

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*

3D BETONNYOMTATÁS – AZ AUTOMATIZÁLÁS ÉS DIGITALI- ZÁLÁS EGYIK JÖVŐBELI ESZKÖZE

BME, 2021. NOV. 18. KONFERENCIA

JELENTKEZÉS:

[HTTP://FIB.BME.HU](http://fib.bme.hu)

BALOGH TAMÁS

AZ ÉPÍTÉS AUTOMATIZÁLÁSA, A 3D BETONNYOMTATÁS AKTUALITÁSA

26

BARANYI ATTILA –

KOPECSKÓ KATALIN – FEIL FERENC –
LUKÁŠ GRIC

A PAKSI ATOMERŐMŰ HULLADÉKAINAK CEMENTBE ÁGYAZÁSA, ÉS A TECHNOLÓGIÁHOZ TARTOZÓ VIZSGÁLÓ LABORATÓRIUM KIALAKÍTÁSA

31

OROSZ ÁRPÁD

A KIS ALAKVÁLTOZÁSOK ELVÉNEK ALKALMAZÁSA KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁSOK KIDOLGOZÁSÁHOZ

41

SZEMÉLYI HÍREK

DR. BÉRES LAJOS 85.

SZÜLETÉSNAPIJÁRA

46

3D BETONNYOMTATÁS – AZ AUTOMATIZÁLÁS ÉS DIGITALIZÁLÁS EGYIK JÖVŐBELI ESZKÖZE – KONFERENCIA

47

2021/2

XXIII. évfolyam, 2. szám

Már elsőre végleges építési megoldások

Mapei a PP szálak világában

2018-tól a polipropilén makro szálakat a Mapei a saját gyárában állítja elő. Ez annak a folyamatnak az eredménye, amikor a Mapei megvásárolta a Fiber Istrice-t, aki akkor Európa egyik vezető építőipari szál gyártója volt. A Squinzi család befektetési döntését az indokolta, hogy az új technológia sok előnye jelentősen megnövelte az érdeklődést ezekre a termékekre.

Ezt követően a Mapei, aki elkötelezett a Partnerei igényeinek kiszolgálására olyan fejlesztéseket eszközölt, melyek jelentősen egyszerűbbé tették a termékek használatát, és a szálak alkalmazásával még inkább kiaknázható a beton sokszínűsége.

A polipropilén termékekre úgy tekintünk, mint a többi más adalékszerünkre, melyek képesek jelentősen javítani a beton valamely tulajdonságát. A megrendelői igények, felhasználási területek meghatározzák milyen beton gyártására van szükség, és a lehető legjobb alapkeverékből kiindulva adalékszerünkkel tökéletesítjük azt az elvárásoknak megfelelően. **Bizonyos területeken** – pl. beton előregyártás, beton ipari padlók – **a folyósítók mellett mindennapos a makro PP szálak alkalmazása, melyek jelentősen növelik a beton termékek szívósságát.** A sokféle szilárdságú, péptartalmú keverékek esetén érdemes más-más PP termékben gondolkodni.

A MAPEFIBRE család szálai a legkülönbözőbb feladatokra készülnek. Hosszúságuk, átmérőjük, megjelenésük és még a színük is eltér, hogy az adott feladatra legoptimálisabb típus legyen választható. Miután a statikus szálak általában a beton tönkremenetelek kihúzódnak, egy magasabb szilárdságú beton esetén érdemes rövidebb, viszont ezzel együtt magasabb darabszámú makró szálát választani a nagyobb teljesítmény eléréséhez. Ugyanakkor egy C 25-ös beton esetén fontos a szál hossza a megfelelő lehorgonyzás miatt, tehát ilyenkor a 40 mm feletti termékek használata a megfelelőbb. A teljesítmény tovább fokozható a műanyag felületének strukturáltságával.

Ma már a termékek csomósodásmentes adagolása nem probléma, köszönhetően néhány egyszerű gyártás és csomagolás technológiai megoldásnak. A merev termékeket kötegelt formában, illetve a speciális kialakítású termékeinket összecsavart formában forgalmazzuk. Van lehetőség vízben oldódó zacskós kivitellel teljesen egyszerűsíteni a szálak beadagolását.

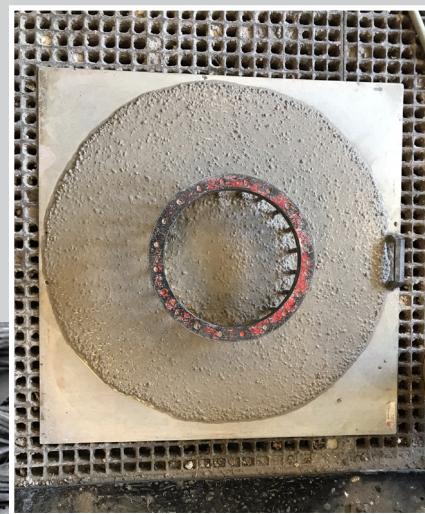
A szálak alkalmazása egyszerű és gazdaságos lehetőség, viszont a frissbeton tulajdonságaira jelentős hatással lehet

használatuk. Miután a PP szálak betonra, mint keverékre kell tekinteni, a laborunk a Mapei adalékszerjeinek felhasználásával folyamatosan készíti a megoldásokat a legspeciálisabb betonkeverékekre. Gyakori feladat a szálak öntömörödő és látszóbeton megtervezése és a segítségnyújtás a kivitelezésben. Jól működő megoldásoknak köszönhetően partnereink egyszerű és gazdaságos gyártástechnológiával képesek akár öntömörödő konzisztenciájú, magas látszóbeton osztályoknak megfelelő, nagy teljesítményű PP szálak betonok folyamatos előállítására. A fugamentes betonpadlók összetételének optimalizálására Mapei Betonlabor folyamatosan ellenőrzi a betonok zsugorodását a repedésmentes felületek készítésének érdekében.

A minden tekintetben tökéletes betonok készítésére törekedve a Mapei a szolgálta-

tásait a laborsegítségén túl kiterjesztette a tervezéstől egészen a kivitelezésig. Ennek a programnak a része egy folyamatos együttműködés a megrendelővel. A beton felhasználásának ismeretében előzetesen készített beton-zsugorodás tervezése mellett a szolgáltatás részeként kérésre statikai méretezés is megelőzi a kivitelezést.

További információ: mapei.hu



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:

The World's First 3D Printed Office.

A világ első nyomtatott iroda épülete.

Fotó: Dr. Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

- 26** BALOGH TAMÁS
**AZ ÉPÍTÉS AUTOMATIZÁLÁSA,
A 3D BETONNYOMTATÁS AKTUALITÁSA**
- 31** BARANYI ATTILA – KOPECSKÓ KATALIN – FEIL FERENC –
LUKÁŠ GRIC
**A PAKSI ATOMERŐMŰ HULLADÉKAINAK
CEMENTBE ÁGYAZÁSA, ÉS A TECH-
NOLÓGIÁHOZ TARTOZÓ VIZSGÁLÓ LABO-
RATÓRIUM
KIALAKÍTÁSA**
- 41** OROSZ ÁRPÁD
**A KIS ALAKVÁLTOZÁSOK ELVÉNEK
ALKALMAZÁSA KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁSOK
KIDOLGOZÁSÁHOZ**
- 46** **SZEMÉLYI HÍREK**
DR. BÉRES LAJOS 85. SZÜLETÉSNAPIJÁRA
- 47** **3D BETONNYOMTATÁS
– AZ AUTOMATIZÁLÁS ÉS DIGITALIZÁLÁS
EGYIK JÖVŐBELI ESZKÖZE –
KONFERENCIA**
- 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., Uvater 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

AZ ÉPÍTÉS AUTOMATIZÁLÁSA, A 3D BETONNYOMTATÁS AKTUALITÁSA



Balogh Tamás

Az építőiparban a digitalizáció az elmúlt években rohamosan fejlődött. Az egyes folyamatok külön-külön is nagy fokú digitalizáltsággal jellemezhetők, de ami fontosabb, hogy a folyamatok közötti kapcsolat, a szoftverek közötti kommunikáció, átjárhatóság, az adatok áramlása is nagymértékben egyszerűsödött. A cél a teljes digitalizáció, nyomon követhetőség, kiszámíthatóság.

Ezzel a digitalizációs folyamattal ellentétben a kivitelezés során a munkaterületen még igen sok esetben hagyományos, 20-30 éve bevált technológiákkal történik az építés. Az építési idők rövidülése, a költségek optimalizálása, az építészeti szabadság iránti igény és a fokozódó szakemberhiány új technológiák megjelenését generálta a piacon. Az új technológiák megjelenésével a kivitelezésben is elindulhat egy folyamat, amelynek eredményeképpen az építkezések egy részén megjelenhetnek a ma még drága, vagy kísérleti fázisban lévő technológiák.

Ez a cikk egy sorozat első része, amely sorozat az építőiparban elterjedő automatizálási technológiák közül a 3D betonnyomtatást, mint additív gyártástechnológiát, történetét, jelenlegi előnyeit, hátrányait mutatja be. Az első rész az építés automatizálásához használt és használható technológiák rövid áttekintésével foglalkozik.

Kulcsszavak: 4. ipari forradalom, építőipari automatizálás, falazó gépek, additív gyártástechnológia, épületnyomtatás, 3D betonnyomtatás, nyomtatás földön kívül

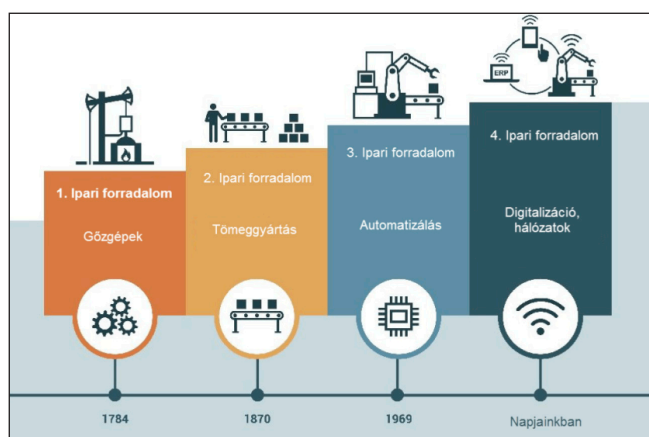
1. BEVEZETÉS, A 3D NYOMTATÁS AKTUALITÁSA AZ ÉPÍTŐIPARBAN

2020-ban is zajlik a 4. ipari forradalom, amely az ipar 4.0 elnevezést kapta. Az Európai Parlament 2016-ban megfogalmazott állásfoglalása szerint:

„Az ipar 4.0 a termelési folyamatok olyan szervezését írja le, melynek keretében az eszközök önállóan kommunikálnak egymással az értéklánc mentén: a jövő egy olyan „okos” gyárát hozva létre ezzel, amelyben a számítógép-vezérelt rendszerek nyomon követik a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai valóság virtuális mását és decentralizált döntéseket hoznak önszervező mechanizmusok alapján.” (Mi az az ipar 4.0?, 2016).

Az első ipari forradalmat a víz és gőz hajtású mechanikus berendezések indították el, a második ipari forradalomban megjelent az elektromos meghajtású, munkamegosztáson alapuló tömeggyártás. A harmadik ipari forradalomban elektronikai és számítástechnikai megoldásokat kezdtek el alkalmazni a gyártás automatizálására és a napjainkban zajló negyedik ipari forradalom alapja a digitalizáció és az adat, az emberek, gépek és a vállalatok folyamatos összeköttetésében lévő hálózata (1. ábra).

Az építőipar lassabban követte a más ágazatokban (pl.: gépgyártás) már évtizedek óta jelen lévő és fejlődő automatizálási technológiákat. Habár az előregyártó üzemek, gyárak folyamatai már automatizáltak, az épületek építéséhez felhasznált anyagok már korszerű gyárakban, vagy korszerű folyamatok eredményeképpen jönnek létre, az épületek nagy része hagyományos technológiával készül el.



1. ábra: Az ipari termelés jelentős lépcsőfokai, az ipari forradalmak (A 4. ipari forradalom, 2017)

A 3D nyomtatási technológia már mindenki számára elérhető, prototípusok, tárgyak, ajándékok elkészítésére, de épület léptékű alkalmazására csak az elmúlt 10 évben került sor. 2014-től kezdve folyamatosan növekszik a különböző nyomtatott épületek, nyomtatási technológiák, épület nyomtató cégek, kutatással foglalkozó egyetemek száma. Az elmúlt 5 évben a technológiai fejlődés felgyorsult a beton 3D nyomtatók esetében, mind az alapanyag, technológia, mind a teljes tervezés-kivitelezés módszertana és folyamata tekintetében.

A 3D nyomtatás ígéretes technológia, viszont az építés automatizálása, a munkaerőigény csökkentése és az építés sebességének gyorsítása érdekében már a 20. század 2. felében megjelent az első erre irányuló találmány.

2. FALAZÓ GÉPEK

Egy korai „robotra” derült fény 2014-ben, amikor a British Pathé Youtube csatornájára egy archív felvételt töltöttek fel. Az 1967-es dátumú felvételen látható egy mechanikus falazó berendezés, amelyről a kommentár azt mondja el, hogy a hagyományos falazási technológiáknál 5-10-szer nagyobb gyorsasággal képes dolgozni. 1967-ben az automatizálást látták a szakemberhiány és a magasabb minőségben elkészülő szerkezetek megoldásának. A gép kezelőszemélyzete egy kőművesből és két segédmunkásból állt.

A Motor Masonhoz hasonló falazó gépet lehet megtalálni egy az USA-ban beadott szabadalomban (Amerikai Egyesült Államok Szabadalom száma: US3325960A), melyben a gép ábrái is megtalálhatóak (2. ábra). Ez az eszköz végül nem terjedt el az építőiparban.

2015-ben a New York-i székhelyű (USA) Construction Robotics bemutatta az új falazó robotját, a SAM100-at (Semi Automated Mason). Hasonlóan működik, mint a Motor Mason, de a két gépet fejlettségi szintben össze sem szabad hasonlítani. A SAM100 fel van szerelve egy szállítószalaggal, robotkarral (3. és 4. ábra), különböző téglakiosztásokkal képes falazni és a folyamatos adatgyűjtésnek köszönhetően a napi teljesítményről jelentést készít. A fő feladatának nem a kőművesek helyettesítését, kiváltását szánták, hanem a szakemberek segítségét, ezáltal a termelékenység növelését és a teljes munkaköltség csökkentését.

2020-ban az Egyesült Királyságban, Everingham városában első alkalommal készült olyan épület, melyet falazó robot segítségével építettek fel. A York-i székhelyű Construction Automation Ltd. ABLR (Automated Brick Laying Robot) falazó robotja képes kis- és nagyméretű téglákat, blokkokat habarcsréteggel építeni. Az épület építése 2020. szeptember 28.-án kezdődött el és 4 hét alatt elkészült. A robot irányítása tablet alapú felhasználói felületről történik és a tervek olvasására is alkalmas. A gép 9 méter magas kerete sínpályán mozog (5. ábra), folyamatosan építve a falszakaszt (6. ábra). A működtetéséhez két ember szükséges, akik a gép töltését és a habarcsrétegek simítását végzik el.

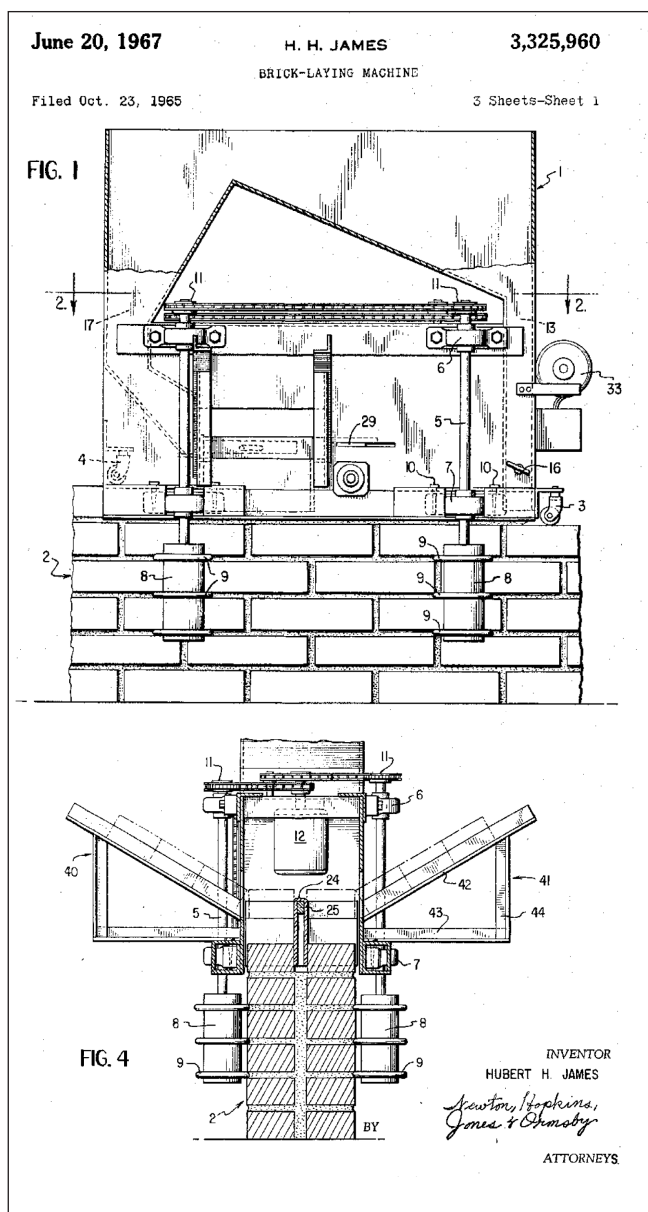
A Hadrian X (7. ábra) elnevezésű falazó robot az ausztrál Fastbrick Robotics (FBR) építőipari cég fejlesztése. A robot automatikusan elvégzi a falazóelemek betöltését, vágását, célba juttatását és elhelyezését, melynek eredményeképpen egy családi ház 3 nap alatt felépíthető. A gép jelenlegi teljesítménye a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően óránként 200 falazóelem, de képes lehet akár 1000 db/óra teljesítményre is a nap 24 órájában, heti 7 napon keresztül.

A falazóelemeket habarcs helyett ipari ragasztóval rögzíti egymáshoz, ezáltal az építési idő rövidül és a habarcs kötését sem kell megvárni. A 30 m gémkinyúlású gép a szélből és egyéb hatásokból adódó vibrációkat kiegyenlíti és maximális pontossággal helyezi el a falazóelemeket (8. ábra).

Míg az előzőekben említett technológiák a falazás automatizálására szolgálnak és ezáltal gyorsítják meg a munkát és segítik a munkásokat, az építőiparban további fejlesztések az emberi test terhelésének csökkentésére és ezáltal a munka hatékonyságának növelésére irányulnak (anyagmozgató liftek, mesterséges külső váz stb.).

3. ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA: A 3D NYOMTATÁS

Az additív gyártástechnológiát alkalmazó folyamat során számítógéppel támogatott tervezéssel (CAD) létrehozott modell alapján, rétegenként készül el a tervezett elem, tárgy.



2. ábra: Falazó gép ábrái az 1965-ben beadott szabadalomban (James, 1965)

Fő részek megnevezése: 1-téglafektető gép, 2-téglafal, 3-a felső téglasoron futó görgősor, 4-a frissen fektetett soron futó görgősor, 5-tengety, 6-felső csapágy, 7-alsó csapágy, 8-gyűrűket elválasztó görgők, 9-habarcsrétegekbe illeszkedő gyűrűk, 10-kivehető csapok, 11-fogaskerék, 12-motor, 13-elülső habarcs adagoló csúszda, 14-elülső adagoló nyílás, 15-szelep, 16-szelep nyitó kar, 17-hátsó habarcs adagoló csúszda, 18-hátsó adagoló nyílás

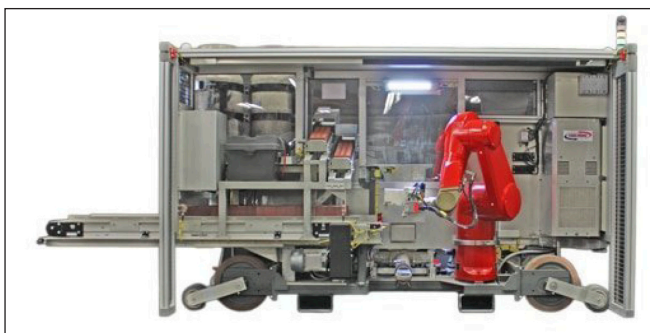
Általánosságban az additív gyártástechnológia fogalmával a 3D nyomtatást azonosítják. Az additív gyártástechnológiák iránti érdeklődés az 1980-as évek óta folyamatosan növekszik. Ezalatt a hagyományos gyártási technológiák kiegészítője lett a légitözeledési- és autóipar, orvosi műszergyártás területén és a prototípusgyártásban.

Az additív gyártási eljárás – 3D nyomtatás folyamatának általános alapelvei:

- 3D számítógépes modellek építése
- a nyomtatáshoz szükséges fájl előállítás (ún. szeletelő programmal)
- nyomtatás
- megmunkálás – szükség esetén.

4. 3D BETONNYOMTATÁS AZ ÉPÍTŐIPARBAN

Az építőiparban a 3D nyomtatási technológiák fejlesztése az 1990-es évek közepén kezdődött. Azóta a beton 3D nyomtatást



3. ábra: SAM100 falazó robot (Construction Robotics, 2020)



4. ábra: A SAM100 falazó robot munka közben (Construction Robotics, 2020)

már egyre több területen alkalmazzák és alkalmazták, épületek, építmények, szobrok, egyedi formájú építészeti elemek készültek el és készülnek folyamatosan (9., 10. és 11. ábra). A cikk írása során is folyamatosan gyarapodik az elkészült épületek, induló kutatások és fejlesztések száma.

5. 3D BETONNYOMTATÁS FÖLDÖN KÍVÜL

A technológia emellett alkalmas lehet más bolygókon történő építkezésre is, melyekre a következő kitekintés ad egy rövid összefoglalót.

ANASANIAC (Innovative Advanced Concepts) programja

Behrokh Khoshnevis a NASA-val közös együttműködéssel dolgozik a NASA NIAC programjában, amelynek célja építés a Holdon vagy a Marson a Contour Crafting technológia segítségével (12. ábra). A NASA tervezi, hogy embereket küld 2025-ig a Holdra és 2030-ig a Marsra.

7. ábra: A Hadrian X mobil falazó robot (Designing Buildings Wiki, 2020)



5. ábra: A Construction Automation Ltd. falazó robotja munka közben (Construction Automation, 2020)



6. ábra: Új téglasor építése (Construction Automation, 2020)

MARSHA, 3D nyomtatott épület a Marson

A „MARSHA” (MARS Habitat) projekt a New York-i székhelyű AI spaceFactory projektje, amely második helyezést ért el a NASA 2019-ben rendezett 3D-Printed Habitat Challenge versenyén. A Mars-i körülményekhez alkalmazkodva egy függőleges, tojás alakú épületet terveztek (13. ábra), amely egy potenciális Mars-misszió során kinyomtatható.

Project Olympus

Az ICON 2020. október 1.-én bejelentette, hogy elnyert egy NASA által támogatott kormányzati szerződést és elkezdheti egy űrben is végezhető építési technológiát, amely a Hold további felfedezését segítheti elő (14. ábra). Az ICON egy külön részleget állított fel a feladat elvégzéséhez és a további kutatásokhoz, fejlesztésekhez.

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

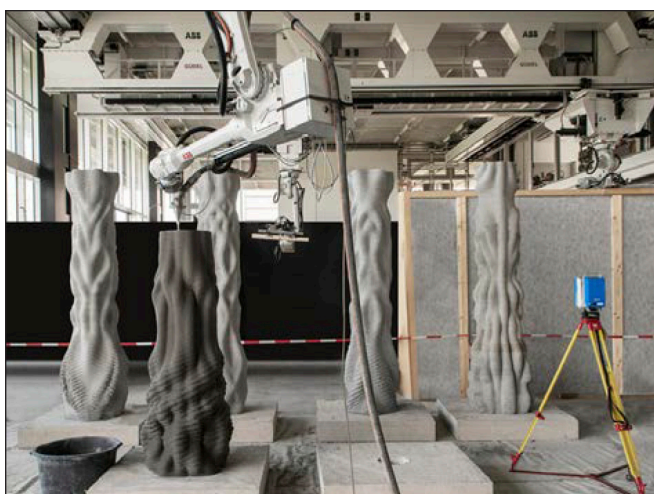
Az építészeti szabadság, egyedi geometriai formák megvalósítása, az optimális anyagfelhasználás, keletkező építési

8. ábra: A robot munkavégzés közben (Redshift, 2019)





9. ábra: Nyomatott betonpadok egyedi felületi megjelenéssel, Tervező: Studio 7.5 / Technológia: XtreeE (XtreeE, 2018)



10. ábra: Egyedi kialakítású, 2,70m magas oszlopok (DFAB, ETH Zürich, 2019)



11. ábra: Elkészült egyszintes lakóépület, Calverton, USA, amely már az ingatlanpiacon is megjelent (SQ4D, 2021)



12. ábra: Dr. Berokh Khoshniev és a Dél-Karolinai Egyetem a NASA-val közösen dolgozik, hogy a Contour Crafting technológiát más égitesteken való építésre lehessen alkalmazni (World Construction Network, 2017)

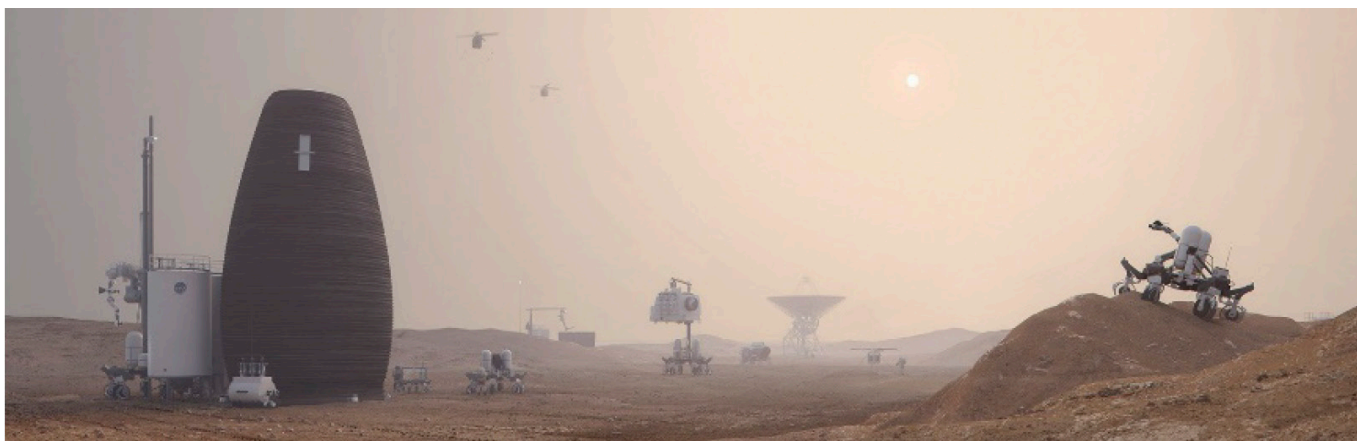
hulladék minimalizálása, valamint az építéshez szükséges idő csökkentése az ipar más területein már bevált technológiák adaptálását igényli.

A bonyolult formák üzemi és helyszíni előgyártásának egyik lehetséges alternatívája lehet a hagyományos technológiák mellett a beton 3D nyomtatás alkalmazása. Az épületek nyomtatásának fejlődése felgyorsult az elmúlt 5 év során és megnőtt az igény a nyomtatott épületek építésére. Ez az új, lehetséges építési alternatíva, amely jelenleg még újdonság, könnyen lehet, hogy az építőiparban teret hódít a hagyományos technológiák használata mellett. Az építőipar rohamos fejlődése, a fokozódó szakember hiány következtében az előgyártás, a moduláris építés egyre több területen jelenik meg. Az építőipar le van maradva az építés automatizálásával, viszont a más területen már fejlett, automatizált gyártási technológiákból tud adaptálni az építőipari környezetbe. Az építőipari 3D nyomtatással kapcsolatos fejlesztések eredményeképpen megvalósult épületek, építmények a 2010-es évek közepétől kezdtek megjelenni. Egyre több ország ismeri fel a fejlesztési, fejlődési lehetőséget az optimalizált anyagfelhasználásban, az egyetemek, ipari szereplők egyedül, vagy egymással partnerkapcsolatban nyomtatókat, új gyártási technológiákat kutatnak-fejlesztnek. A technológia fejlődésének jelenlegi központjai Észak-Amerika, Európa, Kína és az Egyesült Arab Emírátsok.

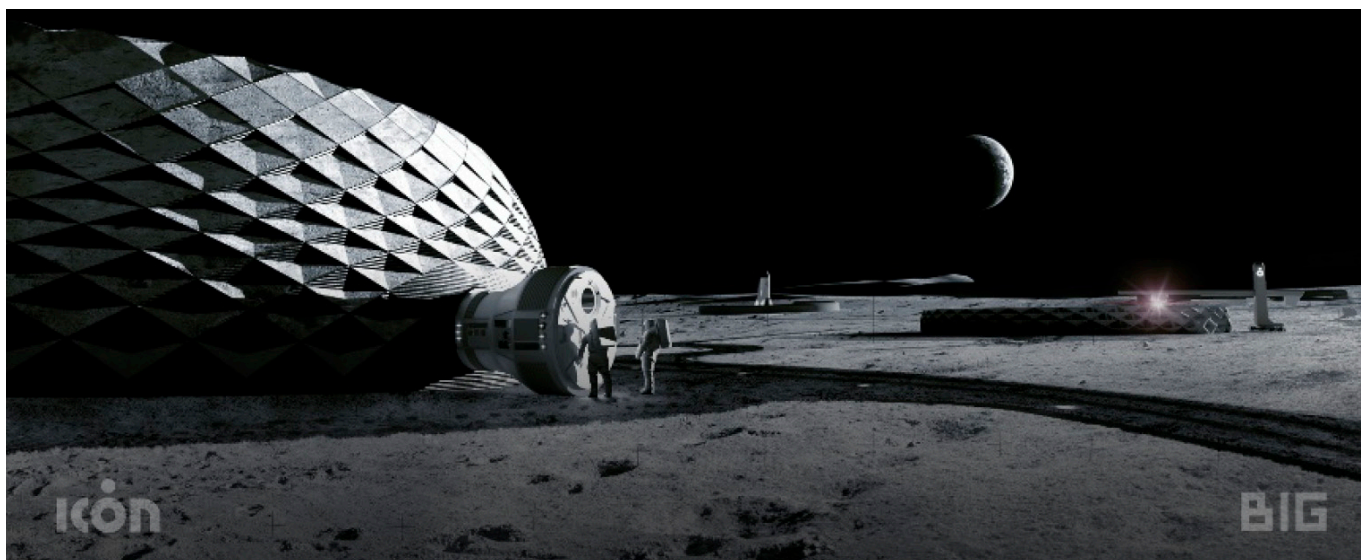
HIVATKOZÁSOK

A 4. Ipari forradalom. (2017. július 26.). Forrás: EPLM Blog: <https://blog.eplm.hu/4-ipari-forradalom/>

- Bot the builder! Robot bricklayer is building a three-bedroom house in East Yorkshire in 'UK first'.* (2020.. október 7.). Forrás: Construction Automation: <https://constructionautomation.co.uk/bot-the-builder/>
- Concrete Choreography.* (2019). Forrás: dbt Digital Building Technologies: https://dbt.arch.ethz.ch/project/concrete-choreography/?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com
- Contour Crafting: construction on Mars or Moon closer than ever.* (2017. március 31.). Forrás: World Construction Network: <https://www.worldconstructionnetwork.com/features/contour-crafting-construction-on-mars-or-moon-closer-than-ever>
- First 3D Printed Home.* (2021). Forrás: SQ4D: <https://www.sq4d.com/portfolio-items/first-3d-printed-home/>
- Hadrian X.* (2020. október 21.). Forrás: Designing Buildings Wiki: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Hadrian_X
- ICON Receives Funding From NASA and Launches "PROJECT OLYMPUS" to Reach for the Stars with Off-world Construction System for the Moon.* (2020. október 1.). Forrás: ICON: <https://www.iconbuild.com/updates/icon-receives-funding-from-nasa-and-launches-project-olympus>
- James, H. H. (1965). *Amerikai Egyesült Államok Szabadalom száma: US3325960A.*
- Mi az az ipar 4.0?.* (2016). Forrás: ipar4.0: <https://www.ipar4.hu/page/ipari-forradalmak-ipar-4-0>
- Motor Mason, the 1960s bricklaying 'robot', discovered in British Pathé archive.* (2015. szeptember 8.). Forrás: Construction Manager: <https://www.constructionmanagermagazine.com/1960s-bricklaying-ro3bot-disco4vered-pathe/>



13. ábra: A MARSHA projekt vertikális épülete (Designboom, 2018)



14. ábra: Építkezés más égitesteken az ICON elképzelésében (ICON, 2020)

NASA-awarded ‚marsha‘, a 3D-printed vertical martian habitat by AI spaceFactory. (2018. július 26.). Forrás: designboom: <https://www.designboom.com/design/nasa-awarded-marsha-vertical-3d-printed-martian-habitat-ai-spacefactory-07-26-2018/>

SAM100. (dátum nélkül). Forrás: Construction Robotics: <https://www.construction-robotics.com/sam100/>

This Bricklaying Robot Is Changing the Future of Construction. (2019. május 23.). Forrás: Redshift: <https://redshift.autodesk.com/bricklaying-robot/>

XtreeE prints concrete 3D printed benches with complex patterns. (2018. szeptember 14.). Forrás: 3Dnatives: <https://www.3dnatives.com/en/xtreee-concrete-bench-3d-printed-benches-patterns-140920184/>

Balogh Tamás (1984) okl. építőmérnök, MSc (2007), betontechnológus szakmérnök (2021). Tanszéki mérnök, majd tanársegéd 2007-től 2015-ig a PTE-MIK Anyagtan, Geotechnika és Közlekedésépítés és az Infrastruktúra és Mérnöki Geoinformatika Tanszékeken. 2016-tól munkahelyei az IVANKA Factory Zrt, majd a KAV Hungária Kft. Jelenleg saját vállalkozásban tartó-szerkezeti tervező, valamint tartószerkezeti szakértő. Fő érdeklődési területei a projekt- és időmenedzsment, kutatás-fejlesztés, a 3D modellezés és tervezés, diagnosztikai vizsgálatok, 3D nyomtatás és a VR technológiák. 2011-től a Magyar Mérnöki Kamara tagja.

AUTOMATION OF CONSTRUCTION, THE TOPICALITY OF 3D PRINTING

Tamás Balogh

In construction industry, digitalization has developed rapidly in the recent years. The individual processes can be characterized by a high degree of digitalization. But more importantly the connection between the processes, the communication between the softwares, the interoperability and the data flow have also been greatly simplified. The goal is the complete digitalization, traceability, predictability.

In contrast to this digitalization process in many cases the work on the construction site is carried out with traditional technologies. Shortening construction times, cost optimization, the need for architectural freedom, and a growing shortage of professionals may lead to the emergence of new technologies on the market.

This article is the first part of a series that presents the history, current advantages and disadvantages of concrete 3D printing as an additive manufacturing technology among the automation technologies prevalent in the construction industry. The first part provides a brief overview of the technologies could be used to automate construction.

A PAKSI ATOMERŐMŰ HULLADÉKAINAK CEMENTBE ÁGYAZÁSA, ÉS A TECHNOLÓGIÁHOZ TARTOZÓ VIZSGÁLÓ LABORATÓRIUM KIALAKÍTÁSA



Baranyi Attila – Kopecskó Katalin – Feil Ferenc – Lukáš Gric

A Paksi Atomerőműben keletkező kis és közepes aktivitású hulladékok kezelésére a jelenleg létesítés alatt álló cementező technológiával új kompakt hulladékcsomagot hoznak létre, amely során a szilárd radioaktív hulladékot tartalmazó acélhordókat acélkonténerben helyezik el. A szilárd hulladékban és a hordók között lévő üregterefogatot folyékony radioaktív hulladék felhasználásával készült cementpéppel töltik ki. A kompakt hulladékcsomagoknak meg kell felelniük a Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló Biztonsági jelentésében leírt hulladékvételi követelményeinek.

A még szintén létesítés alatt álló cementezett hulladékvizsgáló laboratórium feladata az elkészült cementpép tulajdonságainak gyártásközi ellenőrzése, valamint az ebből készült próbatetek nyomószilárdságának és kioldódási mértékének (diffúziós együttható) meghatározása. A laboratórium felszerelése és a cement/beton iparban használatos eszközök tesztelése során kiderült, hogy sok esetben speciális öntőformákra van szükség, a radioaktív cementpép kis viszkozitása és korrozív tulajdonságai miatt. Ezen kívül fontos követelmény, a radioaktív cementkő nyomószilárdságának mérése során keletkező törmelék összegyűjtése, és a kiporzás minimalizálása.

Kulcsszavak: cementezés, radioaktív hulladékkezelés, cementpép vizsgálat, cementkő vizsgálat

1. BEVEZETÉS

A Paksi Atomerőműben létesítés alatt áll a radioaktív hulladék cementező technológia, melynek segítségével a tovább már nem tisztítható folyékony radioaktív hulladék felhasználásával cementpépet állítanak elő. Az erőműben keletkező kis és közepes aktivitású szilárd radioaktív hulladékokat tartalmazó acélhordókat vékonyfalú acélkonténerbe helyezik, majd a radioaktív cementpépet a konténerbe töltik, ezzel egy új hulladékformát, ún. kompakt hulladékcsomagot (továbbiakban KHCS) hoznak létre.

A kompakt hulladékcsomagnak, így a cementbe ágyazott radioaktív hulladéknak is meg kell felelnie a Nemzeti Radioaktív Hulladék-tárolót (NRHT) üzemeltető Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. által kiadott Üzemeltetést megalapozó biztonsági jelentésében leírt hulladékvételi követelményeknek (továbbiakban HÁK, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., 2018), amelyet egy vizsgáló laboratórium fog ellenőrizni. Amennyiben a kompakt hulladékcsomag minden szempontból megfelel a HÁK-nak, akkor a Bábaapátiban működő NRHT-ban kerül végleges elhelyezésre.

A jelen állapotban még létesítés alatt álló cementezett hulladékvizsgáló laboratórium felszerelése során természetesen a cement/beton vizsgálat során alkalmazott szabványos módszereket és eszközöket kívántuk használni, de a radioaktív cementpép speciális tulajdonságai miatt sok esetben változtatni kellett a vizsgálati eljárásokon, és eszközökön. A laboratórium egyrészt a radioaktív cementpép egyes tulajdonságainak

gyártásközi ellenőrzését, másrészt a megszilárdult cementkő HÁK-nak való megfelelőségét fogja vizsgálni annak érdekében, hogy a kompakt hulladékcsomag hosszútávú elhelyezése biztonságosan megvalósítható legyen.

A jelen tanulmány a cementbe ágyazott hulladékcsomag kialakítását, az átvételi követelményeket és a vizsgáló laboratórium kialakítását taglalja.

2. A PAKSI ATOMERŐMŰBEN KELETKEZŐ RADIOAKTÍV HULLADÉKOK

A radioaktív hulladék fogalmának meghatározásával és felosztásával a 487/2015 (XII.30) Korm. rendelet foglalkozik. Radioaktív hulladéknak tekinthető minden olyan anyag, amely valamilyen tervezett nukleáris tevékenység során keletkezik, és további felhasználására már nincs igény, ugyanakkor a benne lévő radioizotópok koncentrációja meghaladja a környezetbe történő, és biztonságosnak tekintett kibocsátás, vagy kihelyezés (deponálás) határértékeit (MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Éves jelentés, 2019).

A kormányrendelet, így az atomerőmű is nagyon kis, kis, közepes és nagy aktivitású, valamint szilárd és folyékony radioaktív hulladékokat különböztet meg.

- Az atomerőműben keletkező szilárd hulladékok forrásai:
- elhasználdott és felaktiválódott, vagy felületileg

szennyezett szerelvények, berendezések, csővezetékek, hőszigetelések stb.,

- átalakításokból származó építési anyagok (betontörmelék, faanyag, üveg stb.), illetve különböző elszennyeződött fémhulladékok, kábelek stb.,
- karbantartó műhelyekben képződött fémhulladékok, elhasználdott szerszámok, forgácsok,
- karbantartás és üzemeltetés során keletkezett ún. «puha» hulladékok (ruhák, egyéni védőfelszerelések, szűrőbetétek, törlőrongyok, föliák stb.).

A szelektíven gyűjtött nem tömöríthető és tömörített („puha”) hulladékok speciális (belül műanyag bevonattal ellátott) 200 literes, 1,2 mm falvastagságú fémhordókba ($\varnothing 571,5 \times 880$ mm) kerülnek.

A hordók radiológiai minősítésük után az erőműben kerülnek átmeneti tárolásra.

Az atomerőműben keletkező *folyékony hulladékok* típusai:

- bepárlási maradékok (sűrítmények),
- evaporátor savazó oldat,
- használt primerkörü ioncserélő gyanták,
- dekontamináló oldatok,
- ülepítő iszapok,
- aktív oldószerkeverékek.

A felsorolt hulladékokat az erőmű ellenőrzött zónájában tárolják 400-550 m³-es saválló acél tartályokban további feldolgozásig. Jelenleg az Atomerőműben a folyékony hulladék kezelésére elsősorban a Folyékony Hulladékvíz Feldolgozó Technológiát (FHFT) alkalmazzák. Az eljárással a kezelhető bepárlási maradékokból eltávolítják a radioaktív szennyezéseket, és kinyerik az inaktív bóroxot, amelyet a továbbiakban egyszerű veszélyes hulladéknak megfelelően kezelnek. A többi hulladékáramot, illetve az alfasugárzó izotópokat (transzuránok) nagyobb mennyiségben tartalmazó, a 2003-as üzemzavart követően keletkezett bepárlási maradékokat a cementező technológiával fogják kezelni.

Bepárlási maradékok

Az atomerőmű ellenőrzött zónájában különböző eredetű radioaktív izotópokkal szennyezett vegyszeres hulladékvizek keletkeznek, amelyek szelektív gyűjtésére nincs lehetőség. Ezek az oldatok kis koncentrációban tartalmaznak szárazanyagot (3-5 g/dm³), többek közt a primerkör vízüzeméhez, dekontaminálási célokra, a víztisztítók regenerálására használt oldott vegyszereket, és a reaktorteljesítmény finomszabályozására használt bórsavat. Az összegyűjtött hulladékvizeket a kisebb térfogatban való tárolás érdekében bepárolják, erre a célra mindkét kiépítésen egy-egy bepárló berendezés szolgál. (Egy kiépítésen két blokk és azok berendezései találhatóak. Az egyes kiépítésen tehát az 1-2 reaktor, a kettes kiépítésen 3-4 reaktor helyezkedik el külön épületrészekben.) A bepárolt oldat pH-ját NaOH-val állítják be 12-re (Na:B \approx 1) a borátok nagyobb oldhatóságának elérése érdekében. A bórsav (H₃BO₃) oldhatósága 20 °C-on 5,04-g/100 cm³ (Pungor, 1987), míg a NaBO₂ (nátrium-metaborát) formájában már 20,22 g/100 cm³ oldódik (Blasdale - Slansky, 1939). Az így létrehozott bepárlási maradékok (sűrítmények) 180-200 g/dm³ koncentrációban tartalmaznak bórsavat (borátokat). Többek között ez is okozza a sűrítmények nagy (350-400 g/dm³) szárazanyag tartalmát, amelyet a hulladék cementbe ágyazásánál figyelembe kell venni.

Evaporátor savazó oldatok

Az előző pontban említett bepárló berendezéseket időnként salétromsavas mosásnak vetik alá a bepárlás után kialakult lerakódások eltávolítása céljából. A visszamaradt oldat pH-ja

1-alatti, és a bórsav koncentrációja is viszonylag kicsi (kb. 50 g/dm³).

Ülepítő iszapok

A folyékony radioaktív hulladékok kezelésének egyik lépése a csurgalékvizek (a padlóösszefolyókból származó folyadékok) ülepítése. A feladatot mindkét kiépítésen egy-egy 550 m³ ülepítő tartály végzi, amelyben a szilárd szennyezők leülepednek a tartály aljára.

Használt ioncserélő gyanták

A primerkörü víztisztítókból származó kation- és anioncserélő gyanták keveréke, amelyet a segédépületben található egy-egy tartályban tárolnak. Az ioncserélő gyanta hulladék ún. transzportvíz alatt található, amelyet a kimerült gyanta manipulációjára használnak. Ezt a hulladékot a transzportvíz savas kémhatása (pH = 23), kis bórsav koncentrációja (1-3 g/dm³), ill. a gyanta nagy radioaktivitása (dózisjeljesítménye) jellemzi.

Dekontamináló oldatok

A 2. blokk súlyos üzemzavar helyreállítási munkálatai során keletkezett dekontamináló oldatok. Ez a hulladék kisebb (kb. 15 g/dm³) bórsav koncentrációjú, lúgos kémhatású (pH = 10) és viszonylag kis mennyiségben tartalmaz szárazanyagot (< 20 g/dm³).

3. A CEMENTEZŐ TECHNOLÓGIA BEMUTATÁSA

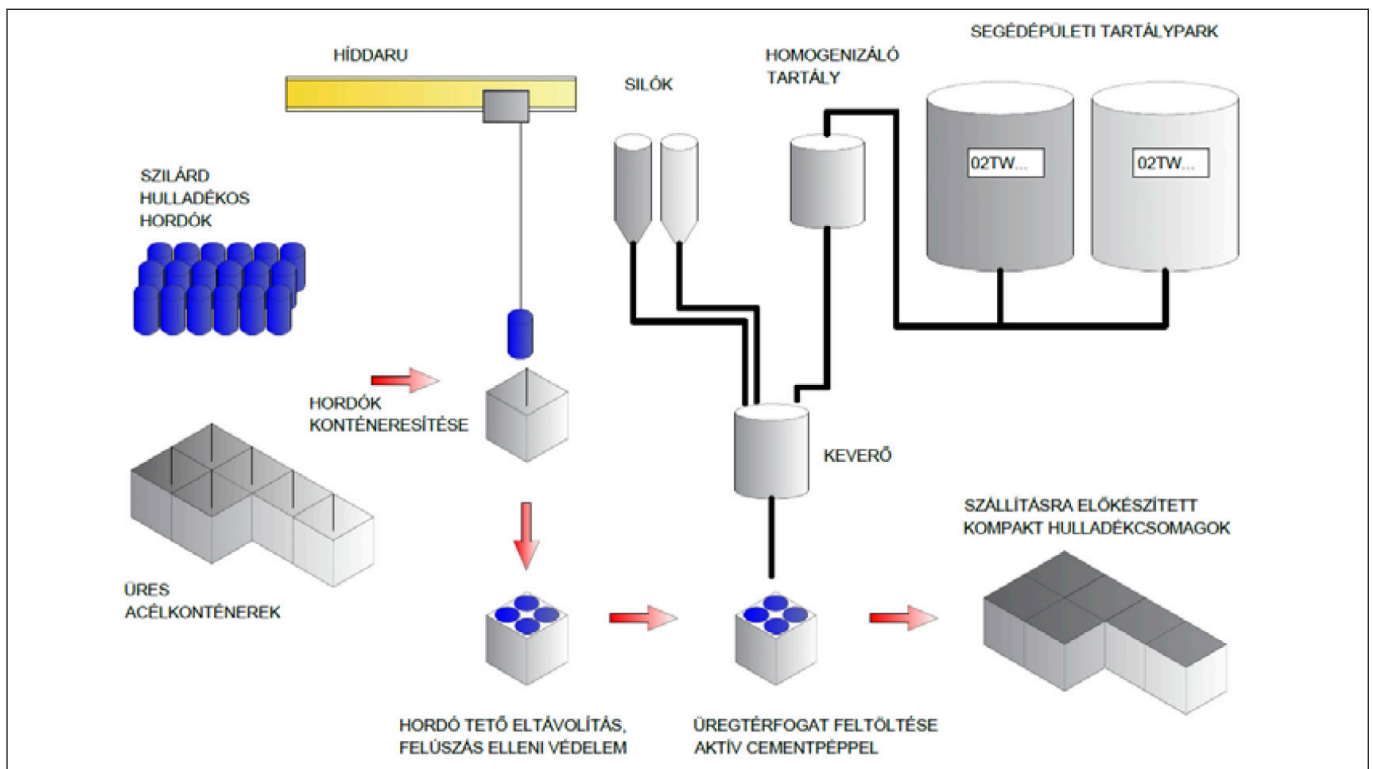
A cementező technológia segítségével a tovább már nem kezelhető folyékony radioaktív hulladékokat végleges tárolásra alkalmas szilárd halmazállapotba hozzák, és egyúttal a szilárd hulladékok között lévő szabad üregtérfigatot is csökkentik az NRHT hatékonyabb kihasználtságának érdekében. A 1. ábrán a cementező technológia elvi sémája látható. A „segédépületi tartálypark” TW jelölésű (alfanumerikájú) tartályaiból a folyékony radioaktív hulladék egy homogenizáló tartályba kerül, amelyet kémiai és radiokémiai elemzésnek vetnek alá. Itt még lehetőség van az oldat pH-jának beállítására, a cementezési receptúra finomhangolására, valamint a homogén hulladékoldat előállítására.

A cementező technológia feladatai:

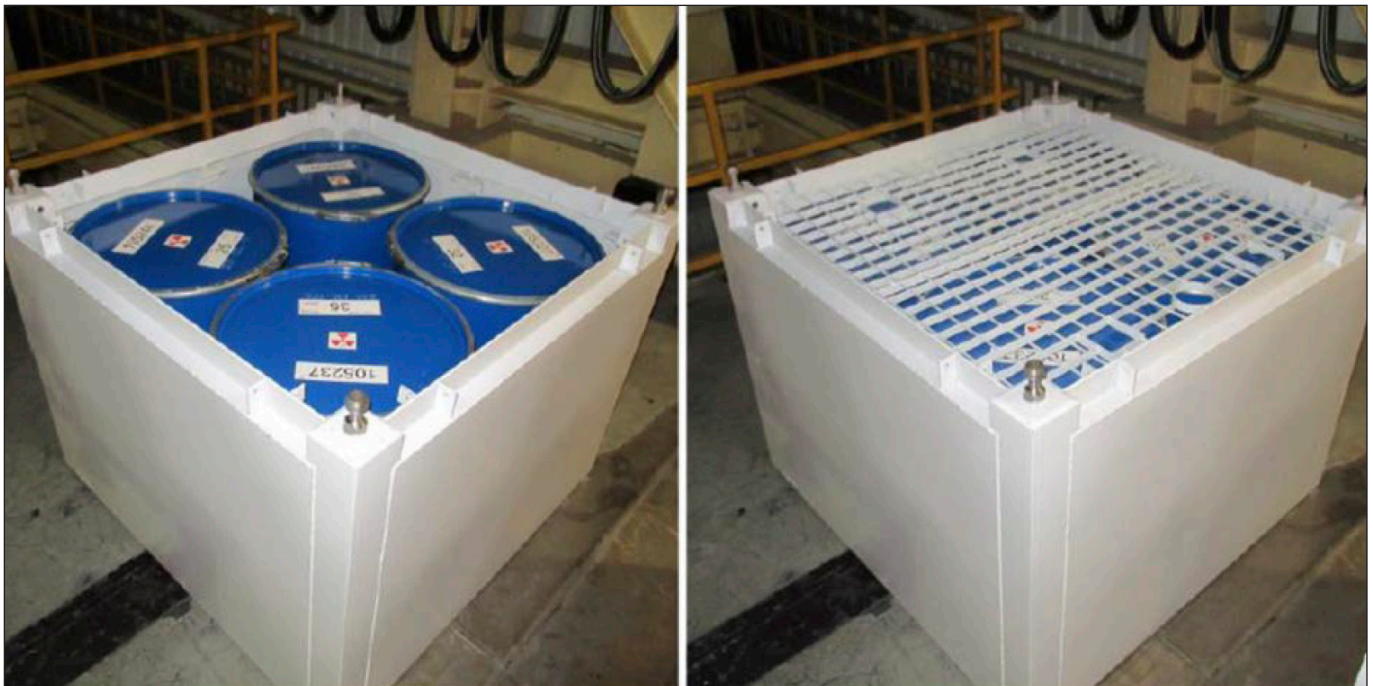
- A nem tömörített, jellemzően fémhulladékokat, építési törmeléket, illetve utószűrőket tartalmazó, 200 l-es fémhordókban lévő szabad üregek kitöltése folyékony radioaktív hulladékok felhasználásával készült cementpéppel.
- Négy db 200 l-es hordót tartalmazó konténer szabad térfogatának kitöltésére folyékony radioaktív hulladékból készült cementpéppel.
- Üres konténer kitöltése folyékony radioaktív hulladékból készült cementpéppel.

A kompakt hulladékcsomag (KHCS) elkészítésének menete

A kiválasztott, minősített szilárd hulladékokat tartalmazó 200 l-es acélhordókat fedéllel, vagy fedél nélkül vékony falú acélkonténerbe helyezik (2. ábra). – A tömörített (préselt) „puha” hulladékokat (ld. 2. fejezet) tartalmazó hordók fedelét nem távolítják el. – A hordók tetejére egy hegesztett acélháló helyeznek, amelyet egy leszorító szerkezettel rögzítenek az esetleges hulladék és a hordó felúszásának megakadályozására.



1. ábra: A cementező technológia bemutatása (Kappel, 2021)



2. ábra: Az ágyazásra előkészített konténer

Az előkészített konténert daruval ráemelik a görgősorra (1. ábra), ahonnan a konténeröltő rendszer (mixer) alá kerül. A homogenizált folyékony hulladékot a kivitelező cég által megadott receptúra szerint összekeverik cement-kiegészítő anyag porkeveréssel, majd az alaposan homogenizált cementpépből mintát vesznek a vizsgáló laboratórium számára.

Egy keveréssel kb. 230 l cementpépet engednek a konténerbe, amelyet 5-6 keveréssel tudnak teljesen feltölteni. A hulladéksomagot minden második keverést követően 10 s-on keresztül 50 Hz-en vibrálják a görgősor alatt elhelyezett vibromotorok segítségével, a hulladékban lévő szabad üregek és a cementpépben lévő légbuborékok csökkentése érdekében. Amikor a konténer megtelt, a görgősoron a tárolási helyre szállítják, ahol a cementpép megszilárdul (3. ábra).

A cementezést követő második napon (a lassú kötés miatt)

megtörténik a KHCS első ellenőrzése:

- kivérzés mértékének meghatározása,
- kitöltöttség ellenőrzése,
- cementpép felületének vizuális vizsgálata,
- felületi keménység mérése (amennyiben lehetséges),
- konténer felületi hőmérsékletének mérése.

A KHCS végleges ellenőrzése a konténer végleges elhelyezésre való átadása előtt 1-2 nappal történik a

- KHCS tömegének ellenőrzése,
- maximális és átlagos felületi dózisteljesítményének meghatározása,
- nem fixált felületi szennyezettség meghatározása,
- felületi keménység mérése,
- konténer felületi hőmérsékletének mérése,



3. ábra: Cementpéppel kiöntött (inaktív) konténer (kompakt hulladékcsomag, KHCS)

- külső vizuális vizsgálata (festés épsége, deformáltság, korróziós nyomok stb.).

4. A CEMENTEZETT RADIOAKTÍV-HULLADÉK-VIZSGÁLÓ LABORATÓRIUM

4.1 A laboratórium feladatai

A laboratórium által végzett vizsgálatok kiterjednek a folyékony radioaktív hulladékok felhasználásával készült cementpép gyártásközi ellenőrzésére, és a megszilárdult cementkő meghatározott tulajdonságainak mérésére.

A cementpép-vizsgálatok a következők:

- konzisztencia
- testsűrűség
- kötési idő
- kivérzés – zsugorodás
- hőfejlődés-vizsgálat.

A cementkő vizsgálatok az alábbiak:

- testsűrűség
- nyomószilárdság
- diffúziós együttható meghatározása.

Minden vizsgálat során nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy a cementpép, ill. cementkő radioaktív tulajdonságú (nyílt sugárforrás). A munkát természetesen az ellenőrzött zónában használatos kötelező védőruhában (overál), gumikesztyű, cipővédő lábszák és védőszemüveg használata mellett

kell végezni. A nyomószilárdság-mérést és az esetleges receptúra ellenőrzés során végzett próbakeverés közben pedig légzésvédőt is fel kell venni. A munka során törekedni kell a mintákkal való közvetlen érintkezés csökkentésére, az ALARA (As Low As Reasonably Achievable) elv szem előtt tartása mellett.

4.2 A vizsgálati szabványok áttekintése

A cementbe ágyazott folyékony radioaktív hulladékok vizsgálata során törekedtünk arra, hogy minden mérés szabvány alapján történjen.

Az első gondot az okozta, hogy milyen anyagnak tekintjük a vizsgálandó cementezett termékeket, mivel az csak folyékony radioaktív hulladékot, cementet (CEM I 42,5 N) és kiegészítőanyagot (kalcinált alumíniumszilikát) tartalmaz. A folyékony radioaktív hulladékok általában nagy oldott só (főleg borát) és szárazanyag tartalmú vizes oldatok, amelyek közül a legfontosabbak a bepárlási maradékok (sűrítmenyek), ezért a cementezési kampány ennek a hulladéktípusnak a feldolgozásával fog indulni. Az először kezelésre kerülő folyékony hulladék összetételét a 1.a, b táblázat mutatja.

A radioaktív cementpép és a kötés után kialakult cementkő tulajdonságainak meghatározására a cement, beton és habarcs vizsgálati szabványok nem, vagy csak korlátozottan használhatóak.

- Az MSZ EN 196-1 meghatározott receptúrát és keverési módot ír elő a próbatest készítéséhez: keverési sebesség, ejtőasztalos tömörítés, CEN-szabványhomok, ioncserélt víz. Az általunk vizsgált cementpéphez használt „keverővíz” azonban nagy sótartalmú oldat, és a cementpép nagy v/c

1.a táblázat: A 02TW80B003 tartályban (550 m³) lévő sűrítmény összetétele

pH	Nitrát [g/dm ³]	Bórsav [g/dm ³]	Mólarány (NaOH/H ₃ BO ₃)	Sűrűség [kg/dm ³]	Szárazanyag [g/dm ³]
12	22,59	184,54	1,08	1,232	362,60

1.b táblázat: A 02TW80B003 tartályban lévő sűrítmény összetétele [mg/dm³] (ICP-spektrometria)

K	Na	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
2,87E+03	1,03E+05	1,90E-01	2,79E+00	< 2,00E-02	5,70E-01	1,24E+01
Cu	Li	Ca	Zn	Cd	Si	SiO ₂
9,16E+00	1,29E+01	2,36E+02	3,83E+00	8,20E-01	3,92E+01	8,39E+01

tényezője miatt túl kicsi a viszkozitása ahhoz, hogy a megadott fordulatszámokon készítsük el. A szabványnak csak a cementezési receptúra ellenőrzés során van jelentősége, mivel normál üzemi körülmények között a cementpép előállítás és a mintavételezés az üzemben történik.

- Az MSZ EN 196-3 szabványos folyósságú cementpép vizsgálatára vonatkozik. A radioaktív cementkő előállításánál viszont a cél, hogy minél nagyobb mennyiségű folyadék (minél nagyobb v/c) kerüljön szilárd halmazállapotba a lehető legkisebb térfogat növekedés mellett.
- Az MSZ 4798:2016 szerinti megfogalmazás szerint a beton „*Cement, durva és finom adalékanyag, valamint víz összekeverésével készített anyag adalékszerekkel, kiegészítőanyagokkal, illetve szálakkal vagy azok nélkül, és amelynek tulajdonságai hidratáció révén – a beton- öszszetételtől, a bedolgozástól, az utókezeléstől és a környezeti körülményektől függően – alakulnak ki.*” Ezzel szemben a folyékony hulladék felhasználásával készült cementpépek (a kimerült ioncserélő gyantát tartalmazó hulladékokat kivéve) nem tartalmaznak adalékanyagot, így nem tekinthetők betonnak.
- Az MSZ EN 1015-11 szabvány 7.2 fejezetében leírt próbatest készítési procedúra a radioaktív cementpéppel nem kivitelezhető annak kis viszkozitása (nagy v/c) miatt, ill. jelentős másodlagos radioaktív hulladék termelődésével járna. *Minden olyan anyag, amely a cementpéppel, vagy cementkővel érintkezik és a szennyeződés eltávolítása (dekontamináció) nem lehetséges, radioaktív hulladékot képez.*
- Az MSZ EN 998-1 szabvány pedig szintén (vakoló) habarcsokra vonatkozik.

4.3 Radioaktív cementpép vizsgálatok

A receptúra kidolgozás és ellenőrzés során a próbatestek előállítását az MSZ EN 196-1 szabványban előírt Controls 65-L0502 típusú keverőgéppel állítottuk elő, de a keverék kis viszkozitása miatt a fordulatszámot csökkentenünk kellett max. 200 rpm-re.

4.3.1 Konzisztencia vizsgálat

Az MSZ EN 1015-3 jelzetű falszerkezeti vizsgálati szabvány egy ejtőasztalos vizsgálat, mely szerint az ejtőasztal lapjára egy saválló acélból vagy rézből készült „*meghatározott forma segítségével az ejtőasztal lapjára friss habarcsot teszünk*”. A habarcs az ejtőasztal egyenletes frekvenciával történő ejtés során szétterül, melynek tolómérővel megmérjük az átmérőjét. Az ejtőasztal lapjának átmérője mindössze 300 mm, ezért attól tartottunk, hogy a radioaktív cementpép területe túl nagy lenne, és lefolyyna arról.

A betonterület mérésére használt szabvány (MSZ EN 12350-5) 700x700 mm méretű területmérő asztalt ír elő, amelynek közepére kell tenni a szabványos csonk kúp formájú öntőformát. A megnedvesített sablont két egyenlő rétegben meg kell tölteni a vizsgálandó betonkeverékkel, majd a bedolgozás után a felső réteget le kell simítani acélvonalzóval. A bedolgozás után 30 s-al a kúpformát leemeljük, majd 15-ször leejtjük az asztalt, és megmérjük a beton átmérőjét. Esetünkben a szabvány alkalmazása több okból nem célszerű. Egyrészt az általunk vizsgált cementpép radioaktív, ezért törekedni kell az indokolatlan kontamináció (szennyeződés) elkerülésére. A cementpép nagy v/c tényezője ebben az esetben túl nagy

területet okozott volna a pép kis viszkozitása miatt, és lefolyt volna az asztról.

Mivel a kezdeti receptúra kísérletek a Suttard módszer szerint zajlottak, ami dozimetriai szempontból sem okozott problémát (a kis mennyiségű minta miatt), megtartottuk ezt a vizsgálatot. A mérés során a cementpépet egy skálával ellátott vízszintes felületen elhelyezett Ø50x100 mm acélhengerbe töltjük, majd határozott mozdulattal felemeljük a sablont. Lemérjük a szétterült cementpép átmérőjét két irányban. Annyit kellett változtatni az eredeti módszeren, hogy üveglap helyett a mérést egy laminált, skálával ellátott milliméterpapíron végezzük, amelynek hajlíthatósága és tisztíthatósága révén a radioaktív cementpép könnyen és felesleges szennyeződés nélkül áttölthető a megfelelő helyre.

4.3.2 A cementpép testsűrűségének vizsgálata

A cementpép sűrűségének meghatározását az MSZ EN 12350-6 szabvány alapján végezzük, azonban az eljárásban előírt minimálisan alkalmazandó 5 l-es edény helyett 1 l-es edényt használunk. Ezt a méretcsökkentést abból a megfontolásból hajtottuk végre, hogy a cementpép nem tartalmaz adalékanyagot (nem beton), ezért ebben a méretben is homogénnek és reprezentatívnak tekinthető a mérés. A méretcsökkentésnek másik oka a már említett ALARA elv szem előtt tartása, így a felesleges dózisznövekmény elkerülése. A mérést tehát egy kalibrált 1 l-es saválló edényben, vibrálást követően végezzük. A kalibráláshoz üveglap helyett, könnyű plexilapot használunk.

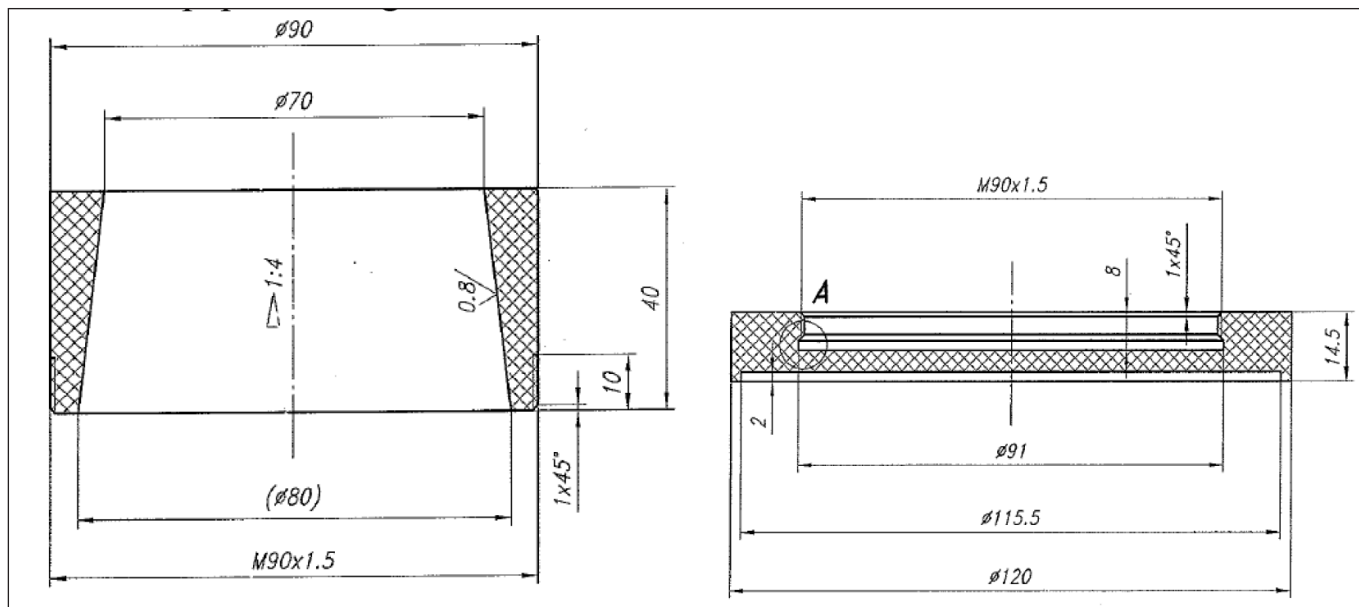
4.3.3 A kötési idő meghatározása

A cementpéppel szemben támasztott egyik fontos követelmény, hogy a kötési idő kezdetének meg kell haladnia a 2 órát és a kötésnek be kell fejeződnie 48 órán belül. A korai kötés elkerülésére azért van szükség, hogy elkerüljük a cementpép mixerben való kötését, valamint könnyen a konténerbe lehessen tölteni. A túl hosszú kötési idő akadályozza a hulladékcsoomaggal való manipulációt és a szállíthatóságot.

A mérésekre az MSZ EN 196-3 szabványnak megfelelő automata Vicat-készüléket használunk. A szabványban előírt szabványos folyósságú keverék készítési előírásának és a vizsgálati körülményeknek (laboratórium hőmérséklete és páratartalma) nem tudunk megfelelni, mivel a Paksi Atomerőmű helyiségeiben állandó dekompressziót kell fenntartani. A gyártásközi ellenőrzések során a cementpépet nem a laboratórium készíti, hanem a keverőtartályból fogunk mintát venni, illetve a keveréshez sem vizet, hanem folyékony radioaktív hulladékot használunk.

A bejárási maradékok nagy bórsav (borát) és szerves anyag tartalma miatt a cement kötési ideje megnő (Csetényi - Glasser, 1995; Davraz, 2010; Kratochvíl et al., 2014), ezért a Vicat-készülék ejtési között sem tudjuk tartani a szabványos 5 mm távolságot. A sűrítmény felhasználásával készült cementpépek viszkozitása sokkal kisebb a szabványos folyósságú keverékénél, ezért a szabványos Vicat-gyűrűből a cementpép a gyűrű és az üveglap érintkezésénél kifolyt. Ezért szükség volt egy új, speciális cementpép vizsgálatára is alkalmas Vicat-öntőforma tervezésére (4. ábra), amely megfelel a szabványnak, ugyanakkor megtartja a kis viszkozitású pépet szivárgás nélkül.

A kötési idő a sűrítmény borát tartalmának köszönhetően rendkívül hosszú, akár 80 óra is lehet ugyanakkor valószínűleg az oldatban lévő szerves anyag miatt a cementpép sok esetben rátapadt a Vicat-tűre (5. ábra). Ez a jelenség lehetetlenné



4. ábra: A menetes Vicat-gyűrű (balra), menetes alaplemez (jobbra) rajza

teheti a mérést, ezért kísérleteket végeztünk a cementpép kötési idejének féladiabatikus módszerrel (Wang et al., 2007; Rolo, 2013, Sedaghat et al., 2013) történő meghatározására is (4.3.4 fejezet).

4.3.4 Hőfejlődés-vizsgálat

A kompakt hulladékcsomaggal, így a cementpéppel szemben támasztott egyik követelmény, hogy a hidratáció során fellépő maximális hőmérséklet nem haladhatja meg a 80 °C-ot. Ezt a feltételt a receptúra kidolgozása és ellenőrzése során laboratóriumban, ill. a kampány kezdetén a konténerben (KHCS) is ellenőrizni kell.

A laboratóriumi mérésre egy min. 10 cm falvastagságú, 300×400×300 mm méretű polisztirol kalorimétert használunk, amelybe helyezük a műanyag főzőpohárba töltött 1 l (1800 - 1900 g) cementpépet. A vizsgálandó minta közepébe helyezük a teflonnal bevont termoelemet, egy másik érzékelővel a szobahőmérsékletet rögzítjük. Az adatokat egy Comet M1200 hőmérséklet adatgyűjtővel rögzítjük, majd az eredményeket számítógéppel értékeljük.

A kötési idő hőfejlődés-vizsgálaton alapuló meghatározásával kapcsolatos kísérleteink sajnos nem jártak sikerrel, mert a cementpép nagy bórsav koncentrációja miatt a kötési folyamat speciális módon megy végbe. Ez azt jelenti, hogy a Vicat-módszer szerinti kötési idő kezdete és vége állandó hőmérsékleten (30 – 35 °C) lejártszódik, így nem alkalmazható sem a deriváltak, sem a frakciós módszere (Wang et al., 2007, Rolo, 2013) azok meghatározására.

4.3.5 Kivérzés- és zsugorodásvizsgálat

A jelenleg alkalmazott módszer szerint egy zárható mintavételi poharat 40 mm magasan bejelölünk, majd a cementpéppel szintig töltjük és lezárjuk. A feladott folyadék mennyiségét 24 és 48 óra múlva pipettával leszívjuk a felületről és megmérjük a tömegét. A kivérzés mértéke nem haladhatja meg az 1 V/V%-ot.

A zsugorodást egyszerűen, manuális Vicat-készülékkel megmérhetjük úgy, hogy összehasonlítjuk a cementkő szintjét a bejelölt kezdeti szinttel. A kivérzés mértékének szabványos meghatározására az MSZ EN 480-4 szabvány adhat támpontot. Ez a szabvány a betonhoz szükséges keverővíz relatív mennyiségének meghatározására szolgál.



5. ábra: Radioaktív cementpép kötési idő meghatározása (hibás mérés)

A módszerhez egy levehető fedelű, 250±10 mm belső átmérőjű (280±10) mm magasságú, merev, nem nedvszívó és nem reakcióképes anyagból készült edényt kell használni. Ebbe kell betölteni három lépésben, tömörítés mellett a friss betont. A megtöltött edény felületét le kell simítani, és ki kell számolni a friss beton tömegét. Az elkészített mintát lefedve vízszintes, rázkódásmentes felületre kell helyezni, 20±2 °C-on, min. 65% relatív páratartalom mellett. 10 percenként le kell szívni a beton felületéről a feladott folyadék mennyiségét pipettával, majd 40 perc elteltével 30 percenként a vérzés megszűnéséig.

Ahogy látható, a szabványhoz (mint a beton szabványokhoz általában) nagyobb mennyiségű mintára van szükség, amely esetünkben nagyobb sugárdózissal járna, ezen kívül a mintavétel a pép felületét károsíthatja, illetve felkavarhatja a friss betont. Ráadásul ekkora méretben a szabványban leírt páratartalom és hőmérséklet követelményt nem tudjuk biztosítani.

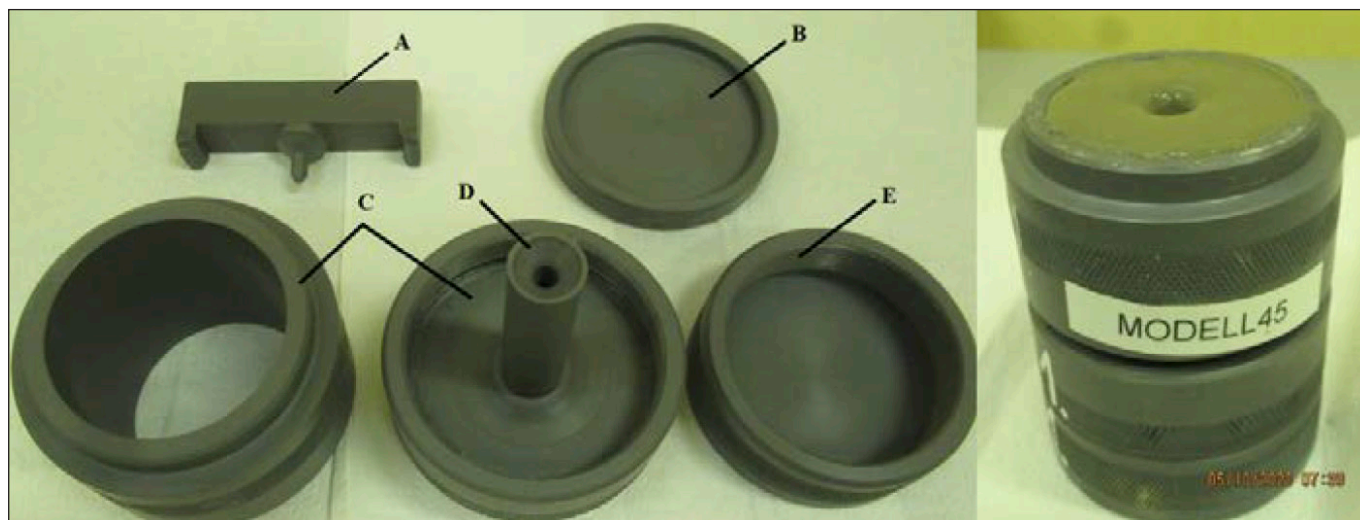
A nemzetközi irodalomban (Gökçe et al., 2018) azonban találtunk egy olyan készüléket, amely alkalmas lehet a radioaktív cementpépek kivérzésének meghatározására. Gökçe és munkatársai szerint a beton vizsgálatát egy átalakított szabványos edényben mérték (6. ábra). A henger közepére az edény alján áthaladó 22 mm átmérőjű csövet tettek, úgy hogy a magassága az edény fala alatt legyen 6 mm-el.

Az edényt a töltés idejére egy dugóval ellátott simítóeszközzel látták el, amely megakadályozta, hogy a beton a lefolyócsőbe kerüljön, illetve a töltés végén a felület könnyen lesimítható legyen. A feladott vizet a lefolyócső alján elhelyezett edényben gyűjtötték össze, ami már könnyen mérhető.

A fenti eszköz analógiájára terveztünk egy egyszerűbb, könnyebben kezelhető és sugárvédelmi szempontból is



6. ábra: Módosított szabványos kivérzés mérőedény (Gökçe et al., 2018)



7. ábra: Kísérleti eszköz a radioaktív cementpép kivérzésének meghatározására

előnyösebb (kisebb) kivérzésmérő eszközt (7. ábra). Az MSZ EN 480-4 szabványban megadott edény méreteit ötödére csökkentettük, így a henger belső átmérője 50 mm, a magassága pedig 56 mm lett.

Az eszköz egy szétcsavarható, 15 mm átmérőjű vízelvezető csővel (D) ellátott edényből (C), egy menetes folyadékgyűjtő tálkából (E) és egy fedélből áll (B). A cementpép betöltésének idejére a kupakkal ellátott simítót (A) a vízelvezető csőbe kell helyezni, majd a művelet végén körbe forgatva a felület lesimítható. A pép felületén összegyűlt folyadék a folyadékgyűjtő tálkába folyik.

Töltéskor ügyelni kell arra, hogy a kupakkal ellátott simítót csak akkor szabad eltávolítani, ha elérte a pép megfelelő konzisztenciáját, hogy ne kerüljön cementpép a lefolyócsőbe.

4.4 Radioaktív cementkő vizsgálatok

4.4.1 Kioldódásvizsgálat

A radioaktív hulladékok végleges elhelyezési koncepciója az ún. többszörös gátrendszer (multi-barrier) megközelítésen alapul, mely a műszaki, ember alkotta gátak és a geológiai környezet kombinációja. A műszaki gátrendszerek célja, hogy a radioizotópoknak csak kismértékű kiszabadulását engedje

meg hosszú időtartamon keresztül. Ez a cél kis kioldódású hulladékformával, a hulladék izolációját egy ideig biztosító csomagolással és a csomagolás körüli térkitöltéssel valósítható meg. A térkitöltés korlátozza a víz és az oldatok mozgását, kedvező kémiai feltételeket teremt, valamint bizonyos fokú adszorpciós tulajdonsággal bírhat a kioldódott izotópok megkötésére (Nős et al., 2010).

A kioldási vizsgálat alapját egy féldinamikus módszer képezi, melynek során egy hengeres próbatestet kioldó közegbe (ioncserélt víz) mártanak, majd azt meghatározott időközönként kicserélik, és a csere után meghatározzák a próbatestből kioldódott, vizsgált elemek koncentrációját, illetve a kioldódott anyag mennyiségét. Ez a próbatestben eredetileg jelenlévő össz mennyiséghez képest adja a differenciális kioldási százaléktörtet (IFL – Incremental Fraction Leached). A teszt időtartama alatt akkumulált résztörtekből kumulatív kioldási százaléktörtet (CFL – Cumulative Fraction Leached) kapunk. A teszt során, minél gyakrabban cseréljük a próbatest körül a kioldó közeget, annál inkább válik alkalmazhatóvá a folyamat leírására Fick I. törvénye, ellenben annál kisebb kioldott anyagmennyiséget tudunk mérni, ami növeli a mérési hibát, ezért a teszt során alkalmazott mérési periódusok igyekeznek megfelelni mindkét feltételnek.

A diffúziós együttható egy kémiai anyag jellemzője, amely kifejezi a koncentrációgradiensét egy adott közegben való stacionárius áramlása során (Fick I. törvénye):

$$j = -D \frac{dc}{dx}$$

ahol j a diffúziós áramsűrűség, D diffúziós tényező, c a koncentráció

Fick II. törvénye szerint a koncentráció időbeli változása egy adott helyen arányos a koncentrációgradiens helyváltozásával az adott időpillanatban:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

A HÁK (Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., 2018) előírása szerint a folyékony radioaktív hulladék felhasználásával készült cementkő esetén az egyes izotópok effektív diffúziós állandója nem haladhatja meg a 10^{-7} cm²/s (10^{-11} m²/s) értéket, az ASTM C1308-08 szabványban szereplő vizsgálati módszerrel értékelve.

4.4.2 Nyomószilárdság-mérés

A folyékony radioaktív hulladék cementbe ágyazásának feladata, hogy a folyékony halmazállapotú oldatból olyan szilárd terméket állítson elő, amely megfelel az NRHT hulladékátvételi követelményeinek (HÁK). A cementező technológiával minél nagyobb mennyiségű folyékony hulladék feldolgozása a cél a legkisebb térfogatnövekedés mellett. Tehát a maximális v/c tényező alkalmazásával kell biztosítani a HÁK-ban meghatározott min. 10 MPa nyomószilárdságot.

A cement kémiai vízigénye 23-28%, de a bedolgozáshoz szükséges konzisztencia eléréséhez 0,3 - 0,4 v/c tényező szükséges. A kötés következtében a cementkő zsugorodni kezd (korai, vagy plasztikus zsugorodás) és kialakulnak a felületére is kivezető kapilláris pórusok (Kausay, 2002, Nehme, 2004). A cementkő a fentiekben kívül tartalmaz a keverésből és a bedolgozásból származó légzárványokat is.

A cementkő szilárdsága a pórusmentesnek feltételezett cementkő szilárdságától és a cementkő porozitásától függ.

A szilárdság függvény Powers szerint:

$$R_{c,\square} = R_{c,max} \left(1 - \frac{p}{100}\right)^n$$

ahol $R_{c,max}$ a pórusmentesnek feltételezett cementkő kockaszilárdsága (kb. 200 MPa), p a porozitás, n hatványkitevő (kb. 4,7) (Balázs, 1994).

A nyomószilárdság mérésével a porozitáson keresztül a cementkő kioldódási tulajdonságaira is következtethetünk. A nagyobb porozitás több kapillárisal, így nagyobb felülettel jár együtt, a lazább szerkezetű pórusokba könnyebben behatol a víz, és könnyebben kioldódhatnak a radioaktív izotópok.

4.4.2.1 A sablonok tesztelése

A nyomószilárdság-mérést a kísérletek kezdetén az MSZ EN 196 szabványnak megfelelő törőgéppel és öntőformákkal végeztük a könnyebb kezelhetőség, és a kisebb mennyiségű radioaktív törmelék keletkezése miatt. Már ekkor is tapasztaltuk, hogy a cementpép kis mértékben kifolyik a formákból, illetve a cementpép erőteljesen korrozív tulajdonságú.

A végleges receptúra kialakítása után, a félüzemi próbák során már az MSZ EN 12390-1 szabványnak megfelelő 150 mm élhosszúságú acél öntőformát is használtunk. A tapasztalatok azonban azt mutatták, hogy a cementpép kifolyik (kvázi szűrődik) a forma illesztéseinek. A szívárgás megakadályozására

szilikonos és teflonos tömítéseket alkalmaztunk, amely sok esetben bevált, viszont nagyon hosszadalmassá tette a mintelőkészítést, és sok másodlagos hulladékkal járt a próbatest kizsaluzása. Ezeknél az öntőformáknál a cementpép agresszív korróziós viselkedése is problémát jelentett, mindössze egy használat után a pép lemarta a sablon festésének jelentős részét, ill. károsította a forma belső felületét, ezáltal a próbatestek felülete is egyenetlen lett.

A szétnyitható sablonok helyett végül az egyszerű, sűrített levegővel kizsaluzható sablonokat alkalmaztuk. Ezek előnye, hogy nem korrodálódnak, nincs szükség szigetelésre és könnyűek (kb. 1 kg). A hátrányuk viszont, hogy a kizsaluzásukhoz sűrített levegőre van szükség, amelynek eredménye elég bizonytalan: a próbatest megakadhat, és sérülhet.

4.4.2.2 A próbatest kizsaluzása és tárolása

A próbatesteket a lefedett öntőformában először egy klimatizált (20 ± 5 °C) átmeneti tárolószekrénybe fogjuk helyezni. Minden sablon alá kármentő tálca kerül az esetleges szívárgás felfogására. A radioaktív bepárlási maradékok felhasználásával készült próbatestek kizsaluzása csak 7 - 10 napos korban lehetséges - az MSZ EN 12390-2 szabványban leírt 3 nap helyett - az oldat nagy (kb. 180 g/dm³) bórsav és szerves anyag tartalmának kötés késleltető hatása miatt.

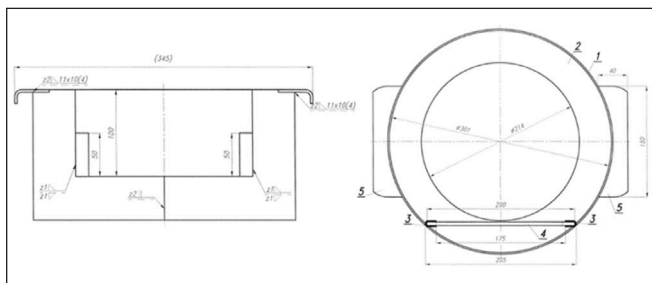
A kizsaluzást követően a 7 - 10 napos próbatesteket megtisztítjuk, feliratozzuk, kalibrált tolmérővel lemérjük a méreteit, és ellenőrizzük az oldalak párhuzamosságát. Megmérjük a próbatestek tömegét is, és az adatokból kiszámítjuk a cementkő testsűrűségét (MSZ EN 12390-7). A későbbiekben törésre kerülő (28 napos, esetleg 14 napos) próbatestek feliratozva klímakamrába kerülnek 20 ± 1 °C -on és 90% relatív páratartalom mellett. A tárolási körülményeket folyamatosan regisztrálni fogjuk. A szabvány szerinti vízalatti tárolást azért kerülnék, mert a próbatestekből izotópok oldódhatnak a vízbe.

A 28 napos, bepárlási maradék felhasználásával készült cementkövek nyomószilárdsága átlagosan 35 N/mm², amely jelentősen meghaladja a HÁK-ban (Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., 2018) leírt min. 10 N/mm² értéket.

4.4.2.3 A mérés kivitelezése

A nyomószilárdság-mérésnél az egyik legfontosabb szempont a sugárvédelmi szabályok betartása, és a belső sugárterhelés (inkorporáció) elkerülése. A vizsgálatot nagyon körültekintően kell végezni, mivel a próbatesttel végzett műveletek során nyílt radioaktív forrással kerülünk közvetlen kapcsolatba. A művelet során a szokásos egyéni védőfelszerelésen kívül gumikesztyű, légzésvédő és cipővédő lábszák használata is kötelező. Ezen kívül gondoskodni kell a nyomószilárdságmérő készülék törőkereteinek elszívásáról, és a mérés során keletkező kiporzás csökkentéséről. Ebből a célból a próbatestek nyomófelületre merőleges oldalait elasztikus fóliával (Parafilm) fogjuk betekerni, amely nem akadályozza a minta keresztirányú tágulását. A próbatest teljes egészét nem boríthatjuk be ezzel az anyaggal, mert biztosítani kell a nyomólapok és a minta felületén fellépő súrlódást. A fóliabevonattal csökkentenénk a tapadást, amely gyengítené a keresztirányú nyúlást gátló hatást, így meghamisítaná a mérési eredményeket (Balázs, 1994).

A nyomószilárdság-mérő készülékeket, így a törőkereteket is természetesen építőipari termékek vizsgálatára tervezték, amelyek esetén nem okoz gondot a mérés során keletkező kiporzás és törmelék szétszóródása. A radioaktív cementkő



8. ábra: Törmelékgyűjtő tálca: 1 oldallemez, 2 pozícionáló tárcsa, 3 vezetősín, 4 kémlelő ablak, 5 emelőfül

vizsgálatoknál azonban az elsődleges a kontamináció, és az inkorporáció megelőzése, ill. az ALARA elv betartása. A mérés során keletkező törmelék összegyűjtésére terveztünk egy tálcat, amely csökkenti a készülék és a laboratórium kontaminációját (8. ábra).

A tálca vastagsága kevesebb, mint az MSZ EN 12390-3 szabványban megadott min. 23 mm, a könnyebb kezelhetőség céljából.

A méréseket kezdetben 7, 14 és 28 napos korban tervezzük elvégezni, de az oldatban lévő borát és szerves anyag tartalom miatt a próbatetest kiszaluzhatóságának időpontja bizonytalan. Az öntőformák tesztelése során sok esetben csak 10 napos korban lehetett eltávolítani a sablont, ezekben az esetekben ltekintünk a 14 napos vizsgálatról.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A laboratóriumi vizsgálatok során a radioaktív cementpépet és a kötés után kialakuló cementkövet a betonvizsgálati szabványok alapján vizsgáltuk, amennyiben ez lehetséges volt. Figyelembe kellett vennünk azonban az ALARA elvet, így a betonvizsgálatoknál használt minták mennyiségét ésszerű mértékben csökkentettük. Ezt a döntést azért is hozhattuk meg, mert a betonnal ellentétben a radioaktív cementpép nem tartalmaz adalékanyagokat, ezért kis mennyiségben is homogénnek tekinthető.

A kísérletek alapján a *cementpép testsűrűségét* az MSZ EN 12350-6 szabvány alapján fogjuk végezni azzal az eltéréssel, hogy a méréshez 1 l cementpépet fogunk használni.

A *konzisztencia* méréshez azonban nem alkalmazható az MSZ EN 12350-5 szabvány a cementpép kis viszkozitása, ezáltal várhatóan nagy területe miatt. Ez a vizsgálat ésszerűtlenül nagy kontaminációt okozna, és felesleges sugárterheléssel járna, ezért megtartottuk a kezdeti kísérletek alatt alkalmazott Suttard-féle terület mérést.

Mivel a beton *kötési idejének mérésére* nincs szabvány, ezért erre a vizsgálatra az MSZ EN 196-3 cementvizsgálati szabványban előírt Vicat-módszert alkalmaztuk. A vizsgálatra automata Vicat-készüléket fogunk használni, mert a cementpép boráttartalma késlelteti a cement kötését. A szabványos Vicat-gyűrűt módosítanunk kellett, ezért terveztünk egy menetes, zárható, de a szabványban írtaknak megfelelő Vicat-öntőformát.

A *kivérzés* mértékének méréséhez az MSZ EN 480-4 szabvány által előírt módosított mérőeszközt kívánjuk használni, amely a kezdeti kísérletek során megfelelőnek látszik. Ebben az esetben is a sugárdózis csökkentésének érdekében a vizsgálandó minta számának csökkentésére volt szükség, ami a cementpép homogenitása miatt szintén kivitelezhető. Az eszköz tervezésének alapját Gökçe és munkatársai által készített módosított öntőforma adta, amelynek méretét ötödére csökkentettük, és leegyszerűsítettük.

A *zsugorodás* mérést a kiindulási kísérletek során alkalmazott, 40 mm magasan bejelölt fedővel ellátott műanyag pohárban fogjuk elvégezni. A mérés során manuális Vicat-készülék segítségével határozzuk meg a kötés során bekövetkező szintkülönbséget.

A *nyomószilárdság vizsgálatára* az MSZ EN 12390-1 szabványban előírt próbatestek öntőformáinak tesztelése azt az eredményt hozta, hogy erre a célra a legalkalmasabbak a sűrített levegővel kiszaluzható műanyag öntőformák. A radioaktív cementpép ugyanis korrozív hatása miatt korrodálja az acél öntőformákat, kis viszkozitása és adalékanyag hiánya miatt pedig kifolyik a sablonból. Az öntőforma zárócsavarját még ebben az esetben is tömíteni kell. A próbatestek tárolása (érelése) 20 ± 1 °C on, 90 % relatív páratartalmú klímakamrában lehetséges, mivel a vízalatti tárolás további problémát okozna a víz radioaktív kontaminációja folytán.

A *nyomószilárdság-mérést* az MSZ EN 12390-3 szabvány alapján kívánjuk elvégezni, de az elsődleges célunk a pontos mérésen kívül a radioaktív kontamináció elkerülése. Ennek érdekében a próbatest terhelésre merőleges oldalát elasztikus fóliával (Parafilm) kell bevonni a kiporzás megakadályozására, valamint törmelékgyűjtő tálcat kell használni a radioaktív törmelék felfogására.

A kioldódás vizsgálatot, azaz a diffúziós együttható meghatározását az ASTM C1308 szabvány szerint fogjuk végezni, és attól semmilyen formában nem térünk el. A vizsgálatot minden szoba jöhető izotópra elvégezzük, amelyek közül a legfontosabbak a ^{60}Co , ^{137}Cs és a ^3H . A kioldó oldatokat γ és β , esetleg α spektrometriásan analizáljuk, majd a szabványban szereplő vizsgálati módszerrel kiértékeljük.

A cementezett radioaktív hulladékvizsgáló laboratórium a tanulmányban taglalt vizsgálatok és eszközfejlesztések következtében kellő mértékben felkészült a cementező technológiából származó radioaktív cementpép ellenőrzésére. A működése során biztosítani fogja a Paksi Atomerőműből kikerülő, és végleges tárolásra kerülő hulladékcsoomagok szigorú minőségellenőrzését, amellyel garantálja az NRHT által előírt hulladék átvételi követelmények maradéktalan betartását.

6. HIVATKOZÁSOK

- 155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet a radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről
- 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről
2015. évi CLXXXV. törvény a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény, valamint az egyes közszolgáltatások ellátásáról és az ezzel összefüggő törvénymódosításokról szóló 2013. évi CXXXIV. törvény módosításáról
- Balázs Gy. (1994), „Építőanyagok és kémia”, *Műegyetemi Kiadó*, Budapest
- Blasdale, W. C.; Slansky, C. M. (1939), „The Solubility Curves of Boric Acid and the Borates of Sodium”, *Journal of the American Chemical Society*, April, <https://doi.org/10.1021/ja01873a043>
- 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* Vol. 7 (25) Jan., 13-19, <https://doi.org/10.1680/adcr.1995.7.25.13>
- Coumes, C. C. D. (2003), „Cementation of a low-level radioactive waste of complex chemistry Investigation of the combined action of borate, chloride, sulfate and phosphate on cement hydration using response surface methodology”, *Cement and Concrete Research* Vol. 33 305–316, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00943-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00943-2)

- Davraz, M. (2010), „The Effects of Boron Compounds on the Properties of Cementitious Composites”, *Science and Engineering of Composite Materials*, Vol. 17, Jan., 1-18, <https://doi.org/10.1515/SECM.2010.17.1.1>
- Gökçe, H. S.; Andiç-Çakır, Ö. (2018), „Development of a Functional Bleeding Test Apparatus for Fresh Concrete”, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 47, <https://doi.org/10.1520/JTE20170396>
- IAEA (1996), Processing of Nuclear Power Plant Waste Streams Containing Boric Acid. TRS No. 911
- Kausay T. (2002), „Pörüsszerkezet”, *Beton szakmai havilap*, 04/2002 14
- Kappel V. (2021), A cementező technológia bemutatása, *Személyes közlés*, 2021
- Kratochvíl, J.; Opravil, T; Pavel, D. (2014), „The effect of boron and its compounds on setting of portland cement”, *Advanced Materials Research* Vol. 1000 16-19, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1000.16>
- MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2019), „Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Radioaktív hulladékainak kezelése, tárolása és elhelyezése”, Éves jelentés 2019
- Nehme, S. G. (2004), „A beton porozitása”, *PhD értekezés*
- Nős B.; Ormai P.; Fritz A.; Bérci K.; Feil F. (2010), „A Bátaapáti NRHT hulladék átvételi rendszere, és ennek alkalmazása egy jellemző hulladéktípusra”, *Nukleon* 03/2010, ISSN: 1789-9613
- Pungor E. (1987), „Analitikusok kézikönyve”, *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest, 1987
- Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. (2018), „Hulladék átvételi követelmények”, *NRHT üzemeltetést megalapozó biztonsági jelentés* (RHK-K-076B/16), 11. fejezet: Üzemeltetési feltételek és korlátok
- Sedaghat, A.; Zayed, A.; Sandberg, P. (2013), „Measurement and Prediction of Heat of Hydration of Portland Cement Using Isothermal Conduction Calorimetry”, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 41, <https://doi.org/10.1520/JTE20120272>.
- Spence, R. D.; Shi, C., (2005), „Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes”, *CRC Press*, New York, NY, USA, 2005
- Rolo, L. (2013), „Monitoring of the Cement Hydration Behavior and Determination of Non-Standard Laboratory Indicators of Setting Time”, Thesis for: MEng in Civil Engineering, <https://doi.org/10.13140/2.1.1963.6480>
- 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*, Vol. 153., http://lib.dr.iastate.edu/intrans_reports/153
- ASTM C1308-08(2017) Standard Test Method for Accelerated Leach Test for Diffusive Releases from Solidified Waste and a Computer Program to Model Diffusive, Fractional Leaching from Cylindrical Waste Forms, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/C1308-08R17>
- 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 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.
- Dr. Kopecskó Katalin** (1961) okl. vegyészmérnök (BME, Vegyészmérnöki 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, valamint az MSZT/MB 102 „Cement és mész” Nemzeti szabványosító műszaki bizottság tagja.
- Feil Ferenc** (1970) okl. vegyészmérnök (BME, Vegyészmérnöki Kar, 1995) Munkahelyei: Atomix Kft., MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Szakterülete a szilárd és folyékony radioaktív hulladékok kezelése, kondicionálása, amely területen technológus mérnökként kezdett, jelenleg osztályvezetőként irányítja a szakterület tevékenységeit az atomerőműben. Érdeklődési területei: membrántechnológiák, cézium szelektív szorbensek, folyékony radioaktív hulladékok szilárdítása cementezéssel.
- Lukáš Grič** (1977) vegyészmérnök, kísérleti szakember. A Chemcomex, a.s. fejlesztési osztályán dolgozik 18 éve. Érdeklődési területei a radioaktív hulladékfeldolgozás, és a veszélyes hulladékégetőből származó pernye kezelése.

RADIOACTIVE WASTE EMBEDDING IN CEMENT MATRIX AND THE ESTABLISHMENT OF CEMENTED WASTE TESTING LABORATORY AT PAKS NUCLEAR POWER PLANT

Attila Baranyi – Katalin Kopecskó – Ferenc Feil – Lukáš Grič
 For the treatment of low and intermediate level radioactive waste generated at the Nuclear Power Plant of Paks, a new compact waste package will be created with a new cementing technology currently under construction. During the operation the solid waste will be placed in steel drums than these drums will be placed into a thin-walled steel container. The cavity volume in solid waste is filled with cemented slurry made using liquid radioactive waste. Compact waste packages must comply with the waste acceptance criteria described in the National Radioactive Waste Repository Safety Report. The task of the cemented waste testing laboratory, which is under construction is the in-service inspection of the properties of the finished cemented material, furthermore to determine the compressive strength and leachability (diffusion coefficient) of the specimens made thereof. During the installation of the laboratory and testing of the devices used in the cement/concrete industry, it turned out that in many cases special moulds are required due to the low viscosity and corrosive properties of the radioactive paste. In addition, the collection of debris generated during the measurement of the compressive strength of radioactive cement stone and the minimization of dusting are important requirements.

Hivatkozott szabványok listája

- MSZ EN 196-1: 2016 Cementvizsgáló módszerek. 1. rész: A szilárdság meghatározása
- MSZ EN 196-3: 2017 Cementvizsgáló módszerek. 3. rész: A kötési idő és a térfogat-állandóság meghatározása
- MSZ 4798: 2016 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon
- MSZ EN 1015-3:2000 Falszerkezeti Habarcsok vizsgáló módszerei. 3. rész A friss habarcs konzisztenciájának meghatározása (ejtőasztallal)
- MSZ EN 12350-5: 2019 A friss beton vizsgálata. 5. rész: Terülmérés
- MSZ EN 12350-6: 2019 A friss beton vizsgálata. 6. rész: Testsűrűség
- MSZ EN 12390-1: 2013 A megszilárdult beton vizsgálata. 1. rész: A próbatetek és sablonok alak-, méret- és egyéb követelményei
- MSZ EN 12390-2: 2019 A megszilárdult beton vizsgálata. 2. rész: Szilárdságvizsgáló próbatetek készítése és tárolása
- MSZ EN 12390-3: 2019 A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatetek nyomószilárdsága

A KIS ALAKVÁLTOZÁSOK ELVÉNEK ALKALMAZÁSA KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁSOK KIDOLGOZÁSÁHOZ



Orosz Árpád

A korszerű nagy teljesítményű számítástechnikai módszerek megállíthatatlan fejlődése mellett is szükség van egyszerűen kezelhető, a gyakorlat és biztonság igényeit kielégítő pontosságú közelítő módszerekre. A dolgozat bemutatja, hogy a mechanikából ismert kis alakváltozások elvének alkalmazása esetén a közelítő módszerek kidolgozásához elegendő az egyensúlyi feltételek teljesítése. Az építőmérnöki tartószerkezetekben az igénybevételeket néhány százalékos pontossággal kell meghatározni. A pontosságot a valósághű erőtani modell, a számítási módszer, valamint a felhasznált alapadatok megbízhatósága határozza meg.

Kulcsszavak: kis alakváltozások elve, mérnöki pontosság, erőtani modell, számítási módszer, biztonság

1. BEVEZETÉS

Az emberi, de különösen a mérnöki tevékenység célja egy tökéletes, abszolút pontos létesítmény megvalósítása. Ezt a célt különböző, itt most nem részletezett okok miatt csak bizonyos pontossággal lehet elérni. A közvéleményben általánosan elterjedt fogalom, az úgynevezett „mérnöki pontosság”. A pontosság és a vele analóg gondosság igénye a mérnöki tevékenység minden területére, így a tervezés, a megvalósítás, a tudományos kutatás, az üzemeltetés területére kiterjed.

A jelen dolgozatban csak a tervezés, azon belül is csak az erőtani számítással kapcsolatos pontossági követelményeket, problémákat vizsgáljuk, az építőmérnöki szakterületre korlátozva.

2. A MÉRNÖKI FELADAT MEGOLDÁSA

Felvetődik a kérdés, ki is az a mérnök? Röviden az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

„A mérnök a társadalomnak az az elhivatott tagja, egy nagyszerű mesterség művelője, aki a természeti erőforrásokat a természettudományok segítségével, másokkal együttműködve, olyan alkotások, létesítmények megvalósítására fordítja, amelyek a társadalomcéljait szolgálják.”

Ezek megvalósításához a társadalom tulajdonában lévő eszközöket használja, ezért a rendeltetés szerinti működésükért felelősséggel tartozik. A felelősség arra kényszeríti, hogy munkáját gondosan és pontosan végezze.

2.1. A társadalmi igény meghatározása, felmérése

A mérnöki feladat megoldásának első lépése különösen gondos előkészítést igényel. A jelenlegi helyzet mellett, a

fejlődés iránya, gyorsasága meghatározó jelentőségű, ezért ezt tapasztalt szakértőkre kell bízni.

2.2. A létesítmény szerkezeti rendszere kialakításának megválasztása

A tapasztalat szerint végtelen sok megoldás létezik, és ezek közül kell kiválasztani a valamilyen szempont szerint meghatározott optimumot. Ezek lehetnek üzemeltetési, funkcionális, szerkezeti rendszer, erőtani, pénzügyi, tartóssági, megvalósítási idő iránti, technológiai, fenntartási stb. igények. Az optimum közelében több, lényegében azonos értékű megoldás található. Az ezek közötti választáshoz jelentős tapasztalatra van szükség és közelítő módszerek alkalmazhatóak. Egy pályázathoz csak egy kiemelt változathoz kell részletesebb igazolást kidolgozni. E vizsgálat során például az erőtani számításokat már pontosnak tekintett módszerekkel kell elvégezni.

A pontossági igénye

A pontosság a valóságtól való eltérés mértéke. Miben mérjük a pontosságot? A mértékegységekben való meghatározás az összehasonlítást lehetetlenné teszi, ezért a legegyszerűbb és általánosan használható a százalékban való meghatározás. Az építőmérnöki területen a tartószerkezetek erőjátékának vizsgálata során a pontossági igény 3-5 százalékban a szerkezeten megjelenő alakváltozások esetében egy nagyságrenddel szigorúbbak a követelmények, és ez 1-2 ezrelékben határozható meg.

2.3. Az erőtani vizsgálat

2.3.1. Az erőtani számítási modell

A tervezés egyik legfontosabb része a teherviselő szerkezet erőjátékának, biztonságának meghatározása. Ehhez a mérnök a matematika eszközeit használja. A szerkezet kialakítása alapján egy egyszerűsített, idealizált úgynevezett matematikai modellt alkot, és a számításokat ezen hajtja végre. Ez a modellalkotás rendkívül nagy tapasztalatot igényel, ugyanis többféle modellt lehet kialakítani, és a valóságot az adott esetben legjobban megközelítőt kell alkalmazni. A kiválasztott matematikai modellen végrehajtott számításnak azonban csak egy megoldása van. A számítási módszerek különbözőek lehetnek, így analitikus, iterációs, grafikus stb. eljárásokat lehet alkalmazni, azonban csak egy megoldás létezik, mindegyik ugyanazt a végeredményt szolgáltatja. A mérnöki szerkezet erőtani vizsgálatában alkalmazott eljárások az alábbi részekre épülnek:

2.3.2. Számítási módszerek, eljárások

Az ó és középkori tapasztalaton alapuló módszerek után, néhány száz évvel ezelőtt kialakultak és rendkívül gyorsan fejlődtek az egyszerű analitikus, grafosztatikus, majd erő és mozgás módszerek, később megjelent a végeses elemes módszer a számítástechnika és ez alapvető változást jelentett. A fejlődés rendkívül gyors, a megbízhatóság, pontosság jelentősen növekedett és a több dimenziós eljárások is megjelentek.

2.3.3. Terhek és hatások

A számítási módszerekben alkalmazott terheket és hatásokat a szabályzatok részletesen meghatározzák, ezek közül egyet emelünk ki, nevezetesen a mozgó teherből származó dinamikus igénybevételek meghatározását. Az átlagos építőipari szerkezetek esetében a pontosabb – a tömeg, a sebesség stb. figyelembevételével - kidolgozott módszerek helyett azt az egyszerűbb módszert alkalmazzák, amely szerint a statikus igénybevételeket egy a szabályzatokban meghatározott dinamikus tényezővel megszorozzák. Ezek a dinamikus tényezők átlagos értékek és így közelítések, pontatlanságot tartalmaznak. Pontosnak tekinthető dinamikai vizsgálatra, csak kiemelt jelentőségű létesítmények esetében van szükség. Dinamikai jellegű a földrengésből származó hatások számítása.

2.3.4. Az alkalmazott anyagok

A felhasznált anyagok előállítási technológiái, szilárdsági és egyéb tulajdonságai jelentősen fejlődtek. Itt a beépített anyagok minőség ellenőrzésének fejlesztése a feladat. Tervezés esetén a szabályzati előírásokat, ellenőrzés során a beépített anyagokat kell figyelembe venni.

2.3.5. A biztonság

A biztonság és a kockázat egymás reciprokai. Biztonságos valami akkor, ha a meghibásodás valószínűsége egy bizonyos szintet nem halad meg. A biztonsági szintek pl. az alábbiak: ideiglenes 3~5 évre épülő létesítménynél minden ezredik (10^3), a 100 évre épülő átlagos létesítmény esetén minden tízezedik (10^4), a 100 évnél hosszabb időre készülő kiemelt létesítmény esetében minden százezedik (10^5) tönkremenetele valószínűsíthető. A szintekbe való besorolást, a biztonsági tényezőket és alkalmazásuk módját a szabályzatok, előírások tartalmazzák. A kezdeti egységes biztonsági tényezőt felváltó osztott biztonsági tényező módszer jelentős fejlődést hozott, de a pontosságot ezek megválasztása határozza meg. A biztonsági tényező a tönkremenetelt jelzi, törés, azaz

tönkremenetel esetén ez elég jól meghatározható, a használhatóságot jelző határ megállapításánál viszont szubjektív tényezők is jelentkezhetnek.

3. A MÉRTÉKADÓ, ILLETVE A HATÁRIGÉNYBEVÉTELEK MEGHATÁROZÁSA

A kiválasztott erőtani modellen ki kell számítani az igénybevételek, alakváltozások stb. alapértékeit. A szabályzatokban előírt biztonsági tényezőkkel és csoportosítással a mértékadó, illetve határigénybevételek (tervezési értékek) meghatározhatóak. Ezek tehát nem valóságos, hanem fiktív, számított értékek, mennyiségek. Nagyságukat, pontosságukat az alkalmazott tényezők, csoportosításuk rendszere határozza meg. A változatos tényezők és csoportosítás miatt a pontossági követelmény meghatározása bizonytalan. A pontossági igény, mint korábban említettük, 3-5 %-ban határozható meg. Amennyiben a számításnál a bemenő adatok valószínűségi változók, akkor a pontosság is az.

4. ALAKVÁLTOZÁSOK, ELMOZDULÁSOK, FESZÜLTSÉGEK

4.1. A kis elmozdulások elve

Általános esetben a külső teher hatására létrejövő alakváltozások és feszültségek közötti összefüggések meghatározása bonyolult feladat. A mechanikából, illetve az elemi szilárdságtanból ismert a kis elmozdulások elve, amely lehetővé teszi közelítő feltevések bevezetését, és a számítások egyszerűsítését. Ilyen például a hajlított tartónál a sík keresztmetszetek feltevése, amely Bernoulli-Navier törvény néven ismert. A kis elmozdulások elvének alkalmazását az elemi szilárdságtanban azzal indokolják, hogy egy híd, illetve tartó gerenda lehajlása a feszítávolsághoz viszonyítva nagyon kicsiny, a feszítávolság ötszázad- egy ezredénél is kisebb. Kis alakváltozásnak tekintjük, tehát az 1-2 ezrelék vagy ennél kisebb elmozdulásokat (Kaliszky et.al, 1990)

4.2. Egyenes hajlítás

Az elemi szilárdságtanban, ha csak „tisza hajlítás” működik, azaz a nyíróerő zérus, akkor a normálfeszültséget a jól ismert képlettel lehet meghatározni, azaz:

$$\sigma = \frac{M}{J} y = \frac{M}{K} \quad (1)$$

Itt feltételezték a Bernoulli-Navier elv, azaz a kis elmozdulások elvének érvényességét. A képlet levezetése során csak egyensúlyi feltételeket használtak, azaz az alakváltozásokat elhanyagolták.

4.3. Hajlítás és nyírás

Összetett igénybevételek, azaz M hajlítónyomaték és Q nyíróerő egyidejű működése esetén az elemi szilárdságtanban az alábbi összefüggést vezették be:

$$\tau_{yz} = \frac{QS_x}{J_x S} \quad (2)$$

a képletnek a levezetése során felhasználták a tiszta hajlítás esetén érvényes összefüggést (1) (Kaliszky et al 1990). Ez logikai ellentmondást jelent, mert feltételezték, hogy valami nincs, és az így kapott eredményt alkalmazták annak a meghatározására, hogy mekkora az, ami nincs. Itt is érvényesnek tekintették a sík keresztmetszet elvét.

4.4. A csavarás

Ezzel kapcsolatban csupán annyit emelünk ki, hogy itt is érvényesnek tekintik a kis alakváltozások elvét, azaz a keresztmetszet öblösödésének a hatását nem vizsgálják. Az így kapott képlet

$$\tau_z(r) = \frac{T}{I_0} r \quad (3)$$

Az (1) (2) (3) jelű képletek tehát tulajdonképpen közelítések, azonban pontosságuk a gyakorlati igényeket kielégíti, ezért általánosan használtak és a gyakorlatban már pontosaknak tekinthetők.

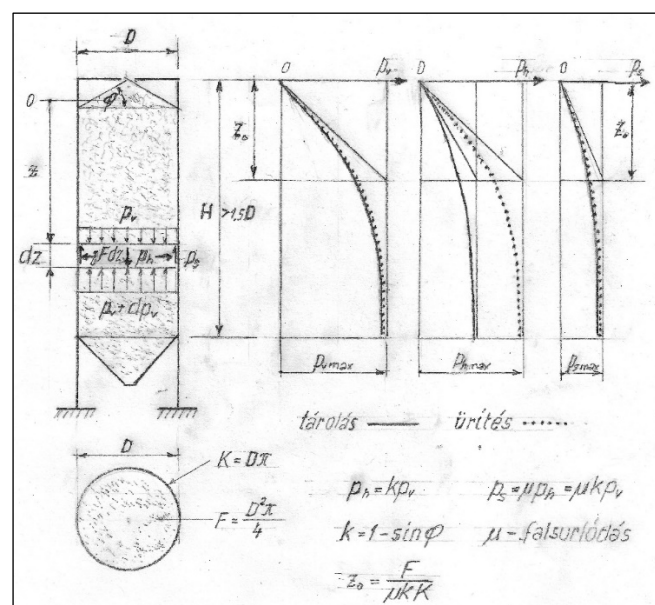
5. PÉLDÁK

5.1. A silónyomások

Janssen 1895-ben modellkísérletek alapján megállapította, hogy a silóban tárolt anyag súlyának egy része a cella fenéklemezén keresztül, a másik része a falon való súrlódással közvetlenül adódik át az alapozásra. A silóban nyugalomban lévő anyag esetén a nyomásviszonyok számításával való meghatározására az ábrán látható cellán egy d magasságú elemi részre ható nyomások egyensúlyára az alábbi egyenletet írta fel. (Bölcskei, Orosz, 1971)

$$F \gamma dz + p_v F - (p_v + dp_v) F - p_s K dz = 0 \quad (4)$$

- γ a tárolt anyag térfogatsúlya
- A függőleges nyomás: p_v
- A vízszintes nyomás: $p_h = k p_v$ ahol $k = 1 - \sin \varphi$ a földnyomás elméletből ismert tényező
- A súrlódó nyomás: $p_s = \mu p_h = \mu k p_v$ ahol μ a falsúrlódási tényező.



1. ábra: A silónyomások

Az 1. ábra jelöléseivel felírt egyensúlyi egyenlet három ismeretlent tartalmaz. Bevezetve a $z_0 = \frac{F}{\mu k K}$ mennyiséget, és felhasználva a p_h és p_s előzőek szerinti meghatározását, rendezés után az alábbi elsőrendű differenciálegyenletet kapjuk, amely csak egy ismeretlent, a p_v függőleges nyomást tartalmazza.

$$\frac{dp_v}{dz} = \gamma \left(1 - \frac{1}{z_0 \gamma} p_v \right) \quad (5)$$

A kezdeti feltétel a $z=0$ helyen $p_v=0$, így a megoldás:

$$p_v = z_0 \gamma \left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}} \right) \quad (6)$$

$z = \infty$ esetében a legnagyobb nyomások:

$$p_{vmax} = \gamma z_0$$

$$p_{hmax} = k \gamma z_0 \quad (7)$$

$$p_{smax} = \mu k \gamma z_0.$$

Az (5) jelű egyenlet tehát csak egyensúlyi feltételeket tartalmaz, az alakváltozásokat nem veszi figyelembe, a kis alakváltozások elvének alkalmazásával, így ez tulajdonképpen egy közelítő számítási modell, a (6) megoldás azonban a gyakorlat számára pontosnak tekinthető. Azt, hogy ez a modell elfogadható az bizonyítja, hogy a megoldás valóságosan adja meg a nyomások tényleges, exponenciálisan csökkenő eloszlását. A megoldás, azaz a számítási eljárás pontosságát akkor az úgynevezett bemenő adatok, a γ , a k , és a μ tényezők határozzák meg. A természetes nagyságban gabonasilókon végrehajtott kísérletek szerint tárolás esetében $k_t = 0,5$, $\mu_t = 0,4$ ürítéskor $k_i = 1$ és $\mu_i = 0,2$ tényezőkkel a számított értékek a mérési eredményekkel jó egyezést mutattak.

Megjegyezzük, hogy az ürítési állapotban a pontos vizsgálathoz a mozgásban lévő anyagra vonatkozó dinamikai egyenleteket kellene alkalmazni, ami nyilvánvalóan bonyolult lenne.

A felvázolt közelítés hasonló a tartószerkezetek esetében alkalmazott eljáráshoz, ahol dinamikus hatásokat úgy veszünk figyelembe, hogy a statikus értékeket egy dinamikus tényezővel megszoroyjuk. Az előzőek alapján nyilvánvaló, hogy a modell meghatározása alapvető jelentőségű, mert ha a jelenség a hatások leírására alkalmas, akkor a hozzá kapcsolt számítási módszerekben már közelítéseket, feltételezéseket is lehet alkalmazni. A silónyomásokkal kapcsolatos kísérleti eredményeket az (Orosz-Simurda 1985) (Orosz-Simurda-Varga 1990) (Orosz, 2001) (Dulácska-Bódi, 2018) dolgozatok részletesen ismertetik.

5.2. A mélyalappal gyámoltott alaplemezek

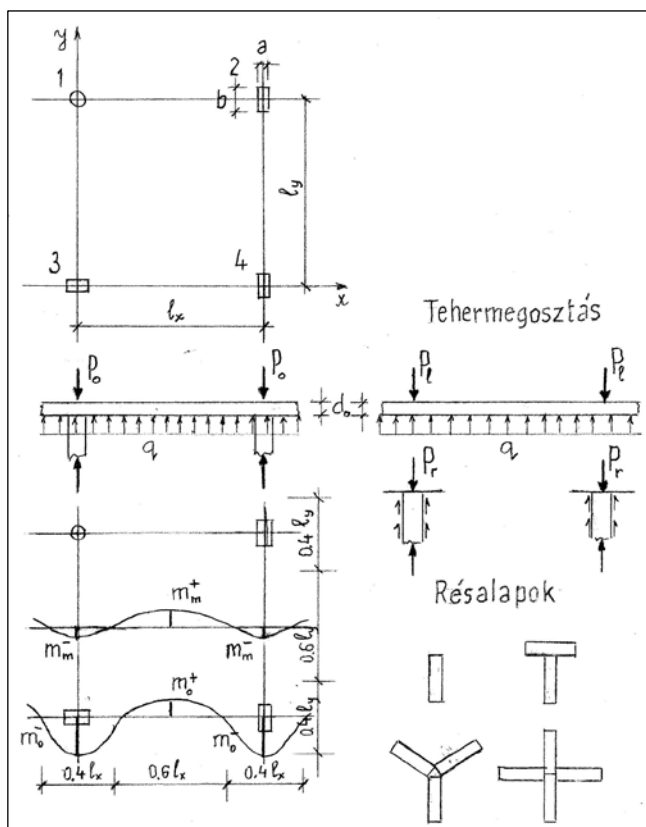
5.2.1. Cölöpökkel gyámoltott alaplemez

A cölöpök kiosztása lehet ritka vagy sűrű. A hazai gyakorlat a szerkezettervező szoftverekkel, a rugalmasan ágyazott lemezhez és cölöpökhöz iterációval felvett ágyazási tényezővel és cölöp rugókkal dolgozik. Ezek nem talajfizikai

paraméterek, nem állandók, és csak egy pontban érvényesek. Az iterációt több pontban kell végrehajtani, amihez nagyteljesítményű számítógépek szükségesek. Ezzel a pontosnak nevezhető geotechnikai modellel nem foglalkozunk, részletes ismertetés található a (Lődör-Móczár 2018) dolgozatban.

5.2.2. Réspillérrel gyámoltott alaplemezek

Az alaplemez gyámoltására sikeresen alkalmazhatóak a réseléssel előállított réspillérek, ugyanis a munkagödör körülhatárolásához szükséges technológia a helyszínen rendelkezésre áll, erre is felhasználható. Az alapozási rendszer kidolgozói elsősorban a megvalósítási technológia fejlesztésére törekedtek, hogy a vasalás szerelése egyszerű, minél kevesebb fajta vasátmérő és vasalás fajta legyen, csökkenjen a helyszíni élőmunka, az anyag és a munka árak optimálisan alakuljanak. Azt az alapelvet fogadták el, amely szerint az „az elmélet a gyakorlat szolgálóleánya”. Részletesen tárgyalják a témát (Orosz 2014,2016) (Orosz, Nagy, Zábrádi, Horváth, Répánszki, 2017) (Orosz, Nagy, 2018) (Nagy, 2019) dolgozatok.



2. ábra: Réspillérekkel gyámoltott alaplemez számítási elvei

A „tartószerkezeti modellnek” nevezhető módszer a tehermegosztás elvére épül, oly módon, hogy a vasbeton alaplemez választja alapul, ugyanis ennek teherviselő képessége a gyakorlat igényeit kielégítő pontossággal számítható. Az átlagos 50-50%-os tehermegosztás esetére (meghatározott teherre) a lemez mérete, vasalása mind hajlítónyomatéokra, mind átszűrődásra jól meghatározható. A teljes teher és a lemezteher különbségére kell méretezni a mélyalapokat, így mindkettő jól kihasznált gazdaságos szerkezeti elem lesz. Az alaplemez igénybevételeit a szakirodalomban található fix alátámasztású síklemezekre kidolgozott táblázatokból számíthatóak. Az alaplemez tehát fix alátámasztású fordított

födémként vizsgáljuk. Ezt az indokolja, hogy jelentős a felszerkezet merevítő hatásának változása, ugyanis már az építés idején oly mértékben nő a szerkezet merevsége, hogy az korlátozza a tehernövekedésből származó alakváltozásokat. Ennél a módszernél tehát elhanyagoljuk a rugalmas ágyazásból származó mozgásokat. A megépült létesítményeken végzett mérések 1/1000 nagyságrendű alakváltozásokat 1 cm-nél kisebb süllyedés különbségeket jeleztek, azaz a kis alakváltozások elve érvényesnek tekinthető. Nagy előnye ennek az alapozási rendszernek, hogy a tervezés közben megváltozott oszlopterhek esetében az alaplemez vasalás által jól meghatározott teherviselő képessége változatlan maradhat, nem kell vasalási tervet átdolgozni. A többlet teher a réspillérekre hárítható, a tervek is csak ki mértékben módosulnak.

Megjegyezzük, hogy az alapozási rendszer fejlesztése mintegy három évtizede kezdődött, abban az időben még nem léteztek az úgynevezett pontosabb számításhoz szükséges számítástechnikai eszközök és módszerek, így a hagyományos eljárásokra kellett támaszkodni. A tapasztalat szerint, sem a megbízót, sem a közreműködőket nem érdekelte az igénybevételek számítási módszere, az ár és a határidő volt a döntő.

Alapfeltételek :

$$\frac{l_x}{l_y} = 0.8 - 1.25 \quad \text{között,} \quad d_0 = \frac{l}{10} - \frac{l}{20}$$

$$\text{között,} \quad d_0 > 40 \text{ cm} \quad a_{min} = 0.4l$$

A teljes oszlopteher: P_0
A résekre hat: $P_r = \alpha P_0$
A lemezre hat: $P_l = (1 - \alpha)P_0$ $\alpha = 0.3 - 0.7$
között javasolt $\alpha \approx 0.5$

A talajreakció : $q = \frac{P_l}{l_x l_y}$
A nyomaték : $m = c q l_x l_y = c P_l$
Oszlopsáv : $m_o^- = -0.15 P_l$ $m_o^+ = 0.05 P_l$
Mezősáv : $m_m^- = -0.04 P_l$ $m_m^+ = 0.05 P_l$

A számítás lépései:

- alaplemez felvétele, igénybevételei, vasalása
- tehermegosztás meghatározása,
- átszűrődás és
- repedéskorlátozás vizsgálata.

A résalapok elrendezése az 2. ábrán látható, méretezésükre geotechnikai módszereket kell alkalmazni, ezeket itt nem ismertetjük.

Megjegyezzük, hogy a szakirodalomban található táblázatokban szereplő c tényezőket a repedezettség és a merevségváltozás figyelembevételével határoztuk meg.

6. A SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ÉTÉKELÉSE, MEGÍTÉLÉSE

Mind a pontos, mind a közelítő módszerek esetén alapvető követelmény, hogy a gyakorlat igényeit kielégítő pontosságú eredményeket szolgáltatassanak. A pontosnak tekintett eljárások esetében a korábban megadott pontossági követelmények a mérvadóak. Közelítés esetén a 10%-os eltérés még megengedhető. Ennél nagyobb eltérés már becslésnek tekinthető.

A közelítő módszerek között vannak olyanok, amelyek elsősorban matematikai jellegűek, és a megoldásokat pl. Fourier sorok segítségével határozzák meg. Ezek általánosan használható eljárások, és a gyakorlat számára elegendő pontosságú eredményt szolgáltat a sor első néhány tagjának a figyelembevétele. Ennek a módszernek az előnye, hogy a sor több tagjának a beszámításával, a megoldás pontossága fokozható.

Más típusú közelítő, vagy akár pontosnak tekintett módszerek megítélése már lényegesen bonyolultabb. A szerző, mint egyetemi hallgató 1951-52-ben részt vett Korányi Imre professzor úr előadásain, aki akkor az egységes biztonsági tényezős módszerről, az osztott biztonsági tényezős módszerre való áttérést ismertette. Hangsúlyozta, hogy az egységes tényezős módszer jó és megfelelő, mert az ezzel számított hidak és építmények állnak, és biztonsággal viselik a terheket. Az áttérésre azért van szükség, mert figyelembe lehet venni a terhek és hatások jellegét, az építőanyagok minőségének a számítási módszereknek a fejlődését. Az osztott biztonsági tényezőket úgy kell megválasztani, hogy az új szerkezetekben a felhasznált anyagok 10%-kal csökkenjenek. Ennél nagyobb eltérés huzadékosnak tekinthető. Lényegében azt az álláspontot, véleményt képviselte, hogy a számítási módszerek megbízhatóságát meggyőzően a megépült létesítmények bizonyítják, a szerző ezzel teljes mértékben egyetért. Megjegyezzük, hogy elsőként az 1951-es Magyar Szabványban jelent meg az osztott biztonsági tényezős módszer.

A tartószerkezetek számítási pontossági igényeinek meghatározása során figyelembe kell venni az alábbiakat. Az ő és középkorban a tapasztalat volt az elsődleges, az újkori 17-20-ik századi elméleti fejlődés során előfordult, hogy az elmélet megelőzte a gyakorlatot. A kétirányban teherviselő lemezelmélet évtizedekkel megelőzte a gyakorlati alkalmazást. Manapság viszont azt tapasztaljuk, hogy a megvalósítási technológiák fejlődése megelőzi az elméleti vizsgálatokat. A részletes, vagy paneles építési módszer kényszerítette az elméleti fejlesztést, igazolást. A technológiák igényei a gyorsaság, az anyag és a munka aránya, a költségek, a hatékonyság stb. az elsődlegesek, és az igénybevételek meghatározásának módszere másodlagos. A biztonság számítással való igazolása viszont kötelező, és a tervezés nélkülözhetetlen része. Az is igaz, ha egy gyakorlott tervező 5-6 (hasonló) szerkezetet megtervezett, akkor egy újabbat minimális számítással el tud készíteni. Mindezek alapján alakult ki a dolgozat szerzőjének az a véleménye, hogy az „elmélet a gyakorlat szolgálóleánya”. Ez mérnöki szemszögből nézve elfogadható, de az elméleti vizsgálatokra továbbra is szükség van, mert a természeti jelenségek megértéséhez és a hozzájuk való alkalmazkodáshoz a biztos alapok nélkülözhetetlenek. Nyilvánvaló, hogy a létesítmény előírt biztonságának számítással való igazolására szükség van.

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

- Az utóbbi évtizedekben a tartószerkezetek erőtanai vizsgálatára új, rendkívül hatékony módszerek jelentek meg, amelyek használatához fejlett számítástechnikai eszközök és ismeretek szükségesek. Ezek lehetővé teszik a korábban kezelhetetlen összetett jelenségek figyelembevételét, a pontosság növelését. Ez a fejlődés megállíthatatlan és szükséges, azonban a bonyolult eredmények gyakorlatban való alkalmazása nehézkessé vált. Szükség van

tehát egyszerű, jól kezelhető, de megbízható közelítő módszerekre.

- A közelítő módszereket célszerűen annak kell készítenie, aki a bonyolult elméleti eljárást kidolgozta. Ugyanis ő tudja legjobban, hogy melyek azok a tényezők, amelyek hatása a végeredményre jelentős, illetve csekély. A pontosnak tekinthető elméleti vizsgálat így alaputatásként, míg a közelítő módszer kidolgozása alkalmazott kutatásként értelmezhető és ezek együttműködésének szükségességét is jelzi.
- A tartószerkezetek erőjátéka vizsgálatához szükség van egy elméleti modellre, amely pontosnak tekinthető, ha egyensúlyi és alakváltozási feltételekre épül. Az így meghatározott modellen végzett vizsgálat azonban bonyolult, a gyakorlatban nehezen alkalmazható.
- Az építőmérnöki gyakorlatban alkalmazott tartószerkezetek megengedett, eltúrt alakváltozásai 1-2 ezred nagyságrendűek, ezért az elemi szilárdságtanban alkalmazott kis alakváltozások elve felhasználható. Így az alakváltozások hatásának elhanyagolásával, csupán az egyensúlyi feltételek figyelembevételével a gyakorlat igényeit kielégítő pontosság érhető el. A kis alakváltozások elve tehát nem csak keresztmetszetre, hanem a tartószerkezetre is kiterjeszhető.
- A mérnöki számítások pontosságát a modell megválasztása döntően meghatározza, ez gyakorlatot és tapasztalatot igényel. Ezt már a mérnökképzésben is célszerű gyakoroltatni, nevezetesen úgy, hogy megadott modellen és terhekkel minden számítás nélkül alakhelyes igénybevételei és alakváltozási ábrákat kell készíteni. A modell megváltoztatásával, ezt megismételve, a változás elemzését el kell végezni. Ilyen feladatoknak a vizsgákon való számonkérése a felkészülést ösztönzi.
- A tartószerkezetek számítására és megvalósítására szolgáló, jelenleg alkalmazott módszerek hatékonyak, ezt bizonyítja, hogy a megvalósított létesítmények állnak és kellő biztonsággal működnek, azaz a legmeggyőzőbb bizonyítékokat a megépült szerkezet szolgáltatja.
- A bemutatott 1.sz. példa azt igazolja, hogy elegendő pontosságú eredményt szolgáltat az a modell is, amely egy matematikai módszerrel meghatározott egyensúlyi feltételekkel felépített differenciálegyenlet.
- A 2. példa azt bizonyítja, hogy közelítő módszer kidolgozásához, a modell megválasztása az erőjáték és a mérési adatok elemzése és tapasztalata alapján is lehetséges.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Általánosan ismert, hogy a mechanikában a keresztmetszetek erőtanai vizsgálata a kis alakváltozások elvének alkalmazása esetén, csupán egyensúlyi feltételekkel is lehetséges. A dolgozat bemutatja, hogy ez a módszer a szerkezetekre is kiterjeszhető, és ezáltal olyan közelítő módszereket lehet felépíteni, amelyek csak egyensúlyi feltételeket tartalmaznak. Nyilvánvalóan, ehhez az szükséges, hogy a szerkezet elmozdulásai, alakváltozásai egy meghatározott értéknél kisebbek legyenek. A számítástechnika megállíthatatlan fejlődése miatt ezek a „pontos” módszerek egyre bonyolultabbak, és különleges eszközöket igényelnek. Szükség van tehát olyan egyszerűsített módszerekre, amelyek a gyakorlati igényeket kielégítő „mérnöki pontosságú” eredményeket szolgáltatnak. A bemutatott példák építőipari szerkezetek, más szakterületen külön vizsgálatra van szükség.

9. HIVATKOZÁSOK

- Bölcskei E.-Orosz. Á. (1972), „Vasbetonszerkezetek. Faltartók, lemezek, tárolók” Tankönyvkiadó Budapest 1972
- Dulácska. E.-Bódi. J. (2018), „A Vasbeton silók repedései és egyéb problémái”, VASBETONÉPÍTÉS 2018/2 pp. 36-40.
- Kaliszky S.-Kovács M.-Szilágyi. Gy. (1990), „Mechanika II. Szilárdságtan”, Tankönyvkiadó Budapest 1990
- Lődör K.-Móczár B. (2018), „Cölöppel gyámolított lemezalap vizsgálata geotechnikai végeelem modellezés”, Budapest 2018, Magyar Mérnöki Kamara, Geotechnikai Tagozat
- Nagy J.-Orosz. Á. (2019), „Az ötlettől az alapozási rendszerig”, Kézdi Árpád konferencia, pp. 183-203.
- Orosz. Á.-Simurda. L.:(1985) Vasbeton gabonasilókkal kapcsolatos vizsgálatok, mérések, kutatások Mélyépítéstudományi szemle 1985/3 pp. 113-117
- Orosz Á.-Simurda L.-Varga J. (1990), „Design Problems of Reinforced Concrete Silo Walls”, Proceedings of the University Adelaide Ausztrália 1990.
- Orosz. Á. (2001), „Vasbeton silók javítási módszerének megválasztása”, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék Tudományos Közleményei 2001, pp. 145-150.

- Orosz Á., (2011), „Gondolatok a mérnöki tevékenységről és a mérnöki pontosságról”, Erdélyi Magyar Tudományos Társaság Kolozsvár Románia XV. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia 2011, pp 412-418.
- Orosz Á. (2014), „Réspillérekkel gyámolított vasbeton alaplemez átszűrődésének egyszerűsített vizsgálata, a tóruszvasalás alkalmazása”, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia 2014, Csíksomlyó, pp. 248-252.
- Orosz Á. (2016), „Mélyalappal gyámolított alaplemezek”, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék Tudományos Közleményei 2016
- Orosz Á. – Nagy J. - Zábrádi E. - Horváth A.- Répáczki I. (2017), „Foundation slabs supported by spot footing”, fib Conference Tokaj CCC2017
- Orosz Á.-Nagy. J. (2018), „Réspillérekkel gyámolított alaplemezek erőjátéka, átszűrődése, és a tórusz vasalás alkalmazása 1-2 rész”, VASBETONÉPÍTÉS 2018/3 1. rész és 2018/4 2. rész
- Összefoglaló jelentés (2000) „A Vízép megbízásából az Óbuda Gate irodaház fenéklemezein mért talpfeszültségekről és alakváltozásokról, Kézirat

Dr. Orosz Árpád (1926) okleveles mérnök (1953), professzor emeritus, MÁV Hídepítő Vállalat, Műegyetemi oktató (1956), egyetemi tanár (1967), tanszékvezető (1977-91), Dékán (1991), Ipari Vasbetonszerkezetek, Héjszerkezetek oktatása. Érdeklődési területei: vasbeton silók, folyadéktárolók, mélyépítési műtárgyak, mélygarázások, vasbetonszerkezetek javítása megerősítése.

SZEMÉLYI HÍREK

DR. BÉRES LAJOS 85. SZÜLETÉSNAJÁRA



Születésnapja alkalmából a **fib** Magyar Tagozata tisztelettel köszönti a magyar betontudomány és technika kiváló fejlesztőjét, egyesületünk fennállása óta megbecsült tagtársunkat.

Béres Lajos 1959-ben szerzett mérnöki oklevelet. Már hallgató korában dolgozott demonstrátorként a Műegyetem Beton és Vasbeton Laboratóriumában. Itt került a Tanszék fiatal oktatóival, Balázs

Györggyel, Orosz Árpáddal, Szalai Kálmánnal és Tassi Gézával is közelebbi kapcsolatba, amely később életre szóló együttműködéssé, barátsággá alakult.

Pályájának első szakasza az Építéstudományi Intézethez kötődött. Kutatásainak középpontjában a szerkezeti anyagok, elsősorban a beton tulajdonságainak megismerése állt. Az anyagvizsgálatok tökéletesítésére új eljárásokat és laboratóriumi eszközöket fejlesztett ki. Értékes eredményekre jutott a betonok tartós és ismétlődő teher okozta alakváltozásainak és tönkremenetelének kutatásában. Az e tárgy körében írt kandidátusi értekezését 1988-ban védte meg. Tudományos munkásságának eredményeit hazai és nemzetközi szakfolyóiratokban és ÉTI tanulmányokban tette közzé. Az alap kutatásban végzett széleskörű munkája mellett az újszerű építési rendszerek fejlesztése is szívügye volt. Ezek közül különösen jelentősek az előregyártott vasbeton szerkezetek komplex tervezési-kísérleti vizsgálatai. A szakértői szakosztály vezetőjeként számos meghibásodott épület vizsgálatában, a hibák okainak feltárásában és a helyreállítás módjainak kidolgozásában személyesen is részt vállalt. Az ÉTI osztályvezetői, majd műszaki igazgatói posztján jelentős szerepet töltött be. Nevéhez fűződik munkahelye kutatási-fejlesztési eredményei ipari alkalmazásának nagy része.

Szakterületén és a kapcsolódó tudományágakban is rendszeresen képezte magát. Három nyelvvizsga, szakközgazdász diploma mellett filozófiai és pszichológiai

tanulmányokat is végzett. Tapasztalatait a BME-n, illetve a Mérnöktoábbképző Intézet előadójaként adta át a fiatalabb nemzedéknek. Részt vett az MTA, az OMF munkájában, hazai és nemzetközi szabványok létrehozásában. Két évtizeden át működött közre a KGST országok építési kutatásaiban és a magyar tagozat irányításában. Feladatokat vállalt a CEB, CIB, RILEM keretében, az ÉTÉ-ben, az MMK-ban és jelenleg is a fib Magyar Tagozatában.

Az 1990 utáni években a Kármán Tamással közösen alapított mérnöki iroda egyik vezetőjeként kamatoztatta szakmai tapasztalatait, szervezőkészségét és közgazdasági ismereteit. Részt vett vállalatok átalakításában, privatizációjában, az új cégek tevékenységének felügyelőbizottsági ellenőrzésében. Másfél évtizeden keresztül külföldi bankok által finanszírozott magyarországi nagyberuházások pénzügyi-műszaki ellenőrzését is végezte.

Az építés és ingatlanforgalom területén 1995-től végzett rendszeresen igazságügyi szakértői tevékenységet. Ennek keretében minden kirendelésnél más és más műszaki és gazdasági problémát kellett megismernie és megoldania. Ez megkövetelte az érintett szakterület aktuális állapotával, (gyakran változó) szabályozási kérdéseivel kapcsolatos naprakész ismereteket. Mindez nagyban segítette abban, hogy szellemileg friss maradjon.

Egészségi állapota – és a pandémia miatt is – cégüket, az X-PER-T Mérnöki Iroda Kkt-t 2020 végén felszámolta és az igazságügyi szakértői jogosultságáról is lemondott. Ezt követően – a felesége által már megkezdett – család kutatásra, a kapcsolódó dokumentumok gyűjtésére, feldolgozására fordítja energiáját, és közösen igyekeznek a másfél éve internet-kapcsolatra korlátozott szakmai, baráti kapcsolatrendszerüket újra feléleszteni.

Kedves barátunknak a hasznos és kedve szerinti tevékenységéhez további sok erőt, sikert, jó egészséget, családja körében sok örömet kívánunk.

VJ

VKE 2018-1-3-1_0003
“Korszerű betonelemek anyagtudományi fejlesztése”
“Development of advanced concrete elements”

PROGRAM

2021. nov. 18. (csüt.) – 18 Nov. 2021 (Thursday) – **BME + Online**

Jelentkezés: <https://forms.gle/HCCSWR9NTu1BL4J47>

Főszervező: BME Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Társszervezők: Uvaterv Zrt., Ferrobeton Zrt., **fib** (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata

3D Betonnyomtatás
– az automatizálás és digitalizálás egyik jövőbeli eszköze –
3D Concrete printing – as a major tool of future automation and digitalization


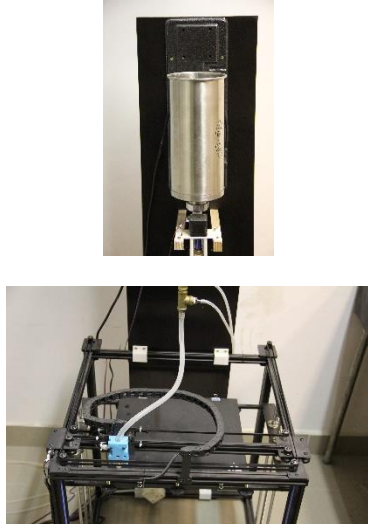
Kövér szedés mutatja az előadás nyelvét – *Bold characters indicates language of the presentation*

Konferencia részvétel ingyenes, csak regisztrációt igényel. *Conference is free, just needs registration*

8:30-8:40	Prof. Levendovszky János , BME Vice-Rector for Science and Innovation	Tudományos és innovációs rektorhelyettesi megnyitó	Opening by the Vice-Rector for Science and Innovation BME
8:40-9:05	Prof. Balázs L. György (BME)	A résztvevők üdvözlése az első magyarországi 3D betonnyomtatás konferencián. Célok. Lehetőségek. Kihívások. Eredmények.	Welcome of participants to the first 3D concrete printing conference. Objectives. Possibilities. Challenges. Achievements.
9:05-9:20	Novoszáth Tamás (Uvaterv Zrt.)	3D betonnyomtatás az innováció tükrében	3D concrete printing (3DCP) in the light of innovation
9:20-9:35	Assoc. Prof. Lovas Tamás , Vice-Dean for education (BME)	Digitalizáció és BIM a BME Építőmérnöki Karán	Digitalization and BIM at the Faculty of Civil Engineering, BME
9:35-9:50	Assoc. Prof. Salem G. Nehme , Head of Dept. (BME)	A betontechnológia szerepe a 3D betonnyomtatásban	Importance of concrete technology for 3D concrete printing
9:50-10:00	Hozzászólások - Discussion		
10:00-10:30	Prof. Viktor Mechtcherine (TU Dresden)	Vasalás integrálása a digitálisan készített beton elemekbe	Integrating reinforcement into digital fabrication with concrete
10:30-10:45	Széplaki Imre (Saint-Gobain Hungary Kft.)	Ház- és elemeinek nyomtatása betonból	Building and its element to print with concrete
9:45-10:00	Hozzászólások - Discussion		
10:00-11:20	Kávészünet / Coffee break		
11:20-11:45	Balogh Tamás (Civil eng. in innovation)	Automatizálás az építőiparban, út a 3D betonnyomtatásig	Automation in construction, road to 3D concrete printing
11:45-12.10	Kasik Tamás (Prebeton Zrt.)	Bebetonozásra szolgáló műanyag háló nyomtatása. Zsaluzat nyomtatása	Printed polymeric mesh for concrete Printing of the formwork
12:10-12.25	Bedics Antal (Uvaterv Zrt.)	Kitekintés a 3D nyomtatásra az ipar egyéb területein	Application of 3D printing in industrial areas other than concrete

12:25-12.40	Assoc. Prof. Kopecskó Katalin (BME)	3D nyomtatással készült beton mikroszerkezete	Microstructure of 3D printed concrete
12:40-12.55	Naser Alimrani (BME PhD student)	3D betonnyomtatás topológiai szempontjai	Topological aspects of 3D concrete printing
12:55-13.10	Nabil Abdelmelek (BME PhD student)	A nyomtatott beton lehetséges összetevői	Constituents of concrete for printing

9:50-10:00 **Hozzászólások - Discussion**

13:20-14:00	Ebédszünet / Lunch break		
14:00-14:30-	Kasik Tamás (Prebeton Zrt.)	Asztali betonnyomtató koncepciójának bemutatása 	Presentation of the concept of a concrete printing machine 

14:30-14:50	Assoc. Prof. Csorba Kristóf (BME) Dept. of Automation and Applied Informatics	Informatika szerepe a mérnöki fejlesztésekben	Importance of informatics in engineering development
	Felkért hozzászólók – Invited discussions		
14:50-15.05	Czintos Csongor (Perfycon Zrt.)	Az automatizálás szükségessége az építőiparban	Need for automation of the construction industry
15.05-15.20	Spránitz Ferenc (Dolomit Kft.)	Betontechnológiai ismeretek jelentősége a digitalizáció, 3D betonmarás területén	Importance of concrete technology by digitalization and 3D concrete atching
15.20-15.35	Polgár László (ASA Kft.)	A szakirodalom jelentősége az innovatív kutatási témáknál	Importance of available literature in case of a new reasearch
	Hallgatói munkák - Student's work:		
15.35-15.50	Szőgi Tamás (BME BSc student)	3D betonnyomtatási technológia összehasonlítása a monolit vasbeton építési móddal gazdaságossági szempontból	Economical comparisons of 3D concrete printing to conventional reinforced concrete
15.50-15.05	Téglás Csaba (BME MSc student)	3D nyomtatás alkalmazása az építőiparban	Applicatin of 3D concrete printing civil engineering
15.05-16.20	Marrwah Manea, (BME PhD student)	3D betonnyomtatás – Szerkezeti és nem-szerkezeti megoldások	3D concrete printing – Structural and non-structural forms

Hozzászólások – Discussions

16.20-17.00 Prof. Balázs L. György (BME):

Összefoglaló, Konklúziók. A konferencia nap zárása – Summary. Conclusions. Closing of the conference.

Előadások publikálásra benyújthatók a VASBETONÉPÍTÉS folyóirathoz: <http://fib.bme.hu/kiadvanyok.html>

The written form of the contribution can be submitted to CONCRETE STRUCTURES Journal for publication: <http://fib.bme.hu/kiadvanyok.html>

MEVA XT rendszerek:

- Egyoldali átkötések táblamezőben
- szerelés nélküli egyszerű átállítás
- 20%-kal gyorsabb zsaluzás
(leggyorsabb zsaluzás)
- horganyzott, zártszelvényű falzsaluelemek
- polírozható műanyag héjazat
- megbízható teherbírás: 100 kN/m²



Zsaluzás.
Simán. Okosan.

MEVA Zsalurendszerek Zrt.

Tel.: +36 1 272-2222

E-mail: magyar@meva.net

www.meva.net

 **meva**



A JÖVŐT ÉPÍTJÜK

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