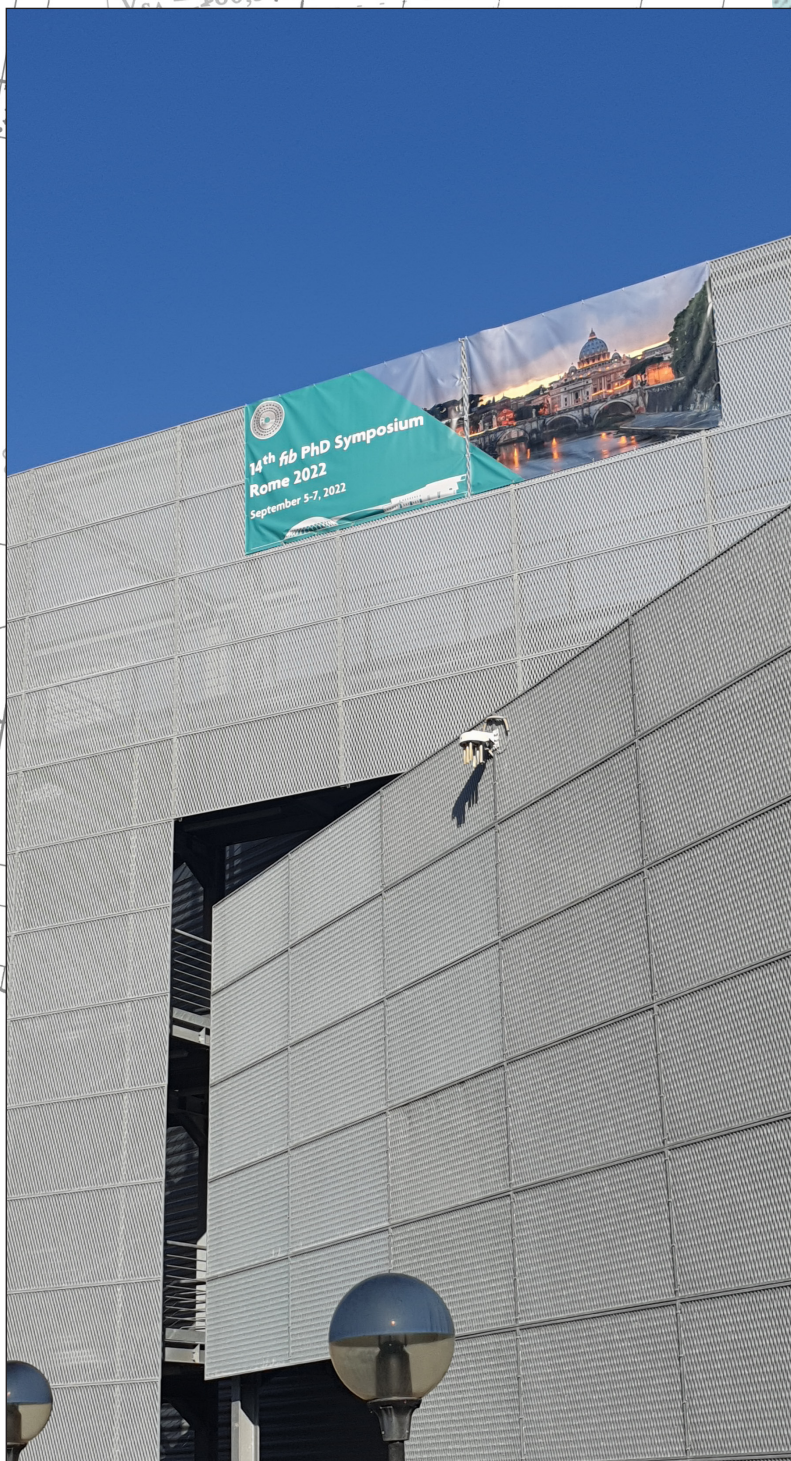


VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF *fib*

KASIK TAMÁS

3D NYOMTATOTT ZSALUZAT BETONÓZÁSHOZ

61

DR. KOPECSKÓ KATALIN,
LACZKÓ LÁSZLÓ,
SPRÁNITZ FERENC,
DR. SZILÁGYI TAMÁS,
DR. WOJNÁROVITSNÉ HRAPKA
ILONA,
DR. BALÁZS. L. GYÖRGY

HASZNÁLATI ÉLETTARTAM BECSLÉSI LEHETŐSÉGE KLORIDIONOK BEHATOLÁSA ESETÉN

71

SZEMÉLYI HÍREK

DR. WINDISCH ANDOR
80. SZÜLETÉSNAPJÁRA

BÚCSÚ DR. FOGARASI GYULA,
GYÉMÁNTOKLEVELES
ÉPÍTŐMÉRNÖKTŐL

86

BETONTECHNOLÓGUS SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉS A BME ÉPÍTŐMÉRNÖKI KARÁN 2023-2024

88

2022/3

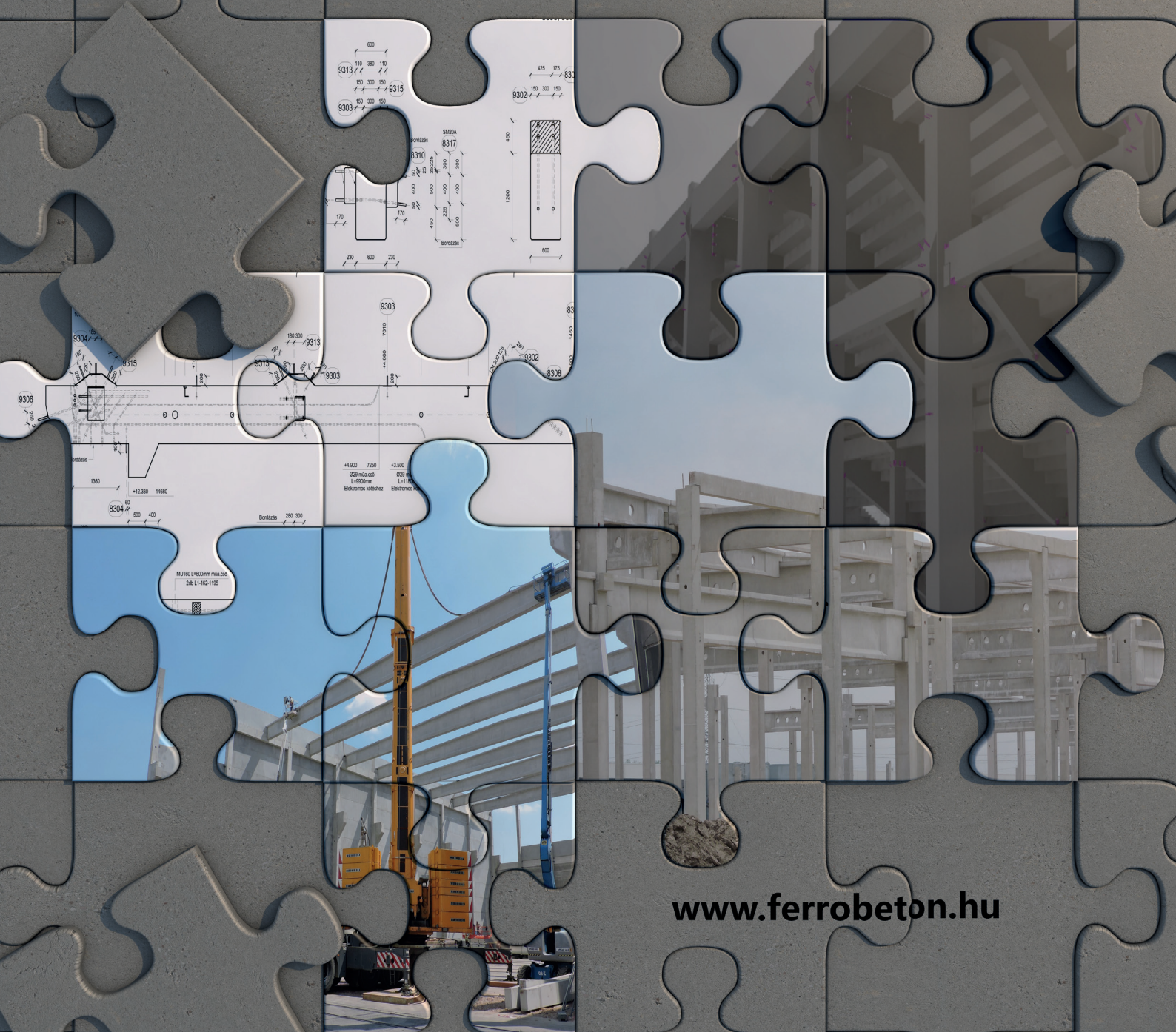
XXIV. évfolyam, 3. szám



FERROBETON

A CRH COMPANY

beton biztos alapokon



www.ferrobeton.hu

VASBETONÉPÍTÉS

műszaki folyóirat

a **fib** Magyar Tagozat lapja

CONCRETE STRUCTURES

Journal of the Hungarian Group of **fib**

Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztőbizottság:

Barta János[†]

Dr. Csíki Béla

Dr. Czoboly Olivér

Dr. Erdélyi Attila

Dr. Farkas György

Kolozsi Gyula

Dr. Koris Kálmán

Dr. Kopecskó Katalin

Dr. Kovács Károly

Dr. Kovács Imre

Dr. Kovács Tamás

Lakatos Ervin

Dr. Lublói 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. 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, Műgyetem 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:

Campus of PhD Symposium 2022 Rome,

Università degli studi Tor Vergata

Készítette: Dr. Balázs L. György

TARTALOMJEGYZÉK

61 KASIK TAMÁS 3D NYOMTATOTT ZSALUZAT BETONÓZÁSHOZ

71 DR. KOPECSKÓ KATALIN, LACZKÓ LÁSZLÓ, SPRÁNITZ FERENC, DR. SZILÁGYI TAMÁS, DR. WOJNÁROVITSNÉ HRAPKA ILONA, DR. BALÁZS. L. GYÖRGY HASZNÁLATI ÉLETTARTAM BECSLÉSI LEHETŐSÉGE KLORIDIONOK BEHATOLÁSA ESETÉN

86 SZEMÉLYI HÍREK DR. WINDISCH ANDOR 80. SZÜLETÉSNAJÁRA BÚCSÚ DR. FOGARASI GYULA, GYÉMÁNTOKLEVELES ÉPÍTŐMÉRNÖKTŐL

88 BETONTECHNOLÓGUS SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉS A BME ÉPÍTŐMÉRNÖKI KARÁN 2023-2024

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



Kasik Tamás

<https://doi.org/10.32969/VB.2022.3.1>

A beton az építészek és építőmérnökök által is kedvelt anyag, nagy szerkezeti szilárdsága és szinte bármilyen formát felvevő képessége miatt. A betonszerkezetek alakításához azonban általában nagy teherbírású zsaluzatra van szükség, amely megtámasztja a friss betont a kötése során. A szabad formák kialakításának új lehetséges módja a 3D nyomtatás, mely technológiával betonozásra alkalmas zsaluzat is készíthető. Ez a cikk összefoglalja ennek a zsaluzatképzésnek a technológiáját és módszereit, bemutatja az ezzel a technológiával már megvalósított projekteket egy részét a szerző saját tapasztalataival együtt.

Kulcsszavak: Additive Manufacturing, 3D nyomtatás, FFF nyomtatás, nyomtatott zsaluzat

1. BEVEZETÉS

„A beton messze a leggyakrabban használt építőanyag a világon, és gyakorlatilag lehetetlenné vált bármilyen építési projektet elképzelni nélküle. Az építés során a betont zsaluzattal kell támasztani, amíg a képlékeny állapotból szilárd anyaggá alakul. Ezeknek a zsaluzatoknak a kialakítása drága és nagy szakértelmet kíván, ezért a projektek költségvetésének nagy részét a zsaluzat megépítése teszi ki. Ez különösen igaz a nem szabványos formák esetében (a szokványos elem esetében a költségek körülbelül 50%-a, egy nem szokványos elem esetében pedig akár 80–90%-a). Ezért, bár a beton elméletileg szinte bármilyen alakra formázható, a mindennapokban leginkább csak sík, függőleges és vízszintes felületek kialakítására a leghatékonyabb.” (Burger és mtsai., 2020)

A 3D nyomtatással készíthető zsaluzat ezeken az általános dogmákon kíván változtatni.

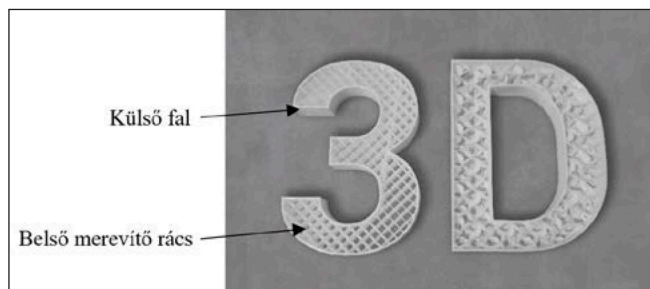
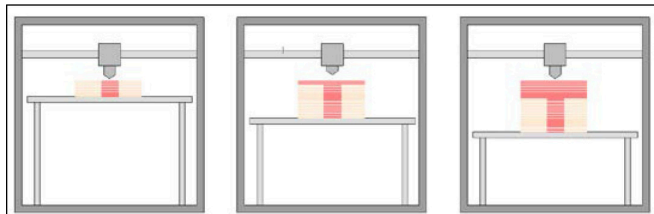
2. 3D NYOMTATÁS

3D nyomtatás ötlete az 1950-es évekre tehető, de gyakorlati fogalomként csak az 1980-ban vált.

A **TECHNOLÓGIA** az a **Additive Manufacturing** azaz a „hozzáadó megmunkálás” mód közé tartozik, ami ellentétben a **Subtractive Manufacturing** „kivonó megmunkálás”-sal ami egy anyag tömbből alítja elő a kész terméket és a **Formative Manufacturing** „formába készítés”-sel -ahol egy előre elkészített formában készül el a késztermék, a Additive Manufacturing a nyers alapanyagból építi fel a kívánt formát.

A 3D nyomtatásoknak számos módja ismert, de a legelterjedtebb nyomtatási mód a FFF vagy FDM az az a Fused Filament Fabrication vagy Fused Deposition Modeling (1. ábra).

1. ábra: FFF/FDM nyomtatás folyamata (filament nyomtatás)



2. ábra: 3D nyomtatott elem (filament nyomtatás)

Ez a nyomtatási eljárás, hőre lágyuló műanyagból készült, folytonos filamentet használ. A szál egy nagy tekercsről adagoló motor segítségével egy fűtött, mozgó extruder fejbe kerül, ahonnan meglágyulva egy munkalapra préselődik.

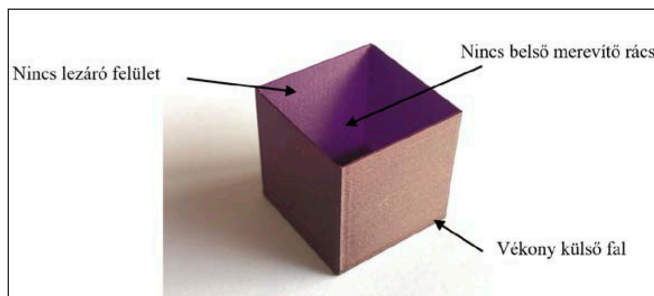
Az extruder két dimenzióban, X és Y tengelyen mozog, hogy egyszerre egy vízszintes síkon, egy nyomtatási réteget helyezzen el. Ezután a gép vagy az extrudert vagy magát a nyomtatási felületet függőlegesen, Z tengelyen elmozdítja egy kis mértékben, hogy újabb és újabb rétegeket helyezhessen el. Ezekből a rétegekből épül fel végül a kész termék.

A nyomtatás során az előre beállított paramétereknek megfelelően a kész elem többrétegű, összefüggő külső falfelületből és egy ahhoz kapcsolódó belső térkitöltő és merevítő térrácsból áll (2. ábra).

A nyomtatási beállítások egy alternatív megoldása a „héjnyomtatás” vagy „váza mód” (eggshell vagy vase mode).

Ebben a módban a formánk belsejébe nem kerül elhelyezésre belső merevítő rácsokat és külső felvastagság is minimumra van csökkentve (1-2 réteg).

3. ábra: 3D nyomtatott kocka váza módban (PrusaTester2020) (filament nyomtatás)



A héjnyomtatás előnye, hogy lényegesen gyorsabb és anyagtakarékosabb a forma előállítás, hátránya viszont, hogy a kész termék gyengébb, sérülékenyebb és lezáró felülettel („top layer”) nem rendelkezhet, mivel a belső rácszatot nélkül ezt nincs mire felépíteni. Innen is a váza mód elnevezés (3. ábra).

3. ZSALUZAT KÉSZÍTÉSHEZ HAZSNÁLHATÓ NYOMTATÁSI MÓDOK ÉS ANYAGOK

Számos nyomtatási technológia alkalmas lehet betonozásra alkalmas zsaluzatok előállítására, azonban az egyes módszerek mechanikai összetettsége és technológiai költségei miatt nem minden módszer alkalmazható hatékonyan.

Az építő iparban már kipróbált és bevált 3D nyomtatási technológiák a következők:

FDM – Fused Deposition Modelling anyaga lehet: PLA, ABS, PVA, PETG, HIPS

BJ – Binder Jetting: homok, gipsz. A Binder Jetting technológia lényege, hogy a nyomtató a homok vagy gipsz finomszemcséket rétegről rétegre műgyantával köti meg. A végeredmény egy könnyű, porózus mesterséges közet. Ez az anyag a megfelelő felület kezelés után alkalmassá válhat beton zsaluzatként történő alkalmazásra.

A zsaluzat előállításra még alkalmas technológiák, amikben azonban még nem sok tapasztalattal rendelkezünk vagy gazdaságosan még nem alkalmazhatók:

MJ – Material Jetting anyaga lehet: Polypropylene, HDPE, PS, PMMA, PC, ABS, HIPS, EDP.

MJF – Multi Jet Fusion anyaga lehet: nylon, Polypropylene.

SLS – Selective Laser Sintering anyaga lehet: nylon.

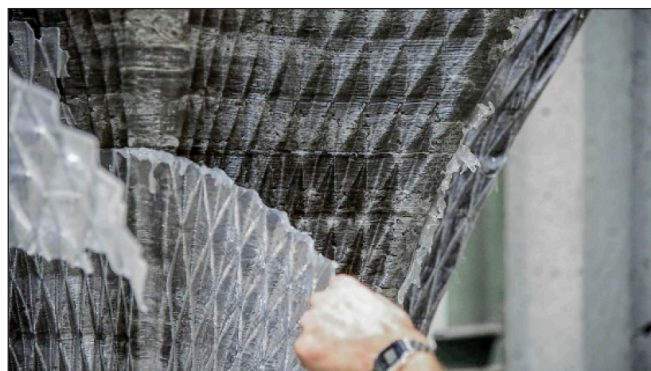
SLA – Stereolithography, ill. DLP – Digital Light Processing anyaga lehet: fotopolimer

4. 3D NYOMTATOTT ZSALUZAT KIALAKÍTÁSA

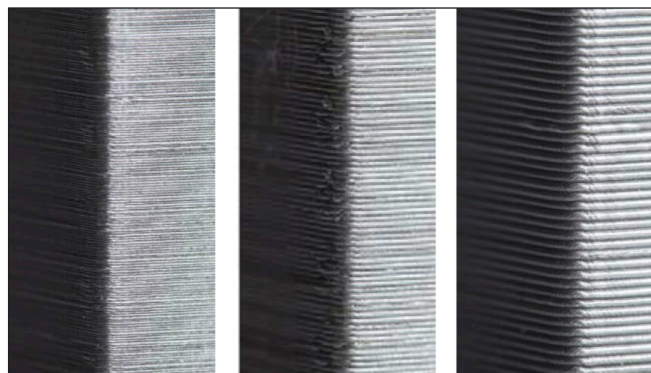
Nyomtatott zsaluzatok kialakításának két féle módját lehet megkülönböztetni: többször használható zsaluzat (4. ábra), egyszer használható zsaluzat (5. ábra).

A többször használható zsaluzat vastagabb fallal, általában belső merevítéssel kerül kialakításra és célszerűen rögzítő és kapcsolódó pontokat is tartalmaz. *Előnye:* többször újra felhasználható, könnyebb betonozás előkészítés, könnyű zsalutisztíthatóság, kevesebb hulladék, benmaradó zsaluzat

4. ábra: Többször felhasználható beton öntőforma (Octahedron Planter Mold - 3D Printed PLA - Sacred Geometry, 2021)



5. ábra: Roncsolásos kiszaluzás (Future Tree “3D printing” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich, 2021)



6. ábra: Változó rétegmagasságok képe (Cain, 2021)

is kialakítható. *Hátránya:* éles sarkok kialakítása problémás, fontos az oldalfalak mozgatása miatti minimális távolságok megléte, fontos megfelelő falvastagság, fontos megfelelő szilárdság, egymáshoz és öntési alaphoz történő lerögzítés kialakítása, hosszabb nyomtatási idő, több anyagfelhasználás (alacsony elemszám esetén).

Az egyszer használható zsaluzat általában a héj nyomtatási technikával készülnek, és roncsolással kerülnek eltávolításra. Ez lehet olvasztás, mechanikai szítbontás, szétverés vagy vízben feloldás (PVA - Polyvinyl alcohol). *Előnye:* bonyolultabb formák is kialakíthatók, anyagtakarékosabb (alacsony elemszám esetén), bentmaradó zsaluzat is kialakítható, rövidebb nyomtatási idő. *Hátránya:* egyszer használható zsaluzat, vékony falvastagság miatt betonnyomásra gondolni kell, sok hulladék.

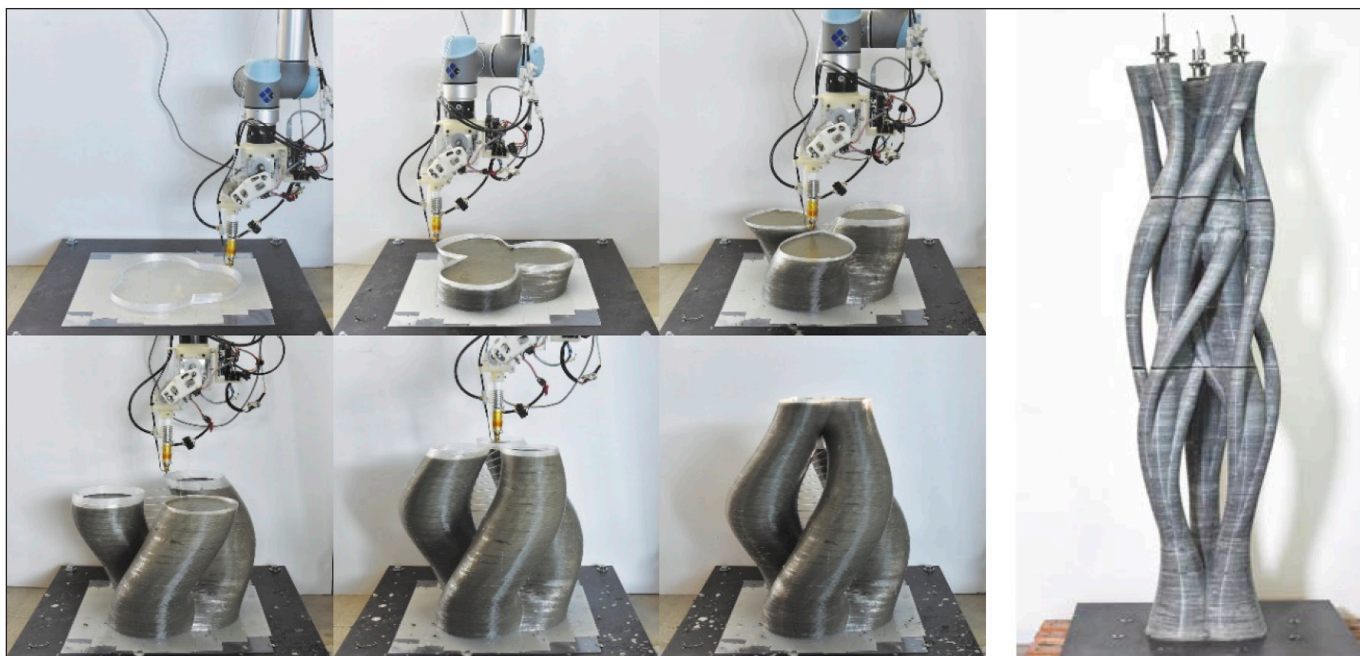
Fontos figyelembe vennünk, hogy mind a két módszernél, ha a nyomtatott zsaluzat semmilyen utókezelést (kittelést, csiszolást, festést) nem kap a betonozást megelőzően, úgy a nyomtatás rétegmagasságának képe meg fog jelenni a kész beton felületén is.

Ez a jelenség csökkenthető - de el nem kerülhető - a nyomtatási rétegek magasságának csökkentésével, mivel így a felület „felbontásának” (6. ábra) (resolution) mérete növelhető. Ez azonban a nyomtatási idő lényeges megnövekedésével jár.

5. GYAKORLATI PÉLDÁK

5.1 Eggshell koncepció kutatási minták

„Az Eggshell technológia célja egy zsaluzat egyidejű nyomtatása és betonnal történő kitöltése. Ez különböző előnyökkel jár. Először is, korlátlan hozzáférést biztosít a zsaluzathoz, lehetővé téve a precíz öntést, és megkönnyíti a vasalás beépítését a gyártás során. Ezen túlmenően, ha először nyomtatja ki a zsaluzatot, a zsaluzat kihajlása vagy károsodása



7. ábra: Eggshell technológiával előállított szobrok (Burger, és mtsai., 2020)

veszélyével járhat, ha mozgatni kell. Ha azonban a nyomtatás a zsaluzat betonnal való feltöltésekor halad előre, a kötésnek indult beton hatékonyan csökkenti az üres zsalu magasságát, amit érdemes figyelembe venni a kihajlás veszélye miatt.” (Burger és mtsai., 2020) (7. ábra). A zsaluzat eltávolítása roncsolásos módszerrel történt.

5.2 Future tree - svájc

A projekt Esslingenben Svájc egyik városában, Gramazio Kohler Research és ETH Zurich közreműködésével, a Basler & Hofmann új iroda bővítmenyének belső udvarán megvalósult pavilon szerkezet.

A pavilon felső rác szerkezete robot technológiával került összeállításra, az alátámasztó pillér zsaluzata pedig, héjnyomtatással készült. A 5.1 példától eltérően itt a pillér zsalu teljes egészében előre nyomtatva készült és utólagosan került bevasalásra és kibetonozásra (8-9. ábra). A zsaluzat kialakítása ebben a projektben is egyszer használatos volt.

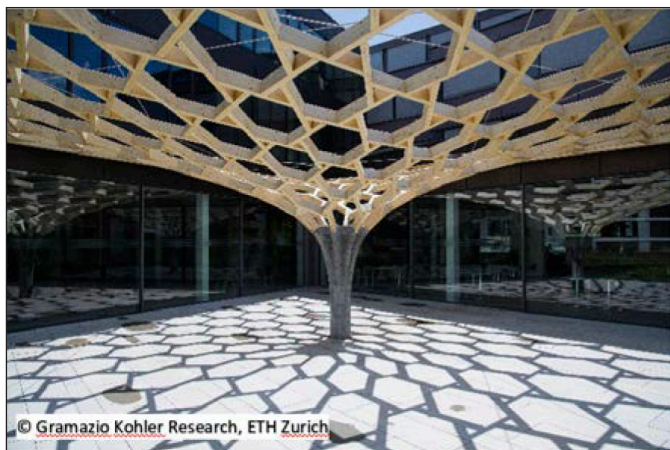
5.3 Geiger GmbH - NOWlab Kempton épület felújítás

„Az épületfelújítási folyamat gyakran nehéz kihívásokat vet fel. Ilyen helyzetbe került a Geiger Group, amikor egy műemlék épület helyreállításához közeledett a dél-németországi



9. ábra: Future Tree zsaluzat nyomtatása (Future Tree “3D printing” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich, 2021)

8. ábra: Future Tree pavilon (Future Tree “3D printing” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich, 2021)



Kempenben. A projektet célja egy régi sörfőzde iroda- és rendezvényterré alakítása volt. A kihívást az jelentette a cégnek, hogy öt nagyméretű kő ablakkeretet cseréljen ki az ingatlanon, miközben megőrizte a lenyűgöző eredeti esztétikumot.

E köelemek cseréjénél Geiger két szabványos lehetőséget is mérleghetett. A hagyományos módszer a kőfalazás lenne. Ez magasan képzett kivitelezést kívánó technológia, amely kiváló eredményeket hoz, de időigényes és költséges. A második lehetőség a beton öntése egy gyantával bevont habzsaluba lett volna. A minta mélysége miatt azonban nem lehetett egyetlen darab habot a kívánt formára mami, a több darabból történő gyártás pedig növelte volna a költségeket és meghosszabbította volna a kivitelezés idejét.

Mivel a projekt szoros ütemben zajlott, Geiger felkereste a NOWlab@BigRep-et, hogy megvizsgáljon egy harmadik lehetőséget. A NOWlab a BigRep kutatási és innovációs központja, amely folyamatosan keresi az új módszereket az additív gyártási folyamat ipari szintű felhasználásának. A NOWlab irodán belül a BigRep végzi az ipari gyártás és termékek fejlesztésének lehetőségeit.

Geiger a NOWlab számára biztosította a keretek teljes specifikációját tartalmazó CAD fájlokat. A NOWlab ezekből a fájlokból digitális mintát generált az öntőformákhoz. Ezután kinyomtatták a zsaluzatot egy BigRep ONE-on, kihasználva annak 1 m 3-es nyomtatási terét.

A biológiailag lebomló PLA-ból készült nyomtatott zsaluzatot ezután elküldték egy gyártóhoz, hogy elkészítse a keret betonszegmenseit a zsaluzatokban. Az ablakkeretek különböző elemeinek összeszerelése az építkezésen történt, majd az keretek egyben kerültek beemelésre.” (Smyth, 2018). A projektben az elemzsaluzatok többször felhasználhatóan lettek kialakítva

5.4 ETH Zürich - DFAB House

„Az ETH Zürich Építész Karának Digitális Építési Technológiák Tanszéke élen jár az építészeti 3D nyomtatás kutatásában. ...

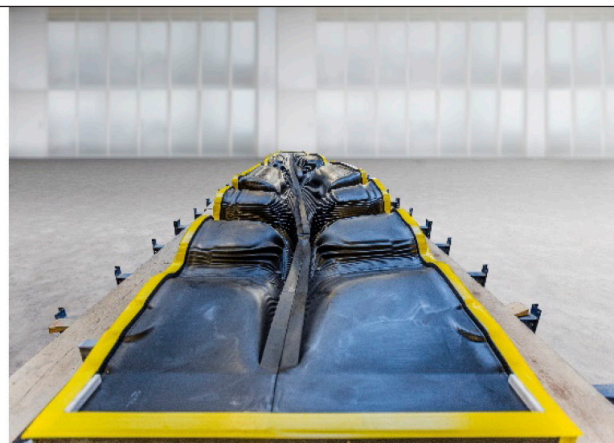
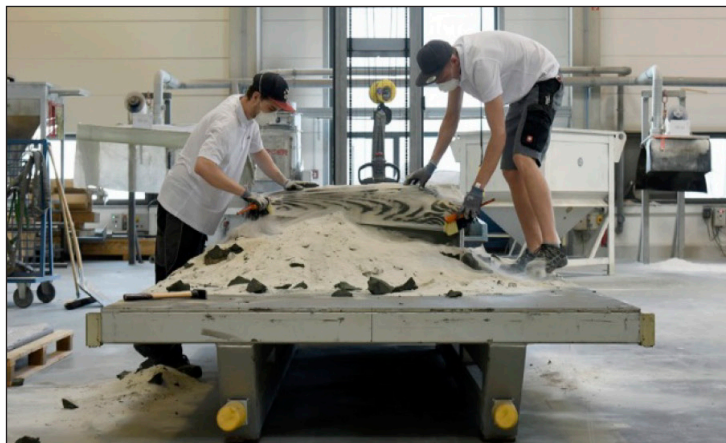
...Svájci kutatók előállítottak egy 80 négyzetméteres, kis súlyú betonfödémét, a világon elsőként használva 3D homok nyomtatót egy valós léptékű építészeti projekt öntőformáinak elkészítéséhez. A legvékonyabb pontján mindössze 20 milliméteres ‘okos födém’ a DFAB HOUSE névre keresztelt, folyamatban lévő svájci projekt keretében készült el, amelynek során az ETH Zürich professzorai iparági szakértőkkel karöltve tárják fel és tesztelik, milyen változásokat hozhat az építészetbe a digitális gyártás.

A beton szerkezeti szilárdságát a háromdimenziós nyomtatás nyújtotta tervezési szabadsággal kombináló födém feleannyit sem nyom, mint egy hagyományos betonfödém. A Benjamin Dillenburger, az ETH Zürich digitális építési technológiák tanszékének tanársegédje és kutatócsapata által kifejlesztett ‘okos födém’ a DFAB HOUSE egyik központi eleme. A 80 négyzetméteres, 15 tonnás födém 11 betonszegmensekből áll,

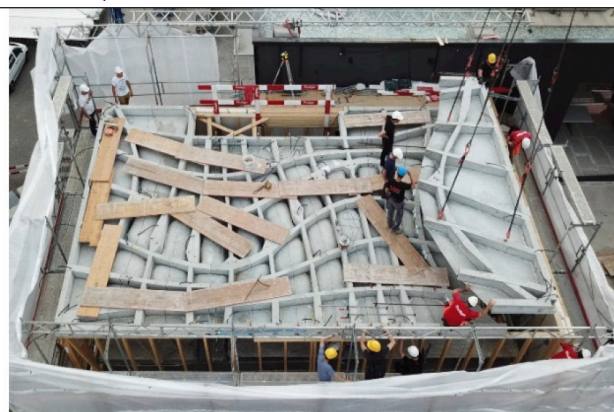
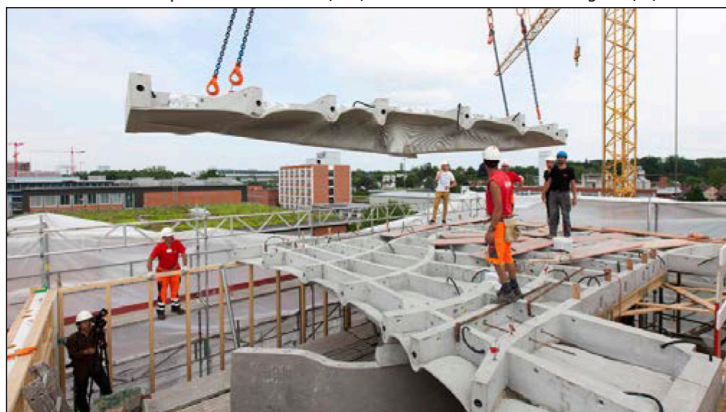
11. ábra: Betonozás utáni roncsolásos zsaluzat eltávolítás (The Smart Slab, 2022)



10. ábra: Nyomtatás utáni felesleg homok eltávolítása (bal), elkészült zsaluzat (jobb) (The Smart Slab, 2022)



12. ábra: Födémpanel beemelése (bal) és kész födém szerkezet (jobb). (The Smart Slab, 2022)



és az alsó szintet a fenti kétszintes faszerkezettel köti össze. A kutatócsoport a zsaluzat elemeinek legyártására egy új szoftvert fejlesztett, amely képes rögzíteni és koordinálni a gyártás összes releváns paraméterét. A számítógépes tervezést követően a gyártási adatok egyetlen gombnyomással továbbíthatók a gépekre. A csapat több ipari partnerrel együtt dolgozva valósította meg a projektet. Az egyik a nagy felbontású, 3D nyomtatóval készült homok zsaluzatot készítette el, amelyet a nyomtatás és a szállítás megkönnyítése érdekében raklap méretű szegmensekre osztottak. Egy másik cég a földem felső részének formáját meghatározó fa zsaluzatot gyártotta le.

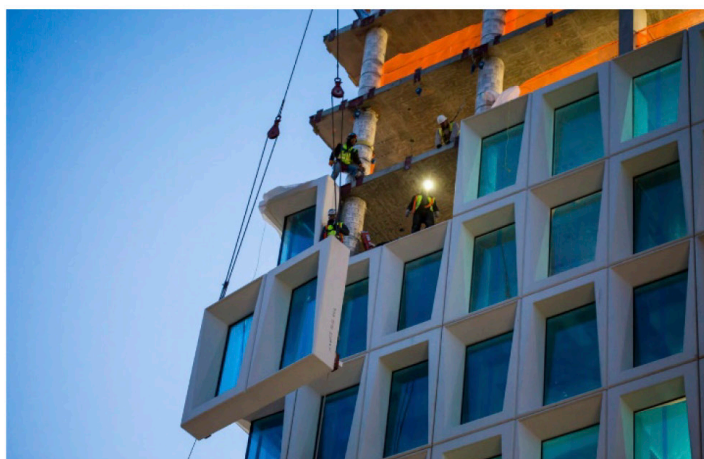
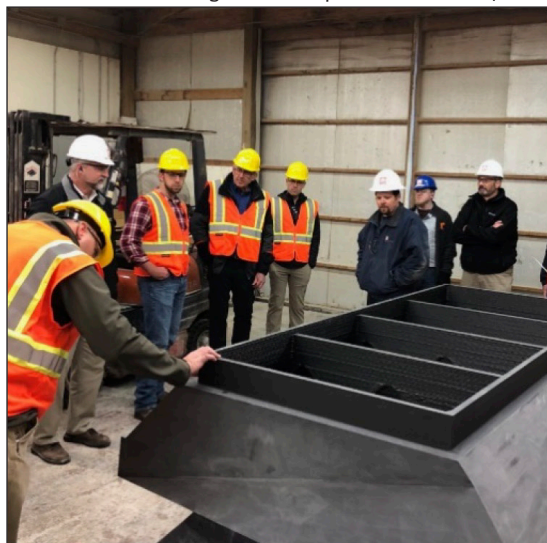
A kibetonozáshoz készült kétfajta zsaluzat végül egy harmadik cég segítségével állt össze: először a homok zsaluzatra vitték fel az üvegszállal megerősített betont, létrehozva ezzel az alsó betonhéz finoman bordázott felületét, majd a maradék betont a fa zsaluzatba öntötték. A kéthetes szilárdulási folyamatot követően a 11 különálló betonszegmens végül készen állt a beépítésre” (Tábi, 2018). A zsaluzat a projekt során roncsolással távolították el a kész felületről (10-12. ábra).

5.5 Domino Sugar fejlesztés

„Betekintés a Domino Site a projekt építészeti részleteibe. A Domino Sugar Redevelopment Brooklynban, New Yorkban egy egyszerű építészeti megoldást mutat be előregyártott beton homlokzati panelekre. ...

...A homlokzat tört struktúrája miatt a panelek öntőformáinak előállításuk munká- és időigényes volt. A kihívások közé tartoznak a mélyen elhelyezett magas ablakok, ami karcsú beton kereteket eredményezett, a változó ablakszélesség és magasság, a szintről szintre változó építészeti jellemzők, amelyek

13. ábra: Domino Sugar Redevelopment kivitelezése (GANNON, 2019)



csökkentik a benapozásból származó hőterhelést, és lehetővé tették a pillér nélküli sarkok kialakítását. A feszes ütemezés miatt kritikus szempont volt, hogy a kivitelezés folyamatosan ellássák falpanelekkal, ezért a megfelelő zsaluzási technológia megválasztása elsődleges szempont volt.” (Brock, Hun, Brooks & Vines, 2019)

Az elvárások kielégítése végett az elemek elkészítéséhez nagyméretű 3D nyomtatott zsaluzatok kerültek kialakításra. A Projekthez készített zsaluzat 20% szénszállal erősített ABS műanyagból készült. 0,4 inch (~10 mm) átmérőjű nozle (nyomtatófej) felhasználásával. A nyomtatási rétegmagasságok eltűntetése végett az 1 inch (~25 mm) vastag öntőforma falak felülete 5 tengelyes CNC maróval lettek megmunkálva.

A tervezés során számítógépes analízissel vizsgálták a 20 inch (~500 mm) magas zsaluzatokat beton nyomásra, s habár az elemzés megfelelőnek találta a falvastagságot, külső-belső nyomtatott merevítő bordák kialakítása mellett döntöttek a tervezők.

Végül 37 db többször felhasználható szaluforma került kinyomtatásra, amivel elkészíthetővé vált a 42 emeletes épület teljes homlokzata (13. ábra).

5.6 Slicelab - Delicate Density Table

„A Slicelab, a digitális gyártásra szakosodott amerikai multidiszciplináris tervezőstúdió a közelmúltban mutatott be egy betonszalt, amelyet 3D nyomtatott öntőformával építettek meg. A Delicate Density Table néven a Concrete Works és a Hummingbird 3D együttműködésével készült. Ez a projekt



14. ábra: Nyomatott zsaluzat összeszerelése (ball) és roncsolásos kizsaluzás (jobb) (Delicate Density - R&D, 2022)



15. ábra: Kész termék (Delicate Density - R&D, 2022)

finom és részletgazdag módon kíván beton formát kialakítani, miközben szerkezetileg is merev. ...

...23 darab PLA műanyag öntőforma található, amelyeket egymáshoz rögzítenek, hogy egy nagy, 5 láb hosszúságú (~150 cm) öntőformát hozzanak létre, amely akár 200 font (~90 kg) betont is kibír. Az összeszerelt nyomatott elemek 1db egybefüggő, nagy, PLA öntőformát alkotnak.

A zsaluzat úgy lett kialakítva, hogy fejjel lefelé történő öntés során, az asztal tíz lába hozzáférési pontként szolgáljon a fő

üreghez. Ez biztosítja, hogy a betonban lévő légbuborékok az asztal aljára korlátozódjanak, és a felső felület foltoktól mentes legyen (14. ábra).

A forma szétbontása után, gyémánt párnás nedves csiszolással, tükörfényes felületet alakítottak ki. Az asztal merész-, lekerekített formái és összetett alapja túlvilági megjelenést kölcsönöznek” (15. ábra) (Jasta, 2021).

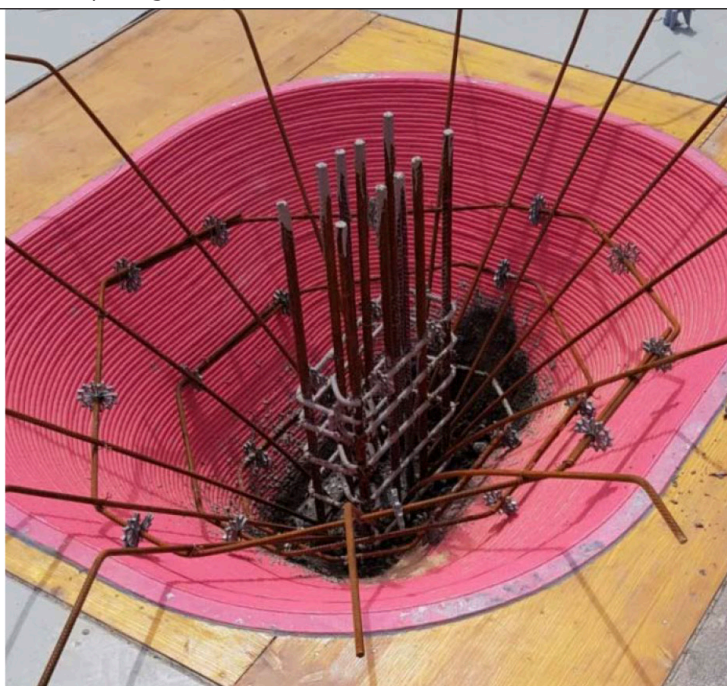
5.7 Beton 3D nyomatott zsaluzat

Sika Group az Affentranger 3dcp céggel együttműködve készített el több beton 3D nyomatással előállított zsaluzatot (16-17. ábra). Ezzel a technológiával egy benmaradó, látszó vagy akár vakolható/burkolható zsaluzat készíthető

Az előre gyártott gombafejes fillérek a helyszínen szállítás után betonacél vasalást kaptak, majd helyszíni betonozással kerültek feltöltésre.

Az eljárás nagy előnye, hogy nincs szükség az elemekhez semmiféle többlet zsaluanyagra és zsaluzó szakemberre, hátrányuk viszont, hogy a beton nyomatáshoz szükséges gépek drágák és a zsaluzat betonnyomásra történő méretezése -a technológia kiforratlansága miatt - még problémás.

16. ábra: Előregyártott beton nyomatással készült zsaluzat (SIKA 3D concrete printing, 2022)





17. ábra: Beépített nyomtatott beton zsaluzat (Schalungen für Stützen in Beton, Stützen mit Pilzkopf, dekorative Stützen, 2022)

6. SAJÁT TAPASZTALATOK

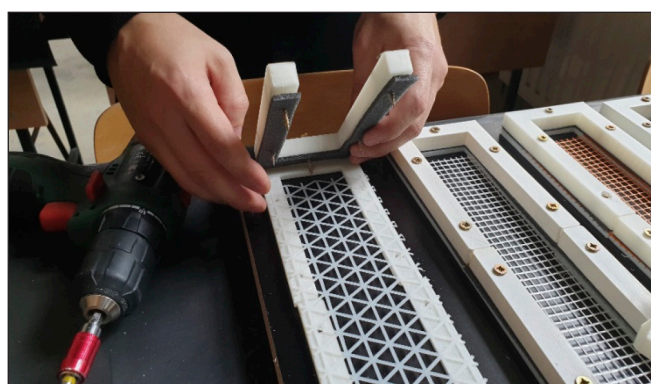
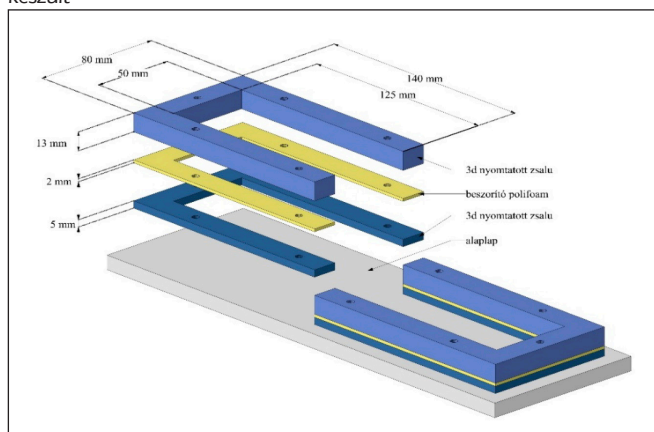
6.1 2020. Diplomamunka

2020-ban betontechnológusi diplomamunkán során azt vizsgáltam, hogy van-e pozitív hatása a 3D nyomtatott háló és térrács erősítésnek a beton teherbírására és milyen arányban van ez a hatás a piacon kapható egyéb termékekkel. A disszertációm során hajlító-húzószilárdság vizsgálatot végeztem próbatesteken, amikhez 3D nyomtatással készítettem zsaluzatokat. A kísérlethez 36 db próbatestet készítettem 250 mm x 50 mm x 20 mm méretben. A próbatest előállításához az 18. ábrán látható kilenc darabból álló saját készítésű nyomtatott műanyag zsaluzatot használtam. A szerkezet egy alaplapra csavarozott két U alakú félből áll, amelyek külön-külön 3-3 különböző szegmensre bonthatók.

Mind két fél egy felső 13 mm magas 3D nyomtatott elemből, egy közbenső beszorító polifoam csíkből és egy alsó 5 mm magas 3D nyomtatott elemből épült fel.

Az alaplapra közvetlenül felfekvő 5 mm magas zsaluelem biztosította a hálók egyenes és párhuzamos elhelyezését a próbatestben, illetve segítségével biztosítható az egyenletes betonfedés, a felső elem pedig a hálók rögzítésére szolgált (18-19. ábra). A két műanyag elem közé kerültek elhelyezésre a hálók a beszorítóhabcsík alá. A két rész megfelelő tömítéséről a beszorító polifoam gondoskodott. Az egész szerkezet lerögzítése a zsaluzat falába elhelyezett 10 db csavar segítségével történt.

18. ábra: Próbatest zsaluzatának felépítése, ami műanyag nyomtatással készült



19. ábra: 3D nyomtatott zsaluzatok összeállítása (felső), zsaluzatok szétbontása (alsó)





20. ábra: Héj nyomtatással készült szabad formák zsaluzata (bal) és a zsaluzatban készített betontermékek (jobb)

A zsaluzatok 3D nyomtatással történő elkészítését a diplomamunka elkészítésének rövid időtartama indokolta és az, hogy hasonló zsaluzat hagyományos technológiával nagyobb energiabefektetést igényelt volna, illetve a zsaluzatok későbbi újra felhasználásának lehetőség se volt mellékes. A zsaluzat PLA anyagból 0,4 mm-es nozzle-lel, 0,3 mm rétegmagassággal, 2 rétegű fallal és 25%-os belső merevítéssel készültek. A próbatestek előállításakor a zsaluzatok semmilyen nyomtatás utókezelést vagy a betonozást megelőző felület előkészítést sem kaptak.

Tapasztalataim alapján a nyomtatott zsaluzatok kiválóan alkalmasak ilyen méretű betonozásra. A nyomtatás megkönnyítette a nagy mennyiségű próbatest előállítását, anyaga miatt könnyű és egyszerűen szerelhető volt. Felületéhez nem tapadt a beton és kialakításnak köszönhetően könnyen eltávolítható volt a kész elemről.

A technológiából fakadó rétegmagasságok vonalai a kész elem felületén is megjelentek, ami a vizsgálatok során nem jelentett problémát, de más esetben ezzel a jelenséggel számolni kell. Ez a probléma felületkezeléssel (csiszolás, kittelés, festés) megszüntethető. A formák kiszaluzás után könnyen tisztíthatók voltak, habár egy-két helyen a rétegvonalak közé a cementlé be tudott tapadni. Ezt a problémát is a felületkezelés, illetve zsalu leválasztó olaj alkalmazása tudja orvosolni.

6.2 2021. évi kutatás

A 2021. november 18-án a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen tartott „3D Betonnyomtatás – az automatizálás és digitalizálás egyik jövőbeli eszköze” konferenciához végzet kutatómunka során előállítottam pár kisebb méretű példát a héj nyomtatással készült beton zsaluzatokhoz is.

A mintákhoz különböző módszerrel megmodellezett tenyérnyi méretű elemeket állítottam elő, demonstrálva a technológia széleskörű alkalmazásának lehetőségeit.

A PLA-ból előállított zsaluzatokat öntömörödő betonnal töltöttem fel és a beton megszilárdulása után hőlégfúvóval távolítottam el. (20. ábra)

A formák ez esetben sem kaptak felületi kezelést. Ennek következtén itt megfigyelhető volt a kész elem felszínén egyes helyeken felületi leválás.

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A 3D nyomtatás szélesebb körű használata az építőiparban is elkezdődött. A 3D nyomtatás építőipari hasznosításának egy új irányzata a beton 3D nyomtatás mellett, a betonozásra alkalmas zsaluzatok nyomtatása. Műanyagból, homokból vagy gipszből történő nyomtatás zsaluzat nyomtatására egyre több példát találni a nagyvilágban és idehaza is vannak törekvések erre.

A tapasztalatok azt bizonyítják, hogy a technológia alkalmas zsaluzatok elkészítésére. 3D nyomtatással előállíthatók egy-

szer és többször használható zsaluzatok a projekt igényének megfelelően. Megfelelő tervezéssel és anyagmegválasztással a hulladék képzés is minimálisra csökkenthető. Nyomtatott zsaluzatok készítésével lehetővé válik olyan formák elkészítése is amik eddig hagyományos zsaluzási technológiával lehetetlenek tűntek. Lényegesen csökkenthető a forma előállítás költségei. Nincs szükség komolyabb szakember gárdára az elemek előállításához, elég csupán 1-2 ember. Anyag- és költséghatékonyabban lehet a termékeket előállítani és megfelelő tervezéssel lényegesen csökkenthető a projektek kivitelezési ideje.

Fent megemlített szempontok miatt így igen valószínű, hogy a közeljövőben a különböző nyomtatási módok az építőipar és alkatrész gyártás számos területén megjelennek majd.

Nagyon fontos tehát, hogy idehaza is elkezdődjenek a komolyabb kutatások a témában és hogy az előregyártó cégek is el kezdjék alkalmazni a technológia nyújtotta lehetőségeket.

8. HIVATKOZÁS

- Brock, S., Hun, D., Brooks, N., & Vines, R. (2019). „3D printing of molds and other innovations to reduce construction time on a large, high profile architectural precast project at the Domino Sugar Redevelopment in Brooklyn, NY, Forrás: https://www.pci.org/PCI_Docs/Papers/2019/2_Final_Paper%20Brock.pdf, Letöltés dátuma: 2022
- Burger, J., Lloret-Fritschi, E., Scotto, F., Demoulin, T., Gebhard, L., Mata-Falcón, J., . . . Flatt, R. (2020. április 1.). 3D Printing and Additive Manufacturing. Forrás: Eggshell: Ultra-Thin Three-Dimensional Printed Formwork for Concrete Structures, (Megjelenés 2020. április 16). Forrás: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/3dp.2019.0197>
- Cain, P. (dátum nélkül.). The impact of layer height on a 3D print., Forrás: <https://www.hubs.com/knowledge-base/impact-layer-height-3d-print/>, Letöltés dátuma: 2022
- Delicate Density - R&D. (2022. 07.). Forrás: Slicelab: <https://slicelab.com/work/delicatedensity>, Letöltés dátuma: 2022
- Future Tree “3D printing” | Gramazio Kohler Research / ETH Zürich. (dátum nélkül.). Forrás: Arch20: <https://www.arch20.com/future-tree-3d-printing-gramazio-kohler-research-eth-zu%cc%88rich/>, Letöltés dátuma: 2021
- GANNON, D. (2019. február 4.). Amazing photos show COOKFOX’s Domino Sugar tower getting its crystalline facade. Forrás: <https://www.6sqft.com/amazing-photos-show-cookfoxs-domino-sugar-tower-getting-its-crystalline-facade/>, Letöltés dátuma: 2021
- Jasta, H. (2021. május 13.). Slicelab 3D Prints Delicate Density Table Using Concrete. Forrás: <https://www.homecrux.com/SLICELAB-3D-PRINTED-CONCRETE-TABLE/153815/>, Letöltés dátuma: 2021
- Octahedron Planter Mold - 3D Printed PLA - Sacred Geometry. (dátum nélkül.). Forrás: <https://edgehill3d.com/products/octahedron-planter-mold-3d-printed-pla-sacred-geometry>, Letöltés dátuma: 2021
- PrusaTester2020. (2020. december 24.). Strange extrusion problem using Bondtech extruder and heat break on Prusa Mini. Forrás: <https://forum.prusa3d.com/forum/user-mods-octoprint-enclosures-nozzles/strange-extrusion-problem-using-bondtech-extruder-and-heat-break-on-prusa-mini/>, Letöltés dátuma: 2021

Schalungen für Stützen in Beton, Stützen mit Pilzkopf, dekorative Stützen. (2022. 07. 22.). Forrás: Affentranger 3dcp: <https://www.affentranger3dcp.ch/anwendungen/stuetzen>, Letöltés dátuma: 2022

SIKA 3D concrete printing. (2022). Sika.

Smyth, L. (2018. március 20). 3D printed framework helps quick production of complex concrete elements. Forrás: <https://www.engineerlive.com/content/3d-printed-framework-helps-quick-production-complex-concrete-elements>, Letöltés dátuma: 2021

Tábi, E. (2018. augusztus 14). Okos födém 3D nyomtatással. Forrás: <https://lechnerkozpont.hu/cikk/okos-fodem-3d-nyomtatással>, Letöltés dátuma: 2022

The Smart Slab. (2022. 07.). Forrás: Digital Building Technologies: <https://dbt.arch.ethz.ch/project/smart-slab>, Letöltés dátuma: 2022

Kasik Tamás (1987.) BSc diplomámat a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karán 2013-ban szereztem meg, majd 2017-ben az MSC képzést is elvégeztem ezen az egyetemen. Munkahelyi pályafutásomat a Budakeszi Építés Hatóságnál kezdtem, ahol magas szintű építőipari jogi ismeretekre tettem szert. A közigazgatás után karrieremet több kisebb tervezőirodában folytattam, ahol software ismereteimet tudtam kamatoztatni és tapasztalatokat szereztem egyéni munkavégzés és tervezés terén. 2017-től 2019-ig az EB Hungary Invest Kft.-nél dolgozom először, mint építésvezető, majd tervező és termelés előkészítő. A cég több építkezési beruházásán is voltam építésvezető, így nem jelent problémát az alvállalkozókkal történő

együttműködés, irodai munkám során pedig a projektek előkészítésébe is volt szerencsém belekóstolni. 2019. második felében egy rövid időt eltölthettem az IVANKA Factory Zrt. kötelékén belül, projekt menedzser pozícióban, ahol közelebről is megismerkedhettem a látszó beton elemek készítésével. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 2019-ben megkezdtem Betontechnológusi képzésemet, amit 2021. elején sikeres diplomával zártam. 2019-óta a PREbeton Zrt-nél dolgozok fejlesztési mérnök pozícióban, ahol ipari és egyedi beton elemek gyártásával foglalkozok és emellett betontechnológiai ismereteimet próbálom szélesíteni.

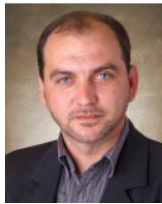
3D PRINTED MOLD FOR CONCRETE

Tamás Kasik

Concrete is a popular material for architects and civil engineers because of its high structural strength and ability to take on almost any shape. However, the shaping of concrete structures usually requires a heavy-duty formwork that supports the fresh concrete during development of strength. A new possibility for the design of free forms is 3D printing, which can also be used to create formwork suitable for concreting. This article summarizes the technology and methods of this type of formwork formation, presenting some of the projects made with such technology in the world, along with the author's own examples.

HASZNÁLATI ÉLETTARTAM BECSLÉSI LEHETŐSÉGE KLORIDIONOK BEHATOLÁSA ESETÉN

<https://doi.org/10.32969/VB.2022.3.2>



Dr. Kopecskó Katalin, Laczkó László, Spránitz Ferenc, Dr. Szilágyi Tamás, Dr. Wojnárovitsné Hrapka Ilona, Dr. Balázs L. György

A vasbeton szerkezetek tartósságának javítása céljából a második generációs EC-2 szabványt a használati élettartam mérnöki becslésével is kiegészítik. Az anyagoldali ellenállás számszerűsítésében kiemelt jelentőséget kapnak a transzportfolyamatokat, az ion- és molekulavándorlást vizsgáló eljárások. Az ionok diffúziójának vizsgálata az acélbetétek korróziós kockázata tervezéséhez ad tájékoztatást pl. a széndioxid (karbonátosodás), valamint a kloridion diffúziójának vizsgálata révén. A hosszú időtartamú kloridion-diffúziós folyamatok gyorsítására kidolgozott módszerrel (MSZ EN 12390-18 szabvány) kloridmigrációs vizsgálatokat végeztek a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Laboratóriumában, valamint a SZIKKTI Labor Kft-ben. A cikkben összegezzük, összehasonlítjuk, feldolgozzuk és értékeljük a két laboratórium egy-, két- és háromösszetevős kötőanyagokon mért vizsgálati eredményeit.

Kulcsszavak: használati élettartam, diffúzió, kloridmigrációs együttható, kortényező

1. BEVEZETÉS

A vasbeton szerkezetek megjelenésével egyidős az a kérdés, hogy milyen tartósságra lehet számítani ezek kivitelezésekor, illetve „Hány évig áll majd ez a híd?”. Nem egyszerű erre a kérdésre mérnöki megalapozottsággal válaszolni. Nem véletlen, hogy a tartóssági problémák egyidősek a vasbeton használatának elterjedésével. Már a kezdetektől az a tervezési koncepció tűnt ésszerűnek, hogy a szerkezetek teherbírása, használhatósága szempontjából legfontosabb tulajdonságot, a nyomószilárdságot hozzák kapcsolatba a tartóssággal, illetve minden egyéb olyan tulajdonsággal, ami az adott esetben szükségesnek mutatkozik (pl. vízzáróság, fagyállóság, kopásállóság, agresszív közegekkel szembeni ellenállás stb.).

Az elsődleges szempontnak tekintett nyomószilárdság viszonylag könnyen, egyszerű módszerekkel meghatározható. Mindamelllett az elmúlt száz év egymást követő tervezési előírásai egyre nagyobb betonfedéseket írtak elő az azonos veszélyeztetettségű vasbeton szerkezetekre. Ez annak a tapasztalatnak tulajdonítható, hogy a vasbeton szerkezetekben az acélkorróziót nem lehet teljesen kiküszöbölni, legfeljebb csak késleltetni.

A tartóssággal kapcsolatos problémák és megoldási lehetőségek ismeretében a szabványalkotó szakemberek már a legelső európai betonszabvány verzió (prEN 206-1:1985) készítésekor megemlítik a bevezetésben: „*A teljesítmény alapú elvek kidolgozása folyamatban vannak a határértékek elvének alternatívájaként*”; azonban az említett „*teljesítmény alapú elvek*” és megoldási lehetőségek mérnöki számszerűsítéséhez még további 30 év, illetve ezek szabványosításához várhatóan 40 év szükséges.

A CEN szabványelőkészítő közös (JWG TC250/104) munkacsoport dokumentumai (CEN/TC 250; Greve-Dierfeld – Gehlen, 2014; Leivestad, 2014a; 2014b) szerint a második generációs EC-2 és EN 206 szabványokban az erőtani

tervezést olyan, matematikai modelleken alapuló anyagtani tervezés is ki kell, hogy egészítse, amely számszerűsített formában figyelembe veszi mind a várható környezeti hatásokat (pl. karbonátosodás, fagyás, kloridok), mind pedig a beton anyagának az ellenállását. Előreláthatóan a 2024-ben bevezetésre kerülő második generációs európai betonszabványokban az eddigi alapkoncepció ugyan nem változik – tehát a tervezési gyakorlat továbbra is a teherbírasi, használhatósági és a tartóssági követelményeken alapul – de a tartóssági megfelelés már nem csak a különböző határértékek (pl. víz-cement tényező, nyomószilárdság stb.) betartása útján lesz igazolható, hanem a természetben lejátszódó fizikai-kémiai folyamatok matematikai modellezésével is (Helland, 2016).

Az anyagoldali ellenállás számszerűsítésében kiemelt jelentőségűek lesznek azok az eljárások, szabványosított vizsgálati módszerek, amelyekkel a beton pórusrendszerében végbemenő transzportfolyamatok, az ion- és molekulavándorlások mérhetővé és számszerűsíthetővé tehetőek: a környezeti határolással kell összevetni a tervezett beton ellenállás oldali jellemzőit, s ezeket azonos dimenzióval (pl. c_{nom} betonfedés, mm) kell számszerűsíteni (*fib* Bulletin 34, 2006; *fib*, 2013; *fib* Bulletin 76, 2015; Spránitz, 2016; Zaid A.A. – Kopecskó, 2019; Kopecskó and Mlinárik, 2022).

Az ionok diffúziójának vizsgálata az acélbetétek korróziója szempontjából tájékoztatást ad a tervezéshez pl. a széndioxid (karbonátosodás), valamint a kloridionok diffúziójának becslése vagy vizsgálata révén. Régóta ismert, hogy a diffúzió mérsékelhető a beton utókezelésének a javításával, kiegészítő anyagokkal, tömítő adalékszerekkel, felületi bevonatokkal és egyes impregnálószerekkel, de ezek hatékonyságát a közelmúltig nehéz volt kielégítő módon értékelni, ill. a használati élettartam számításához illeszteni, a megfelelő vizsgálati szabványok hiányában.

A kloridion-diffúziós folyamatok gyorsítására kidolgozott módszerrel (MSZ EN 12390-18 szabvány), az NVKP_16

pályázat és ipari megbízások keretében nagyszámú kloridmigrációs vizsgálatot végeztek különböző összetételű cementhabarcsokon, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Laboratóriumában és a SZIKKTI Labor Kft-ben. A két vizsgálólaboratórium egy-, két- és háromösszetevős kötőanyagokat használt a vizsgálati habarcs próbatestek készítéséhez. A cikkben összegezzük, összehasonlítjuk és értékeljük a két laboratórium méréseit.

Munkánk remélhetőleg elősegíti, hogy néhány év múlva már megalapozott választ adhassunk erre a kérdésre: „Hány évig áll majd ez a híd?”.

2. KÖTŐANYAGOK ÉS KEVERÉKEK JELÖLÉSE

A vizsgálati próbatestek kötőanyagainak felsorolását és jelölését az 1. táblázat részletezi. Összesen 6-féle cementtípus, 4-féle metakaolint, valamint 1-1 kőszénpernye, granulált kohósalak, szilikapor és mészköliszt kiegészítő anyagot használtak fel a vizsgálatokhoz.

Az 1. táblázat felső része rózsaszín háttérrel jelöli az „A” labor (1-15 jelölés); míg az alatta lévő, zöld háttérszín jelöli a „B” labor által alkalmazott keverékek összetételét (R0a – 134 jelölés).

A kloridion migrációs vizsgálatokat mindkét laboratórium habarcs próbatesteken végezte, 0,4 víz-kötőanyag tényező mellett, azonban a két laboratórium esetében az adalékanyag váz eltérő volt.

Az „A” labor összesen 15 féle mintát vizsgált: a 3 féle CEM I (etalon) cementtípuson (jelük 13, 14 és 15) kívül 12 keveréket vizsgáltak: 8 db háromösszetevős kötőanyaggal, 4 db pedig kétösszetevős kötőanyaggal készült. A háromösszetevős kötőanyag-kombinációknál mindhárom cementtípussal vizsgálták a kétféle metakaolin + egyféle kőszénpernye hatását, továbbá egyfajta cementtípus esetében a mészköliszt + metakaolin, valamint a granulált kohósalak + kőszénpernye hatását. Két cementtípusnál tanulmányozták a 20% granulált kohósalak tartalom hatását, valamint egyfajta cementtípusnál a 35% granulált kohósalak és a 10% szilikapor adagolás hatását.

A „B” labor összesen 19 féle mintát vizsgált. Vizsgálataik részben a kohósalak tartalom hatásának vizsgálatára irányultak. Kétféle tiszta portlandcementet (szulfátálló, valamint nem szulfátálló tiszta portlandcement), valamint kétféle, kohósalakkal készített cementet (R2 kohósalak portlandcement és R3 kohósalak cement) vizsgáltak. A szabványos, kereskedelmi forgalomban kapható cementek mellett laboratóriumi/kísérleti kohósalak portlandcementeket (R4, R5 és R6) is előállítottak és vizsgáltak. R4 esetében 86,7% R1 + 13,3 % CEM

1. táblázat: Az alkalmazott keverékek összetétele

Jelölés	cementtípus jele						metakaolin jele				pernye	salak	szilikapor	mészkő-
	CEM I "A"	CEM I "B"	CEM I "C"	CEM I "D"	CEM II/A-S	CEM III/A	MK1	MK2	MK3	MK4	UFFA	GGBS	SF	liszt
1	0,75						0,07				0,18			
2	0,75							0,07			0,18			
3	0,75										0,07	0,18		
4	0,80											0,20		
5	0,75							0,10						0,15
6		0,80										0,20		
7		0,75					0,07				0,18			
8		0,75						0,07			0,18			
9			0,75				0,07				0,18			
10			0,75					0,07			0,18			
11			0,90										0,10	
12			0,65									0,35		
13	1,00													
14		1,00												
15			1,00											
R0a			1,00											
R0b				1,00										
R1	1,00													
R2					1,00									
R3						1,00								
R4	0,867					0,133								
R5				0,92								0,08		
R6				0,867		0,133								
111			0,90							0,10				
112			0,83							0,17				
113			0,95										0,05	
114			0,90						0,07				0,03	
121			0,90					0,10						
122			0,83					0,17						
123			0,90					0,07					0,03	
131			0,95								0,05			
132			0,90								0,10			
133			0,83								0,17			
134			0,90								0,07		0,03	

III/A 32,5 N összekeverésével ugyanolyan kohósalak tartalmú cementet állítottak elő, mint a CEM II/A (= R2). R5 esetében portlandcement és külön örölt kohósalak keverésével állították elő az R2, illetve R4 jellegű cement összetételt, azaz a különbséggel, hogy míg az R4 cementrésze normál portlandcement, az R5 cementrésze szulfátálló portlandcement: 92,0% CEM I + 8% GGBS. Az R6 keverék kohósalak tartalma ugyanannyi, mint az előző (R2 kereskedelmi, valamint R4 és R5 kísérleti) kohósalak portlandcementeké, de a szulfátálló portlandcementhez a 8 % salaktartalmat jelen esetben egy nagyobb kohósalak tartalmú cement segítségével keverték: 86,7% CEM I + 13,3% CEM III/A.

„B” labor a kohósalak hatásán túl, egyfajta cementtípus (R0a jelű CEM I) mellett vizsgált még 11 féle két- és háromösszetevős kötőanyagot: 8 db kétösszetevős kötőanyagot (CEM I + kétfajta metakaolin, kétféle adagolásban; CEM I és kőszénpernye háromféle adagolásban; valamint CEM I és szilikapor egyfajta adagolásban), valamint 3 db háromösszetevős kötőanyagot (R0a és kétféle metakaolin + szilikapor, valamint CEM I és kőszénpernye + szilikapor). Mivel ez utóbbi vizsgálatokat egyfajta cementtípus mellett végezték, lehetőség mutatkozott a kiegészítőanyagok kloridmigrációra gyakorolt hatásának tanulmányozására. A kötőanyag keverékeken a kloridmigráció mellett a kémiai ellenálló képességet is vizsgálták (Kopecskó et al., 2020).

Mivel a vizsgálatok nagyobb részében a különböző cementtípusokkal egyazon kiegészítőanyagot, ill. kiegészítőanyagok kombinációit vizsgálták, így a kiegészítőanyagok (supplementary cementitious materials, SCMs) hatásának megítélhetősége mellett a cementtípusok hatására is következtethetünk.

3. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben a különböző cementek és kötőanyag keverékek mért kloridmigrációs együtthatóit, valamint az azokból származtatott környezőket mutatjuk be. Az 1-7. ábrák log-log léptékű grafikonjain ábrázoljuk mindkét laboratórium kloridmigrációs mérési eredményeit, és az ezekre illeszkedő hatványfüggvények trendvonalát. A trendvonalak meredeksége (az a környező) jól érzékelteti az egyes kötőanyagok kloridmigrációra gyakorolt hatásának időbeli változását.

4. A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

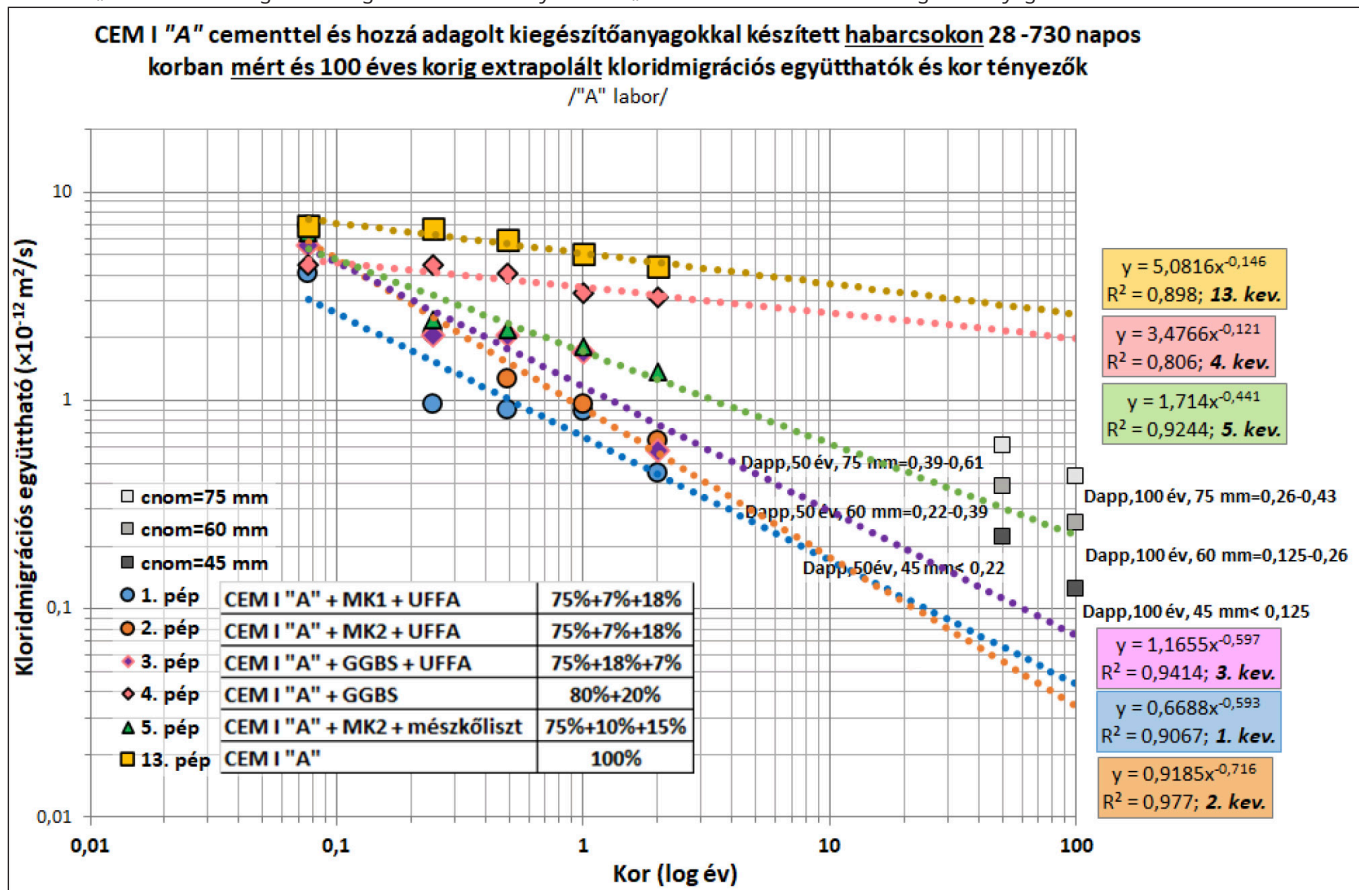
Az 1-7. ábrákon grafikusán megjelenített vizsgálati eredményeket különböző szempontok szerinti feldolgozásokban szemléltetjük.

4.1 Cementtípus hatása a kloridmigrációra

A 8-9. ábrák bemutatják a külön adagolt kiegészítőanyagok nélküli, gyári cementekkel (4 db CEM I, 1-1 db CEM II és CEM III), ill. két esetben ezek keverékével készített habarcsokon mért eredményeket.

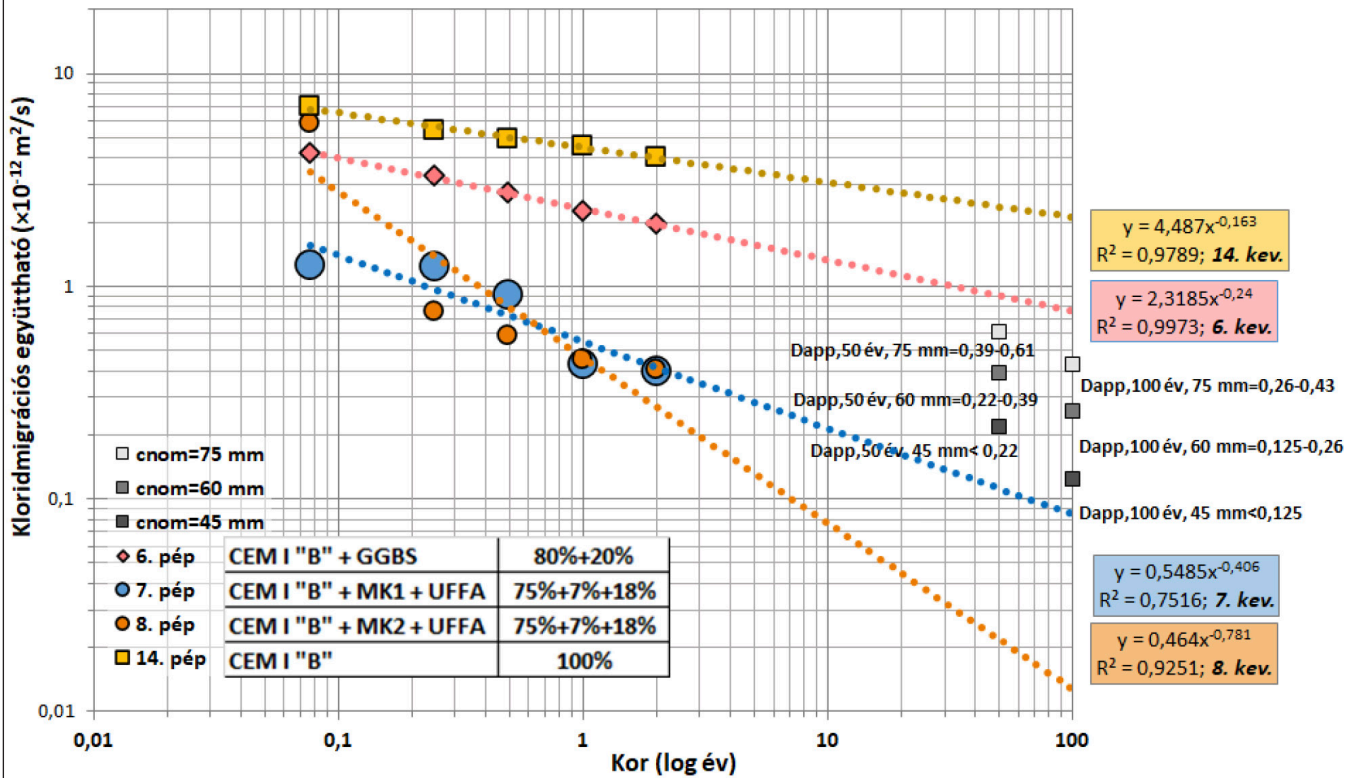
A 8. ábra görbéinek lefutásából látható, hogy a sötétkek pontozott vonallal jelölt CEM III/A cementtípus kivételével sem a vizsgált gyári cementtípusok, sem pedig ezek keverékei (laboratóriumi/kísérleti cementek) nem tűnnek alkalmasnak 50 év használati élettartamra, még $c_{nom}=75$ mm betonfedés mellett sem.

1. ábra: „A” labor kloridmigrációs vizsgálatainak eredményei CEM I „A” cementtel és különböző kiegészítőanyagokkal készített habarcsokon



CEM I "B" cementtel és hozzá adagolt kiegészítőanyagokkal készített habarcsokon 28-730 napos korban mért és 100 éves korig extrapolált kloridmigrációs együtthatók és kor tényezők

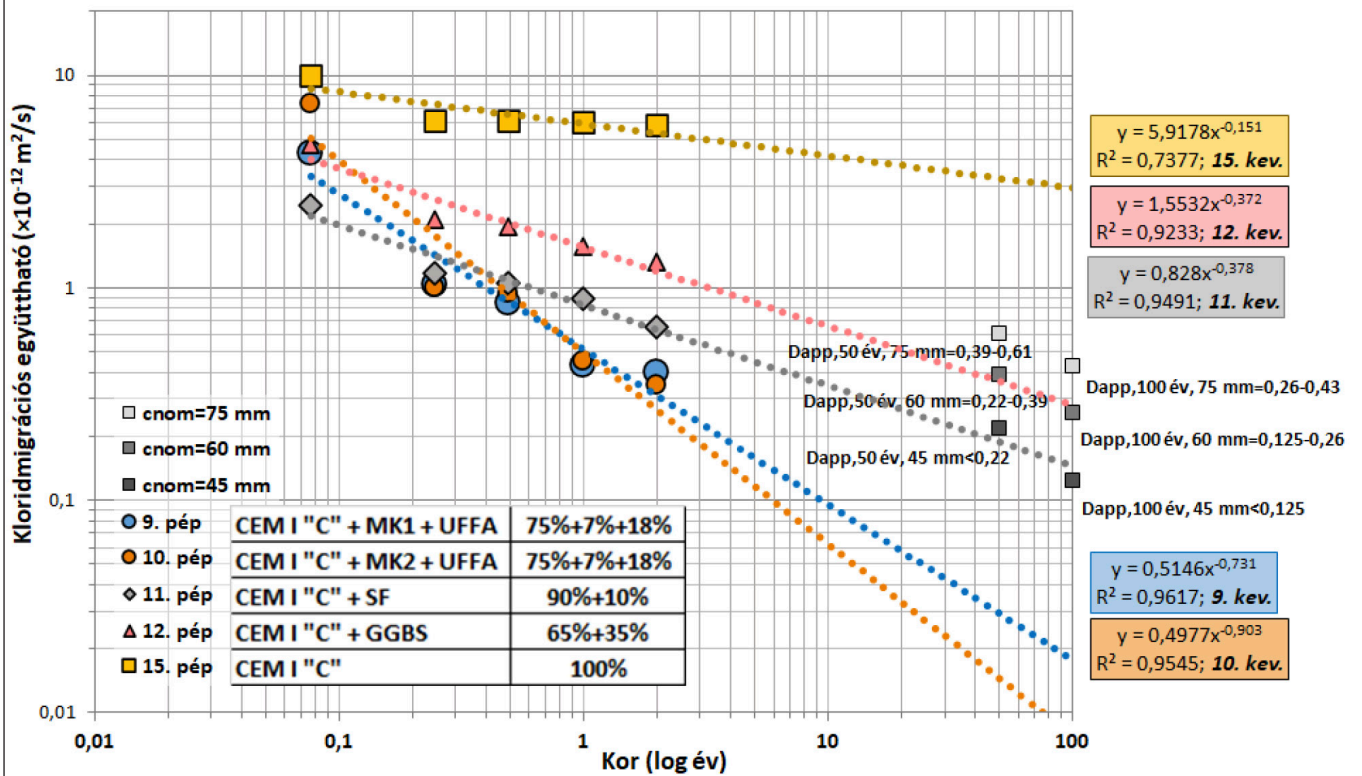
/"A" labor/



2. ábra: „A” labor kloridmigrációs vizsgálatainak eredményei CEM I „B” cementtel és különböző kiegészítőanyagokkal készített habarcsokon

CEM I "C" cementtel és hozzá adagolt kiegészítőanyagokkal készített habarcsokon 28-730 napos korban mért és 100 éves korig extrapolált kloridmigrációs együtthatók és kor tényezők

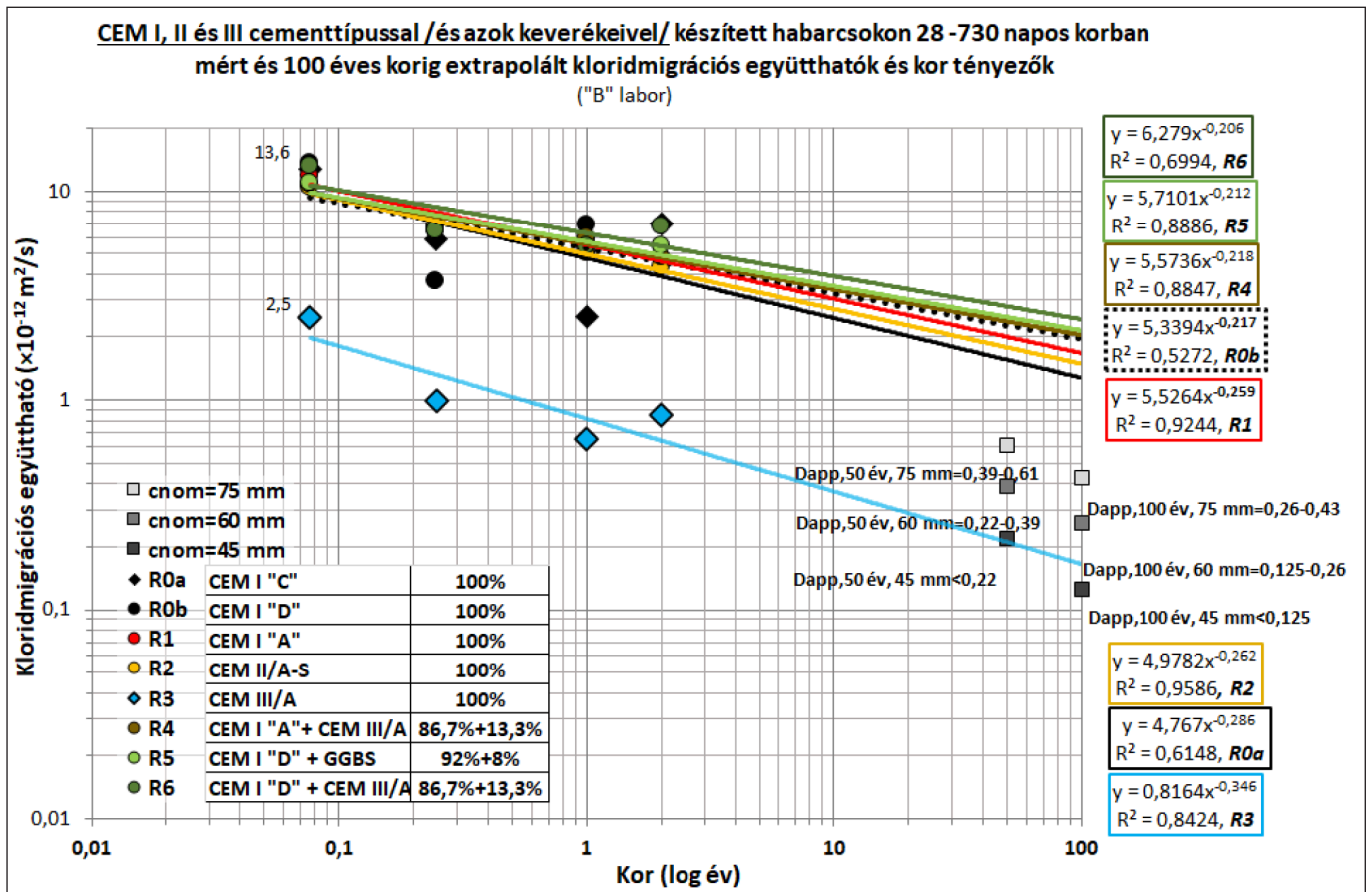
/"A" labor/



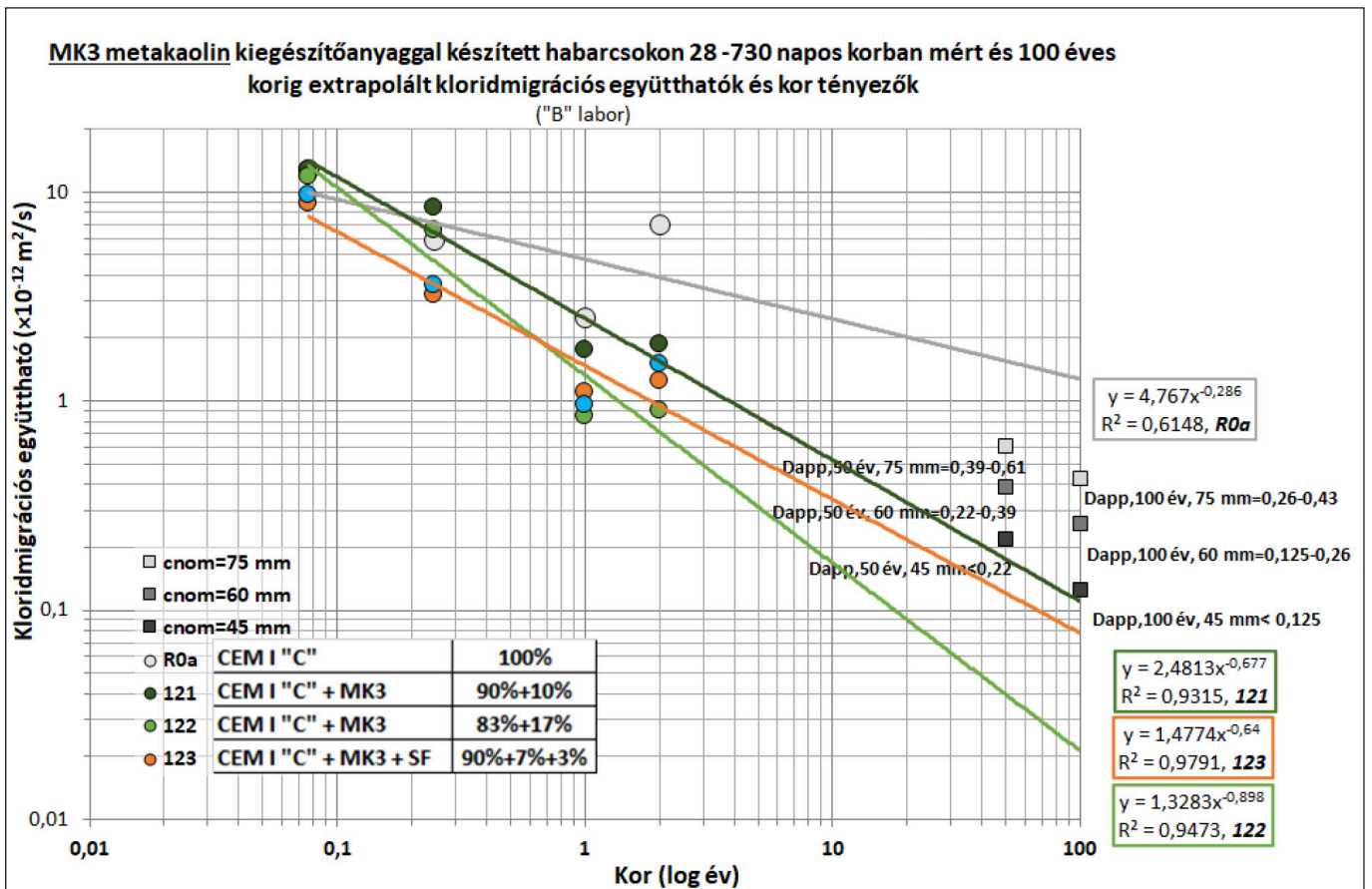
3. ábra: „A” labor kloridmigrációs vizsgálatainak eredményei CEM I „C” cementtel és különböző kiegészítőanyagokkal készített habarcsokon

A vizsgált CEM III/A cementtípus még éppen alkalmasnak mutatkozik $c_{nom}=45$ mm betonfedés mellett az 50 év használati élettartamra, de a 100 éves élettartamhoz várhatóan $c_{nom}=60$ mm szükséges. Meg kell jegyeznünk, hogy a 8-9. ábrákon az egyik

laboratórium által vizsgált - rombuszjal jelölt - CEM I kötőanyagú próbatestek kortényezői valamelyest kisebbek (kedvezőtlenebbek), mint a – körrel jelölt – másiké. Ezt magyarázhatja a két laboratórium által alkalmazott, kismértékben eltérő



4. ábra: „B” labor kloridmigrációs vizsgálatának eredményei CEM I, CEM II és CEM III cementtípusokkal készített habarcsokon



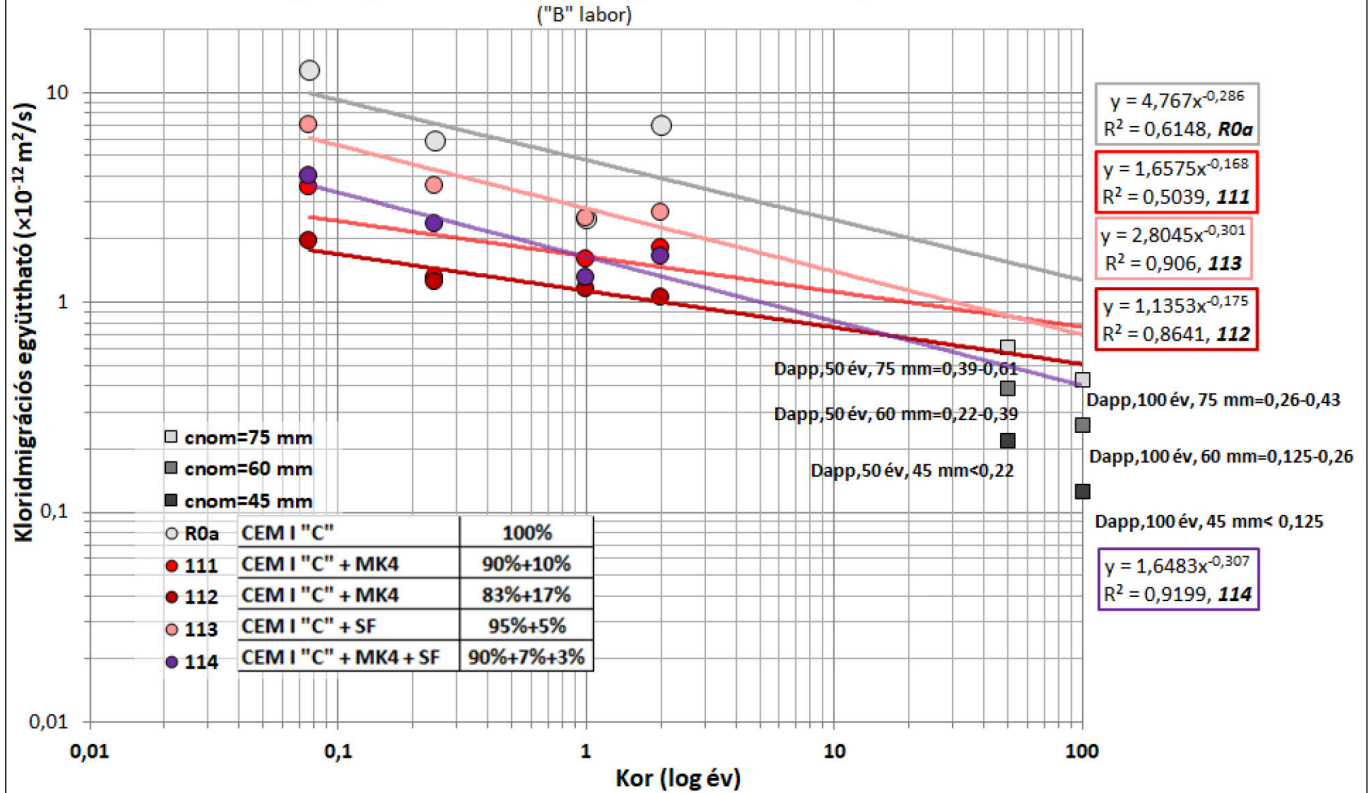
5. ábra: „B” labor kloridmigrációs vizsgálatának eredményei MK3 metakaolin, valamint szilikapor (SF) kiegészítőanyaggal készített habarcsokon

keverési arány és eltérő sűrűségű alapanyag, melyek közelítőleg $\Delta V_{pép} = 10-17 \text{ l/m}^3$ különbséget eredményeztek az egyes laboratóriumok által készített próbatestek péptartalmában.

Mindkét labor vizsgálataiból kitűnik, hogy a CEM I

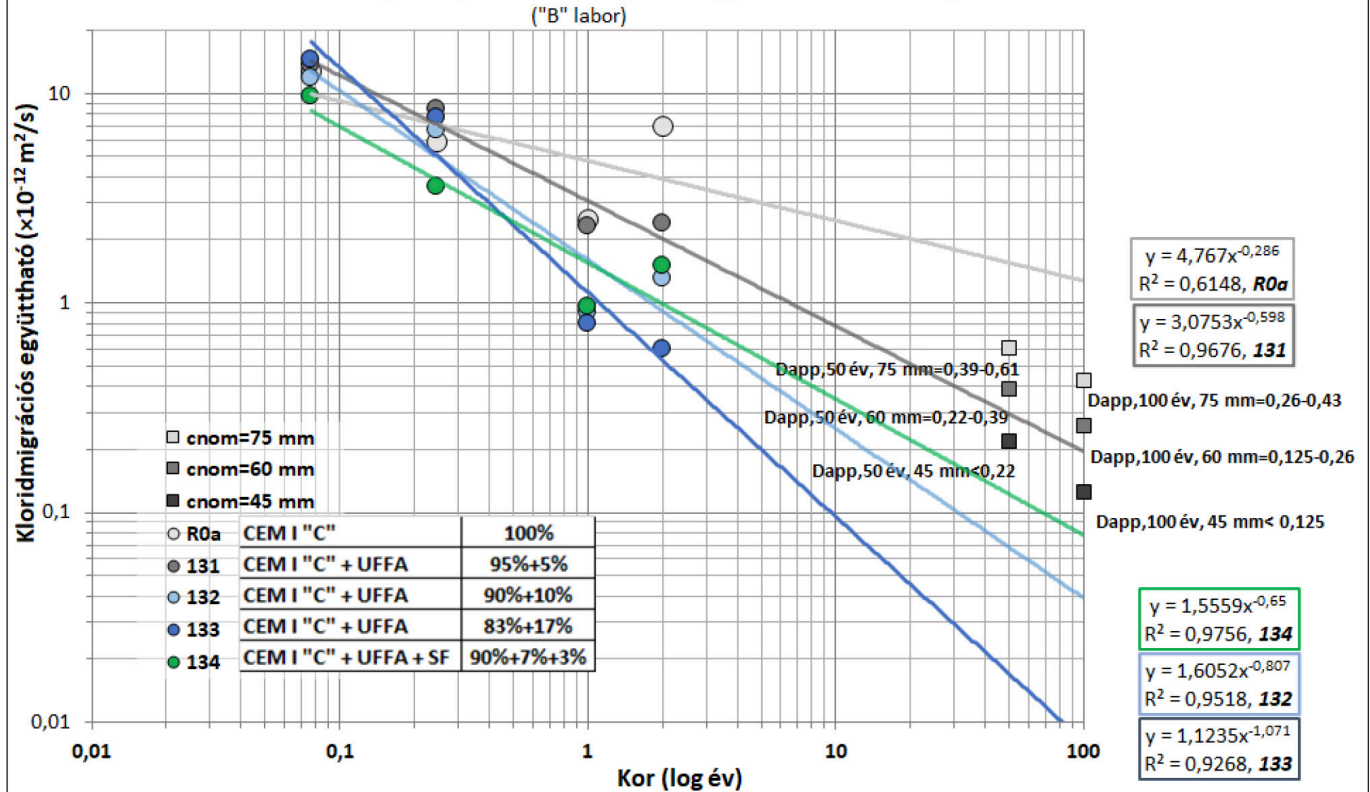
cementek és a mérsékelt kohósalak tartalmú (CEM II/A-S) cementek várhatóan nem hatásosak a kloridmigráció megfelelő mértékű lassítására (8. ábra). A kohósalak tartalom hatását és a célszerűnek mutakozó adagolását a 4.2. fejezetben elemizzük.

MK4 metakaolin kiegészítőanyaggal készített habarcsokon 28 -730 napos korban mért és 100 éves korig extrapolált kloridmigrációs együtthatók és kor tényezők



6. ábra: „B” labor kloridmigrációs vizsgálatainak eredményei MK4 metakaolin, valamint szilikapor kiegészítőanyaggal készített habarcsokon

UFFA (ultra finom kőszénpernye) kiegészítőanyaggal készített habarcsokon 28 -730 napos korban mért és 100 éves korig extrapolált kloridmigrációs együtthatók és kor tényezők



7. ábra: „B” labor kloridmigrációs vizsgálatainak eredményei UFFA kőszénpernye, valamint szilikapor kiegészítőanyaggal készített habarcsokon

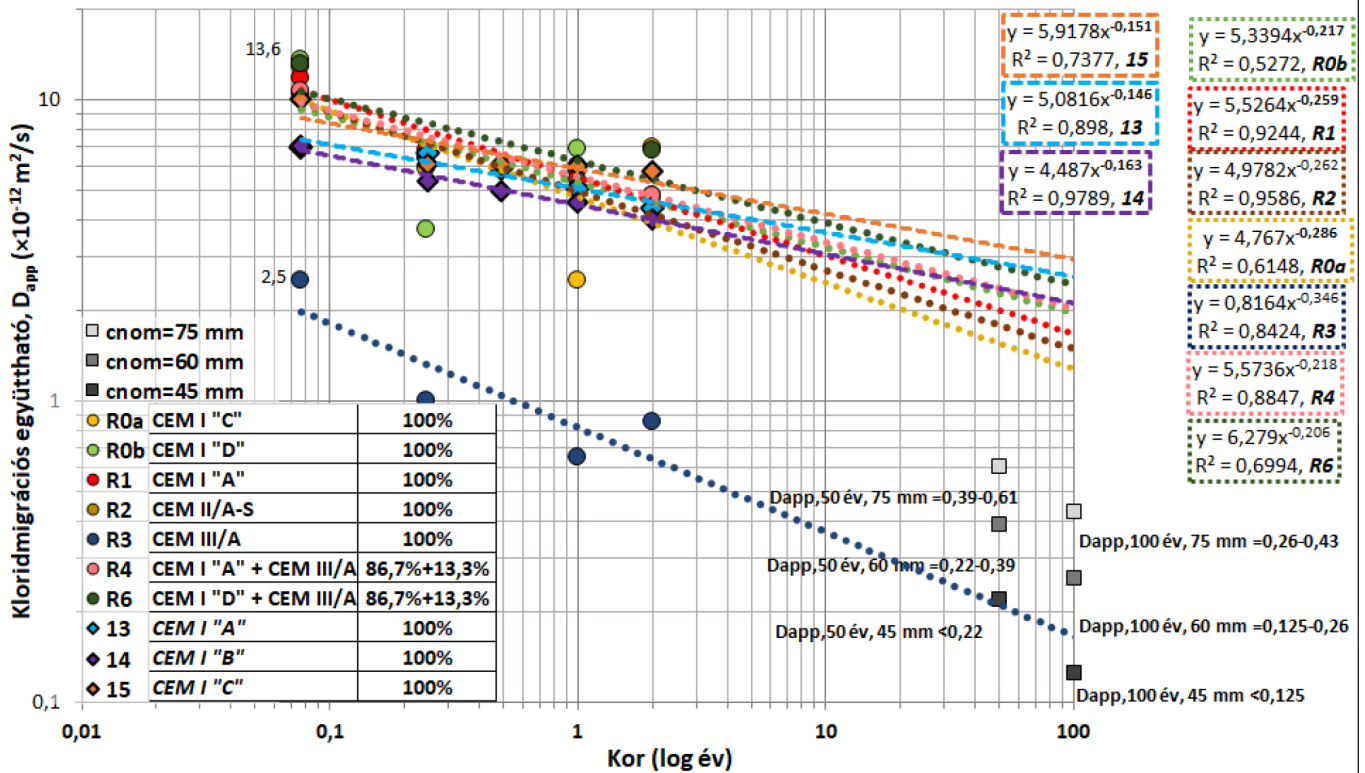
A 9. ábrán a két laboratórium által vizsgált négyféle portlandcement kloridmigrációra kifejtett hatása látható.

A 10. ábra alapján megállapítható, hogy főleg a 100 évre vagy annál is hosszabb élettartamra tervezett (monumentális)

vasbeton szerkezeteknél lényeges a megfelelően kiválasztott kiegészítőanyagok mellett az alkalmazott CEM I típusa is.

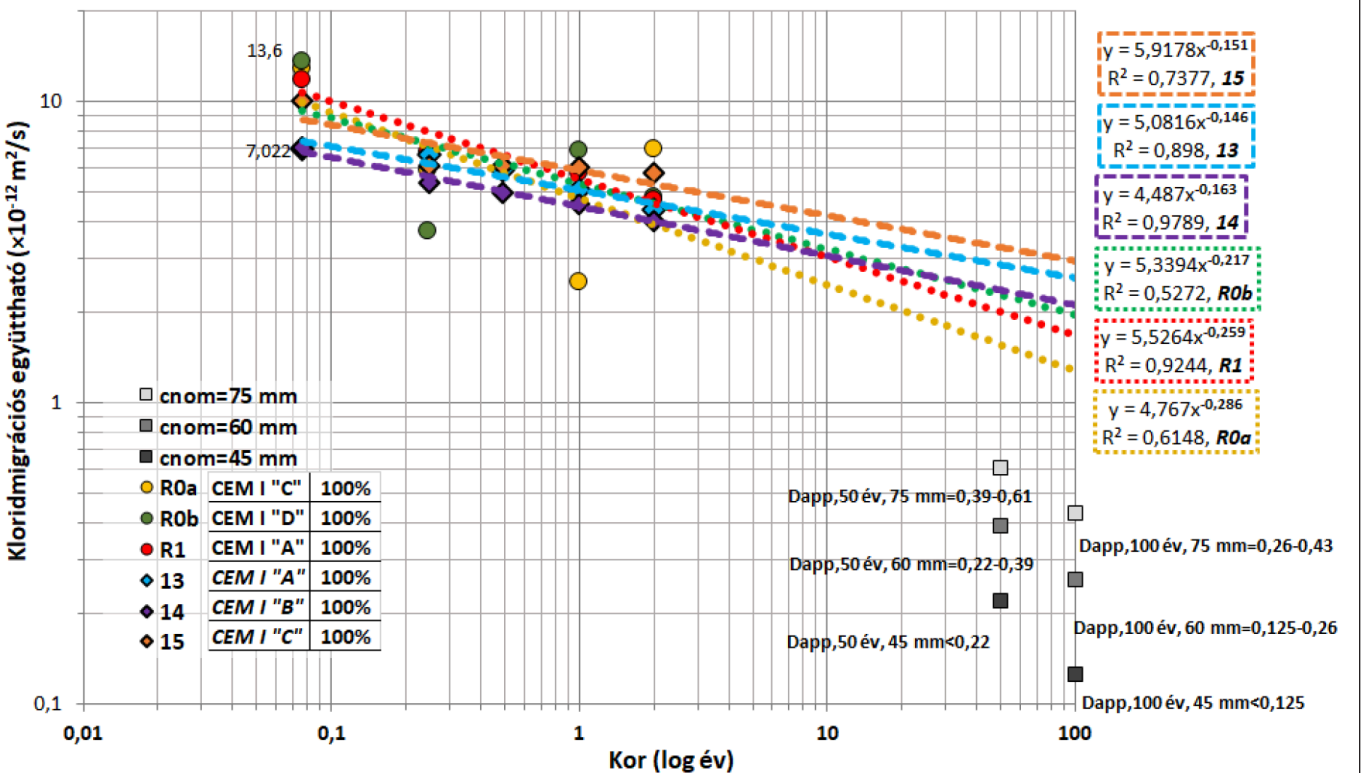
A vizsgálatok eredményei szerint a cementtípustól függően, egyazon kiegészítőanyagok használata esetén is mutat-

CEM I, CEM II/A-S és CEM III/A cementekkel és ezek keverékével készített habarcsokon 28 - 730 napos korban mért és 100 éves korig extrapolált kloridmigrációs együtthatók és kor tényezők



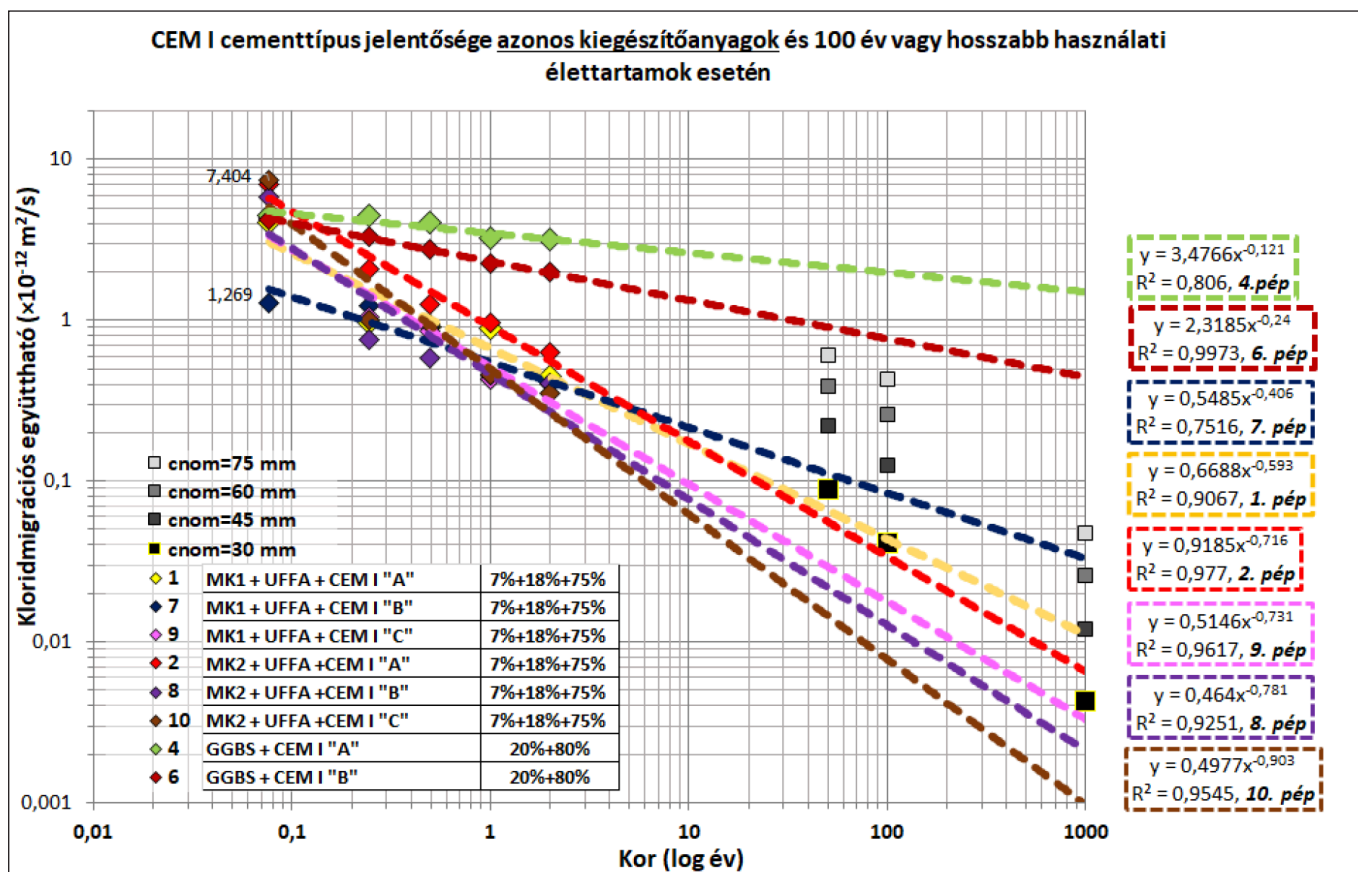
8. ábra: A CEM I, CEM II/A-S (kereskedelmi és kísérleti) és CEM III/A cementek hatása a kloridmigrációra

Négyféle CEM I cementtípussal /kiegészítőanyagok nélkül/ készített habarcsokon 28 - 730 napos korban mért és 100 éves korig extrapolált kloridmigrációs együtthatók és kor tényezők

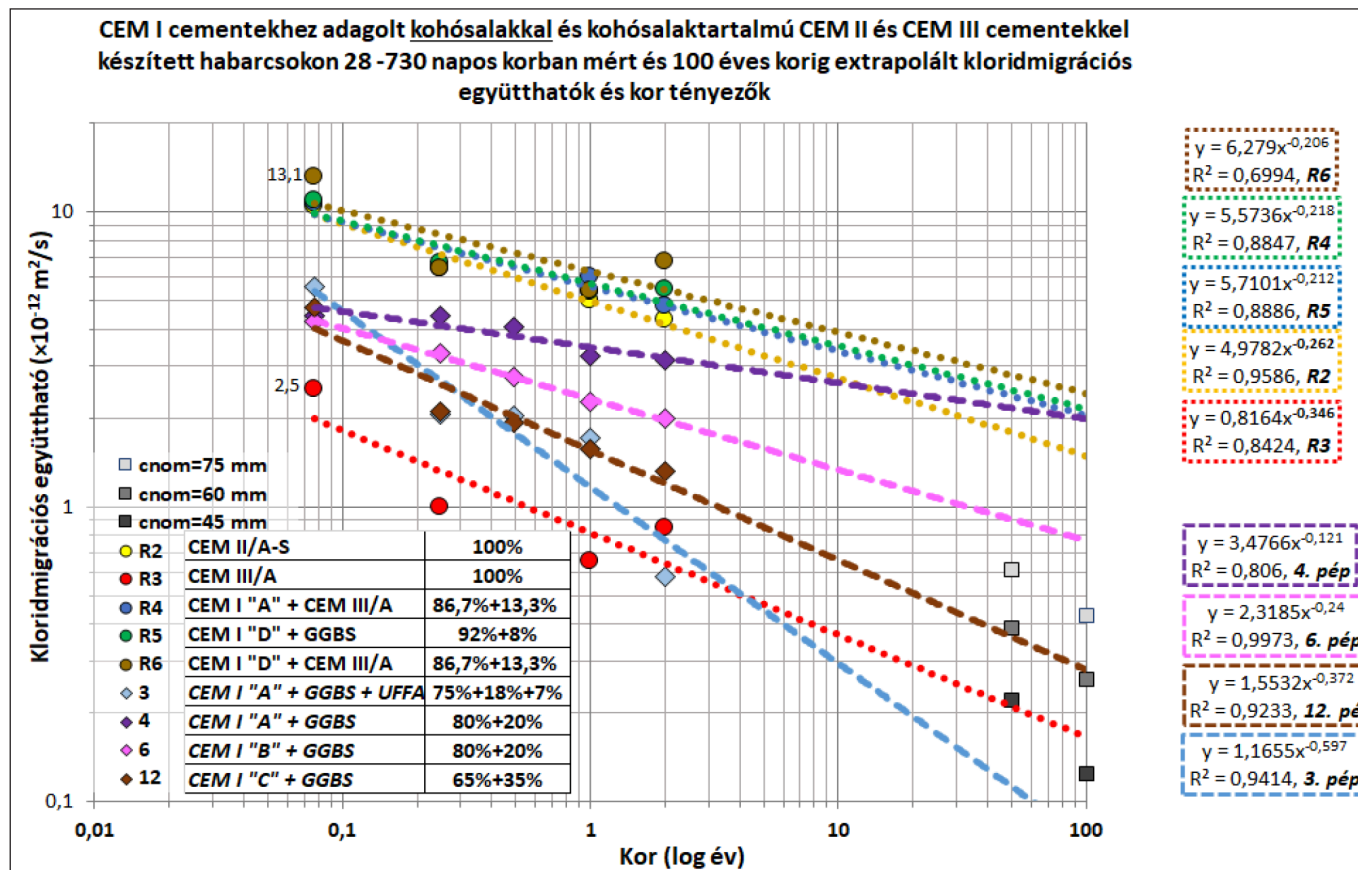


9. ábra: A különféle portlandcementek hatása a kloridmigrációra

kozhat jelentős eltérés a szükséges betonfedés mértékében (lásd 10. ábrán a sárga, kék és rózsaszínű, szaggatott vonalú, azaz rendre az 1, 7 és 9 jelű keverékek lefutási görbéit).



10. ábra: A különféle kiegészítőanyagok és portlandcementek hatása a kloridmigrációra



11. ábra: Az őrlött granulált kohósalaktartalom hatása a kloridmigrációra

4.2 Órlött granulált kohósalaktartalom hatása a kloridmigrációra

A 11. ábrából kitűnik, hogy a kohósalak adagolásának a

kloridmigrációra gyakorolt előnyös hatása kb. 35%-tól fölfelé várható (lásd barna szaggatott vonalat). Ilyen mértékű kohósalaktartalom mellett az 50 és a 100 év használati élettartamhoz szükséges betonfedés mértéke a grafikon szerint $c_{nom}=60$ mm, ill. 75 mm. A 2-összetevős kötőanyagban a kohósalaktartalom 35% alatti mennyisége esetén nem várható

jelentős ellenállás a kloridbehatolással szemben. Amennyiben a kohósalaktartalom eléri az 50-60%-ot (pl. CEM III/A cement, R3 jelű, piros pontozott vonalú keverék), akkor az 50 és a 100 év használati élettartamhoz már kisebb betonfedés is elegendőnek mutatkozik (rendre $c_{nom}=45$, ill. 60 mm).

Ugyanakkor már a mérsékelt (18%) kohósalaktartalom mellett is várhatóan megfelel a 100 év használati élettartamnak a $c_{nom}=45$ mm betonfedés, ha a kötőanyag 3-összetevős, és a kohósalak mellett 7% pernyét is tartalmaz (lásd szaggatott világoskék vonallal jelölt 3. keverék görbéjének lefutását).

Az örölt granulált kohósalak előnyös hatását a kloridion migrációra már korábbi kutatási eredményeink is alátámasztották (Kopecskó and Balázs, 2017).

4.3 Kiegészítőanyagok hatása a kloridmigrációra

A 12. ábra mutatja a különböző kiegészítőanyagokat és egyfajta cementtípust tartalmazó próbatestek mérési adatait, a görbék lefutását, valamint a különböző használati élettartamokhoz szükséges betonfedés értékeit.

Meglepő módon még kis betonfedés ($c_{nom}=30$ mm) mellett is elérhetőnek mutatkozik az akár 1000 év használati élettartam, ha az alkalmazott kétösszetevős kötőanyagban a kiegészítőanyag 17% kőszénpernye vagy ugyanennyi MK3 metakaolin (lásd 133 és 122 jelű, fekete és lila színű pontozott vonallal jelölt, két legelső keverék lefutását a 12. ábrán).

A kőszénpernye mennyiségének csökkentésével (17%-ról 10%-ra és 5%-ra) a betonfedés $c_{nom}=30$ mm, ill. 60 mm értéke még megfelelhet a 100 éves használati élettartamnak (lásd 133, 132 és 131 jelű; rendre fekete, narancs és sötétbarna színű, pontozott vonallal jelölt keverékek).

Önmagában az MK3 metakaolin 10%-os adagolása is elegendőnek mutatkozik a 100 éves élettartamhoz a betonfedés $c_{nom}=45$ mm értéke mellett (sötétkék pontozott

vonalú, 121-es keverék). A 100 év használati élettartam és a $c_{nom}=45$ mm betonfedés együttes elvárásának kiválóan megfelelhet a fentiekén túl még kétféle háromösszetevős kötőanyagkombináció is (7% MK3 metakaolin + 3% szilikapor, ill. 7% kőszénpernye + 3% szilikapor, lásd a rózsaszínű ill. világoskék, egymáshoz igen közeli pontozott vonalakkal jelölt 123, ill. 134 jelű keverékek görbéjét).

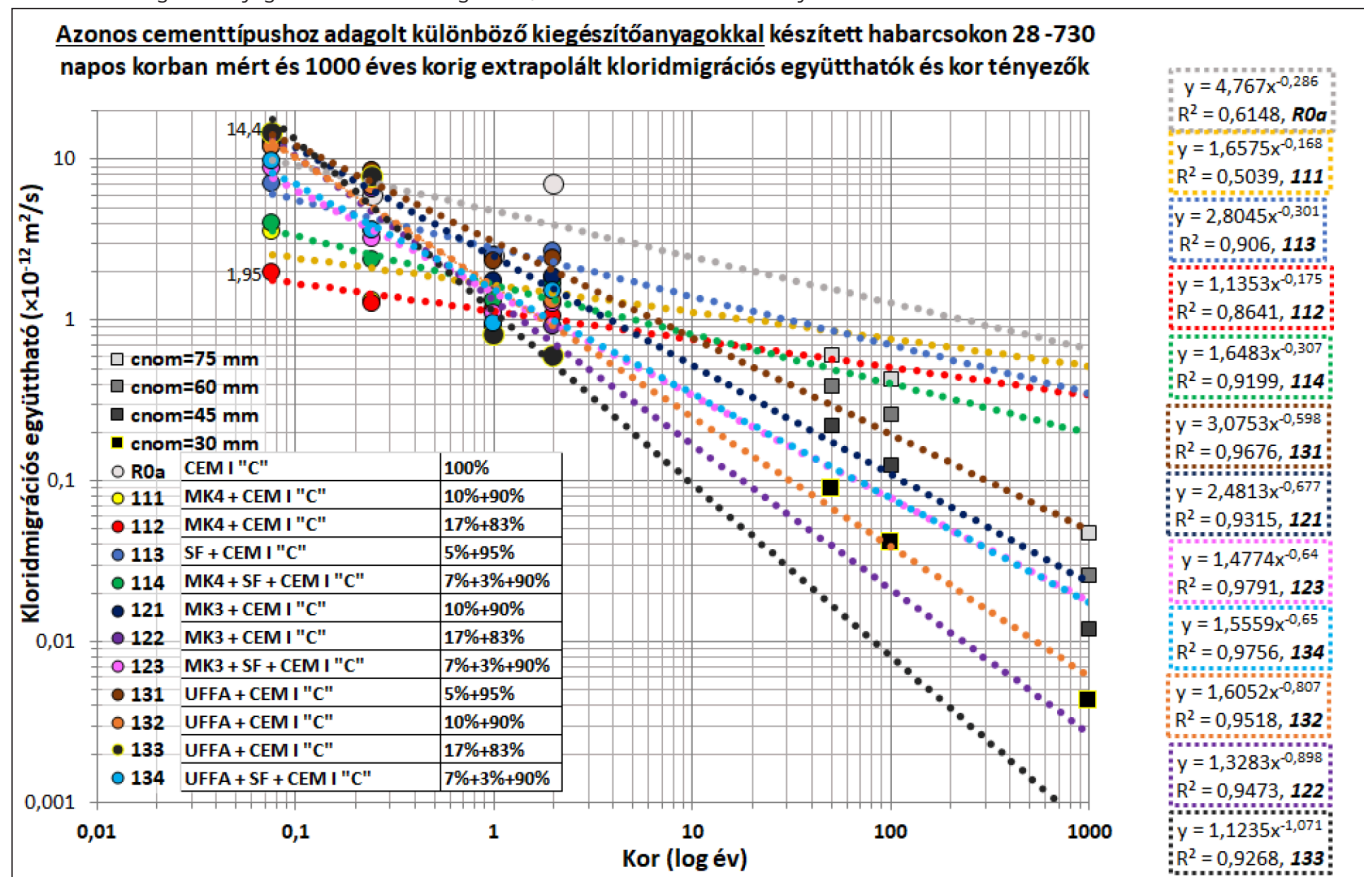
Az egyes metakaolin típusok közötti jelentős különbségeket mutatja, hogy az MK4 jelű metakaolin 17%-os adagolásával is már éppen határon van az 50 év használati élettartamhoz szükséges ($c_{nom}=75$ mm) betonfedés (lásd: 112 jelű keverék piros színű görbéjét). Ha ugyanehhez az MK4 metakaolinhoz szilikaport is társítunk (7% MK4+3% SF), akkor a kezdeti kloridmigrációs érték ugyan romlik, de a görbe lefutása idővel valamelyest javul, s így a keverék már jól megfelel az 50 év, ill. határesetként a 100 éves élettartamnak is, a betonfedés $c_{nom}=75$ mm értéke mellett (lásd 114 jelű keverék zöld színű görbéjét).

A szilikapor 5%-os, illetve az MK4 metakaolin 10%-os adagolása önmagában még nem tűnik elegendőnek az 50 év használati élettartamhoz, még a betonfedés $c_{nom}=75$ mm értéke mellett sem (lásd 111 és 113 jelű görbék lefutását). Az MK4 metakaolin kapcsán érdemes megfigyelni a 10% és 17% adagolás hatását (111 és 112 keverékek). Bár a kloridmigráció kezdeti értéke ezeknél a keverékeknél csökkent legerősebben (a 13. ábrán rendre $D_{RCM,10}=3,5$, ill. $1,95 \times 10^{-12}$ m²/s), de a kortényezőjük igen gyenge (rendre $\alpha_{111}=0,168$, ill. $\alpha_{112}=0,165$). Elgondolkodtató, hogy vajon mi okozhatta a kortényezőök olyan kis értékét, hogy azok még a keverékekben lévő CEM I cementtípus kortényezőjét sem érték el ($\alpha_{R0a}=0,286$).

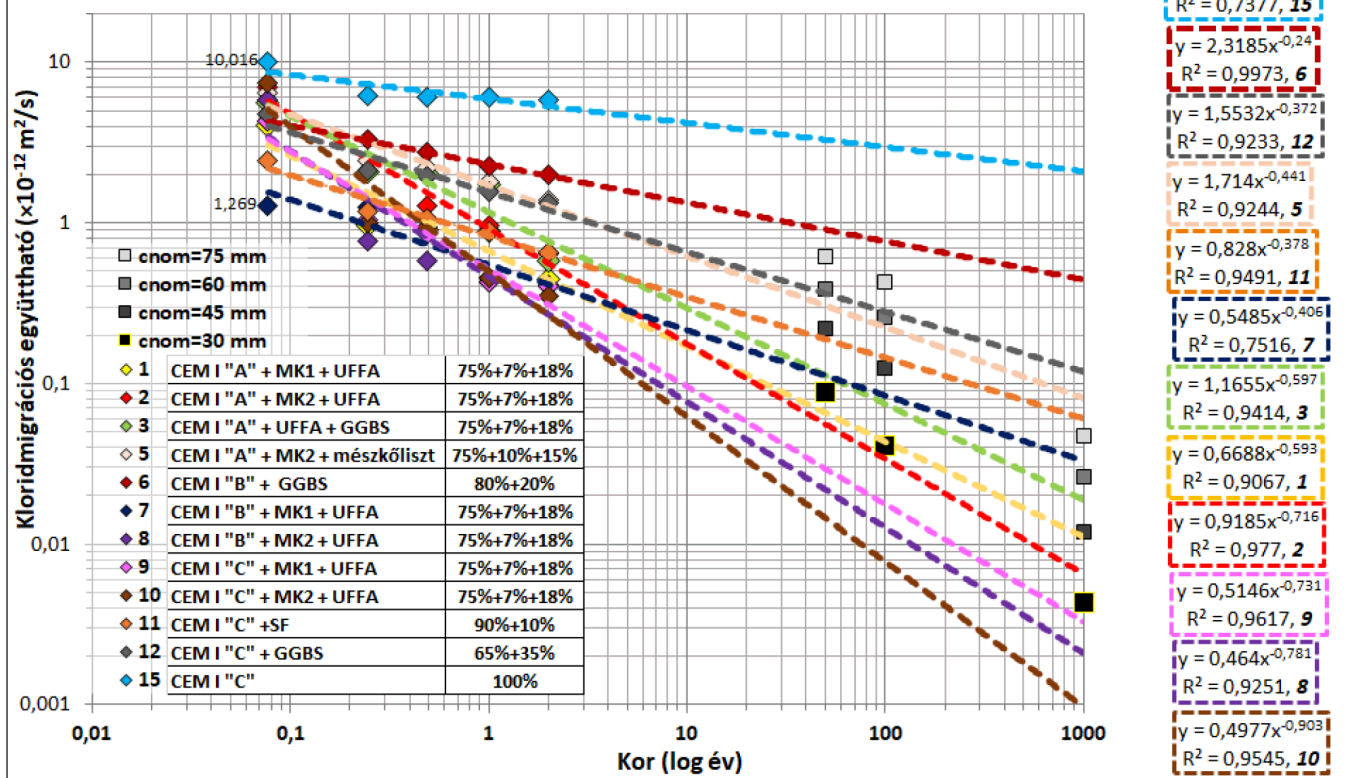
A 13. ábra mutatja a 3-féle cementtípussal készült és különböző kiegészítőanyagokat tartalmazó próbatestek mérési adatait, a görbék lefutását, valamint a különböző használati élettartamokhoz szükséges betonfedés értékeit.

Az azonos vagy hasonló típusú (pl. azonos kőszénpernye és szilikapor, ill. az MK3-hoz nagyban hasonlító MK2

12. ábra: A kiegészítőanyagok hatása a kloridmigrációra, a „B” laboratórium eredményei



Különböző cementtípusokhoz adagolt különböző kiegészítőanyagokkal készített habarcsokon 28 - 730 napos korban mért és 1000 éves korig extrapolált kloridmigrációs együtthatók és kor tényezők



13. ábra: A kiegészítőanyagok hatása a kloridmigrációra, az „A” laboratórium eredményei

metakaolin) kiegészítőanyagokat tartalmazó keverékek a cementtípusok különbözősége mellett is hasonló jellegű kloridmigrációs görbéket eredményeztek (lásd 12. ábrán a 122 és 133, ill. a 13. ábrán a 8, 9 és 10. jelű keverék görbéit).

Az egyazon típusú kőszénpernyét 18%-ban - és mellette még 7% MK2 vagy MK1 metakaolint - tartalmazó 3 db keverék alkalmasnak tűnik az akár 1000 év használati élettartam és a $c_{nom}=30$ mm betonfedés együttes, igen szigorú elvárásának (lásd 13. ábrán a CEM I „C” és „B” cementet tartalmazó, legalsó 3 db, 8, 9 és 10. jelű keverék lefutási görbéjét).

A szintén 18% kőszénpernye + 7% MK2 metakaolin kiegészítőanyagot egy másik CEM I „A” (gyorsan szilárduló) cementtípushoz társítva már nagyobb ($c_{nom}=45$ mm) betonfedés szükséges az 1000 év élettartamhoz (piros vonal). Az ilyen, gyorsan szilárduló cement és az MK2 - nél „gyorsabb hatású” MK1 társításakor már célszerűbb a $c_{nom}=60$ mm (lásd a 13. ábrán citromsárga színnel jelölt 1. keverék lefutási görbéjét).

A nagyságrenddel kisebb, de a még mindig kellően hosszú, 100 év használati élettartamhoz és a mindössze $c_{nom}=30$ mm betonfedéshez – a 8, 9 és 10 jelű keverékeken túl – még alkalmas a CEM I „A” cementtípushoz társított, 7% MK2 metakaolin+18% kőszénpernye tartalmú, háromösszetevős kötőanyag-kombináció (lásd 2-es jelű keverék). Az MK2 helyett az MK1 jelű metakaolint alkalmazva, mind a CEM I „A”, mind pedig a CEM I „B” jelű cement esetében $c_{nom}=30$ mm betonfedés helyett már $c_{nom}=45$ mm betonfedés válhat szükségessé a 100 év használati élettartamhoz (lásd 13. ábrán az 1 és 7 jelű keverékek görbéit).

A 13. ábra szerint szintén megfelel 100 év használati élettartamra és $c_{nom}=45$ mm betonfedésre a kőszénpernye+kohósalak=7%+18% keverékét tartalmazó, háromösszetevős kötőanyag (lásd 3 jelű keverék).

A 10% szilikaport vagy az MK2 metakaolin+mészköliszt=10%+15% mennyiséget tartalma-

zó keverékek $c_{nom}=60$ mm betonfedést igényelnek a 100 éves használati élettartamhoz (lásd 13. ábrán a 11 és 5 jelű keverékek).

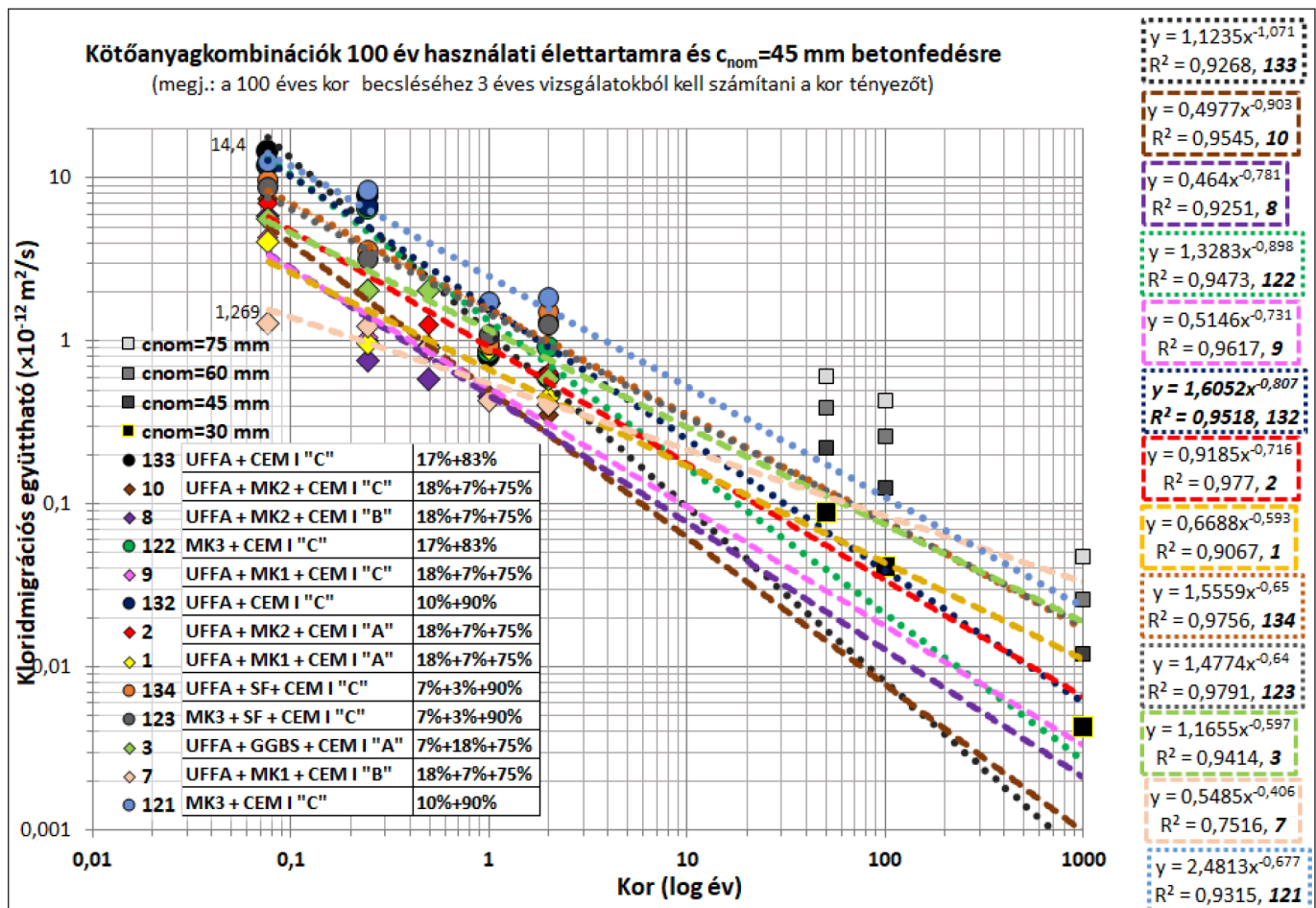
A 35% kohósalakot tartalmazó keverék az 50, ill. 100 év használati élettartamhoz várhatóan rendre $c_{nom}=60$, ill. 75 mm betonfedést igényel (lásd 13. ábrán a szürke szaggatott vonalú, 12 jelű keverék görbéje).

4.4 Kötőanyagkombinációk 100 év használati élettartamra és $c_{nom}=45$ mm betonfedésre

A kloridmigrációt igen erőteljesen lassító kötőanyag-kombinációkkal a 14. ábrán látható az a 13 különféle kötőanyag keverék, amely 100 év használati élettartam mellett a $c_{nom}=45$ mm betonfedésre is alkalmasnak mutatkozik.

E kötőanyag kombinációkból 10 keverékben található UFFA (ultra fine flyash), azaz kőszénpernye, 3-3 keverékben MK1, MK2 és MK3 metakaolin, két keverékben (de háromösszetevős kötőanyagban) szilikapor, valamint egy keverékben a kohósalak. A cementtípusok vonatkozásában, a 13 kombinációból 8 keverékben volt a CEM I „C” jelű, 3 keverékben CEM I „A” és két keverékben pedig a CEM I „B” jelű portlandcement.

A 100 év használati élettartam és $c_{nom}=45$ mm betonfedés esetében a kötőanyag-kombinációk közül talán leginkább gazdaságosnak a CEM I „C”-t tartalmazó kétösszetevős, 10% kőszénpernyét vagy 10% MK3 metakaolint tartalmazó keverék (132 és 121 jelű), valamint a háromösszetevős, CEM I „A”-t és 7% kőszénpernyét+18% kohósalakot (3 jelű), esetleg a szintén háromösszetevős, 7% kőszénpernye vagy 7% MK3 metakaolin mellett még 3% szilikaport tartalmazó, 134 és 123 jelű keverékek mutatkoznak.



14. ábra: Kötőanyagkombinációk hatása a kloridmigrációra, 100 év használati élettartam és $c_{nom}=45$ mm betonfedés esetére

4.5 Mérési eredmények csoportosítási módjai

A 15. ábra a kezdeti kloridmigrációs együttható növekvő sorrendjében csoportosítja a keverékeket. Az ábrán a sárga oszlopok mutatják a D_{RCMP,t_0} vagyis a kloridmigrációs együttható kezdeti (28 napos) értékét, míg a szürke oszlopok a kortényezőzt.

Ez a csoportosítás azonban, úgy tűnik, nem nyújt megfelelő támpontot, mivel pl. a bal oldalról számított 3. ill. 5. legjobb keverék D_{RCMP,t_0} értéke (11 és a 111 jelű keverékeknel a sárga oszlop magassága) bár egyaránt kedvezően alacsony, de míg a 11 jelű alkalmasnak mutatkozik $c_{nom}=60$ mm mellett a 100 év élettartamra (lásd 13. ábra), addig a 111 jelű még várhatóan $c_{nom}=75$ mm mellett sem alkalmas az 50 évre (lásd 14. ábra). A kezdeti kloridmigrációs érték alapján való rangsorolás nem megfelelőségét látszik igazolni az is, hogy az első legkedvezőbb 10 db D_{RCMP,t_0} értékű keverékből 4 db (4, 6, 111 és 112 jelű) alkalmatlannak tűnik még $c_{nom}=75$ mm mellett is az 50 év élettartamra (lásd 11. és 12. ábrák).

A 16. ábra erre mutat javaslatot, ahol a kortényező csökkenő sorrendjében láthatóak a keverékek. Ez a fajta csoportosítás már nyújt némi támpontot, mert arról tájékoztat, hogy a kortényező $\alpha \leq 0,3$ értékei mellett nem várható az 50 év használati élettartamnak való megfelelőség még nagy ($c_{nom}=75$ mm) betonfedésnél sem.

Az eddigi mérési eredmények alapján ez a megállapítás (azaz $\alpha \leq 0,3$ kötőanyag esetén nem várható megfelelő használati élettartam) érvényesnek tűnik mind a kis, mind pedig a nagy D_{RCMP,t_0} kezdeti (28 napos) kloridmigrációs együtthatójú keverékekre.

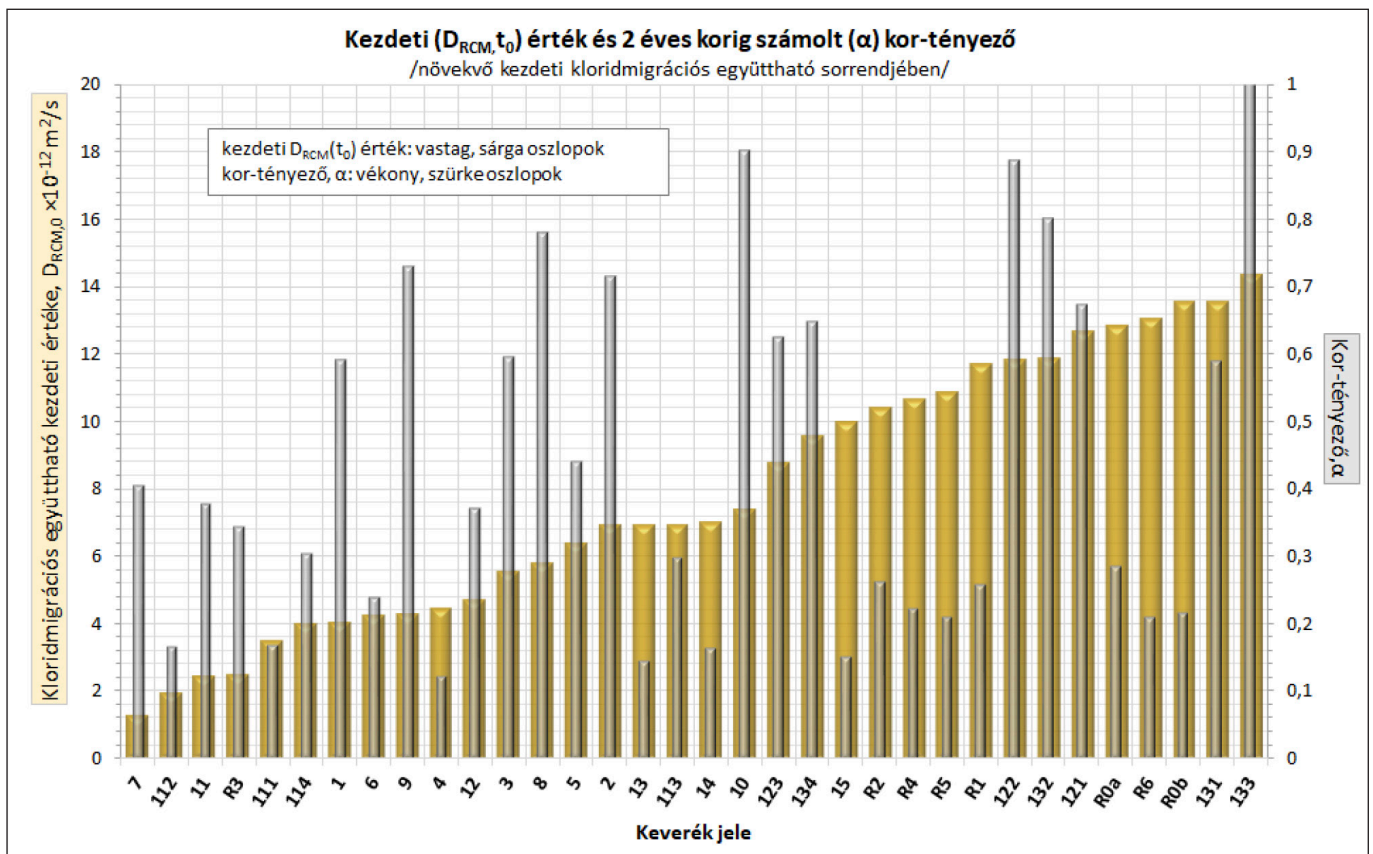
A 112 és 114 jelű keverékek (rendre 17% MK4 jelű metakaolin, ill. 7% MK4 +3% szilikapor) jelzik azt a gyakorlati határesetet, ahol még éppen teljesülhet az 50 éves használati élettartam, de csak $c_{nom}=75$ mm betonfedés esetén (lásd még a 12. ábrát). Az ilyen esetek, amikor az igen kedvező kezdeti D_{RCMP,t_0} értékhez olyan kis kortényező társul (pl. $\alpha_{112}=0,175$), amely kisebb vagy éppen csak eléri az eredeti cementtípusát (pl. $\alpha_{114}=0,307$); az eddigi mérések alapján kivételesnek mondhatók.

A kezdeti kloridmigrációs érték (D_{RCMP,t_0}) csökkenését (javulását) az MK4 típushoz képest kisebb mértékben csökkenti a többi (MK1, MK2 és MK3) metakaolin típus 7-17% közötti adagolása. Lényeges különbség, hogy ezeknél a típusoknál javul a kortényező (lásd 121, 122, 123, 1, 2, 7, 8, 9, 10 és 5 jelű keverékeket a 12. és 13. ábrákon).

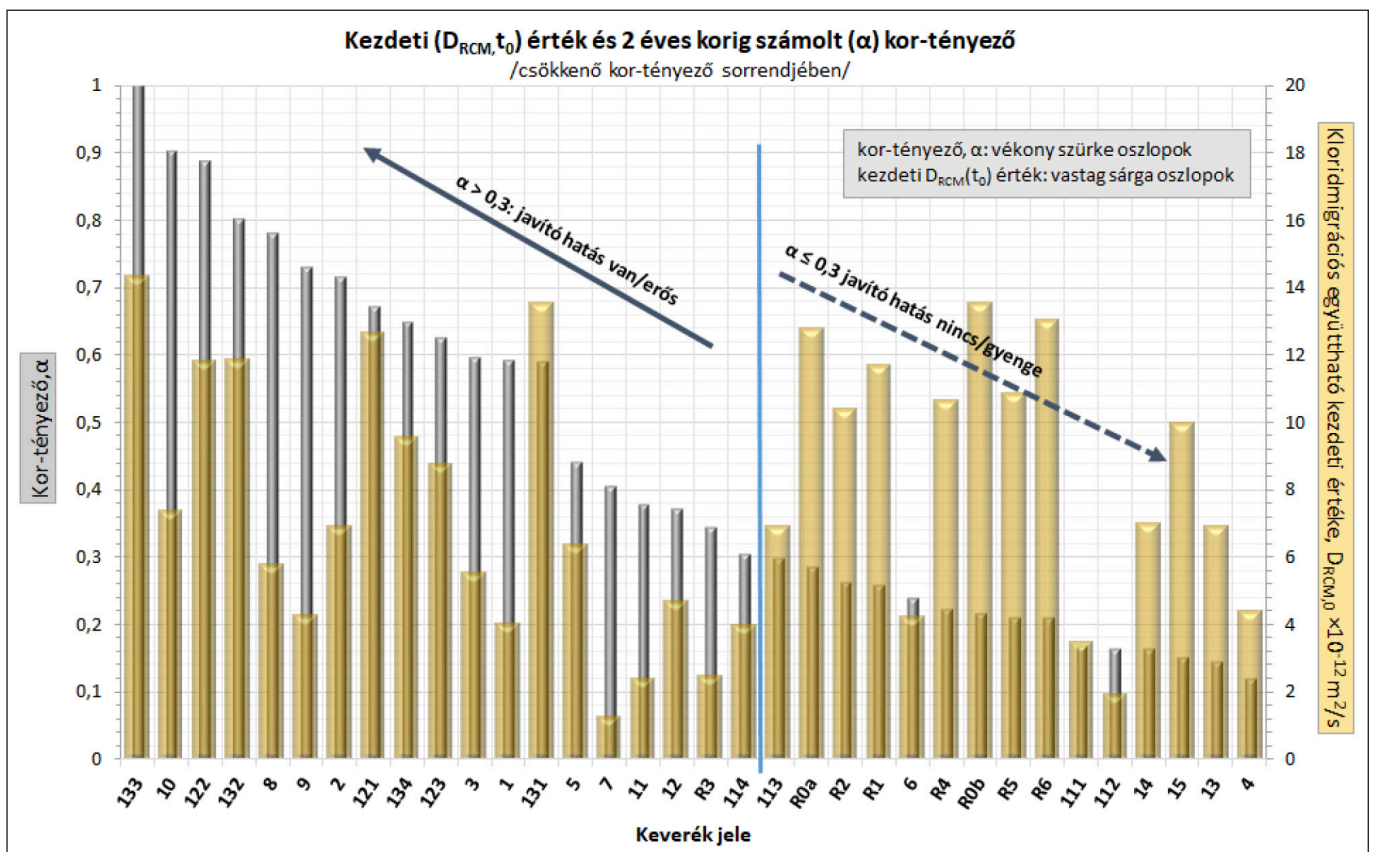
Meg kell említeni, hogy az MK2 metakaolin 10%-os adagolása kedvező kezdeti értéket (D_{RCMP,t_0}) és kortényezőt mutat a 15% mészkőlisztet tartalmazó kötőanyag-kombinációban is, mert a $c_{nom}=60$ mm betonfedés megfelelőnek tűnik az 50 és 100 év használati élettartamhoz (lásd 5 jelű keveréket a 13. ábrán).

A kezdeti kloridmigrációs együtthatót (D_{RCMP,t_0}) ugyan kis mértékben növelte (rontotta) az 5, 10 és 17% pernye adagolása (131, 132 és 133 jelű keverékek a 14. ábrán), de a kortényező olyan mértékben nőtt (javult), amit más kiegészítőanyag nál nem tapasztaltunk.

Érdekes kombinációnak mutatkozik a pernye és metakaolin együttes adagolása (1, 2, 7, 8, 9, 10 jelű keverékek a 13. ábrán), mivel a pernye kezdeti D_{RCMP,t_0} értéket rontó hatását a metakaolin kompenzálja, s emellett a kedvező kortényező is megmarad.



15. ábra: A vizsgált kötőanyagok hatása a kezdeti D_{RCM, t_0} kloridmigrációs együtthatóra, annak növekvő sorrendjében



16. ábra: Kezdeti D_{RCM, t_0} kloridmigrációs együtthatók és 2 éves korig számolt (α) kortényezők, a kortényezők csökkenő sorrendjében

A 16. ábra jobboldali része a kloridbehatásnak csak kissé ellenálló kötőanyag-kombinációkat szemlélteti. Az ábra baloldali részéből csak az következik, hogy a kezdeti kloridmigrációs együttható (D_{RCM, t_0}) értéke nincs összefüggésben a kortényezővel.

Természetesen érdemes a csoportosítások, adatelemzések egyéb, további módjait is keresni.

5. AZONOSSÁGOK, KÜLÖNBSEGEK ÉS TENDENCIÁK A LABORATÓRIUMOK MÉRÉSEIBEN

A víz-kötőanyag tényező mindkét laboratóriumban megegyezett, $x=0,40$ volt.

Az alkalmazott adalékvázak szemmegoszlása között már volt némi eltérés, mivel az egyik laborban háromféle, hazai adalékanyag frakcióval, a másikban pedig a cementvizsgálatoknál használatos, ún. CEN szabványhomokkal készültek a próbatestek.

A keverékek tömegösszetéti arányai (víz+kötőanyag+adalékanyag arányok) is kismértékben eltértek, mert az egyik laborban ez 0,4+1+3,14 volt, míg a másikban 0,4+1+3. Az összetevők arányainak különbözősége miatt a próbatestekben a pépfázis térfogata kb. 1 V%-kal (10 l/m³) tér el. A kiegészítőanyagok különböző sűrűsége és adagolási aránya miatt a pépfázisok térfogatában további kb. 0,8 V% (8 l/m³) eltérés számszerűsíthető. A vizsgált habarcs-próbatestek számított péptartalma $V_{pép,lev.0} = 375-392$ l/m³ közötti, tehát mintegy 105-122 l/m³-rel nagyobb, mint a kb. $V_{pép} = 270$ l/m³ péptartalmú, szokásos transzportbetonoké. Ez a 105-120 l/m³ pépfázis a betonok szokásos péptartalmához képest kb. 40-45%-kal többletet mutat. Logikusnak tűnik, hogy megfelelő tömörségű betonban a kisebb térfogatú, de összetételében azonos pépfázis (porózus cementkő) kisebb kloridáteresztést eredményez. Ezért várható, hogy a vizsgált habarcspróbatestekhez képest kedvezőbb kloridmigrációs együtthatókat mutatnak a betonpróbatestek.

Az alkalmazott cementtípusokban való részbeni eltérés, valamint a két- és háromösszetevős kötőanyagok adagolási részarányainak, kombinációinak eltérései tovább növelik azokat a – keverékek tömegösszetéti arányainak és péptérfogatának eltéréseiből adódó – különbségeket, amelyek miatt a laboratóriumok mérési eredményeinek közvetlen összehasonlítása helyett inkább a tendenciák összehasonlítását tartjuk célszerűnek.

A 17. ábrán feltüntettük a két laboratóriumnak 2-2 olyan keverékét, amelyek azonos cementtípussal készültek és egyaránt alkalmasnak mutatkoznak az igen hosszú élettartam melletti kis betonfedésre.

A 17. ábrán szaggatott vonal az egyik, a pontozott vonal a másik laboratórium vizsgálati eredményét jelöli.

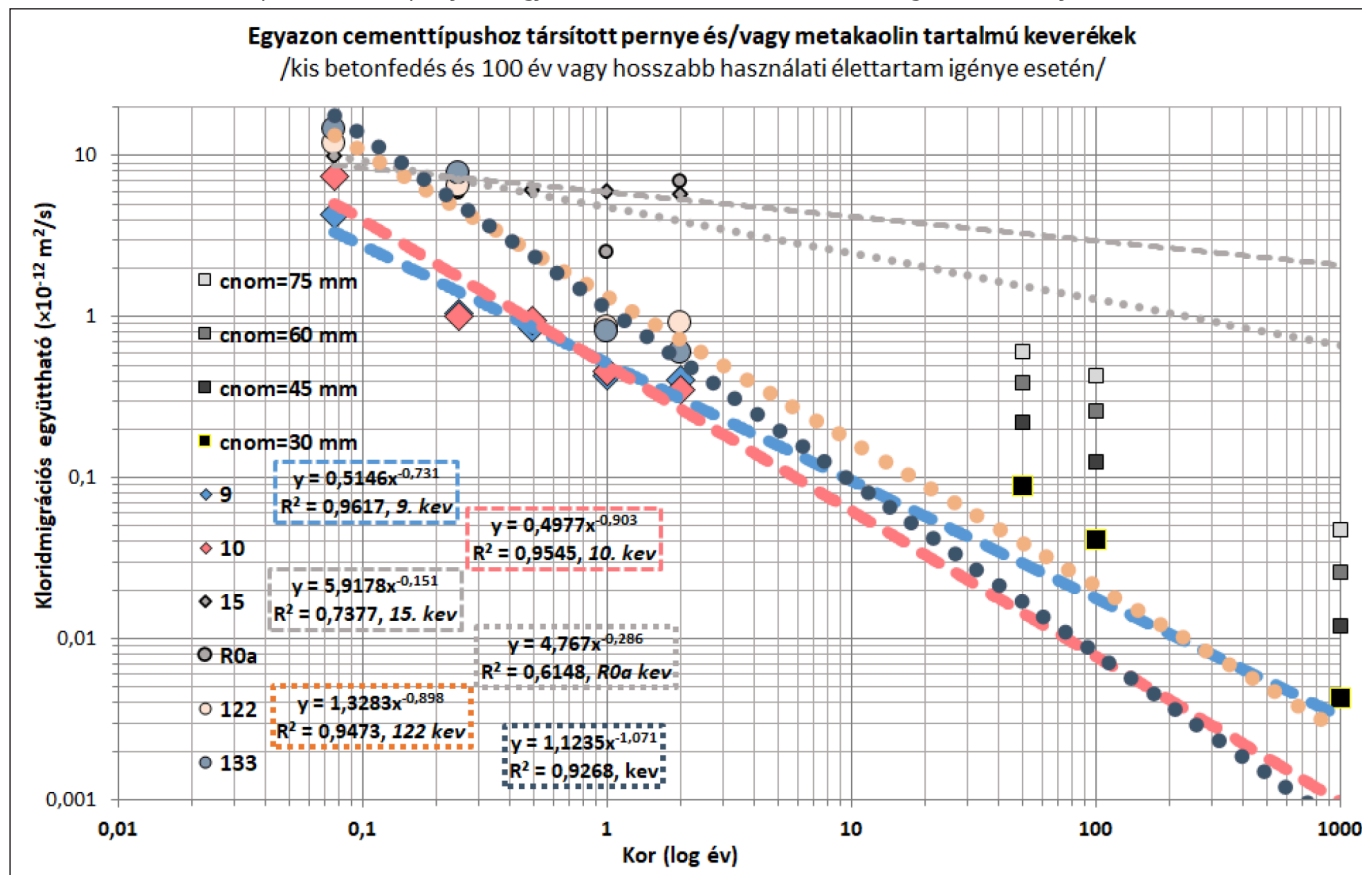
A 9 és 10 jelű keverék (világoskék és rózsaszínű szaggatott vonalú) metakaolin+köszénpernye adagolású, háromösszetevős kötőanyag-kombináció. Különbség az alkalmazott metakaolin típusában volt. A 9 jelű keverék készült a „gyorsabb”, MK1 jelű metakaolinnal; ennek kisebb a kezdeti D_{RCM,t_0} értéke, mint az MK2 jelűé, ill. jóval kisebb, mint az „etaloné”, vagyis a 15 jelűé. Az MK2 jelű „lassúbb” metakaolinnal készült 10 jelű keveréknek a kezdeti értéke már csak valamelyest jobb, mint az „etaloné”. Ez az MK2 metakaolint tartalmazó keverék azonban kb. 1 éves korában „behozta” az MK1-hez viszonyított kezdeti lemaradását, és a kortényezője alapján várhatóan egyre jobban „növeli az előnyét”.

A 122 és 133 jelű keverékek (narancs és kékesszürke pontozott vonalú) rendre 17% MK3 (az MK2-höz hasonló, szintén „lassú”) metakaolint, ill. 17% pernyét tartalmaztak, vagyis mindkét keverék kétösszetevős volt. A metakaolinos keverék kezdeti D_{RCM,t_0} értéke a várakozásoknak megfelelően valamelyest kedvezőbb volt, mint az „etalon” R0a jelűé, azaz a tisztán CEM I kötőanyagúé.

A pernyés keverék (133 jelű) kezdeti D_{RCM,t_0} értéke is jól megfelelt az előzetes várakozásnak, mivel ez kisebb volt, mint az „etaloné”. Valamennyi keverékből (34 db) ennek, a nagy pernyetartalmúnak volt leggyengébb (legnagyobb értékű) a kezdeti kloridmigrációs együtthatója. A metakaolinstól való lemaradását kb. 1 éves korára „hozta be” ez a pernyés keverék, majd 2 éves korban már meg is előzte; s a becslő görbék szerint várhatóan 100 éves korban éri utol a 10 jelű, közel ugyanennyi pernye (18%) mellett 7% MK2 metakaolint is tartalmazó, ezért számottevő kezdeti előnnyel rendelkező keveréket. Ezt követően pedig, a kortényező alapján várható, hogy egyre jobban nő a keverék kloridzáró jellege.

A kettős logaritmikus görbékkel való (kvázi) kloridzáró-képesség becslése kétségtől magában hordozza a későbbi

17. ábra: Azonos cementtípushoz társított pernye és/vagy metakaolin tartalmú habarcsok kloridmigrációs eredményei



korokban ki nem zárható nagyobb eltérések lehetőségét. Vegyük figyelembe azonban, hogy e korokban (pl. 1000 éves kor) az eltérések nagyobb mértéke is mindössze ezrelékét teszi ki a kezdeti (28 napos) és a 90 napos korban mért kloridmigrációs együtthatók értékének.

Ahhoz, hogy a cementkövek pórusstruktúrájának egy mélyebb szintjén, a mezostruktúrában végbemenő transzportfolyamatok vizsgálatára irányuló labormérésekből számított becslések minél közelebb álljanak a valóságos fizikai-kémiai törvényszerűségek modellezéséhez, mind a mintakészítés, mind pedig a vizsgálatok elvégzése igen nagy gondosságot igényel. Ezért is várható, hogy a betonok, habarcsok, cementkövek makrostrukturális jellemzőinek vizsgálatához eddig megszokott precizitás és ellenőrzés követelménye, valamint a laboratóriumi körvizsgálatok jelentősége is növekedni fog.

6. HÁNY ÉVIG ÁLL MAJD EZ A VASBETON HÍD?

Mindkét laboratórium mérései és számításai jó egyezéssel igazolják azt a megcsillanó lehetőséget, hogy az akár erős jégolvasztó sózásnak kitett vasbeton szerkezeteket is készíthetjük több száz, vagy akár ezer év tartósságra. A laboratóriumok mérései szerint ehhez elegendő az ipari gyakorlatban eddig is szokásosan alkalmazott $x=0,4$ vízkötőanyag tényező, de a kötőanyagkombináció megválasztása gondos, több éves, a cementkő mezostruktúrájában lezajló molekularándorlás vizsgálatát igényli.

A vasbeton szerkezetek használati élettartamának mérnöki tervezéséhez az erőtanit tervezést hamarosan olyan anyagtanit tervezés is kiegészíti, amely a tartóssági megfelelés igazolásához a természetben lejátszódó fizikai-kémiai folyamatok matematikai modellezését veszi alapul. Ezt célozza meg a néhány éven belül hatályba lépő második generációs EC2 szabvány is, amelyhez jól kapcsolódnak a cikkben leírt laboratóriumi vizsgálatok.

Várható, hogy vasbeton szerkezeteink tartósságával együtt a mérnöki munka értéke is megnő.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönjük a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak a „Nemzeti versenyképességi és kiválósági program” keretén belül, az NVKP-16-1-2016-0019 pályázaton keresztül kapott kutatási támogatást.

8. HIVATKOZÁSOK

- CEN/TC 250 (2013): CEN/TC 250 - N 993, Response to Mandate M/515, 'Towards a second generation of EN Eurocodes', http://www.psc.ro/wp-content/uploads/2013/07/M515_TC-250-answerAnnexes.pdf; megtekintve: 2022.03.15.
- fib* Bulletin 34 (2006) „Model Code for Service Life Design”, *fib* Lausanne, printed by Sprint-Digital-Druck, Stuttgart, 110 p., ISBN 2-88394-074-6
- fib* Bulletin 76 (2015), „Benchmarking of deemed-to-satisfy provisions in standards: Durability of reinforced concrete structures exposed to chlorides – State-of-the-art report”, „*fib* Lausanne, printed by DCC Document Competence Center Siegmair Kästl e.K., Germany, 189 p., ISBN 978-2-88394-116-8
- fib* (2013), “Model Code for Concrete Structures 2010”, Ernst and Sohn, Wiley, ISBN 978-3-433-03061-5
- Greve-Dierfeld, S. and Gehlen, C. (2014): Benchmark for deemed-to-satisfy rules (XD, XS) for *fib*-Congress, February 2014,

- Conference: *fib* Congress Mumbai 2014, https://www.researchgate.net/publication/311927033_BENCHMARK_FOR_DEEMED-TO-SATISFY_RULES_XD_XS_FOR_fib-CONGRESS_February_2014, megtekintve: 2022.04.08.
- Helland, S. (2016): PERFORMANCE-BASED SERVICE LIFE DESIGN IN THE 2021 VERSION OF THE EUROPEAN CONCRETE STANDARDS – AMBITIONS AND CHALLENGES, November 2016, Conference: *fib* Symposium Cape Town, November 2016, Volume: PERFORMANCE-BASED APPROACHES FOR CONCRETE STRUCTURES - Proceedings ISBN 978-2-88394-121-2; https://www.researchgate.net/publication/311442176_performance-based_service_life_design_in_the_2021_version_of_the_european_concrete_standards; megtekintve: 2022.03.15.
- Kopecskó, K. and Balázs Gy.L. (2017): Concrete with Improved Chloride Binding and Chloride Resistivity by Blended Cements, Hindawi, Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2017, Article ID 7940247, 13 pages, <https://doi.org/10.1155/2017/7940247>
- Kopecskó K., Horváth Sz., Kováts M., Mlinárik L., Must A., Somlai B., Zsovár Zs., Balázs L. Gy. (2020): A beton kémiai ellenálló képességének fokozása – áttekintés az NVKP_16-1-2016-0019 projekt altémájának feladatairól és eredményeiről, In: NVKP_16-1-2016-0019, „Fokozott ellenálló képességű beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése”, projektzáró kiadvány, pp. 97-129. https://em.bme.hu/sites/default/files/page/NVKP_16-1-2016-0019%20%20projektz%C3%A1r%C3%B3%20kiadv%C3%A1ny%20FINAL%20web%20HIRES.pdf, megtekintve: 2022.03.15.
- Kopecskó, K. and Mlinárik, L. (2022): The influence of different types of SCMs on microstructure and macroscopic properties of cementitious materials, J. Phys.: Conf. Ser. 2315 012019, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2315/1/012019>, megtekintve: 2022.08.02. DOI 10.1088/1742-6596/2315/1/012019
- Leivestad, S. (convenor) (2014a): JWG Durability JWG 250/104 - N25 http://www.expertcentre.dk/media/24477/bilag_2_n26_jwg_presentation_tc104_sc1_tc250_sc2_march_2014.pdf; megtekintve: 2022.03.15.
- Leivestad, S. (convenor) (2014b): JWG – Durability, TC104/SC1-TC250/SC2 N26, Exposure resistance classes – draft for proposal on a new system to specify durability in EN 206 and EN 1992, technical background documentation. Report to CEN TC 104/SC1 Vienna March 2014; Report to CEN TC 250/SC2 Ispra March 2014, http://www.expertcentre.dk/media/24474/bilag_1_n25-jwg_report_to_tc104_sc1_tc250_sc2_2014_draft.pdf, megtekintve: 2022.03.15.
- Spráncz F. (2016): A betonok klorid- és savkorróziójáról, Minnotech Konferencia 2016, Magyar Építőipar, 2016/1. DOI 10.17168/MEIP.2016.66.8
- Zaid A.A. Khaqani – K. Kopecskó (2021): The effect of supplementary cementitious materials on transport properties of cementitious materials – state-of-the-art, http://www.fib.bme.hu/folyoirat/cs/cs2021/vb2021_4.pdf, <https://doi.org/10.32970/CS.2021.1.4>
- MSZ EN 12390-18:2021. A megszilárdult beton vizsgálata. 18. rész: Kloridmigrációs együttható meghatározása.

Dr. Kopecskó Katalin okl. vegyész-mérnök (BME, Vegyész-mérnöki Kar, 1990), okl. betontechnológus szakmérnök (2004), PhD (2006), egyetemi docens a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: építőanyagok tartóssága, anyagvizsgálat és fázisátalakulások elemzése röntgendiffrakcióval és termoanalitikával. A *fib* Nemzetközi Betonszövetség COM7: Sustainability TG7.8 – Recycled materials and industrial by-products for high-performance reinforced concrete structures és a *fib* Magyar Tagozatának, valamint a RILEM TC CNC és az MSZT./MB 102 „Cement és mész” Nemzeti szabványosító műszaki bizottság tagja. Az MTA Köztisztület Építészeti Tudományos Bizottság tagja.

Laczkó László okl. vegyész, okl. kémia szakos tanár (Veszprémi Egyetem Szilikátkémia szakirány 2001, 2004); 2001–2004 Doktori (Ph.D.) ösztöndíj Veszprémi Egyetem Anyagtudományok és – Technológiák Doktori Iskola; Szilikát- és Anyagmérnöki Tanszék), címzetes egyetemi docens (Pannon Egyetem, 2022). A SZIKKTI Labor Kft. vizsgálólaboratóriumának vezetője (2012 -) Oktatási

terület: Veszprémi Pannon Egyetem Anyagmérnöki Intézet: Szilikátkémia laboratóriumi gyakorlatok, szilikátipari nyersanyagok és késztermékek analitikai vizsgálata. Kutatási terület: Cementek és kiegészítőanyagaik. Közéleti tevékenység: MTA Anyagtudományi és Szilikátkémiai Munkabizottság, 2000-tól a Szilikátipari Tudományos Egyesület tagja, SZTE Minősítő Bizottság elnöke.

Spránitz Ferenc okl. építőmérnök (1985), okl. betontechnológus szakmérnök (2000). Építésügyi szakértő, a Dolomit Kft. betonüzemének vezetője. Érdeklődési területe: levegőn szilárduló, valamint hidraulikus kötőanyaggal készülő termékek, gyártástechnológiák fejlesztése; vibropréselt, öntömörödő, megnövelt savállóságú, szálerősített és felkeményedő viselkedésű betonok, továbbá padozati szerkezetek (esztrich, ipari padló). Hazai és nemzetközi szakmai szervezetek tagja (fib, MMK, SzTE, ÉTE, BTE), az Esztrich és Ipari Padló Egyesület tiszteletbeli elnöke.

Dr. Szilágyi Tamás okl. anyagmérnök (Veszprémi Egyetem Anyagmérnök, 1999), Ph.D. (Veszprémi Egyetem Vegyészmérnöki Doktori Iskola, 2010), Mérnök-Közgazdász (Corvinus Egyetem, 2018); Saint-Gobain Weber Fejlesztőmérnök, Minőségügyi és Fejlesztési vezető, Ex-pat fejlesztő (Pilisvörösvár (Magyarország), Fiorano Modenese, (Olaszország)); Project Manager (Richter Gedeon Nyrt 2012-2016); Műszaki Vezető (Imerys KF, 2016-2019); Műszaki Támogató Mérnök (CRH – Danucem 2020-). Jelenleg: Cementek felhasználása (RMX, előregyártás, száraz termékek), korábban kerámia gyártás (tűzálló anyagok, égetett termékek), száraz vakolatok, ragasztók, száraz esztrichek. Érdeklődés: fejlesztés, fejlesztési eljárások.

Dr. Wojnárovitsné Hrapka Ilona okl. vegyészmérnök (1967), mérnök-közgazdász (1974); KŐSZIG vállalatnál kutató vegyész (1967-73), Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet (SZIKKTI) tudományos tanácsadó (1974-1994). SZIKKTI Labor Kft. ügyvezető igazgatója (1994 -). A kémiai tudományok kandidátusa (1980), MTA doktora (1993), címzetes egyetemi docens (Veszprémi Egyetem, 1989). Érdeklődési terület: szilikátszálak jellemzői és korróziója; szilikátok műszaki jellemzői közötti összefüggések tanulmányozása; szilikátkémiai anyagvizsgálatok. Közéleti

tevékenység: MTA Szilikátkémiai és Műszaki Kémiai Bizottságának tagja; SZTE Szilikátkémiai Bizottságának vezetője (1981-1990); az Építőanyag folyóirat felelős szerkesztője (1991-2005).

Dr. Balázs L. György (1958) okl. építőmérnök, mérnöki matematikai szakmérnök PhD, Dr. habil., egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék vezetője. MTA műszaki tud. kandidátusa. Fő kutatási területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), roncsolásmentes vizsgálatok. Speciális betonok és betétek: szálerősítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FRP) betétek, megerősítések anyagai és módjai, HPC, UHPC, LWC. Tűzállóságra való tervezés, tűzállóság fokozása. Fagyállóság fokozása. Kémiai ellenállóképesség fokozása. Tartósság. Használati élettartam. Fenntartható építés. Erőátadódás betonban, vasbeton tartók repedezettségi állapota. Fáradás. Lökésszerű terhelés. Nukleáris létesítmények. A *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) elnöke (2011-2012), jelenleg tiszteletbeli elnöke. A *fib* Magyar Tagozat elnöke. Az Int. PhD Symp. in Civil Engineering alapítója. A *fib* Com 9 „Dissemination of knowledge” elnöke.

SERVICE LIFE PREDICTION IN CASE OF CHLORIDE ION PENETRATION

Katalin Kopecskó - László Laczkó - Ferenc Spránitz - Tamás Szilágyi - Ilona Wojnárovits Hrapka - György L. Balázs

In order to improve the durability of reinforced concrete structures, the second-generation EC-2 standard is extended with an engineering prediction of service life. In the quantification of the resistance on the material side, the procedures are investigating transport processes, such as ion and molecule migration, are of particular importance. Considering the diffusion of ions provides information for planning the corrosion risk of steel elements, e.g. by estimating the diffusion of carbon dioxide (carbonation) and chloride ion. Using a method developed to accelerate long-term chloride ion diffusion processes, chloride migration tests (MSZ EN 12390-18 standard) were carried out in the Laboratory of the Department of Construction Materials and Technologies, BME and SZIKKTI Labor Kft. In the article, we summarize, compare, discuss and evaluate the test results of the two laboratories made on one-, two- and three-component binders.

DR. WINDISCH ANDOR 80. SZÜLETÉSNAPJÁRA



Tempus fugit... Vergilius több, mint 2000 éves szállóigéje mindenki számára akkor vélik igazán aktuálisnak, mikor személyesen is találkozunk vele. Így vagyunk mi is most, hogy szembesültünk azzal, hogy Dr. Windisch Andor barátunk 80 éves lett. Tényleg repül az idő, de ez természetesen nem jelenti semminek a végét, viszont egy szép jubileum.

Egy születésnapi köszöntőnek – bár néha ezt nem így gondolják – nem az a feladata, hogy az ünnepelt életútjának minden adatát felsoroljuk, vagy összegezzük. A mi esetünkben ez már azért sem lenne lehetséges, mert ha megpróbálnánk összefoglalni Windisch Bandi eddigi életútjának eseményeit, akkor a dolgozat messze szétfeszítené a rendelkezésre álló kereteket. Ezért erről csak röviden.

Bandi 1965-ben fejezte be mérnöki tanulmányait az akkori ÉKME (BME) Szerkezetépítő szakán. Végzés után rövid ideig dolgozott az Ipartervben, később tanársegéd lett a Vasbetonszerkezetek tanszéken, ahol körülbelül két évtizeden keresztül fejtett ki igen eredményes és emlékezetes, kutatói munkát. Eközben lépésről lépésre emelkedett a tanszéki ranglétrán is. Oktatói munkájában nagyon nagy segítséget jelentett már akkor is kivételes nyelvtudása és elméleti felkészültsége, amivel már akkor is zavarba hozott sokakat a környezetében. Fejlődését segítette az olasz és francia egyetemeken eltöltött ösztöndíjas ideje is, amivel megalapozta a nemzetközi ismertségét. Oktatóként és kutatóként szinte megszámlálhatatlan publikációja, egyetemi jegyzete, folyóirat cikke és könyvrészlete vált ismertté.

1984-ben Németországba költözött, ahol nyelvtudásának és széleskörű szakismeretének köszönhetően töretlenül folytatta tevékenységét a Stuttgarteri Műszaki Egyetemen, a DYWIDAG fejlesztési főosztályán, majd Gallus Rehm professzor mérnöki irodájában. Alkotásait és eredményeit nehéz lenne felsorolni. 1994 végétől a DSI produktmenedzsere volt, később főmérnöke. 2004-től ugyanitt európai műszaki igazgató és a központi műszaki osztály vezetője volt.

2007 végén nyugállományba vonult, de ez nem jelentette szakmai pályafutásának lezárását, mert érdeklődése és nemzetközi kapcsolatrendszere továbbra is töretlen maradt. 2005-ben elnyerte a *fib* Magyar Tagozat Palotás László-díját. 2012 óta a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék címzetes egyetemi tanára.

Windisch Bandi egész pályafutása alatt a vasbeton szerkezetek lélektanának nagy álmódosója volt. Mindig arra törekedett, hogy az érvényes szakmai dogmákkal akár ellentétesen is megalkossa a vasbeton szilárdságtan egységes

elméletét. Ezzel a szakmán belül természetesen sok vitát váltott ki, voltak követői, voltak akik kevésbé támogatták, de kivételes képességeit soha senki nem vonta kétségbe. Sokan azt mondják, hogy Bandi barátunk megosztó egyéniség volt. Ez talán igaz is, de ennek oka van. Az ok egyszerűen az, hogy szakmai vagy egyéb véleményét soha nem rejtette véka alá, álláspontját minden alkalommal kompromisszumok nélkül vállalta. Így dolgozott a szakmai munkáiban és így végezte oktatói, konzulensi tevékenységét is. Ezzel a hozzáállással nagyon sokakat segített a szakmai és emberi fejlődésben, bár néha egyeseknek nehézséget okozott az, hogy a kompromisszumokra nem hajlandó újtán kövessék. Megosztónak mondják, de talán pont ez a jellemvonása az, ami a barátai és jó ismerősei körében annyira kedvelté teszi őt. Ami az álmódosítást illeti egész szakmai munkája arra irányult, hogy egy az ő felfogásának megfelelő vasbeton szerkezeti és szilárdságtani iskolát hozzon létre. Ez az iskola ugyan formálisan soha nem jött létre, mégis az elképzelés szellemisége jelentős holdudvart hozott létre és aki ebbe a holdudvarba tartozónak érzi magát mind jól tudja, hogy milyen hatást gyakorolt rá Windisch Bandi felfogása. Természetesen még a követői körében is nagyon sok vitára és beszélgetésre volt szükség annak érdekében, hogy tisztázódjanak az álláspontok, de ezek a viták bármi volt is az eredményük, soha nem vezettek a megalapozott barátság csorbulásához.

A szakmai élet mellett Windisch Bandi teljes körű szellemi életet élt egész életében. Elsőként kell megemlíteni egészen kivételes zenei felkészültségét – komolyzenei területen – mert mint tudjuk fiatalabb korában még a karmesteri életpályával is kacérkodott. Úgy gondoljuk, hogy ugyanúgy, ahogy szakmai téren vezéregyéniséggé tudott válni, egy zenekar élén is ugyanígy megállta volna a helyét. Filozófiai és irodalmi ismeretei is messze átlagon felüliek, a vele való beszélgetések ilyen területen is mindig maradandó élményt jelentettek. Talán nem véletlen, hogy baráti köre sem kifejezetten a műszaki értelmiség köréből verbuválódott.

Egész életében nagy figyelmet fordított az emberi kapcsolatainak ápolására, ennek köszönhető, hogy tanítványai, barátai, kollégái a mai napig is nagy szeretettel gondolnak rá, ugyanúgy, ahogy ő is törekszik ezeknek a kapcsolatoknak az ápolására, mind a hazai, mind a nemzetközi ismeretségi körében. Családjával való kapcsolatára is nagy gondot fordít és szeretetteljes családi életet él, még akkor is, hogyha ebben földrajzi nehézségei is vannak.

Mindezek összefoglalásául nem marad más hátra, mint az, hogy Windisch Bandi barátunknak a további életútjára is minden jót kívánjunk, erőt, egészséget és köszönjük az eddigi barátságot!

Dr. Madaras Gábor

BÚCSÚ DR. FOGARASI GYULA, GYÉMÁNTOKLEVELES ÉPÍTŐMÉRNÖKTŐL



(A fénykép a 75. születésnapjára készült)

Évfolyamtársaként és barátjaként végig követhetem szép és eredményes mérnöki pályafutását, amely a tehetséggel párosult szorgalom, valamint a becsületes munka, tisztességes élet szép példájaként állhat előttünk.

1960-ban szerzett híd- és szerkezetépítő szakos kiegészítő mérnöki oklevelet, 1980-ban doktori címet szerzett, majd 1986-ban közgazdasági továbbképzést is végzett. Rendelkezett az USA-ban mérnöki munkához elengedhetetlen Professional Engineer státusszal.

A Közlekedési Építő Vállalatnál, az Iparterv-nél és az Élterv irodánál eltöltött néhány év után, ahol már szintén jelentős tervezői feladatokat látott el, mintegy negyedszázadot dolgozott a Beton- és Vasbetonipari Műveknél (BVM). Az előre gyártott épületszerkezetek, híd-, közmű-, vasút-, alagút és vízépítési elemek tervezését végezte, majd műszaki osztályvezető helyettesként a teljes gyártmányfejlesztés és minősítés irányítása tartozott hozzá. Végül vállalásos irodavezetőként az összes termék bel- és külföldi piacra küldéséért, valamint e termékek értékesítését lehetővé tevő magyar és idegen nyelvű kiadványok szerkesztése, terjesztése, valamint BVM szerkezetekkel komplex vállalkozások, kivitelezési tettek szervezése volt a feladata.

A BVM munkatársaival együtt tervezett számos terméket és berendezést szabadalmaztatott. Mintegy tucatnyi könyvet, illetve egyetemi jegyzetet írt szerzőként és társszerzőként angol és magyar nyelven.

1970-től dolgozott a Nemzetközi Feszített Beton Szövetségben, majd annak alelnöke lett.

Az UNIDO felkérése alapján Líbiában, Costa Ricában

és Budapesten végzett építési szakértői munkát. 1989-91-ben a University of Nebraska Omahai campusán tanított vendégprofesszorként. Külső előadóként több New Yorki egyetemen is tartott előadásokat. Az amerikai vendégprofesszorkodás mellett idehaza, a BVM-nél töltött évek alatt is számos egyetemi és szakmai továbbképzési előadást tartott. Külföldi meghívásra pedig Amerika mellett Ausztráliában, Indiában, Csehszlovákiában, a Szovjetunióban, Németországban, Svájcban, Makedóniában, Algírban, Líbiában, Kairóban, Kínában és Costa Ricában tartott előadásokat.

1989-től vállalati hozzájárulással főállásban az Egyesült Államokban vállalt munkát. 1991-2001. között a második legnagyobb amerikai tervező-építő vállalat, a Parsons New Yorki irodájának irányító hídtervezőjeként részt vett a világ legnagyobb függőhídjainak, rácsos hídjainak és mozgó hídjainak tervezési munkáiban. Saját megítélése szerint legérdekesebb feladata a világrekorder Lisszaboni Tagus függőhíd kétszintesre való áttervezése volt.

Karrierje szép példája a magyar műszaki egyetemi képzés értékének, hiszen ötvennégy éves korban, 33 év vasbeton szerkezeti munka után tudott váltani: külföldön, a világ legfejlettebb országában acélszerkezeti hidak tervezésében, kiváló tehetségének is köszönhetően, kitűnően helyt tudott állni.

Feleségével közel 58 évet éltek együtt. Házasságukból három gyermek és tizenöt unoka származott, és már két dédunokának is örvendhetett. A szerető és összetartó család szép példája voltak.

Fogarasi Gyula közel tizennégy évig tartó, sok megpróbáltatással járó küzdelmes betegség után – amelynek során felesége hősiessége kísérte – 2022. augusztus 20-án fejezte be szép és tartalmas életét. Nyugodjék békében.

Sümeghy Pál, okl. építőmérnök

BETONTECHNOLÓGUS SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉS A BME ÉPÍTŐMÉRNÖKI KARÁN 2023-2024

A BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék szervezésében induló négy féléves kurzusra várjuk az érdeklődő kollégák szíves jelentkezését

A betonnal szembeni fokozott elvárások (pl. nagy szilárdság, tartósság, veszélyes hulladékok tárolása stb.), a speciális igényeket kielégítő betonok kifejlődésének és az európai szabványok megjelenésének hatására a betontechnológia jelentősége egyre nagyobb hangsúlyt kap és érdeklődésre tart számot napjainkban.

A BME ÉMK *Építőanyagok és Magasépítés Tanszék* a diplomával záruló **Betontechnológus Szakirányú Továbbképzése** a betontechnológia körébe tartozó legújabb ismeretek átadásával kívánja segíteni a praktizáló kollégákat. Saját, jól felfogott érdekében minden cégnek rendelkeznie kell jó betontechnológussal.

A továbbképzés célja, hogy a résztvevők megszerezzék a legfrissebb betontechnológiai ismereteket. Ennek érdekében a hallgatók a betontechnológiai módszerek mellett elmélyedhetnek a speciális tulajdonságú betonok témakörében, a betonalkotók anyagtani kérdéseiben, az építőanyagok újrahasznosításában, a környezetvédelmi kérdésekben, a betonstruktúra elemzésében és annak hatásában a tartósságra, a diagnosztika nyújtotta lehetőségekben – aminek eredményei megfelelő javítási vagy megerősítési mód kiválasztását teszik lehetővé, a mély és magasépítési szerkezetek betontechnológiai szempontból jelentős tervezési és kivitelezési kérdéseiben –, a betongyártás és előregyártásban, a minőségirányítás és minőségbiztosítás módszereiben, valamint áttekintést kapnak a vasbetonépítésben megjelent legújabb anyagokról is a tanfolyamon.

Mindezen ismereteknek még fokozottabb jelentősége van az MSZ EN 206:2014 európai betéionszabvány és az MSZ 4798:2016 *“Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon”* szabvány megjelenése óta.

A tananyag egymásra épülő rendszerben áttekinti a betontechnológiához szükséges összes ismeretanyagot, valamint a hozzájuk kapcsolódó jogi, gazdasági és vezetélméleti kérdéseket.

A négy féléves képzés (legalább szakirányú BSc diplomával) levelező rendszerben történik – félévenként 3-3 konferenciahét általában hétfő 10.00-tól csütörtök 16.00-ig – amely az utolsó félévben szakdolgozat készítéssel zárul.

A következő tanfolyam kezdete: 2023. március 1.

Jelentkezési határidő: 2023. február 10.

A jelentkezéshez kérjük csatolja:

- a végzettséget igazoló oklevél másolatát,
- szakmai önéletrajzot.

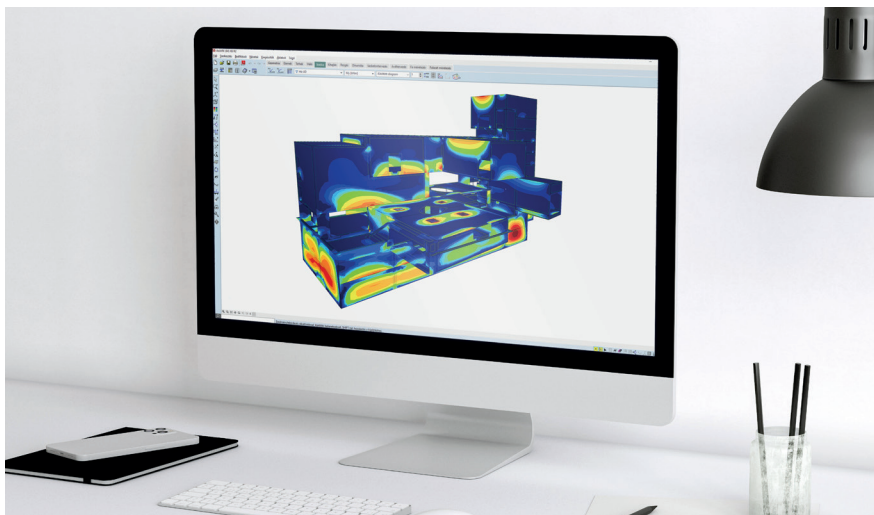
További információ, ill. kérdés esetén forduljon Sánta Ildikóhoz (tel: (1) 463-4068, e-mail: santa.ildiko@emk.bme.hu)

A tanfolyam részletes leírása és a jelentkezési lap a <http://www.em.bme.hu/em/betontechnologus> internetes oldalon található.

Dr. Balázs L. György tanfolyamvezető tanár
balazs.gyorgy@emk.bme.hu

- szigetelések (mélyépítés, magasépítés),
- korrózióvédelem (üzemi, helyszíni),
- sóvédelem,
- közlekedési, mélyépítési, magasépítési létesítmények komplett építési munkái (autópálya-hidak, felüljárók, mélygarázs),
- hidak és egyéb mérnöki létesítmények rehabilitációs munkái,
- környezetvédelmi létesítmények készítése (hulladéklerakók, hulladékgyűjtő szigetek),
- injektálások, betonlövési munkák, zajvédő falak építése és felújítása, ipari padlóburkolatok kialakítása,
- földművek készítése,
- szennyvízkezelési, szennyvízelvezetési rendszerek építése,
- vízépítési kivitelezés.





fotó: MOL Campus, Dernovics Tamás/magyarepitok.hu | Néprajzi Múzeum, Palkó György/LIGET BUDAPEST



Teljeskörű vasbetontervezés

- Falak és lemezek vasalásának számítása
- Oszlop- és gerendavasalás
- Lemezek átszűrődási és nyírési méretezése
- Pont- és sávalap méretezés, geotechnikai ellenőrzés
- Vasbeton falak és falmagok méretezése összetett igénybevételekre
- Vasbeton keresztmetszet feszültséganalízise
- Vasbeton gerendák és oszlopok tűzállósági méretezése
- Vasbeton lemezek és falak tűzállósági méretezése
- Utófeszített rúd- és felületszerkezetek modellezése
- Parametrikus tervezés támogatása (Rhino-Grasshopper, Revit-Dynamo)