon tiszta adatsoroknál, de érzékeny az adatokban előforduló nem oda tartozó csúcsokra, és a környezeti változásokra (Egan, 1988; Wang et al., 2007; Cost et al., 2009; Rolo, 2013; Hu et al., 2014).

- A **frakciók (törtek) módszere** a kötési idő kezdetét és végét a csúcs-alapvonal hőmérsékleti tartomány megfelelő tört értékéhez tartozó időpontként definiálja (5. ábra). A kezdeti és a végső kötési időket a minta teljes féladiabatikus hőmérséklet emelkedésének százalékában határozza meg. Szabványos laboratóriumi érlelési körülmények között a 21%, ill. a 42% az alapértelmezett kezdeti és végső kötési idő érték (Rolo, 2013).

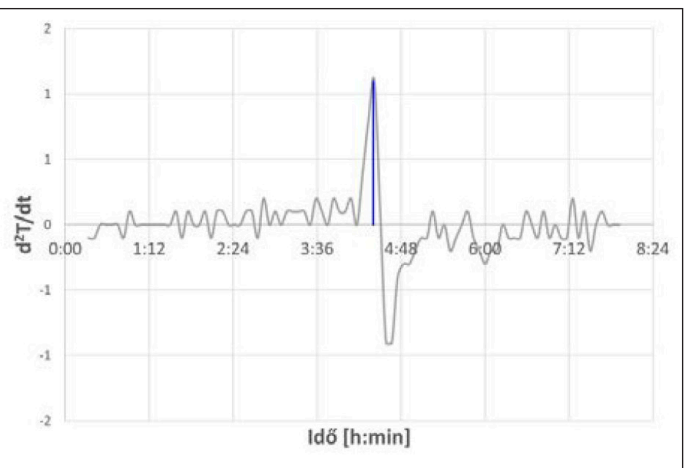
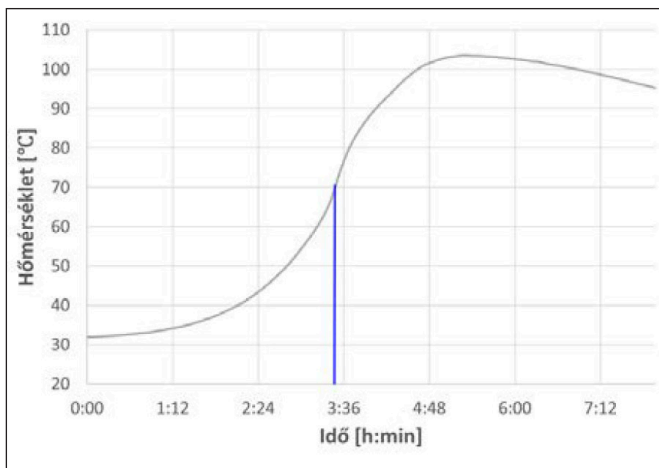
Ez a módszer kevésbé érzékeny a környezeti hatásokkal és a „zajjal” szemben, de érzékenyebb az alapvonal (kiindulási hőmérséklet) hőmérsékletének meghatározására (Wang et al., 2007).

5. AZ EN 196-3 SZERINTI KÖTÉSI IDŐ MÉRÉS ÉS A HŐFEJLŐDÉS MÉRÉS ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

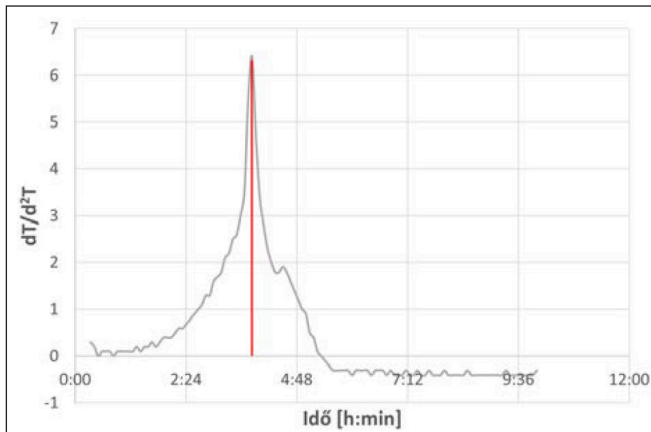
Munkánk során azt vizsgáltuk, hogy a szabványos Vicat-módszer és a hőfejlődés mérés eredményei között fenn áll-e az ASTM szabvány módszereihez hasonló egyszerű összefüggés, ami alapján kiváltható lenne a sok szempontból körülményes és pontatlan, behatolás mérésen alapuló eljárás.

A vizsgálatokat CEM I 42,5 N cement és ioncserélt víz felhasználásával, 0,25, 0,28 és 0,31 v/c tényező mellett, $26 \pm 0,5$ °C-on végeztük. A méréshez Controls Vicamatic2 automata Vicat-készüléket, 300×400×300 mm polisztirol kalorimétert és Comet M1200 adatgyűjtőt használtunk. Minden vizsgálatból három párhuzamos mérést végeztünk, és átlagoltuk. Első lépésben összehangoltuk a Vicat-készülék és az adatgyűjtő óráját, majd a szabvány szerint elkészítettük az adott v/c tényezőjű cementpépet. A keveréshez szabványos Controls 65-L0502 habarcskeverő gépet használtunk, amellyel akkora mennyiségű mintát készítettünk, hogy elegendő legyen mind a Vicat, mind a hőfejlődési vizsgálatra.

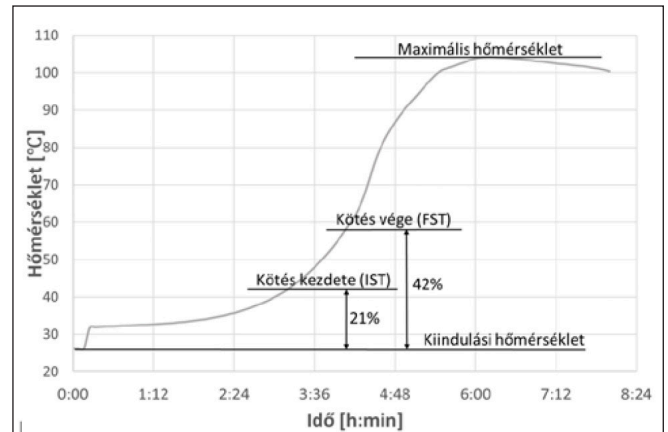
A szabványos kötési időmérés vizsgálatához megtöltöttük a menetes Vicat-gyűrűt (2. ábra) cementpéppel, rátettük az automata Vicat-készülék forgó tányérjára. Kis ütésekkal eltávolítottuk a légbuborékokat a mintából, majd lesimitottuk



3. ábra: Kötési idő kezdetének (IST) meghatározása a deriváltak módszerével, a hőmérséklet-idő függvény második deriváltjával



4. ábra: Kötési idő végének meghatározása a deriváltak módszerével, hőmérséklet-idő függvény első deriváltjával



5. ábra: A kötési idő kezdetének és végének meghatározása törtek módszerével

a felszínét. A kalorimetrikus (SAC) méréshez ugyanebből a cementpépből 1800 g-ot (kb. 1 dm³) egy előzetesen formaleválasztó anyaggal bekent 1 l-es főzőpohárba töltöttünk. A mintát a kaloriméterbe helyeztük, majd belemerítettük a teflonnal bevont termoelemet úgy, hogy az kb. a minta közepéig nyúljon be (6. ábra).

A kaloriméteres vizsgálat során a hőmérséklet adatgyűjtési gyakorisága 5 perc volt. A v/c növelésével a Vicat-mérést késleltetve kellett indítani, mert a nagyobb víztartalom miatt a kötés később indul meg.



6. ábra: Polisztirol kaloriméter adatgyűjtővel

6. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

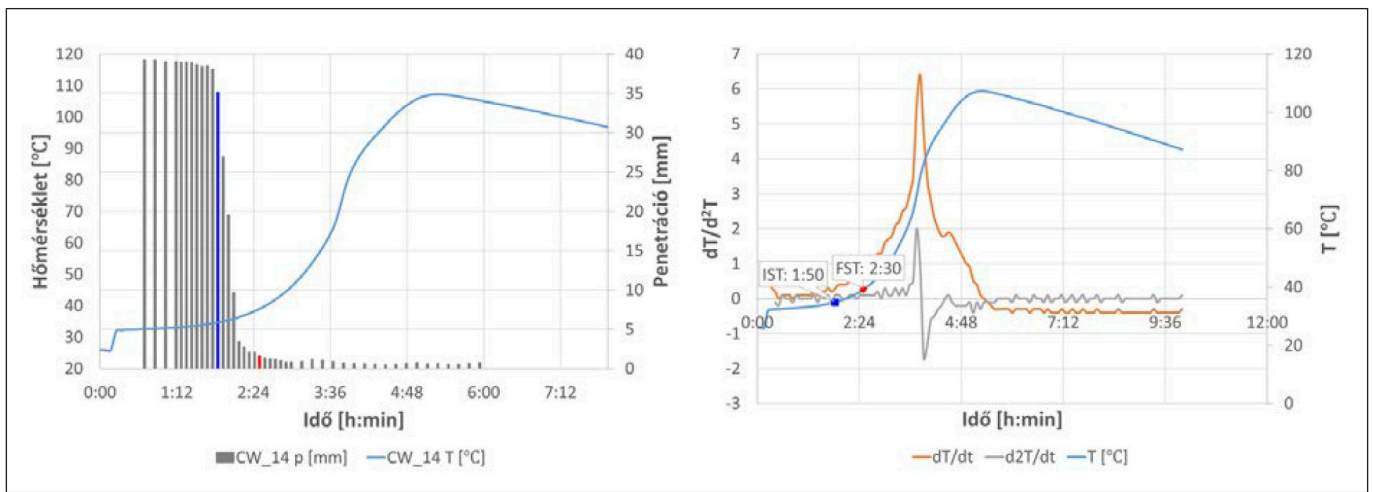
A szabványos Vicat-módszer és a hőfejlődés mérésekből nyert adatokat összehangoltuk és közös diagramban ábrázoltuk (7 - 9. ábra). A kötési idő – hőfejlődés diagramokon látható oszlopdiagramok a Vicat-mérés egyes behatolásainak mélységét, míg a folytonos kék görbe a cement hidratációs hőfejlődését mutatják. Kék oszloppal a kötési idő kezdetének (IST), pirossal a kötési idő végének (FST) szabvány szerinti értékét jelöltük.

A szabvány előírása szerint IST-nek kell tekinteni azt a behatolási mélységet, amikor a tű már csak 34 ± 3 mm-re (az alaplaptól mért 6 ± 3 mm-re) süllyed be a vizsgálandó mintába. Tehát IST-nek tekinthetjük a 37 és a 31 mm-es behatolási mélységhez tartozó időpontot is, amely azt jelenti, hogy a mérést végző személyre van bízva annak a mérlegelése, hogy mely időpontot tekinti a kötési idő kezdetének. Ez a jelenség különösen hosszú kötési idejű keverékek mérésénél okoz problémát, amelyeknél ez az intervallum több órás eltérést

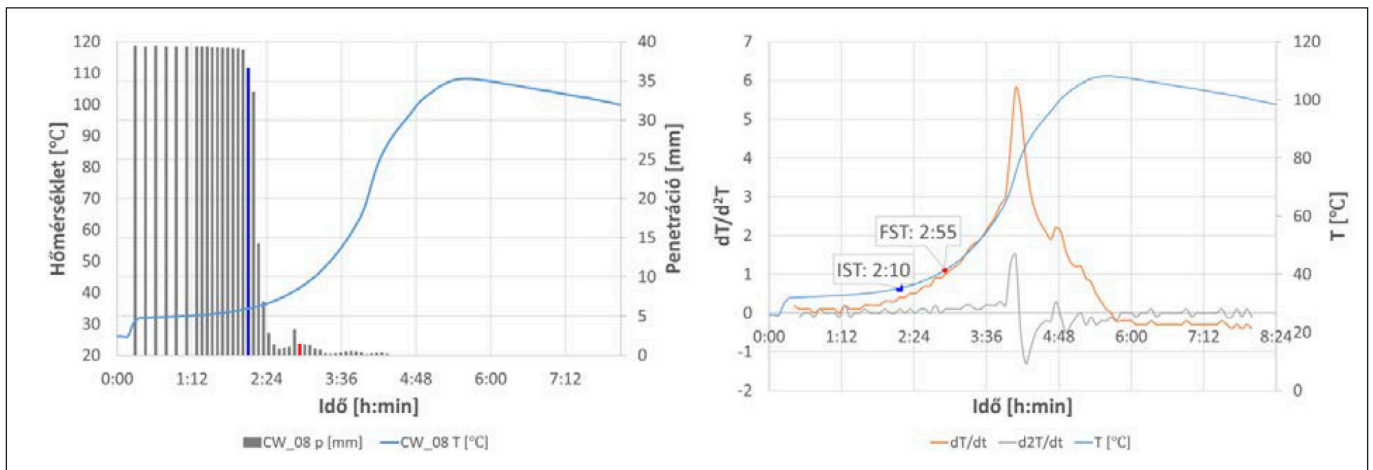
jelenthet (Egan, 1988; Csetényi et al., 1995; Han et al, 2010). A kötési idő végének megállapítása ennél még nagyobb gondot okoz, ugyanis a vizsgálat során a penetráció miatt a próbatest felülete sérül, valamint az esetleges zsugorodás miatt lejjebb kerül, amely megnehezíti az FST pontos meghatározását.

A méréseink során a kötési idő kezdetének tekintettük az első 37,00 mm-nél kisebb behatolási értékeket. Az FST meghatározásánál azonban úgy jártunk el, hogy a korábban szabvány szerint elvégzett vizsgálatot (tűcsere, próbatest megfordítása) összevetettük a kötési idő kezdetének meghatározására használt tűvel - próbatest megfordítása nélkül - végzett, vizsgálat eredményével. Ezek alapján az előzetesen 40 mm-re kalibrált szint alatt mért 2,00 mm-nél kisebb penetrációhoz tartozó időpontot tekintettük a kötési idő végének.

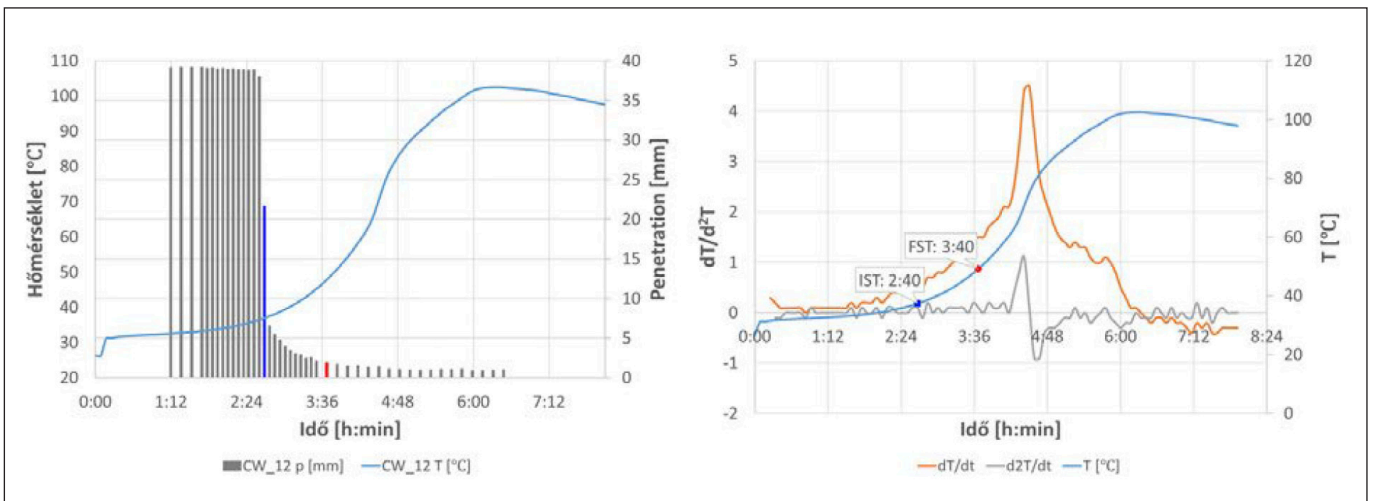
A cementpép készítés során a hőmérséklet hirtelen megemelkedik, majd egy „alvó” periódus után a hőmérséklet ismét emelkedésnek indul. A kaloriméterben vizsgált pépeknél a maximális hőmérséklet minden esetben meghaladta a 100 °C -ot. Azt tapasztaltuk, hogy a v/c tényező növelésével a kötési



7. ábra: Kötési idő – hőfejődés diagram (balra), hőmérséklet – derivatív módszer (jobbra), $v/c = 0,25$ CEM I 42,5 N cementpépen mérve



8. ábra: Kötési idő – hőfejődés diagram (balra), hőmérséklet – derivatív módszer (jobbra), $v/c = 0,28$ CEM I 42,5 N cementpépen mérve



9. ábra: Kötési idő – hőfejődés diagram (balra), hőmérséklet – derivatív módszer (jobbra), $v/c = 0,31$ CEM I 42,5 N cementpépen mérve

idő is kitolódik a kiindulási hőmérséklethez viszonyítva: $v/c = 0,25$ -nél $IST = 1:35 - 1:50$, $v/c = 0,28$ -nál $IST = 2:05 - 2:15$, $v/c = 0,31$ -nél $IST = 2:35 - 2:45$ (ld. 1. táblázat). A lassabb hidratációt, valószínűleg a részecskék közötti megnövekedett távolság okozza (Bentz et al., 2009). További tényező lehet, hogy a több víz több hőt vesz fel, mely hőmennyiség nem fordítódik a kötési reakció gyorsítására.

A $0,25$ v/c tényezőnél a kötési idő kezdete $8,3 - 8,7$ °C hőmérsékletemelkedés mellett, míg a $0,31$ v/c tényezőnél akár $10,5$ °C-os kiindulási hőmérséklethez ($26 \pm 0,5$ °C) viszonyított különbséggel jelentkezett (1. táblázat). Azonban az azonos v/c tényezővel készített keverékek IST-nél mért hőmérsékleti ingadozása $0,3$ °C-on belül történt, tehát az IST és FST értékek

a frakciók módszeréhez hasonlóan a hőmérsékletkülönbség (ΔT_{IST} , ΔT_{FST}) mérése alapján is meghatározhatók azonos körülmények mellett. Méréseink során a kötési idő kezdete $v/c = 0,25$ esetén kb. $8,5$ °C, $v/c = 0,28$ -nál kb. $9,0$ °C, $v/c = 0,31$ esetén pedig kb. 10 °C hőmérsékletemelkedés mellett jelentkezett.

Megvizsgáltuk a deriváltak módszerének alkalmazhatóságát, de ahogy a 7 - 9. ábrákon látható jelentős különbségeket tapasztaltunk a mérési eredményekben. A deriváltak módszerével az IST v/c -tól függetlenül $1:40 - 2:00$ késéssel adódott a Vicat-módszerhez képest, míg az FST 5 - 10 perces lemaradással követte azt. Az FST tehát a szabványos módszerhez képest $0:35$ és $1:20$ késéssel a szabványos mérés

1. táblázat: A szabványos Vicat-módszer és a hőfejlődés mérések eredményei

Minta neve	v/c	Vicat	Vicat-SAC		Vicat	Vicat-SAC		SAC	
		IST [h:min]	T _{IST} [°C]	ΔT _{IST} [°C]	FST [h:min]	T _{FST} [°C]	ΔT _{FST} [°C]	T _{max} [°C]	Δt _{Tmax} [h:min]
CW_05	0,25	1:35	34,1	8,3	2:20	38,1	14,9	106,4	5:05
CW_06	0,25	1:40	33,9	8,3	2:40	42,0	16,4	107,7	5:00
CW_07	0,25	1:50	34,7	8,7	2:30	39,1	13,1	107,2	5:15
CW_08	0,28	2:05	35,2	9,1	3:20	49,4	23,3	109,0	5:25
CW_09	0,28	2:05	34,8	8,8	2:55	41,4	15,4	108,2	5:35
CW_10	0,28	2:15	35,4	9,4	3:05	43,3	17,3	107,0	5:35
CW_11	0,31	2:35	36,7	10,5	3:20	43,7	17,5	104,2	6:10
CW_12	0,31	2:40	36,8	10,5	3:40	47,7	21,4	102,5	6:20
CW_13	0,31	2:45	35,9	9,9	4:05	51,7	25,7	103,4	6:30

2. táblázat: A Vicat és a Frakciók módszerének összehasonlítása

Minta neve	v/c	T _{Fract. IST} [°C]	Fract. IST [h:min]	Δt _{Fract.-IST} [h:min]	T _{Fract. FST} [°C]	Fract. FST [h:min]	Δt _{Fract.-FST} [h:min]
CW_05	0,25	42,7	2:45	1:10	59,7	3:25	1:05
CW_06	0,25	42,8	2:45	1:05	60,1	3:25	0:45
CW_07	0,25	43,1	2:50	1:00	60,1	3:30	1:00
CW_08	0,28	43,5	3:00	0:55	60,9	3:45	0:25
CW_09	0,28	43,3	3:05	1:00	60,5	3:45	0:50
CW_10	0,28	42,0	3:05	0:50	60,0	3:50	0:45
CW_11	0,31	42,4	3:15	0:40	58,8	4:05	0:45
CW_12	0,31	42,1	3:15	0:35	58,1	4:10	0:30
CW_13	0,31	42,3	3:30	0:45	58,5	4:25	0:20

után jelentkezett. Jelölések: Vicat – a Vicat-módszerrel nyert kötési idő értékek, SAC – a féladiabatikus kalorimetria eredményei, Vicat-SAC – a Vicat-tűvel mért kötési időkhöz tartozó hőmérsékleti értékek.

Az 1. táblázatban összefoglaltuk a Vicat-módszer és a hőfejlődés mérési eredményeit. Az IST és FST a kötési idő kezdetét és végét, a T_{IST}, T_{FST} az ezen időpontban mért hőmérsékleti értéket, ΔT_{IST}, ΔT_{FST} pedig a kiindulási hőmérséklettől (26 ± 0,5 °C) mért hőmérsékletkülönbséget jelöli. A T_{max} és a ΔT_{max} a maximális hőmérsékletet, ill. az ehhez tartozó hőmérsékletkülönbséget, míg a Δt_{Tmax} a maximális hőmérsékleti érték eléréséig eltelt időt mutatja.

A frakciók módszerével is a deriváltak módszeréhez hasonló eltéréseket tapasztaltunk a kötési idők vonatkozásában. A 2. táblázatban az adott v/c tényezőkhöz tartozó, a frakciók módszerével kiszámított, kötési idő kezdetéhez és végéhez tartozó hőmérsékleti értékeket (T_{Fract. IST}, T_{Fract. FST}), az ehhez tartozó FST időpontokat (Fract. IST, Fract. FST), valamint a frakciók és a Vicat-módszer eredményeinek különbségét (Δt_{Fract.-IST}, Δt_{Fract.-FST}) tüntettük fel.

Láthatjuk, hogy a frakciók módszerével számolt IST értékekre átlagban 40 - 65 perccel, az FST időpontokra 31 - 56 perccel hosszabb kötési értékek adódnak. Az általunk számított arányossági tényezőket (k_{IST}, k_{FST}) a Vicat-módszerrel mért kötési időkhöz viszonyítva, a v/c tényező függvényében a 3. táblázatban foglaltuk össze. Azt tapasztaltuk, hogy a frakciók módszerénél megadott 21% és 42%-os állandó arányossági tényezők a v/c tényezővel együtt növekednek.

3. táblázat: A Vicat-módszerrel összehasonlított, valós kötési idő arányossági tényezők

v/c	k _{IST} [%]	k _{FST} [%]
0,25	10	18
0,28	11	23
0,31	13	28

$$k_{ST} [\%] = \frac{\Delta T_{ST}}{\Delta T_B} \cdot 100,$$

ahol ΔT_{ST} az IST-hez, vagy FST hez tartozó hőmérséklet emelkedés mértéke, a ΔT_B a maximális hőmérséklet és a szobahőmérséklet különbsége.

A kötési idők ezek alapján a következőképpen számolhatók:

$$\Delta T_{IST} (IST) = k_{IST} (v/c) \cdot \Delta T_B$$

$$\Delta T_{FST} (FST) = k_{FST} (v/c) \cdot \Delta T_B$$

Kísérleteink során feltételeztük, hogy adott cement típus esetén, egy adott v/c tényező mellett, meghatározott kiindulási hőmérséklet és elkészítési mód (ld. EN 196-3) esetén, féladiabatikus körülmények között a reakcióhő (hidratációs hő) azonos. Ez azt is jelenti, hogy a reakciósebesség állandó, így a maximális hőmérséklet jelentkezéséig eltelt idő (Δt_{Tmax}) és a kötési idők (IST, FST) aránya nem változik. Tehát kiszámítottuk ezeket a különbségeket:

$$\Delta t_{Tmax-IST} = \Delta t_{Tmax} - IST; \Delta t_{Tmax-FST} = \Delta t_{Tmax} - FST$$

amelyek a várakozásnak megfelelően közel állandónak

bizonyultak. Az eredményekben tapasztalt ingadozások nagyrészt a Vicat-módszer hibájából adódtak (4. táblázat).

4. táblázat: Az egyes kötési idők (Vicat IST vagy Vicat FST) közötti és a kalorimetriával (SAC) meghatározott maximális hőmérsékleti értékek közötti időintervallumok

Minta neve	v/c	$\Delta t_{T_{max}-IST}$ [h:min]	$\Delta t_{T_{max}-FST}$ [h:min]
CW_05	0,25	3:30	2:45
CW_06	0,25	3:20	2:20
CW_07	0,25	3:25	2:45
CW_08	0,28	3:20	2:05
CW_09	0,28	3:30	2:40
CW_10	0,28	3:20	2:30
CW_11	0,31	3:35	2:50
CW_12	0,31	3:40	2:40
CW_13	0,31	3:45	2:25

7. KÖVETKEZTETÉSEK

Az EN-196-3 szabvány által előírt Vicat-módszer egy széles körben elterjedt eljárás, amely elsősorban egyszerű kivitelezhetősége miatt ma is használatban van. A mérés szabványos folyósságú cementpécek kötési idejének meghatározására szolgál, azonban nem alkalmas nem szabványos folyósságú cementpécek, ill. habarcsok és betonok vizsgálatára. A kötési folyamatról nem ad átfogó képet, pontatlan, amely különösen hosszabb kötési idejű cementpécek esetében jelent problémát. A mérési eredmény nagymértékben függ a mérést végző jártasságától, valamint automata Vicat-készülékek használata esetében a kötési idő vége a szabvány szerint nem, vagy csak nagyon körülményesen határozható meg.

A féladiabatikus (SAC) módszer a cement kötési anyag hidratációs reakciója során felszabaduló hőmennyiséget (reakcióhő) méri, amely arányos a klinker ásványok (és kiegészítő anyagok) reakciósebességével, tehát a kötési folyamattal. A hidratációs hőfejlődés függ a cement őrlési finomságától, a v/c tényezőtől, a készítés módjától, a környezet hőmérsékletétől, a kiegészítő anyagok minőségétől és mennyiségétől. Ez azt jelenti, hogy adott cement típus és v/c tényező esetében, állandó külső hőmérsékleten, azonos keverési mód mellett a hidratációs hőfejlődési folyamat azonos módon megy végbe. Tehát adott keverék esetén a kötési idő kezdetéig és végéig, valamint a hőfejlődési maximumig eltelt idő közel állandó.

A méréseink során a CEM I 42,5 N cement kötési tulajdonságait vizsgáltuk 0,25, 0,28, és 0,31 v/c tényező mellett, ioncserélt vízzel, adalék- és kiegészítőanyagok nélkül. Egy olyan paramétert kerestünk a hőfejlődési görbe és a Vicat penetrációs vizsgálat eredményeinek összehasonlításával, amellyel megbecsülhető a kötési idő kezdete (IST) és vége (FST). A v/c növelésével a kötési idő értékek (setting time, ST) kitolódnak és a hozzájuk tartozó hőmérsékletváltozások is emelkednek, ezért ezek a jellemzők csak azonos összetételű keverékek esetén használhatók az ST megállapítására.

$$\begin{aligned} v/c = 0,25 & \quad IST \approx T_0 + 8,5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ v/c = 0,28 & \quad IST \approx T_0 + 9,0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ v/c = 0,31 & \quad IST \approx T_0 + 10,0 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

ahol T_0 a kiindulási hőmérséklet.

A nagyobb v/c tényezővel rendelkező keverékek IST,

FST és hőfejlődési maximumhoz tartozó időpontok ($\Delta t_{T_{max}}$) arányosan később jelentkeznek, de a köztük lévő időtartam ($\Delta t_{T_{max}-IST}$, $\Delta t_{T_{max}-FST}$) közel állandó (3. táblázat).

A vizsgálataink során használt keverékek esetében az IST 3,5, az FST pedig 2,5 órával a $\Delta t_{T_{max}}$ előtt jelentkezett. Kisebb ingadozást csak az FST értékek meghatározásánál tapasztaltuk, amelyet a Vicat-módszerből eredő bizonytalanság okoz. Ebből az következik, hogy kiegészítő anyag és adalékszer nélkül készített portlandcement felhasználásával készített cementpép kötési ideje (ST) Vicat-készülék nélkül, a SAC eljárással pontosan meghatározható a maximális hőmérsékleti értékhez (T_{max}) tartozó időpont ($\Delta t_{T_{max}}$) ismeretében:

$$IST \approx \Delta t_{T_{max}} - 3:30$$

$$FST \approx \Delta t_{T_{max}} - 2:30$$

A SAC módszer tehát jól alkalmazható a 0,25 - 0,31 v/c tartományban egyszerű cement-víz keverékeknél. Túl nagy keverővíz (v/c > 0,44) használat a cementpép kivérzését (vízfeladás) okozza. A vízfelesleg a kémiai kötésben nem vesz részt, ugyanakkor akadályozza a kötési folyamatot, valamint nagy hőkapacitásának köszönhetően hőt von el a rendszerből.

Az SAC módszer alkalmazhatóságát CEM I 42,5 N cement kötési tulajdonságainak vizsgálatára 0,25, 0,28, és 0,31 v/c tényező mellett igazoltuk. Valószínűsíthető, hogy más cementpécek, ill. adalékszer és kiegészítő anyag nélkül készített habarcsok és betonok is hasonlóképpen viselkednek, azonban ezt további vizsgálatok elvégzésével igazolni szükséges.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzői ezúton fejezik ki köszönetüket Dr. Csetényi László úrnak a hasznos észrevételeiért és támogató munkájáért, valamint Dr. Kói Tamás úrnak a felmerült matematikai problémákban nyújtott segítségéért. A cikk szerzői köszönetet mondanak az NVKP 16-1-2016-0019 „Fokozott ellenállóképességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése” című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért.

9. HIVATKOZÁSOK

- Bentz, D. P.; Peltz, M. A.; Winpigler, J. (2009), "Early-age properties of cement-based materials. II: Influence of water-to-cement ratio", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2009;21:512-517, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2009\)21:9\(512\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:9(512))
- Bentz, D. P. (2010) "Critical observations for the evaluation of cement hydration models", *International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics*, 2010;2:75-82, <https://doi.org/10.1007/s12572-010-0017-4>
- Chung, C.; Kim, J. H.; Lee, S. (2016) "The Use of semi-adiabatic calorimetry for hydration studies of cement paste", *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 2016;16(2):185-192, <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2016.16.2.185>
- Cost, V. T.; Gardiner, A. (2009), "Practical Concrete Mixture Evaluation via Semiadiabatic Calorimetry", *National Ready Mixed Concrete Association, Concrete Technology Forum*
- Csetényi, L. J.; Glasser, F. P. (1995), "Borate retardation of cement set and phase relations in the system $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ ", *Advances in Cement Research* 1995;7(25):13-19, <https://doi.org/10.1680/adcr.1995.7.25.13>
- Egan, P. J. (1988) "A comparison between semi-isothermal and semi-adiabatic calorimetry of retarded cement mixes", *Advances in Cement Research* 1988;1(2):112-118, <https://doi.org/10.1680/adcr.1988.1.2.112>
- Gabrijel, I.; Mikulić, D.; Milovanović, B. (2011), "Application of ultrasonic measurements for determination of setting and hardening in cement paste" *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2011;5, No. 3 (Serial No. 40):278-283, <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2011.03.010>

- Ge, Z.; Wang, K.; Sandberg, P. J.; Ruiz, J. M. (2009) Characterization and performance prediction of cement-based materials using a simple isothermal calorimeter, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2009;7, No. 3:355-366. <https://doi.org/10.3151/jact.7.355>
- Han, M. C.; Han, C. G. (2010), "Use of maturity methods to estimate the setting time of concrete containing super retarding agents", *Cement & Concrete Composites*, 2010;32:164-172, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.008>
- Hu, J.; Ge, Z.; Wang, K. (2014) "Influence of cement fineness and water-to-cement ratio on mortar early-age heat of hydration and set times" *Construction and Building Materials*, 2014;50:657-663. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.011>
- Kang, X.; Lei, H.; Xia, Z. (2020) "A comparative study of modified fall cone method and semi-adiabatic calorimetry for measurement of setting time of cement based materials", *Construction and Building Materials*, 2020;248, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118634>
- Lee, H. K.; Lee, K. M.; Kim, Y. H.; Yim, H.; Bae, D. B. (2004), "Ultrasonic in-situ monitoring of setting process of high-performance concrete", *Cement and Concrete Research* 2004;34:631-640. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.10.012>
- Li, Z.; Xiao, L.; Wei, X. (2007), "Determination of concrete setting time using electrical resistivity measurement" *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2007;19:423-427. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:5\(423\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:5(423))
- Lootens, D.; Roussel, N. (2007) "Rheology of penetrations tests II: penetrometers, Vicat and Hilti needles", *12th Int. Congr. Chem. Cem.*
- McCarter, W. J.; Chrisp, T. M.; Starrs, G.; Blewett, J. (2003), "Characterization and monitoring of cement-based systems using intrinsic electrical property measurements", *Cement and Concrete Research*, 2003;33:197-206, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00824-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00824-4)
- Reinhardt, H. W.; Grosse, C. U. (2000), "Ultrasonic monitoring of setting and hardening of cement mortar - a new device", *Materials and Structures*, 2000;33 580-583, <https://doi.org/10.1007/BF02480539>
- Rolo, L. (2013) "Monitoring of the cement hydration behavior and determination of non-standard laboratory indicators of setting time" [thesis]. *Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos*, <https://doi.org/10.13140/2.1.1963.6480>
- Sanderson, R. A.; Cann, G. M.; Provis, J. L. (2017) "Comparison of calorimetric methods for the assessment of slag cement hydration", *Advances in Applied Ceramics* 2017;116:186-192, <https://doi.org/10.1080/017436753.2017.1288371>
- Sant, G.; Dehadrai, M.; Bentz, D.; Lura, P.; Ferraris, C. F.; Bullard, J. W.; Weiss, J. (2009), "Detecting the fluid-to-solid transition in cement pastes: Comparison of experimental and numerical techniques", *Concrete International*, 2009;236:53-58
- Taylor, P.; Wang, K.; Wang, X.; Wang, Xin (2015), "Comparison of setting time measured using ultrasonic wave propagation with saw-cutting times on pavements" *InTrans Project Reports*, 2015;142, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3907.4329>
- Wang, K.; Ge, Z.; Grove, J.; Ruiz, J. M.; Rasmussen, R.; Ferragut, T. (2007), "Developing a simple and rapid test for monitoring the heat evolution of concrete mixtures for both laboratory and field applications" *InTrans Project Reports*, 2007;153, https://doi.org/lib.dr.iastate.edu/intrans_reports/153
- Wei, X.; Li, Z. (2005), "Study on hydration of Portland cement with fly ash using electrical measurement", *Materials and Structures*, 2005 (April);38:411-417, <https://doi.org/10.1007/BF02479309>
- ASTM C266-20, Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Paste by Gillmore Needles, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/C0266-20>
- ASTM C403 / C403M-16, Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org, https://doi.org/10.1520/C0403_C0403M-16
- ASTM C807-20, Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/C0807-20>
- ASTM C953-17, Standard Test Method for Time of Setting of Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/C0953-17>
- ASTM C1679-17, Standard Practice for Measuring Hydration Kinetics of Hydraulic Cementitious Mixtures Using Isothermal Calorimetry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/C1679-17>
- ASTM C1753 / C1753M-15, Standard Practice for Evaluating Early Hydration of Hydraulic Cementitious Mixtures Using Thermal Measurements, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org, https://doi.org/10.1520/C1753_C1753M-15E01
- AASHTO T131-20 Standard Method of Test for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, American Association of State and Highway Transportation Officials, 2020, www.transportation.org

Dr. Kopecskó Katalin (1961) okl. vegyész-mérnök (BME, Vegyész-mérnöki Kar, 1990), okl. betontechnológus szakmérnök (2004), PhD (2006), egyetemi docens a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: építőanyagok tartóssága, anyagvizsgálat és fázisátalakulások elemzése röntgendiffrakcióval és termoanalitikával. A *fib* Nemzetközi Betonszövetség és a *fib* Magyar Tagozatának, a RILEM, valamint az MSZT/MB 102 „Cement és mész” Nemzeti szabványosító műszaki bizottság tagja.

Baranyi Attila (1978) okl. vegyész, okl. kémia szakos tanár, betontechnológus szakmérnök. Korábban radioanalitikával (radioaktív gyógyszerek minőségellenőrzése), majd folyékony radioaktív hulladékok kezelési technológiájának fejlesztésével foglalkozott: ultraszűrő-membránok, szorbensek tesztelése, nedves oxidációs eljárások (AOPs, WETOX) kidolgozása. Jelenleg a Paksi Atomerőműben létesítés alatt álló radioaktív hulladékcementező technológiához kapcsolódó laboratórium kialakításával, az alkalmazott eszközök fejlesztésével, tesztelésével és a vizsgálati módszerek kidolgozásával foglalkozik.

COMPARISON OF SETTING TIME AND HEAT OF HYDRATION DEVELOPMENT OF CEM I 42,5 N PORTLAND CEMENT ACCORDING TO EN 196-3

Katalin Kopecskó - Attila Baranyi

One of the most critical properties of cementitious materials is the initial (IST) and final (FST) setting time, which helps to plan the transportability, workability, and demoulding of concrete over time. The standards currently used to determine the setting time are based on measurement of penetration resistance; these are measured of the depth of penetration with a well-defined body (usually a Vicat needle) into a cement paste as a function of time. Two European standards deal with setting time: EN-196-3 and EN 480-2; the latter, is a standard method of testing cement applied to the mortar with or without admixtures. EN 196-3 is used to determine the setting time of cement paste of standard consistency, but there is no European standard available for concrete examination. An approximate result can be obtained using the ASTM C403/C403M-16 standard to perform the measurement.

Semi-adiabatic calorimetry (SAC) can be a suitable method for determining the setting time of cementitious materials and concretes of non-standard consistency. This method examines the heat evolution of the hydration reaction of cement. The heat evolution is proportional to the change in viscosity during the setting process and to the Vicat needle penetration depth.

This study aimed to find a simple, more accurate, and cheaper alternative measurement method for determining the setting time of cementitious materials, which can also be applied to concretes.

10. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK LISTÁJA

- MSZ EN 196-3: 2017 Methods of testing cement. Part 3: Determination of setting time and soundness
- MSZ EN 480-2:2007 Admixtures for concrete, mortar and grout. Test methods. Part 2: Determination of setting time
- ASTM C191-19, Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/C0191-19>

BUDAPESTEN MEGVALÓSULT MÉLY MUNKATÉRHATÁROLÁSOK MOZGÁSMÉRÉSI EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE



Szepesházi Attila - Dr. Móczár Balázs

<https://doi.org/10.32969/VB.2022.1.4>

Mély munkatérhatárolások témakörével foglalkozó doktori kutatási projektünk keretében Budapesten megvalósult munkagödörök mozgásmérési eredményeit rendszereztük és elemeztük. Vizsgálatunk eredményeit jelen publikációban ismertetjük. Bevezetesként összefoglaljuk a munkatérhatárolások deformációinak számítási lehetőségeit és összegezzük a nemzetközi szakirodalmak releváns, mozgásmérési tapasztalatait, ajánlásait. Bemutatjuk azt az adatbázist, amely az utóbbi 15 évben Budapesten, annak jellegzetes belvárosi talajkörnyezetében megvalósult 9 db mereven (támaszfödemes és/vagy csőtámaszos) vagy rugalmasan, talajhorgonyokkal megtámasztott mély munkatérhatárolás megvalósítása során mért deformációkat tartalmazza. Végezetül ismertetjük a faldeformációk és felszín-süllyedések a munkagödörmélység és megtámasztási mód függvényében azonosított tendenciáit és az azokból levonható következtetéseket.

Kulcsszavak: munkatérhatárolás, munkagödör, horgonyzott résfal, metróállomás, résfalmozgás, felszín-süllyedés

1. BEVEZETÉS

Az 1990-es éveket megelőzően a térszín alatti mély munkatérhatárolások jellemzően a metróépítési projektek keretében valósultak meg Budapesten. Az 1990-es évek közepétől mind gyakrabban merült fel magánberuházások, jellemzően szálloda- vagy irodaépületek alá tervezett mélygarázsok megvalósításához szükséges mély munkatér kialakításának igénye. A 2007-es válságot követő néhány szűkebb esztendőt leszámítva elmondható, hogy Budapesten évente kb. 10-15 olyan beruházás valósul meg, amely legalább 8-10 méter mélységű térszín alatti munkatérrel tervezett. Ugyan az utóbbi 4-5 évben már egy-egy vidéki településen is megjelentek hasonló beruházások, az ilyen feladatok nagy többsége továbbra is Budapest belvárosára koncentrálódik.

A mély munkagödörök körüli mozgások minél pontosabb előzetes becslésére különösen nagy szükség van a városi foghíjtelek beépítéseken, ahol a környező sokszintes épületek jellemzően rosszabb állagúak, kisebb szerkezeti merevséggel rendelkeznek, alapozásuk teherbírás szempontjából határállapotban van és már kisebb süllyedések, relatív mozgáskülönbségek hatására is repedések jelenhetnek meg, rosszabb esetben szerkezeti károsodások alakulhatnak ki. Ezért lényeges minden egyes mélyebb munkagödör környezetében a csatlakozó épületek részletes tartószerkezeti vizsgálata és teherelemzése a munkagödör kiemelés során kialakuló várható deformációk, mint elmozdulási kényszerek figyelembevételével.

A főváros budai oldalán a folyópart közelében vagy a pesti oldalán a Duna és a Hungária körút közötti területen tervezett projekteken a mély munkatérhatárolások viszonylag hasonló geotechnikai adottságok között valósulhatnak meg. A jellemzően 2-5 méter vastag mesterséges feltöltés alatt a Duna néhány méter vastagságú, finom, mélyebben durvább szem-

csésű üledékei húzódnak. A terület alapkőzetét a 8-15 méter mélységben megjelenő, alacsony vízáteresztőképességű és kedvező mechanikai viselkedésű, Oligocén korú agyagfekü vagy a jellemzően heterogénebb, szemcsés, vízáteresztő rétegekkel átszótt Miocén korú agyagréteg jelenti. A talajvíz viszonylag magasan, 3-6 méter mélységben megjelenik és jellemzően a Duna vizével kommunikálva, az attól való távolságtól függő mértékben ingadozik.

A feladat megoldására tipikus esetben ideiglenesen megtámasztott, az agyagfekübe befogott résfalas munkatérhatárolásokat alkalmaznak, melyek tervezését gyakran a környező létesítmények, a munkatérhatároló fal vízszintes mozgásából eredő, süllyedéseinek korlátozása vezérli. Amíg 15-18 méteres maximális munkagödör mélységig a résfalak ideiglenes megtámasztása, még jellemzően elfogadható elmozdulások mellett, ideiglenes talajhorgonyokkal és a sarkok közelében acél csőtámaszokkal megvalósítható, addig ennél mélyebb munkagödörök a szemközti résfalaik acél cső és/vagy vasbeton födémeikkel történő összetámasztásával kivitelezhetőek a szabványos biztonsági szintek betartásával.

Az ilyen projektek mind mérnöki, mind beruházói szempontból lényeges feladata a munkatérhatároló szerkezetek és a környező építmények mozgásmérése. A megfelelő gondossággal megvalósított monitoring program lehetőséget ad a méretezési modellek projekt közbeni verifikálására és olyan kivitelezői megoldások választására, melyekkel a környező létesítmények deformációi elfogadható mértékűek maradnak. A mérési eredmények egyúttal az érintettek, például a környező építmények tulajdonosainak megnyugtatásának vagy az esetleges károsodások miatti jogviták megelőzésének eszközei is lehetnek.

Az egyedi projektek szempontrendszerén túl, a minőségi monitoring a munkatérhatárolásokkal foglalkozó kutatók



1. ábra: Szervita téri munkagödör kivitelezés közben

számára értékes alapanyagot szolgáltat. Egy-egy projektről megjelentek hazai publikációk (pl. Deli, Kaltenbacher, Havas 2009, Szepesházi A., Móczár, Csapody 2016), de több projekt mérési eredményeit átfogóan értékelő és ezzel jövőbeni projektek előkészítési fázisában, a feladat kockázatértékelését támogató vagy a várható fal- és felszínmozgások becslését támogató hazai kutatások eddig nem születtek. A következő néhány oldalon a 2014-ben átadott 4-es számú metróvonal néhány állomásának, valamint a HBM Soletanche Bachy által, az utóbbi 7-8 évben megvalósított munkatérhatárolási projektek monitoring adatainak, a folyamatban levő PhD kutatási projektünk részeként megvalósított értékelésének eredményeit ismertetjük.

2. MÉLYMUNKATEREK ÉS KÖRNYEZETÜK DEFORMÁCIÓI

2.1 Mély munkatérhatárolások deformációinak számítási lehetőségei

Mély munkaterek méretezése a számítógépek megjelenése előtt „kézi”, analitikus eljárásokkal valósulhatott meg, melyekkel a falmozgások prognózisa nagyon korlátozott pontossággal volt lehetséges. A 1970-es és 1980-as évek mérnökei így elsősorban szakirodalmi analitikus és empirikus módszerekre hagyatkozhattak, melyek a munkagödör geometria, szerkezeti és geotechnikai adottságainak változó részletességű figyelembevételével adtak eljárást a várható deformációk becslésére. A számítógépek megjelenésével nyílt lehetőség komplexebb, a talaj-szerkezet kölcsönhatás mind pontosabb számításba vételére és ezáltal a faldeformációk, abból empirikusan származtatva a felszínsüllyedések számítására. Az elérhető szakirodalmi módszerekről ad áttekintést az általunk összeállított *1. táblázat*.

A jelenlegi tervezési ipari gyakorlat továbbra is elsősorban a rugalmas ágyazás elvén működő síkbeli gerendamodellekkel történik. Az ilyen számítások során a szerkezetet körülvevő talajzónák mechanikai viselkedését és kölcsönhatásait a szerkezet és a talaj határfelületén elhelyezett kinematikai támaszokkal, rugókkal modellezzük. A falra ható földnyomások, mint rugóerők, az elmozdulásokkal arányosan kerülnek számításba. A mindennapi gyakorlatban gyakran alkalmaznak a módszeren alapuló szoftvereket (pl. GEO5). Szakirodalmak alapján ismert jelenség a munkatérhatároló fal körüli talajtömbök „tárcsaszzerű” deformációja (Kempfert és Raithel, 1998), melyek nagyobb munkagödör mélység esetén jelentősen növelhetik a munkatérhatároló fal mozgásait és a munkagödör körüli felszínsüllyedéseket, de kimutatásukra a rugalmas ágyazás elvén működő modellek nem képesek. A felszínmozgások analitikus eljárásokkal származtathatóak a modellezés eredményeként előálló faldeformáció diagramból.

Mélyebb munkaterek vagy komplex kölcsönhatások model-

lezésének szükségessége esetén, jellemzően síkbeli komplex anyagmodellek kezelésére képes végeselemes modellek (is) születnek a rugalmas ágyazás elvén működőek mellett (2. ábra). A végeselemes módszerrel dolgozva nem különítjük el a tervezés menetében a szerkezetet érő hatások megállapítását és a szerkezet méretezését, ugyanis a végeselemes modell létrehozásakor a fal mellett a fal körüli talajtömeget és az esetleges megtámasztásokat (horgony, dúc) is véges elemekkel modellezzük. Tehát a földnyomás nem valamely földnyomáselméleti megközelítés alapján definiált terhelésként működik, hanem a talajt és a falszerkezetet modellező véges méretű elemek kölcsönhatásaként kerül a számításba, függve az alkalmazott talajmodellek típusától és bemenő paramétereitől. A talaj végeselemekkel történő modellezésének következménye, hogy nemcsak a munkatérhatároló fal, hanem a környező talaj deformációról is tájékozódhatunk, így például a munkagödör körüli felszínsüllyedésekről. A térbeli modellek ipari alkalmazása, vélhetően a modellezés komplexitása, számítógépes hardverigénye és ezekkel összefüggésben jelenlegi viszonylagos lassúságára, meglehetősen ritka. Az elérhető szoftverek és a hardverek rohamos fejlődését, valamint a mind összetettebb építészeti igényeket figyelembe véve, a térbeli modellek fokozatos térnyerése várható, melyekkel a síkbeli modellek szükségszerű egyszerűsítései kiküszöbölhetők és így a számítások bizonytalanságai nagy mértékben csökkenthetők.

A mérési eredmények és különböző modellezési eljárásokkal számított falmozgások összehasonlító értékelése a bevezetőben említett PhD kutatás részét képezi, jelen cikkben ezen kutatási irány eredményeit terjedelmi okokból nem publikáljuk. Jelen fejezettel a célunk az, hogy rávilágítsunk arra, hogy a mai gyakorlatban alkalmazott eljárások is jelentős egyszerűsítésekkel, például sík alakváltozási állapot feltételezésével dolgoznak, így a számítási eredmények hitelesítése a mozgásmérési tapasztalatok figyelembevételével lehetséges.

2.2 Mély munkatérhatárolások mozgásmérési tapasztalatai a szakirodalomban

A témakörben részletes nemzetközi szakirodalmi áttekintést adott Szepesházi Róbert (2007). Az áttekintésben szerepel Clough és O'Rourke (1990), Tomlinson (2001), Katzenbach és Moormann (1999, 2000) és Schweiger (2007) publikációi alapján korábban megvalósult néhány tucat munkagödör mozgásmérési eredményeinek összegző értékelése. Példaként a 3. ábrán Clough és O'Rourke diagramjait közöljük.

A témakörben érdemes még kiemelni Cording és társai (2010) publikációját, mely a geotechnikai aspektusokon túl részletesen foglalkozik a felszínmozgások vízszintes komponensével és a munkagödör körüli építmények károsodás elemzésével is. Érdemes még megemlíteni Moorman (2004) publikációját, melyben 530 nemzetközi esettanulmány eredményei alapján összeállított mozgásmérési adatbázist értékelése olvasható. Ugyan részletesebben puha agyagokban megvalósított munkagödörök tapasztalatait értékel, rámutat arra, hogy a szakirodalmi empirikus összefüggésekkel ellentmondó eredményekre juthatunk, mivel a kialakuló mozgások nagy számú tényezőtől függenek.

Ahogy a *1. táblázat* is sugallja, a munkatérhatárolások deformációinak nagysága elsődlegesen:

- a munkagödör mélységétől,
- a fal és az azt megtámasztó szerkezetek merevségétől,
- a geotechnikai viszonyoktól függ.

1. táblázat: Munkáthatárolások deformációnak számítási módszerei – áttekintés

		Munkáthatárolás számításba kerülő jellemzői																								
		Geometria					Technológiai és környezeti						Megtámasztott és munkagödörön belüli talaj jellemzői													
Szerző/módszer	Év	Eredmény	H	B	L	t	h_{hor}	h_{ver}	$h_{ver,botom}$	Fal típusa (részfal/ cölöpfal/ szádfal/...)	Fal merevsége	Megtámasztás típusa (horgony/ dúcolat/ földémtámasz)	Megtámasztás merevsége	Kivitelezés minősége	Kivitelezés sebessége	Felszíni szomszédos építmények jelenléte	Felső alatti szomszédos építmények jelenléte	Merevség nagy alakváltozások tartományában	Merevség nagy alakváltozások tartományában tehermentesülés esetén	Merevség kis alakváltozások tartományában	Nyugalmi földnyomási tényező	Aktív földnyomási tényező	Passzív földnyomási tényező	Nyírószilárdsági paraméterek feszültségszint függvényében	Talajvíz szintje	
Szakirodalmi empirikus ajánlás/számítási eljárás																										
Peck	1969	felszínstüllyedés ábra	x			□																				
Rumsey & Cooper	1982	maximális felszínstüllyedés	x																							
Clough, Smith & Sweeney	1989	vízszintes falmozgás és felszínstüllyedés	x			□		x																		
Clough & O'Rourke	1989	maximális vízszintes falmozgás és maximális felszínstüllyedés	x							x																
Tomlinson	2001	maximális vízszintes falmozgás és maximális felszínstüllyedés	x							x																
Katzenbach & Moorman	1999-2000	maximális vízszintes falmozgás	x							x																
Vermeer	2000	maximális vízszintes falmozgás	x			x		□		□	x															
Schweiger	2007	maximális vízszintes falmozgás	x							x																
rugalmas ágyazású falmodell		vízszintes falmozgás	x			x				x																
Ulrichs	1981	vízszintes falmozgás	x							□																
FEM 2D		vízszintes falmozgás és felszínstüllyedés	x			x		□		x																
FEM 3D		vízszintes falmozgás és felszínstüllyedés	x			x				x																

Megjegyzések

x

□

Hosszúság

Szélesség

Peck (1969)

Katzenbach & Moorman (1999-2000)

a sor elején szereplő eljárás figyelembe veszi az oszlopban szereplő tényezőt

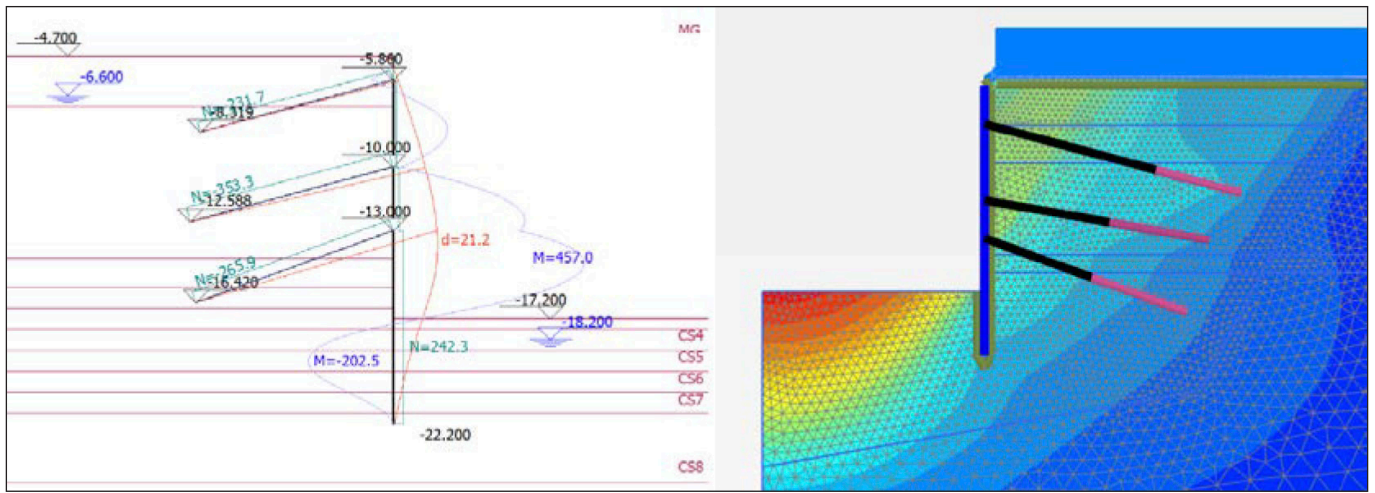
a sor elején szereplő eljárás KÖZVETVE/RESZLEGESEN figyelembe veszi az oszlopban szereplő tényezőt

vizsgált keresztmetszet-re merőleges hossz

vizsgált keresztmetszettel párhuzamos oldal hossz

bemenő adatként a fal melletti felszínstüllyedéseket igényli

Katzenbach & Moorman (1999-2000) eljárása a frankfurti agyagokra lett kidolgozva, talajjellemző ezért nem jelenik meg



2. ábra: Rugalmas ágyazású (bal) és végeselemes modell (jobb) eredményei

A fenti szakirodalmak alapján összefoglalóan elmondható, hogy a nem szélsőségesen puha, kötött talajokban megvalósult résfalas munkatérhatárolások monitoring tapasztalatai szerint, a munkagödör mélységére viszonyítva a munkagödör menti mozgások alakulása az alábbi:

- 0-6‰ közötti, de jellemzően 2-3‰ alatti maximális vízszintes falmozgások,
- 0-7‰ közötti, de jellemzően 2-3‰ alatti maximális felszín-süllyedések,
- munkagödör mélység 2-2,5-szeresének megfelelő szélességű felszín-süllyedési horpa.

Emellett, összhangban a műszaki megfontolásokkal, a me-rev megtámasztású, dúcolt munkagödörök esetében jellemzően alacsonyabb deformációk tapasztalhatóak, mint a rugalmas, talajhorgonyokkal megtámasztott munkagödörök esetében.

2.3 Mély munkatérhatárolások hazai mozgásmérési gyakorlata

Mély munkatérhatárolások hazai gyakorlatban elterjedt eszközei:

- hagyományos geodéziai mérési eljárások alkalmazása a felszíni létesítményeken, valamint a földmunkával párhuzamosan láthatóvá váló munkatérhatároló falfelületen elhelyezhető mérési pontokon,
- inklinométeres mérés a munkatérhatároló fal kiválasztott néhány függőlegesében a résfal betonacél armatúrájához rögzített és bebetonozott inklinométer mérőkútban, mely-

lyel lehetővé válik a fal deformációinak mérése az eltartat mélységben is,

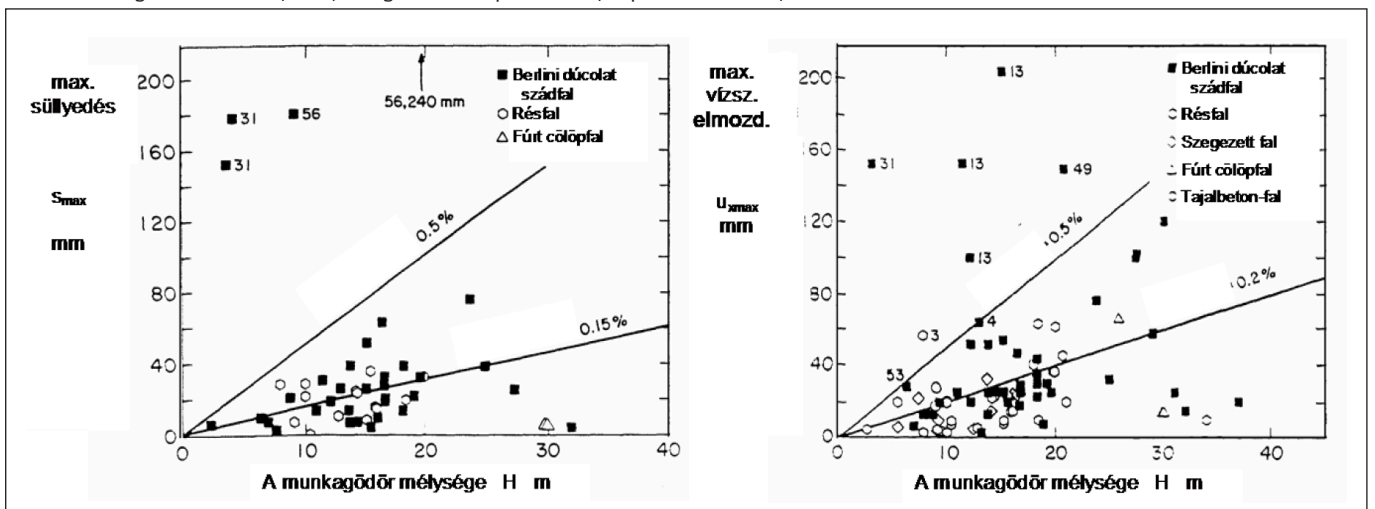
- esetlegesen horgonyerő mérés a horgonyfejen elhelyezett erőmérő cellával,
- esetlegesen csótámban keletkező erő mérése nyúlásmérő bélyegek elhelyezésével.

A hagyományos geodéziai eljárásokat kivéve, a fenti eljárások az 1990-es években szóróványosan már megjelentek, de rutinszerű alkalmazásuk a 4-es számú metróvonal megvalósításától figyelhető meg. Érdeemes megjegyezni, hogy voltak kísérletek további speciális eszközök (pl. talajnyomásmérők) beépítésére és mérésére is, de vélhetően komplexitásuk és mechanikai érzékenységük, valamint költségességük miatt nem terjedtek el.

Az alábbiakban elsősorban a hagyományos geodéziai és inklinométeres mérések eredményeit ismertetem, melyekből olyan mennyiségű és minőségű adat áll rendelkezésre, hogy átfogó elemzésük lehetővé vált. A geodéziai mérések kapcsán érdemes megjegyezni, hogy a tapasztalatok szerint munkatérületi körülmények között jellemzően ± 2 milliméteres mérési pontosság érhető el. Ugyanakkor az egymás után néhány napos, esetleg 1-2 hetes időközökkel megvalósuló mérések lehetőséget adnak a kirívó pontatlanságok (ki)szűrésére és kutatási célra is elfogadható pontosságú középértékek határozhatóak meg.

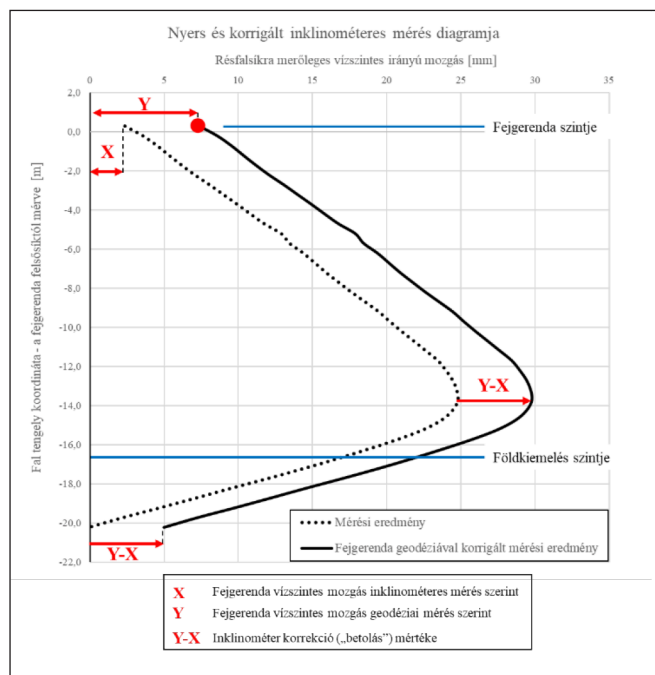
Az inklinométeres mérések a hazai gyakorlatban jellemzően a résfalakba kerülő betonacél armatúrához a beépítés előtt rögzített, majd a résfalba bebetonozott műanyag inklinométer

3. ábra: Clough és O'Rourke (1990) mozgásmérési tapasztalatai [Szepesházi R., 2007]





4. ábra: A résfalba kerülő inklinométer mérőkút az armatúrába történő beszerelés (bal) és beépítést után a résfalból kilógva (jobb) közben



5. ábra: Az inklinométeres mérési eredmények korrekciójának elve

mérőkutakkal történik (4. ábra). A mérés pedig ebbe a mérőkútban a mérés során leengedett elfordulásmérővel történik a fal magassága mentén fél méterenként. A fal deformált alakja ezen értékek réstálpól felfelé történő kumulációjából áll elő. Az egyszeri mérés hibája a fél méterenként történő egyedi elfordulásmérések hibájának kumulációjával adódó, lentől felfelé bővülő hibátölcser, jellemzően 0,2 milliméter/méter hibanövekménnyel. A résfal beton megszilárdulását követő első mérés már deformációval terhelt, de a résfal deformált alakját ezen „nullméréshez” viszonyított deformációk, mivel a mérés célja a résfal földkiemelés és támaszbeépítés hatására történő deformációjának mérése.

Lényeges, hogy az egyedi mérések kumuláció során azzal a feltételezéssel élünk, hogy a résfal talpsíkja körül a legalsó mérési pontban a résfal mozdulatlan. Kisebb befogási mélységű befogott vagy támaszkodó falak esetén a földkiemelés befejeztével ez ritkán igaz és a talp néhány mm nagyságrendű elmozdulása reális. Ilyen esetekben az inklinométer mérőkút felső, a térszínen a kezdetektől látható pontjának geodéziái mérésével lehet korrigálni és tulajdonképpen a fal egészének merevtestszerű bemozdulását a deformált alakhoz adni, ahogy azt a 5. ábra szemlélteti. A vizsgálatok során mi is ezt a módszert alkalmaztuk.

3. AZ ÖSSZEÁLLÍTOTT ADATBÁZIS

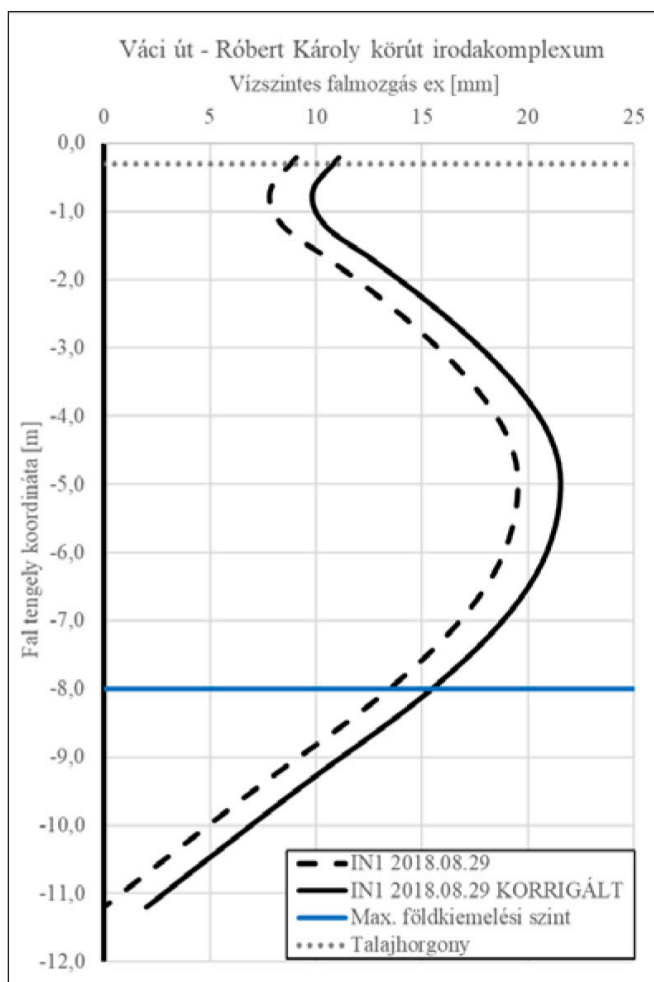
A kutatási munka során az alábbi projektek mozgásmérési eredményeiből állt össze a vizsgálatok alapját adó adatbázis.

- Közepes, mintegy 7-17 méter mélységű, egy vagy több sorban ideiglenes talajhorgonyokkal megtámasztott résfalas határolású munkateretek
 - o Bajcsy-Zsilinszky úti irodaház (Budapest V. kerület) ~16 méter mélységgel,
 - o Váci út és Róbert Károly körút keresztezésében épült irodaház komplexum (Budapest XIII. kerület) ~11-14 méter mélységgel,
 - o Szervita téri vegyes rendeltetésű épület (Budapest V. kerület) ~17 méter mélységű munkagödre,
 - o Pozsonyi úti vegyes rendeltetésű épület (Budapest XIII. kerület) ~9 méter mélységgel,
 - o Fiumei út szomszédságában épült szálloda épület (Budapest, VIII. kerület) ~7 méter mélységgel.
- Nagy mélységű, ideiglenes acél csőtámaszokkal vagy végleges földemekkel megtámasztott résfalas határolású munkateretek a 4. számú metróvonal építéséhez kapcsolódóan
 - o Szent Gellért téri állomás ~36 méter mélységgel,
 - o II. János Pál Pápa téri állomás ~25 méter mélységgel,
 - o Móricz Zsigmond körtéri állomás ~27 méter mélységgel,
 - o Fővám téri állomás ~37 méter mélységgel.

A teljes adathalmaz így összesen 22 függőleges falmetszet inklinométeres mérési adatsort és 6 munkatérhatárolás mentén bekövetkezett felszínmozgások adatait tartalmazza. Bár jelen értékelés szempontjából nem lényeges, de a Szervita téri és a Fiumei út menti munkagödrök esetében horgonyerő mérések is készültek, melyek a kutatás keretében megvalósított back-analízis modellekhez hasznos eredmények voltak.

Az adatbázisban minden projekthez készült egy egységes formátumú digitális adatlap, mely tartalmazza a projekt közreműködőit, a fontosabb tervi részleteket, a monitoring rendszer bemutatását, a rendszerezett mérési eredményeket és azok mérnöki értékelését lehetővé tevő diagramokat is. Ezeket az egyedi adatlapokat terjedelmi okok miatt itt nem ismertetjük, de kiragadott példaként egy inklinométeres eredménysort bemutatunk az 6. ábrán.

Teljes egészében közöljük viszont az összesítő adattáblát (2. táblázat), mely az egyes projektek műszaki értékelése szempontjából lényeges geometriai, geotechnikai és szerkezeti jellemzőit, valamint a legfontosabb mozgásmérési eredményeket ismerteti. Így szerepel a táblázatban az inklinométerrel mért fal deformált alakja (P vagy P1 típusú), a mért maximális vízszintes faldeformáció, a mért maximális felszín-süllyedés értéke és a süllyedési horpa szélessége. A műszaki jellemzők közé bekerültek olyan szakirodalmi ajánlások szerinti tényezők, melyek a munkatérhatárolás geometriai és merevségi jellemzőit egyetlen számértékbe sűrítik és melyekkel más kutatók a bekövetkezett mozgásokkal korrelációkat állítottak fel. Emiatt szerepel a táblázatban a Rowe- („p flexibility number”), Clough- („Ks System stiffness/ flexibility”) és Addenbrooke-féle („Kd displacement flexibility,”) tényezők (Addenbrooke, 1994) értéke. Rowe-féle tényező egy sorban mereven megtámasztott munkatérhatárolásokra dolgozták ki, de a megtámasztás merevségét nem veszi figyelembe, csupán a fal teljes magassága és hajlítási merevsége szerepel benne (ld. 2. táblázat). Minél mélyebb és karcsúbb a fal, a Rowe-féle rugalmassági szám annál magasabb. Clough- és Addenbrooke-féle számokat merev megtámasztású munkagödrökre dolgozták ki és már a megtámasztások osztásköze is szerepel bennük. Összességében célszerűnek láttuk megvizsgálni, hogy felállítható-e valamilyen korreláció



6. ábra: A Váci út – Róbert Károly körű csomópontban megvalósult munkagödör IN1 (bal) és Szervita téri munkagödör IN1 (jobb) inklinométeres mérések adataira

a deformációk és ezen tényezők értéke között.

Fontos megjegyezni, hogy az inklinométeres mérési eredményesorból a maximális földkiemelés állapotára reprezentatív, az ideiglenes támaszok elbontását megelőző utolsó adatsort vettük figyelembe, mivel jellemzően ez a munkatérhatárolás tervezését vezérlő építési állapot. A felszínüllyedések esetében bemutatjuk az ideiglenes támaszok bontását és a végleges támaszok beépítését követő végállapoti eredményeket is.

4. MUNKATÉRHATÁROLÓ FALAK DEFORMÁCIÓI

A mozgásmérési adatbázisban szereplő vízszintes falmozgásokra vonatkozó eredményeket, a 2.2. és 3. fejezetben említett szakirodalmi tapasztalatokhoz hasonló koncepció szerint elemeztük, olyan összefüggéseket keresve, melyek segítségével lehetnek jövőbeni, hasonló talajkörnyezetben megvalósuló projektek előkészítési fázisában a környezet várható süllyedéseinek becslésére vagy a részletes számítások validálására.

A vizsgálatokkal kapcsolatosan az alábbiakat meg kell jegyezni:

- Ahogy a 2. táblázatban szereplő „Megjegyzés” oszlopban olvasható, az inklinométeres mérés korrekciójának mértéke a Szervita téri munkagödör IN2 (35 milliméter) és a Pozsonyi úti munkagödör IN1 és IN2 (8-8 milliméter) inklinométerei esetében meghaladják a mért abszolút értéket. Ennek ellenére - értékelve a teljes mérési adatsort és

a részal felületén készült további kontrollméréseket - ezeket is megbízható eredményesornak tekintettük és az értékelés során figyelembe vettük.

- A 4. számú metróvonalról két munkagödörre vonatkozóan áll rendelkezésre inklinométeres mérési adat. Ezek értékét nem korrigáltuk, mert nem állt rendelkezésre geodéziai mérési adat. Ugyanakkor ilyen, a szemközti falak összetámasztásával megvalósuló, nagy mélységű részfalak esetében az inklinométerrel nem mérhető merevtestszerű bemozdulás nem várható, így a korrekció elhagyása is elfogadható.
- Az egyes projekteken változó, két héttől néhány hónapig terjedő időtartam telt el a teljes földkiemelés és az alaplemez, mint legelső végleges támasz beépítése között. A rövidebb időköz esetén nem állt rendelkezésre kellő számú mérés, hogy megítélhessük, hogy a jellemzően a munkatérhatároló fal passzív megtámasztását biztosító agyagfekü konzolidációja milyen mértékben zajlott le. A Váci út és a Róbert Károly körű kereszteződésében megvalósult munkagödör esetében (Szepesházi, 2019) még több hónap után is kúszás jellegű deformációkat lehet megfigyelni, így vélhetően gyakoribb, hogy egy alacsony konzolidáltsági fokhoz tartozó, közel drénezetlen állapotra vonatkozó eredményeink vannak. Ugyan átlagos körülmények között hasonló időtartam várható a földkiemelés vége és az alaplemez beépítése között, de fontos megjegyezni, hogy a vizsgált adatsorok nem szélsőségesen lassú projektelőrehaladás esetén tekinthetők reprezentatívnak.
- Talajhorgonnyal megtámasztott munkaterek esetében lényeges, hogy a munkatér sarkaihoz közelítve a térbeliség miatt, kisebb elmozdulások várhatóak, mint a sarkoktól távolabb. A sarkokhoz legközelebbi mérési függőlegék a Fiumei út közelében megvalósult projekt IN1 (11,90 méter), és az Bajcsy-Zsilinszky úti irodaház EP_IN1 (13 méter) inklinométerek voltak. Értékelve az adott munkagödör mélységét és hogy ezek is az adott falszakasz felezőpontjánál helyezkednek el, a „sarkhatás” figyelembevételétől az értékelés során eltekintettünk.
- A vizsgált munkatérhatároló részfalak vízszintes falmozgásaival kapcsolatosan a 7-10. ábrákon szereplő eredmények értékelésével, a következő megállapításokat tettük:
 - A nemzetközi szakirodalmi tapasztalatokkal összhangban, a hasonló talajkörnyezetben, hasonló merevségű részfalas határolással megvalósult munkagödörök deformációinak mértékét a megtámasztás típusa és a munkagödör mélysége határozza meg.
 - A 7. ábrán szereplő két diagram alapján, összhangban a 2.2 fejezet szerinti nemzetközi szakirodalmi adatokkal, megállapítható, hogy:
 - o A talajhorgonyokkal megtámasztott, jellemzően 17 métert nem meghaladó mélységű munkagödörök határoló falainak maximális vízszintes elmozdulása jellemzően meghaladja merev megtámasztású, akár 35-40 méter mély munkagödörök határolását adó falakét.
 - o A munkatérhatároló falak maximális vízszintes falmozgásainak a munkagödör mélységgel normalizált értéke:
 - talajhorgonyos megtámasztás esetén 0,77-2,79% közötti, 1,76% átlagértékkel,
 - merev megtámasztás esetén 0,25-0,84% közötti, 0,49% átlagértékkel.
 - o A maximális vízszintes falmozgás, összhangban a nemzetközi tapasztalatokkal, csak extrém esetben haladhatja meg a munkagödör mélység 3%-t.
 - o 5-10 milliméter közötti minimális vízszintes falmozgás minden esetben bekövetkezik, függetlenül a munkagödör

- mélységétől vagy a megtámasztás módjától.
- A 8. ábrán szereplő két diagram alapján megállapítható, hogy a talajhorgonyokkal megtámasztott munkagödörök esetében a maximális vízszintes falmozgás értéke a munkagödörmélység függvényében növekszik, de a pontfelhő szórása olyan mértékű, hogy kellően megbízható összefüggés nem állítható fel. Hasonló tendencia vagy összefüggés a merev megtámasztású munkagödörökre nem állítható fel, igaz összesen 2 projekt eredményosra áll rendelkezésre.
- A 9. ábrán szereplő bal oldali diagram, a várakozásoknak megfelelően azt mutatja, hogy a talajhorgonnyal megtámasztott munkatérhatároló falak vízszintes mozgásai csökkennek a Rowe-féle rugalmassági szám, azaz a munkatérhatároló fal merevségének növekedésével. A felvett lineáris trendvonal jellemzői ugyanakkor az látszik, hogy kellően megbízható összefüggés nem állítható fel, csupán tág határok közötti becslés válhat lehetővé. A jobb oldali ábra a több sorban mereven megtámasztott munkatérhatárolások eredményeit is rögzíti, melyek nem mutatnak összefüggést a Rowe-féle rugalmassági számmal.
- A 10. ábrán szereplő diagramok alapján megállapítható, hogy sem a Clough-féle rendszer merevségi szám, sem az Addenbrooke-féle elmozdulás rugalmassági szám nem korrelál a hazai mozgásmérési eredményekkel, mely arra utal, hogy a fal hajlítási merevsége és a megtámasztások átlagos függőleges távolságából képzett szám önmagában nem elegendő a munkagödör deformációs hajlamának leírására.

5. MUNKAGÖDÖRÖK MENTÉN BEKÖVETKEZETT SÜLLYEDÉSEK

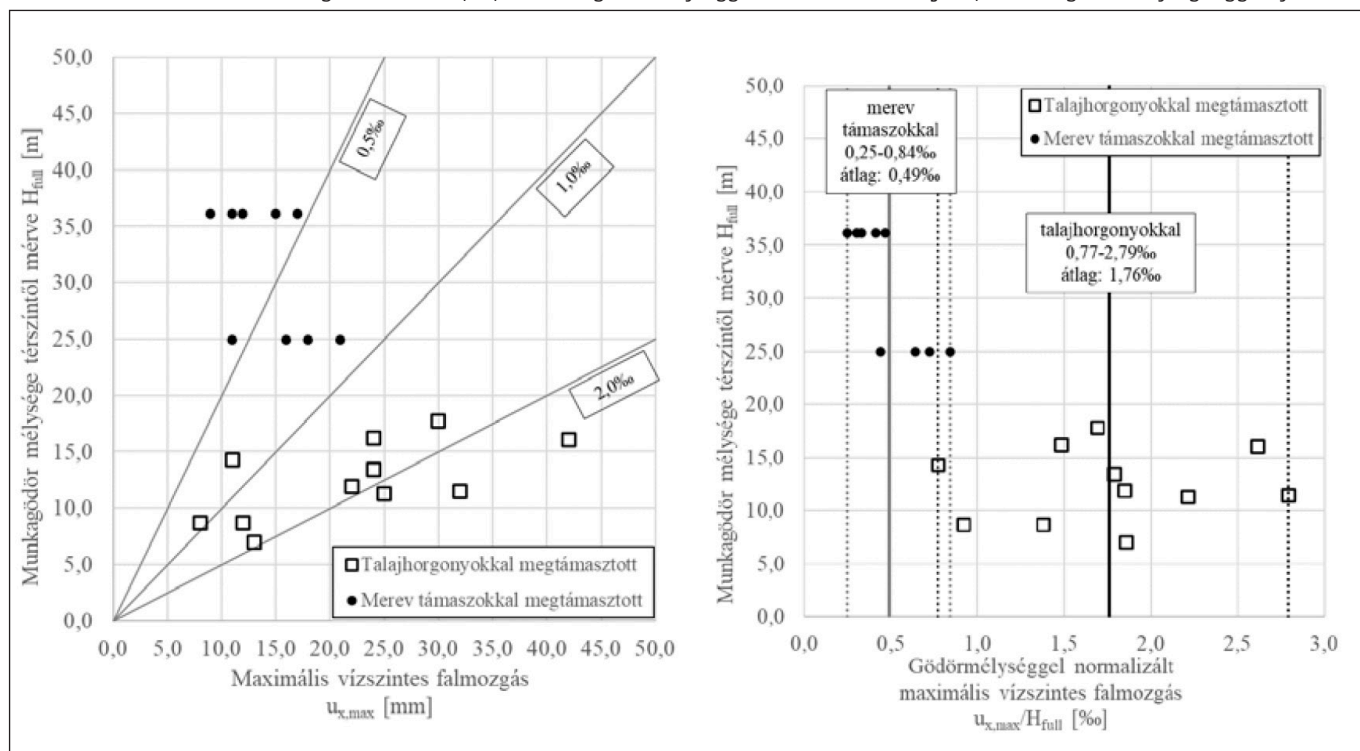
A felszínsüllyedési eredmények értékelését a 4. fejezetben közöltekhez hasonló koncepció szerint végeztük. A megállapítások ismertetése előtt, a vizsgálatosorozattal kapcsolatosan fontos megjegyezni a következőket:

- A felszínsüllyedési eredményosorok a falmozgásokhoz hasonlóan jelentősen eltérnek a kétféle megtámasztási mód esetén, így az eredmények értékelését külön végeztük.
- Az inklinométeres mérések esetében a maximális földkiemelés állapotához tartozó monitoring eredményeket vizsgáltuk, míg a felszínsüllyedések esetén nem. A talajhorgonyos megtámasztású munkagödörök esetében a horgonyok feloldását követő végső állapothoz tartozó süllyedéseket ábrázoltuk. A metróállomások esetében az alaplemez megépítését követő állapotban mért felszínmozgásokat vizsgáltuk, hogy még a viszonylag jelentős felszínsüllyedéseket kiváltó alagútúró pajzs érkezése előtti, a munkagödör építésével összefüggésbe hozható eredményeket elemezhesük.
- A felszínsüllyedések esetében a vízszintes mozgáskomponensekkel nem foglalkoztunk.
- A felszínsüllyedési értékeket minden esetben a mérési pont részaltól mért távolság függvényében vizsgáltuk. Nem vettük figyelembe, hogy a vizsgált pont magassági értelemben hol helyezkedik el a felszíni építményen, vagy hogy az adott pont helyzete miként viszonyul alaprajzi értelemben a munkatérhatárolás sarkaihoz, mint merevebb megtámasztású és kevésbé deformálódó szakaszokhoz.
- A résfalak közvetlen közelében levő építmények néhány mm-es süllyedése a résfal kivitelezése során bekövetkezhet. Ezen többlet süllyedés értékeket nem szűrtük ki a vizsgálatok során.

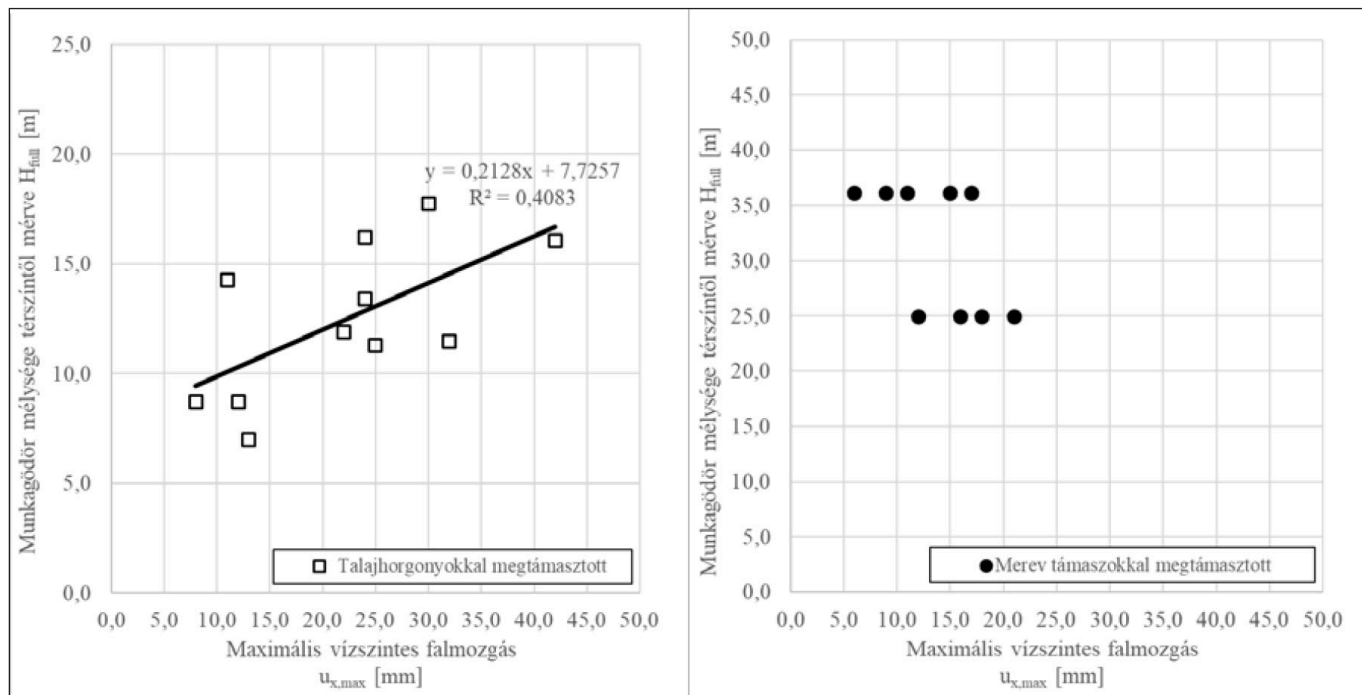
A vizsgált munkatérhatárolások mentén bekövetkezett felszínsüllyedésekkel kapcsolatosan, a 11-13. ábrákon szereplő eredmények értékelésével a következő megállapításokat tettük:

- A nemzetközi szakirodalmi tapasztalatok szerint a munkagödörök mentén bekövetkező felszínsüllyedések mértékét, a geotechnikai viszonyok mellett, elsősorban a megtámasztás típusa és a munkagödör mélysége határozza meg. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a megtámasztás módja a hazai tapasztalatok szerint is releváns és a munkagödör mélységére viszonyítva a talajhorgonyos megtámasztású résfalak mentén következnek be nagyobb mozgások. Nem áll rendelkezésre kellő számú, talajhorgonnyal megtámasztott

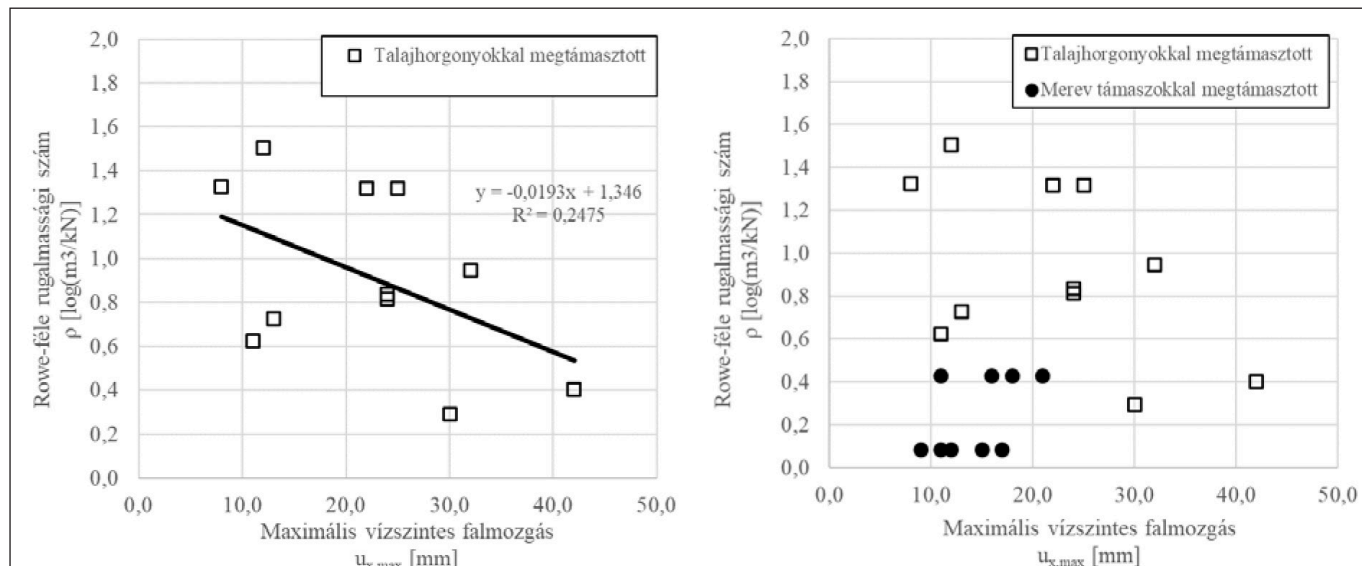
7. ábra: Maximális vízszintes mozgások abszolút (bal) és munkagödör mélységgel normalizált értéke (jobb) a munkagödör mélység függvényében



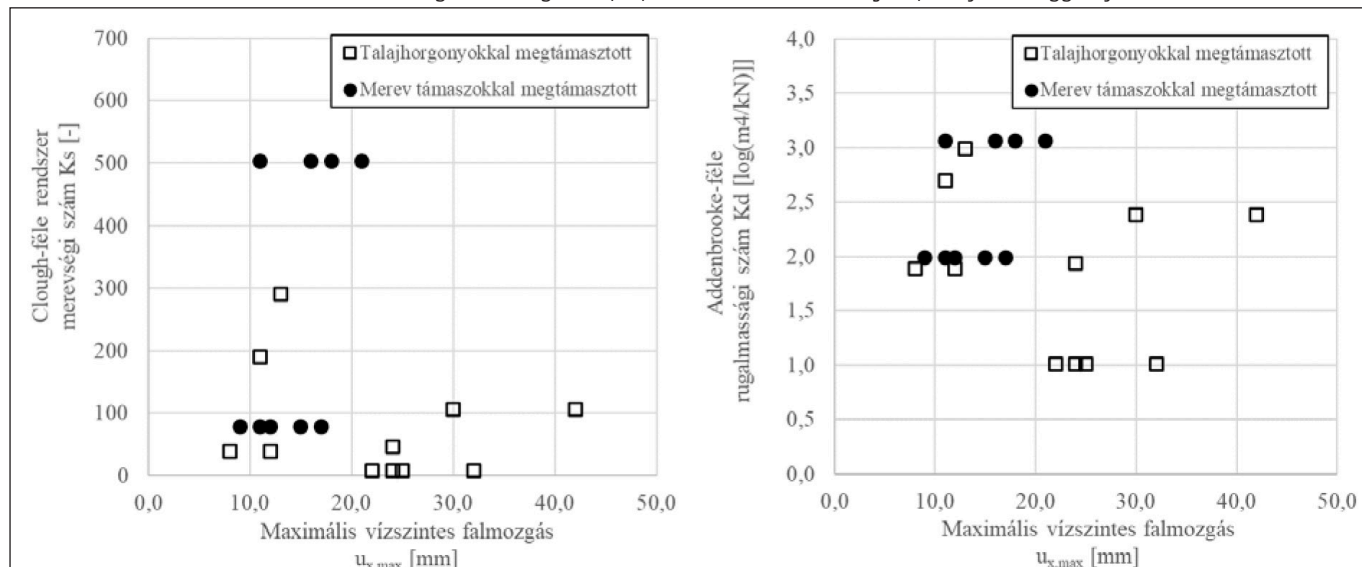
8. ábra: Talajhorgonyokkal támasztott munkagödörök maximális vízszintes falmozgása a munkagödörmélység függvényében



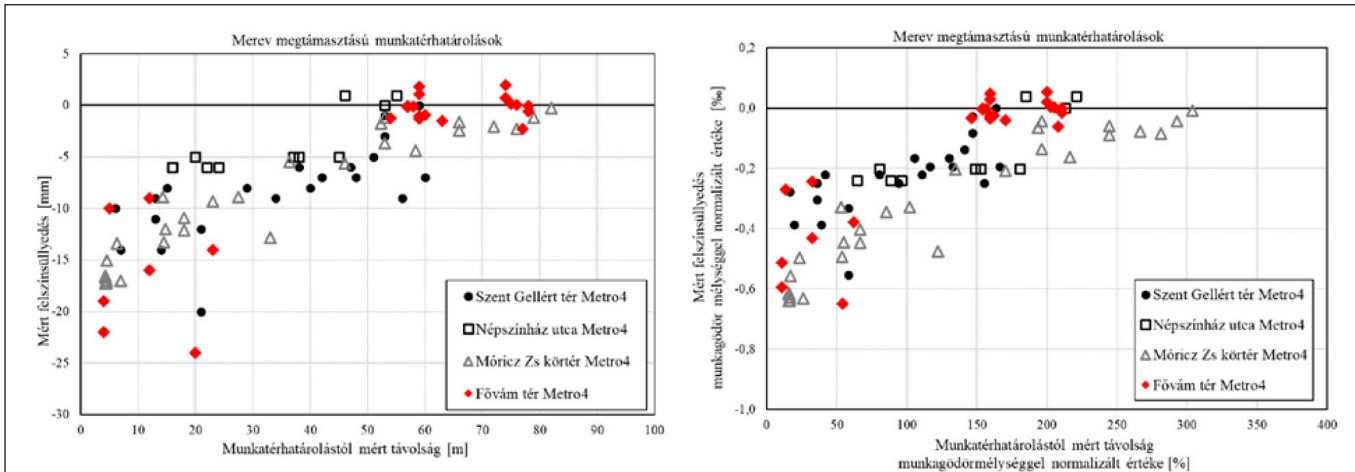
9. ábra: Munkatérhatároló falak vízszintes mozgása a Rowe-féle arányszám függvényében



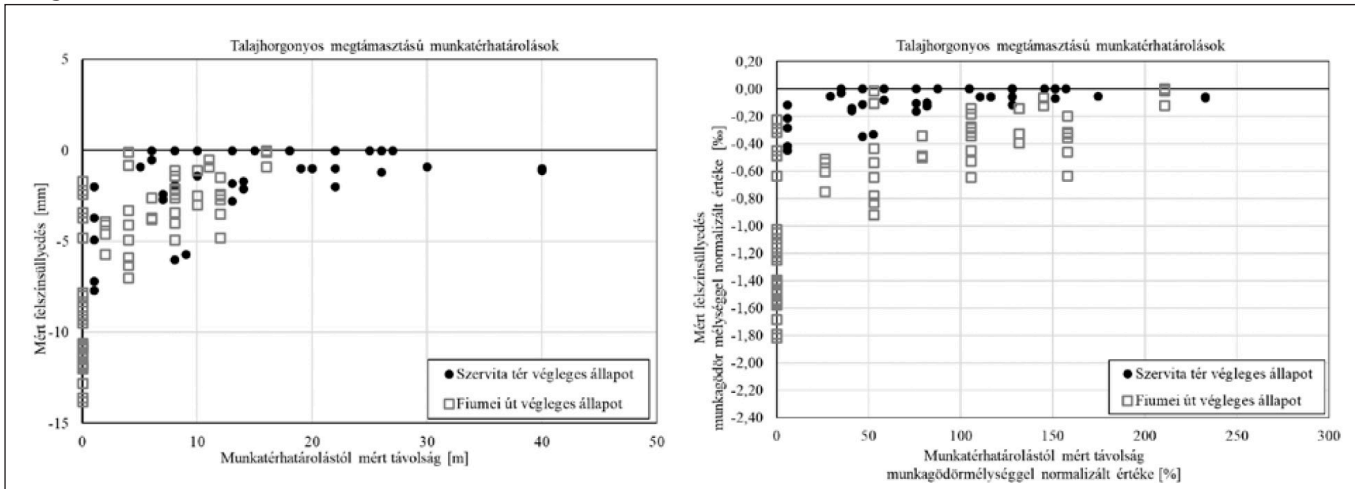
10. ábra: Munkatérhatároló fal vízszintes mozgása a Clough-féle (bal) és az Addenbrooke-féle (jobb) arányszám függvényében



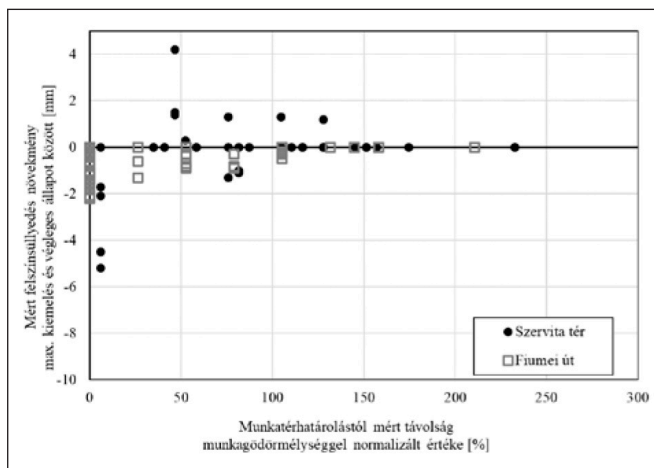
11. ábra: Munkagödör mentén bekövetkezett felszínsüllyedések a munkatérhatárolástól mért távolság függvényében – merev megtámasztású gödörök



12. ábra: Munkagödör mentén bekövetkezett felszínsüllyedések a munkatérhatárolástól mért távolság függvényében – talajhorgonyos megtámasztású gödörök



13. ábra: Talajhorgonnyal megtámasztott munkagödörök mentén bekövetkezett felszínsüllyedések a maximális földkiemelés állapotát követően



tott munkagödör eredményosora, hogy mélységtől való függéssel kapcsolatosan megállapításokat tehesünk.

- A 11. ábrán szereplő két diagram alapján, a merev megtámasztású munkatérhatárolások mentén mért felszínsüllyedésekről megállapítható, hogy:
 - o a mért maximális felszínsüllyedések 10-25 milliméter közöttiek, mely a munkagödör mélységének 0,3-0,7 %-e,
 - o a legnagyobb süllyedések közvetlenül a munkatérhatároló fal mellett következtek be,
 - o a süllyedési horpa szélessége 50-80 méter közötti, mely

intervallum a munkagödör mélységének 150-250, szélsőséges esetben 300 %-a.

- A 12. ábrán szereplő diagramok alapján, a talajhorgonyos megtámasztású munkatérhatárolások mentén mért felszínsüllyedésekről megállapítható, hogy:
 - o a mért maximális felszínsüllyedések 0-15 milliméter közöttiek, mely a munkagödör mélységének 0,0-1,8 %-e,
 - o a legnagyobb süllyedések közvetlenül a munkatérhatároló fal mellett következtek be, mely vélhetően elsősorban annak tudható be, hogy a réselés, valamint a felső horgonysor oldását követő konzolos bemozdulás viszonylag nagy mozgásokat eredményezhet,
 - o a süllyedési horpa szélessége 15-25 méter közötti, mely intervallum a munkagödör mélységének 150-200 %-a.
- A 13. ábrán a két talajhorgonyos megtámasztású munkatérhatárolás mentén, a maximális földkiemelés állapotában és a horgonyok feloldását követő végállapotban mérhető felszínsüllyedések különbségét ábrázoltuk. Az eredményosor alapján megállapítható, hogy a horgonyok feloldását követően, a mérési pontatlanságot meghaladó mozgások csak a fal közvetlen környezetében voltak mérhetőek, de ott akár ~5 milliméter is bekövetkezhet. Ezen többlettmozgások forrása vélhetően az, hogy a horgonyok feloldását követően a résfal támaszfödém feletti része konzolos behajlást szenvedhet, mely relatív nagy elmozdulásokkal járhat.

6. KONKLÚZIÓK

Mély munkatérhatárolások koncepcionális tervezése és részletes méretezése során is szükséges lehet összehasonlító mozgásmérési tapasztalatok figyelembevételére, mivel az alakváltozások korlátozása a tervezést vezérlő kritérium lehet, viszont a rendelkezésre álló és ipari körülmények között használható modellezési eljárások pontossága és megbízhatósága, természetüknél fogva korlátozott. Bízunk benne, hogy a felépített adatbázis és a mozgásmérési eredmények értékelése praktikus segítséget jelenthetnek a jövőben Budapesten, hasonló talajkörnyezetben megvalósítandó mély munkaterek tervezéséhez és kivitelezéséhez, valamint a környező, kölcsönható építmények várható viselkedésének értékeléséhez.

A 4. és 5. fejezetben ismertetett mozgásmérési tapasztalatokkal kapcsolatos legfontosabb megállapításaink:

- A talajhorgonyokkal megtámasztott résfalak vízszintes falmozgásai a munkagödörök mélységével arányosan növekednek, de jellemzően nem haladják meg a munkagödör mélység 3%-ét. Támaszfödemes vagy csótámaszos, merevebb megtámasztás esetén a vízszintes falmozgások alacsonyabbak, jellemzően a gödörmélység 1%-e alatt maradnak. A nemzetközi szakirodalmak a munkagödör mélység 2-3%-ét nem meghaladó vízszintes mozgásokról számoltak be.
- A felszínüllyedések talajhorgonyokkal történő megtámasztás esetén a munkagödörmélység 2%-e alattiak, míg merev megtámasztású munkaterek mentén ennél alacsonyabb, a munkagödör mélység 1%-ét el nem érő mozgásokat mérünk, míg a feldolgozott szakirodalmak jellemzően 2-3% alatti maximális felszínüllyedésekről számoltak be.
- A felszínüllyedések kiterjedése a munkatér mentén a mélység legfeljebb háromszorosára tehető, de a geodéziai mérési pontatlanságot nem meghaladó felszínüllyedések jellemzően a gödörmélység kétszeresén belül lejátszódnak, illeszkedve a munkagödörmélység 2-2,5-szöröséről érkező nemzetközi szakirodalmakkal.
- A szakirodalmakban megjelent Rowe-, Clough- és Addenbrooke-féle tényezők és a faldeformációk maximális értéke között pontos összefüggést nem sikerült felállítani, de elképzelhető, hogy az adatbázis bővítésével, a Rowe-féle tényező és a mozgások között felállítható egy olyan összefüggés, mellyel a falmozgások a munkatérhatároló fal merevségi viszonyai alapján pontosabban becsülhetővé válnak.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk minden közreműködő kollégának az egyes projektek mozgásmérési eredményosorainak, tervrajzainak, talajvizsgálati jelentéseinek és egyéb műszaki dokumentumainak rendelkezésünkre bocsátásáért. Köszönjük továbbá Dezső Zsigmond és Dr. Szendefy János lektor uraknak, hogy értékes javaslataikkal, meglátásaikkal segítették a cikk véglegesítését.

8. HIVATKOZÁSOK

Addenbrooke, T. I. (1994) A flexibility number for the displacement controlled design of multi propped retaining walls” *Ground Engineering* 27 (7), pp. 41.45.

- Cording, E. J., Long, J. L., Son, M., Laefer D., Ghahreman B. (2010) “Assessment of excavation induced building damage” Proceedings of Earth Retention Conference 2010. Egyesült Államok, pp. 101-120.
- Clough, G. W., Smith, E. M., Sweeney, B. P. (1989) “Movement control of excavations support systems by iterative design” Proceedings of Congress on Foundation Engineering – Current principles and Practices, Egyesült Államok.
- Clough, G. W., O'Rourke, T. D. (1990) “Construction induced movements of insitu walls” Design and Performance of Earth retaining structures. Geotechnical Special Publication No.25. Egyesült Államok. pp.439-470.
- Deli Á., Kaltenbacher T., Havas P. (2009) „A monitoring szerepe a mély munkagödörök készítésénél”. Deep Excavations and Retaining Structures, ISSMGE Hungarian National Committee, Budapest.
- Kempfert, H. G., Raithel, M. (1998) „Schäden an tiefen, rückverankerten Baugruben durch Verformungen des Systems Bodenblock-Verankerung. Schadensfälle in der geotechnik.“, Beiträge zum 13. Christian Veder Kolloquium, Beobachtungsmethode in der Geotechnik. Graz, Ausztria.
- Katzenbach, R., Moormann, Ch. (1999) „Anwendung der Beobachtungsmethode auf die Erstellung tiefer Hochhausbaugruben neben scherer Bebauung.“, Beiträge zum 14. Christian Veder Kolloquium, Beobachtungsmethode in der Geotechnik. Graz, Ausztria.
- Moormann, Ch., Katzenbach, R. (2000) „Entwurfsoptimierung von tiefen, wasserdichten Baugruben bei anisotropen Baugrund- und Grundwasserverhältnissen.“ Baugrundtagung 2000 Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Verlag Glückauf, Essen, Németország.
- Moormann, C. (2004) „Analysis of Wall and Ground Movements Due to Deep Excavations in Soft Soil Based on a New Worldwide Database” Soils and Foundation 44(1), pp. 87-98. <https://doi.org/10.3208/sandf.44.87>
- Szepesházi A., Móczár B., Csapody G. (2016), „Budapesti mély munkatérhatárolás 2D és 3D numerikus back-analizise”, Vasbetonépítés: A FIB Magyar Tagozat lapja, pp. 34-41.
- Szepesházi A., Móczár B. (2019), „Numerical back-analysis of a monitored deep excavation in Budapest considering time dependency of wall deformations”, Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Reykjavik, Iceland, Paper 136, 8p. <https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0136>
- Szepesházi R. (2007) „Mély munkagödörök mentén bekövetkező mozgások”, PhD kutatászeminárium, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Mikoviny Sámuel Doktori Iskola, 56 p.
- Tomlinson, M. J. (2001) „Foundation design and construction” Pearson Education, Harlow, Egyesült Királyság.

Dr. Móczár Balázs (1971) okl. építőmérnök, okl. igazságügyi szakmérnök, PhD, egyetemi docens, a BME Geotechnika és Mérnökgeológiai Tanszék oktatója. Fő érdeklődési területei: talaj és szerkezet kölcsönhatása, sík- és mélyalapozások, mély munkagödörök. Az MMK Geotechnikai Tagozat elnökségi tagja. Az MMK Geotechnikai Tagozat Szakértői Testület tagja. Az ISSMGE és a Magyar Geotechnikai Egyesület tagja.

Szepesházi Attila (1988) okl. építőmérnök, a HBM Soletanche Bachy műszaki csoportvezetője, a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék PhD hallgatója. Fő érdeklődési területei: geotechnikai végeselemes modellezés, talaj és szerkezet kölcsönhatása, speciális mélyépítési technológiák. Az ISSMGE és a Magyar Geotechnikai Egyesület tagja. Az MMK Geotechnikai tagozati munkatérhatárolásokról szóló továbbképzések előadója. Az Alapozási Vállalkozók Szövetségének műszaki bizottságának tagja.

Deep excavation works in Budapest - Evaluation of deformation monitoring results

Dr. Balázs Móczár - Attila Szepesházi

Database of monitoring results of deep excavation walls and adjacent structures has been built summarizing experiences of excavation works in Budapest in the framework of our ongoing PhD research project. As an introduction of present article deformation prediction methods of deep excavations and synthesis of related international literature are summarized. The database of measured deformations of 9 deep excavations with rigid (slabs and/or steel struts) or flexible, anchor supported diaphragm walls are presented. Finally, the tendencies of the wall deformations and surface settlements in relation with the excavation depth and the type of support system are summarized leading to the conclusions of the research.

Keywords: deep excavations, anchored diaphragm wall, metro station, diaphragm wall deformations, surface settlements

Pécs, Vásárcsarnok

MEP keretes állványzat,
Mammut falzsaluzat

Sopron, Csík Ferenc Uszoda

Mammut falzsaluzat, műanyag zsaluhéj
Circo pillér

Budapest, Duna Pearl lakópark

MT60 és MEP állványzat

Válassza a MEVA innovatív zsalurendszeit, melyeket már online is megrendelhet.

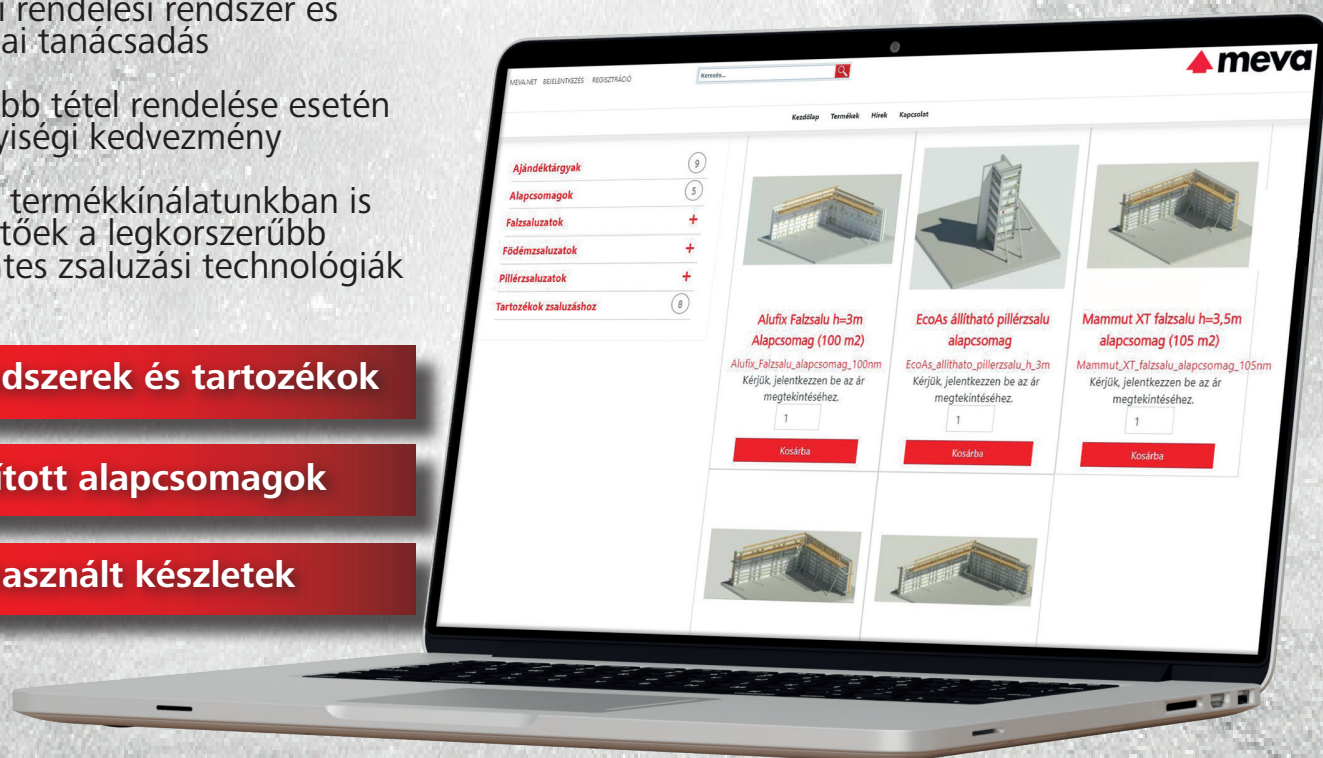
www.shop.meva.hu

- egyedi rendelési rendszer és szakmai tanácsadás
- nagyobb tétel rendelése esetén mennyiségi kedvezmény
- online termékínálatunkban is elérhetőek a legkorszerűbb famentes zsaluzási technológiák

zsalurendszerek és tartozékok

összeállított alapsomagok

akciós használt készletek





A JÖVŐT ÉPÍTJÜK

A-Híd Zrt. | 1138 Budapest, Karikás Frigyes u. 20. | www.ahid.hu