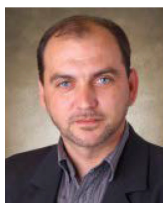


HASZNÁLATI ÉLETTARTAM BECSLÉSI LEHETŐSÉGE KLORIDIONOK BEHATOLÁSA ESETÉN

<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

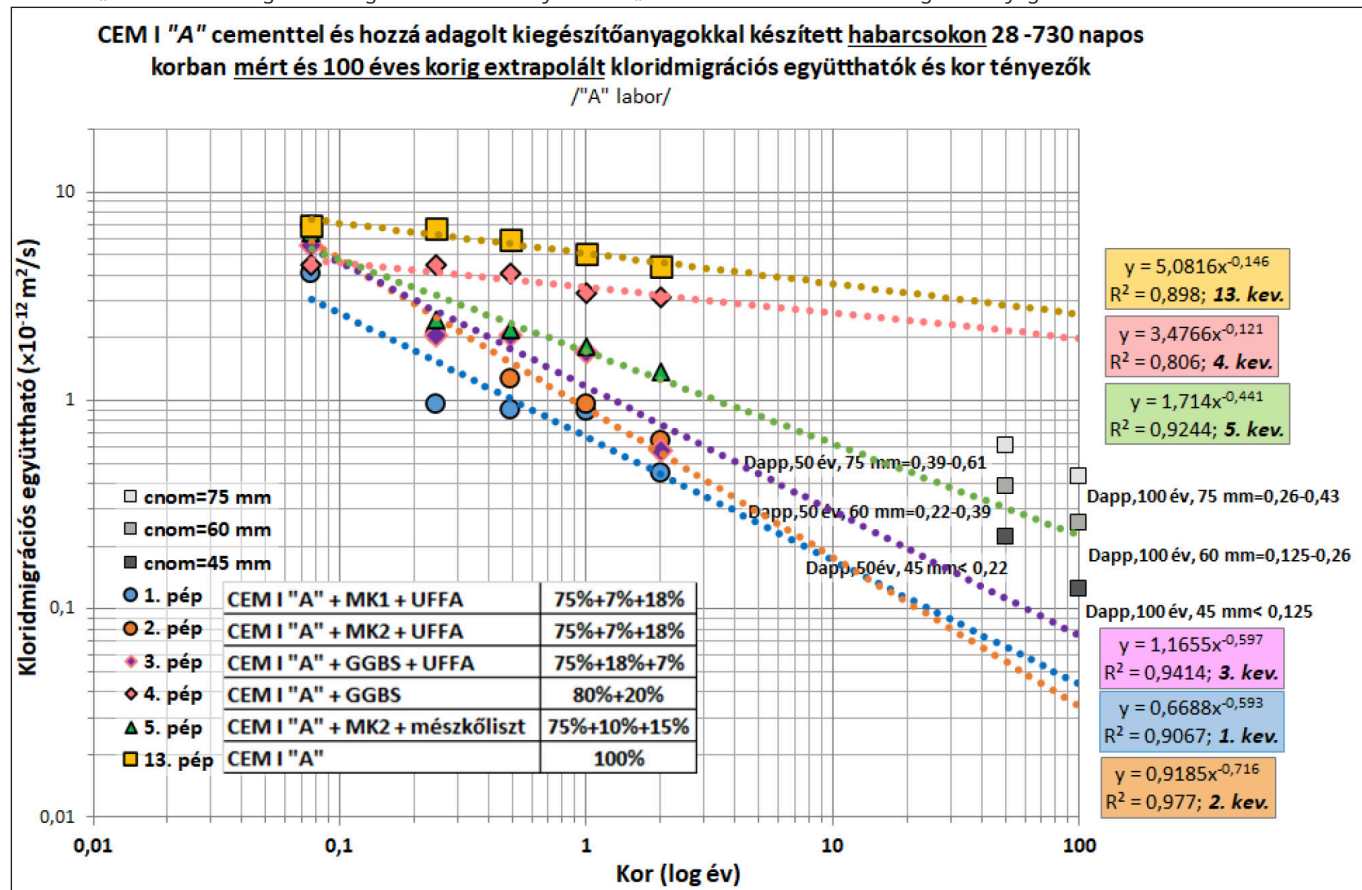
Az 1-7. ábrákon grafikusán megjelenített vizsgálati eredményeket különböző szempontok szerinti feldolgozásokban szemléltetjük.

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.

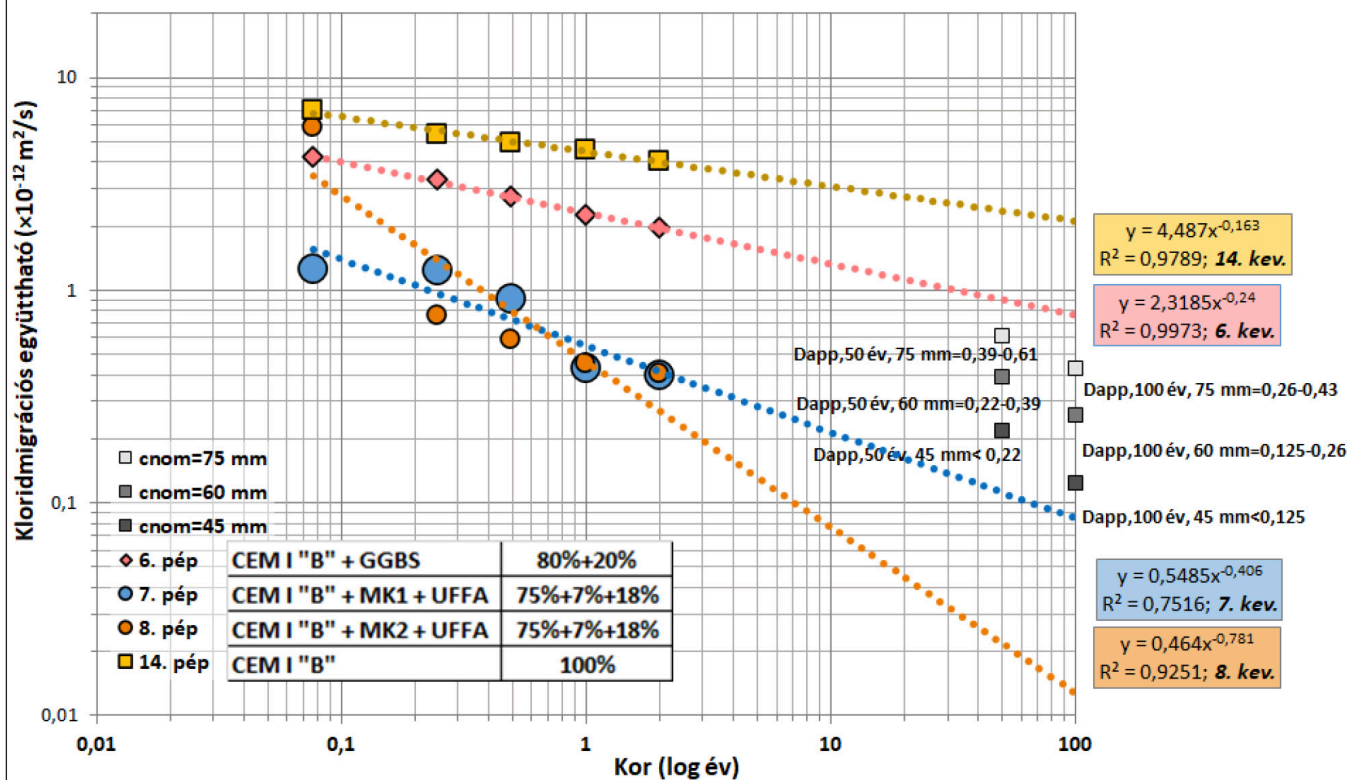
A 8. ábra görbéinek lefutásából látható, hogy a sötétkékpontozott vonallal jelölt CEM III/A cementtípus kivételével sem a vizsgált gyári cementtípusok, sem pedig ezek keverékei (laboratóriumi/kísérleti cementek) nem tűnnek alkalmasnak 50 év használati élettartamra, még $c_{nom}=75$ mm betonfedés mellett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

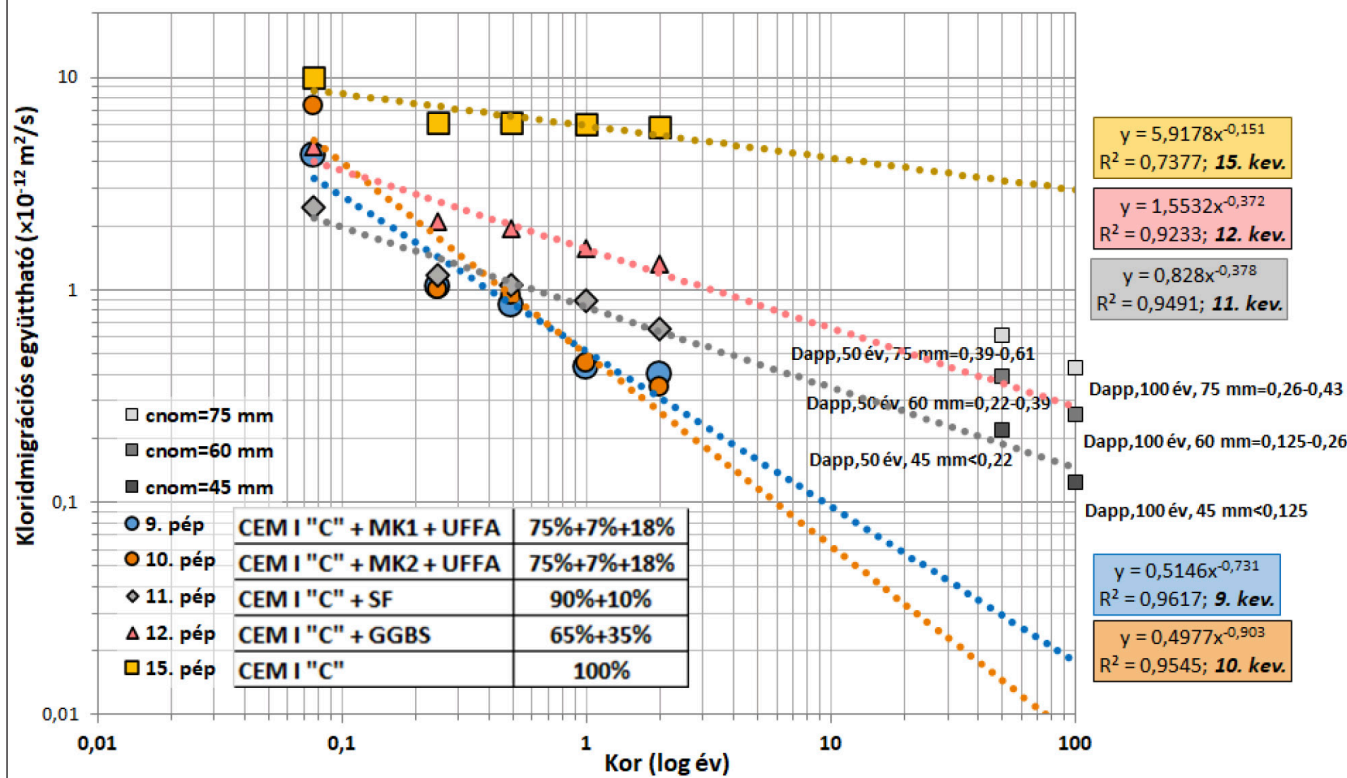
/"A" labor/



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

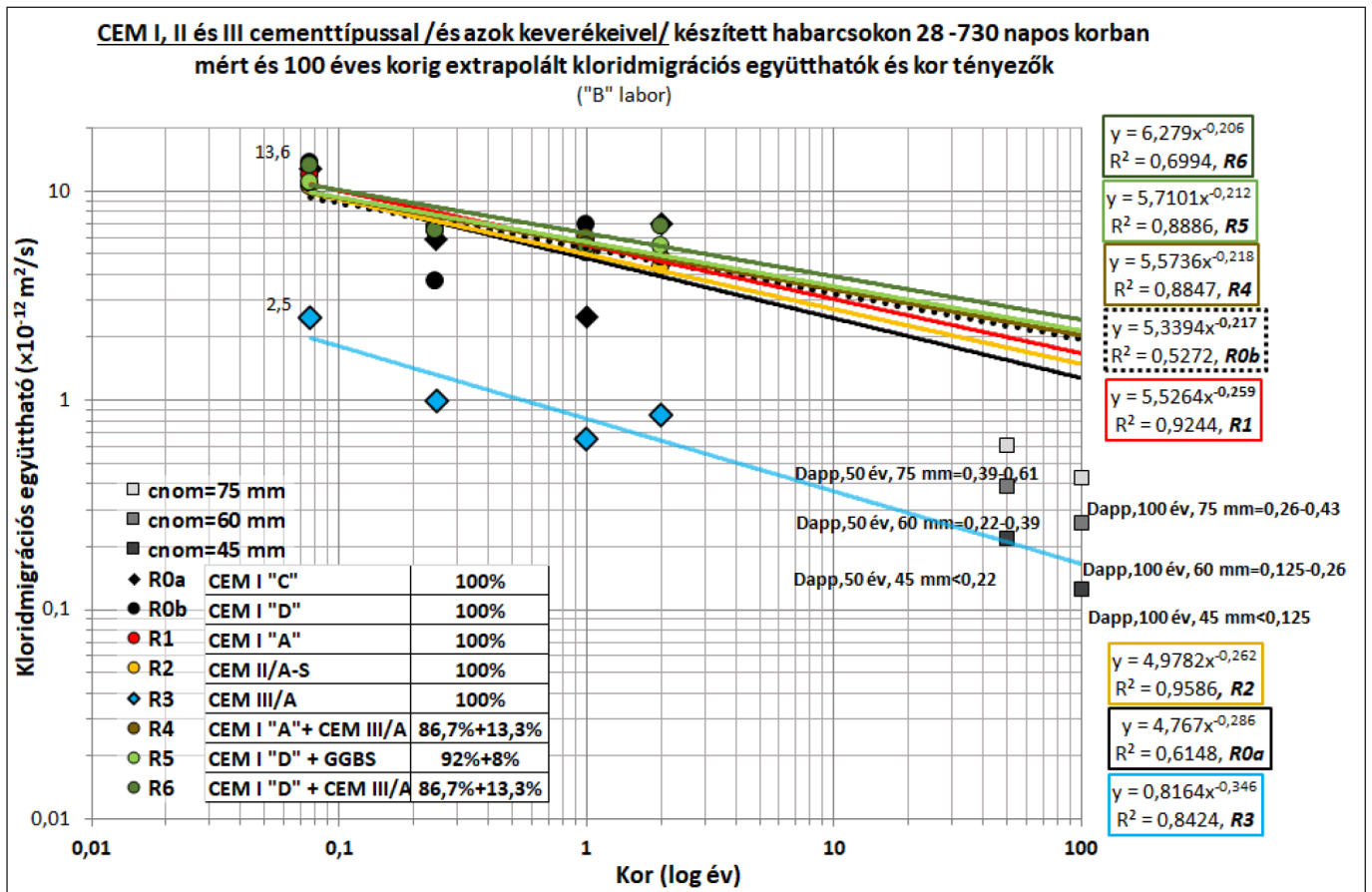
/"A" labor/



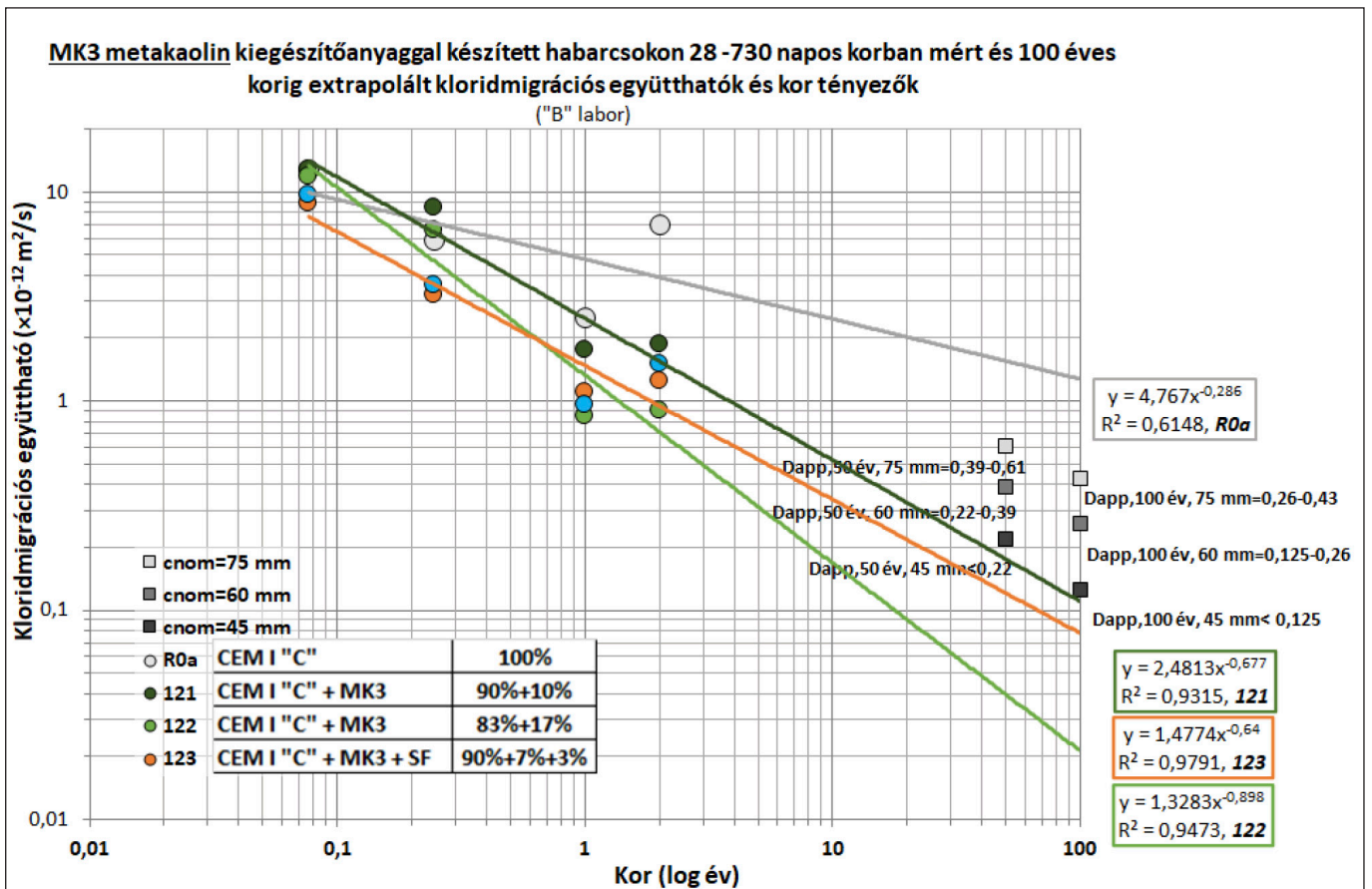
3. ábra: „A” labor kloridmigrációs vizsgálatainak eredményei CEM I „C” cementtel és különböző kiegészítőanyagokkal készített habarcsokon

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



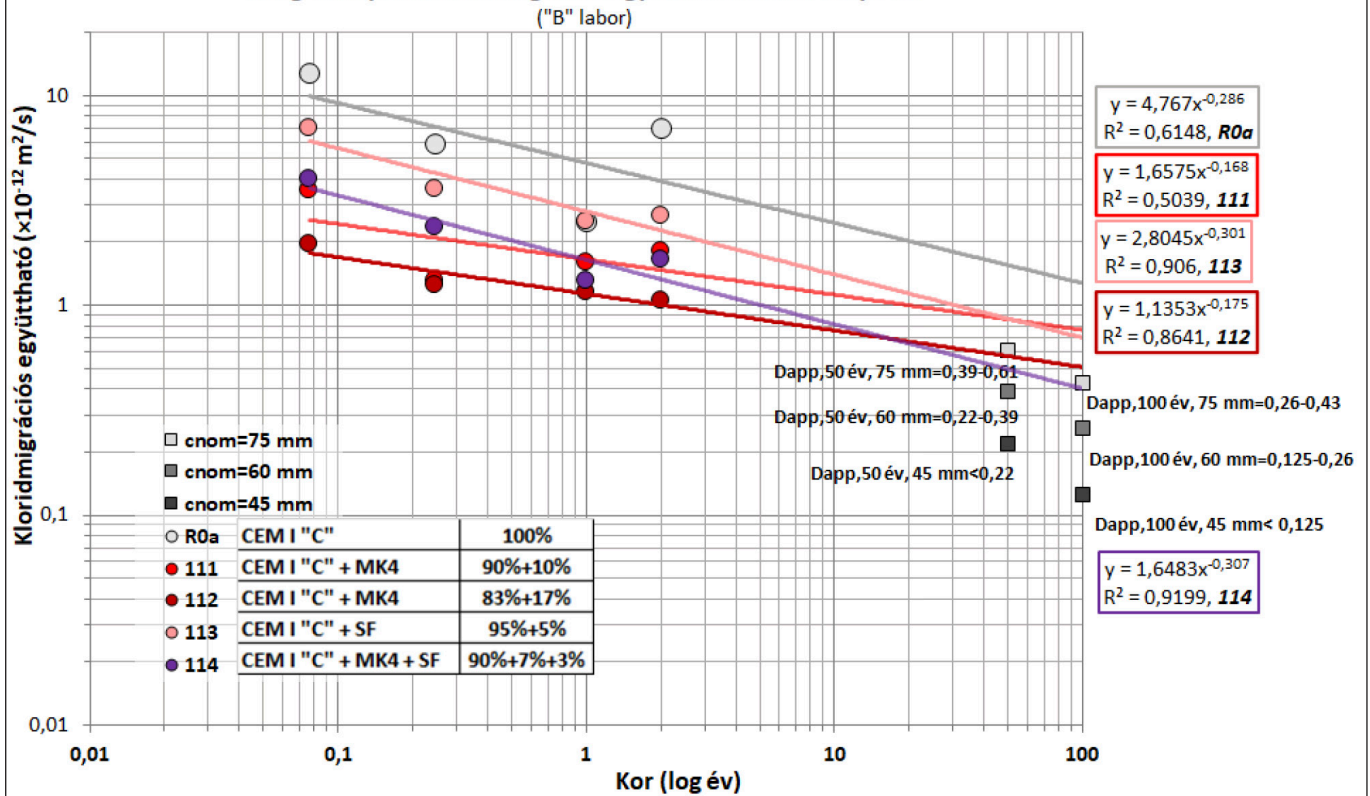
5. ábra: „B” labor kloridmigrációs vizsgálatának eredményei MK3 metakaolin, valamint szilikapor (SF) kiegészítőanyaggal készített habarcsokon

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

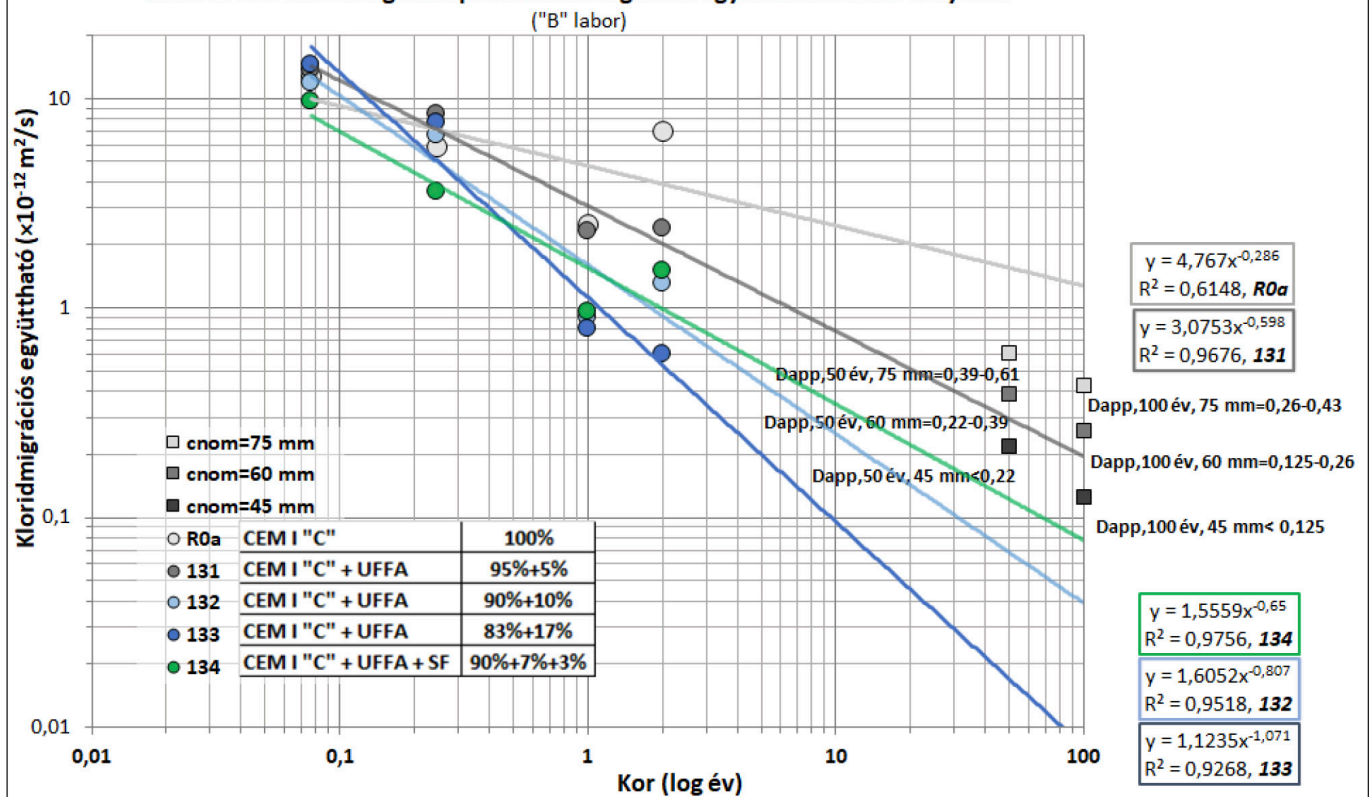
cementek és a mérsékelt kohósalak tartalmú (CEM II/A-S) cementek várhatóan nem hatásosak a kloridmigráció megfelelő mértékű lassítására (8. ábra). A kohósalak tartalom hatását és a célszerűnek mutató adagolását a 4.2. fejezetben elemezzük.

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

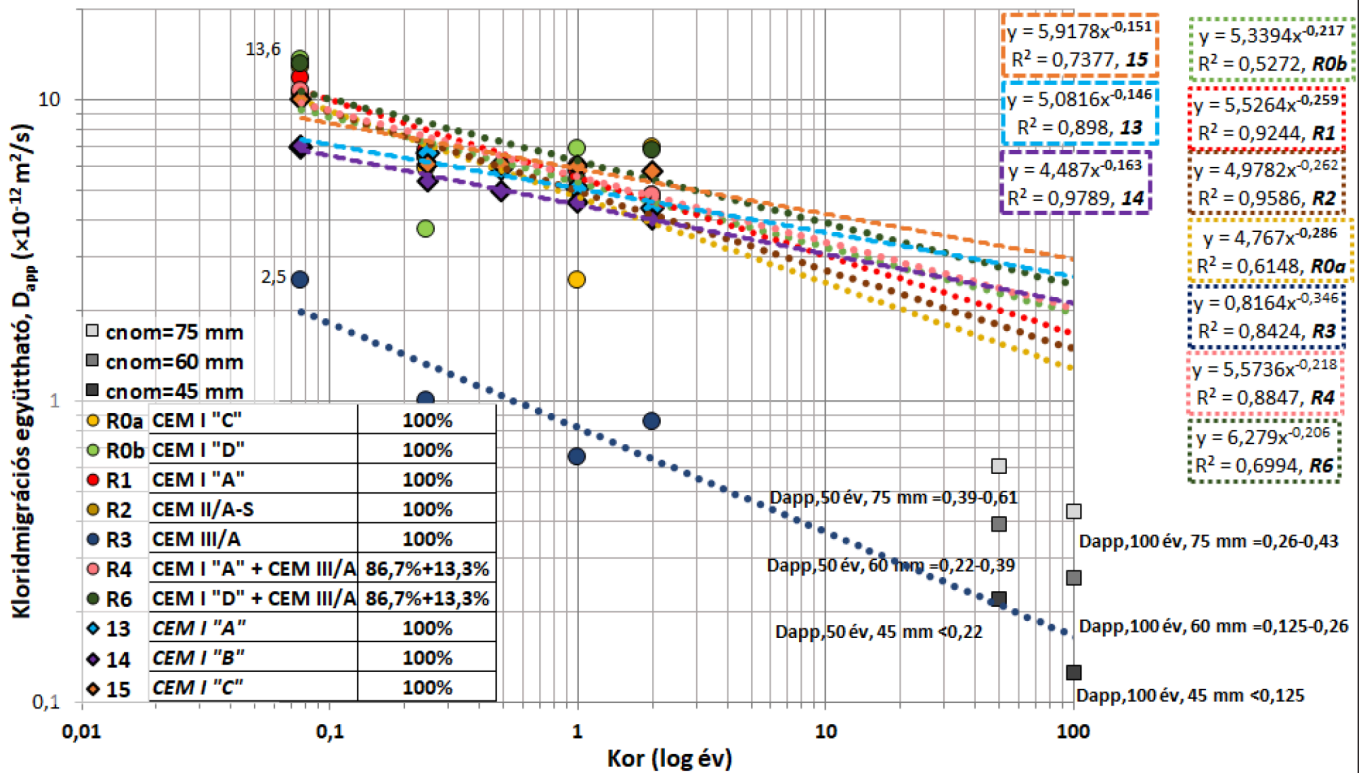
A 9. ábrán a két laboratórium által vizsgált négyféle portlandcement kloridmigrációra kifejtett hatása látható.

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.

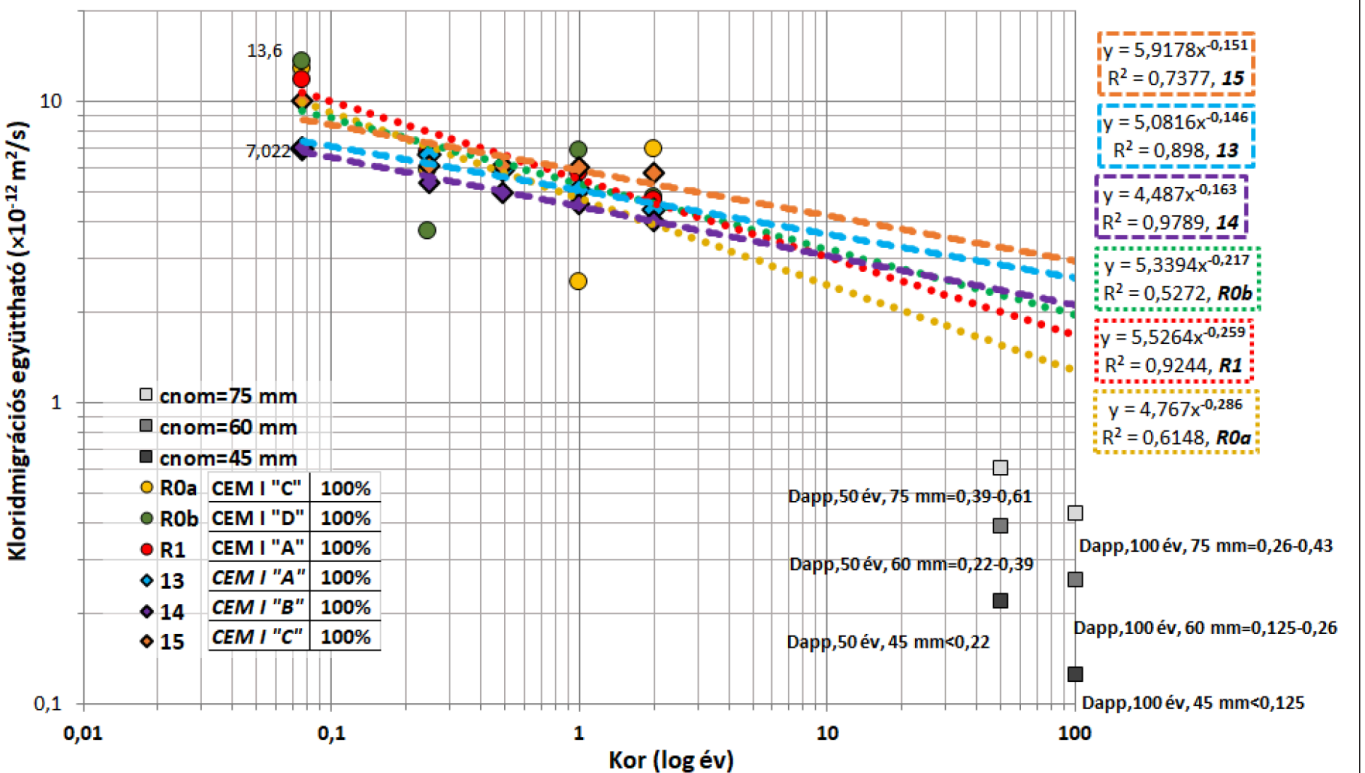
A vizsgálatok eredményei szerint a cementtípustól függően, egyazon kiegészítőanyagok használata esetén is mutat-

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



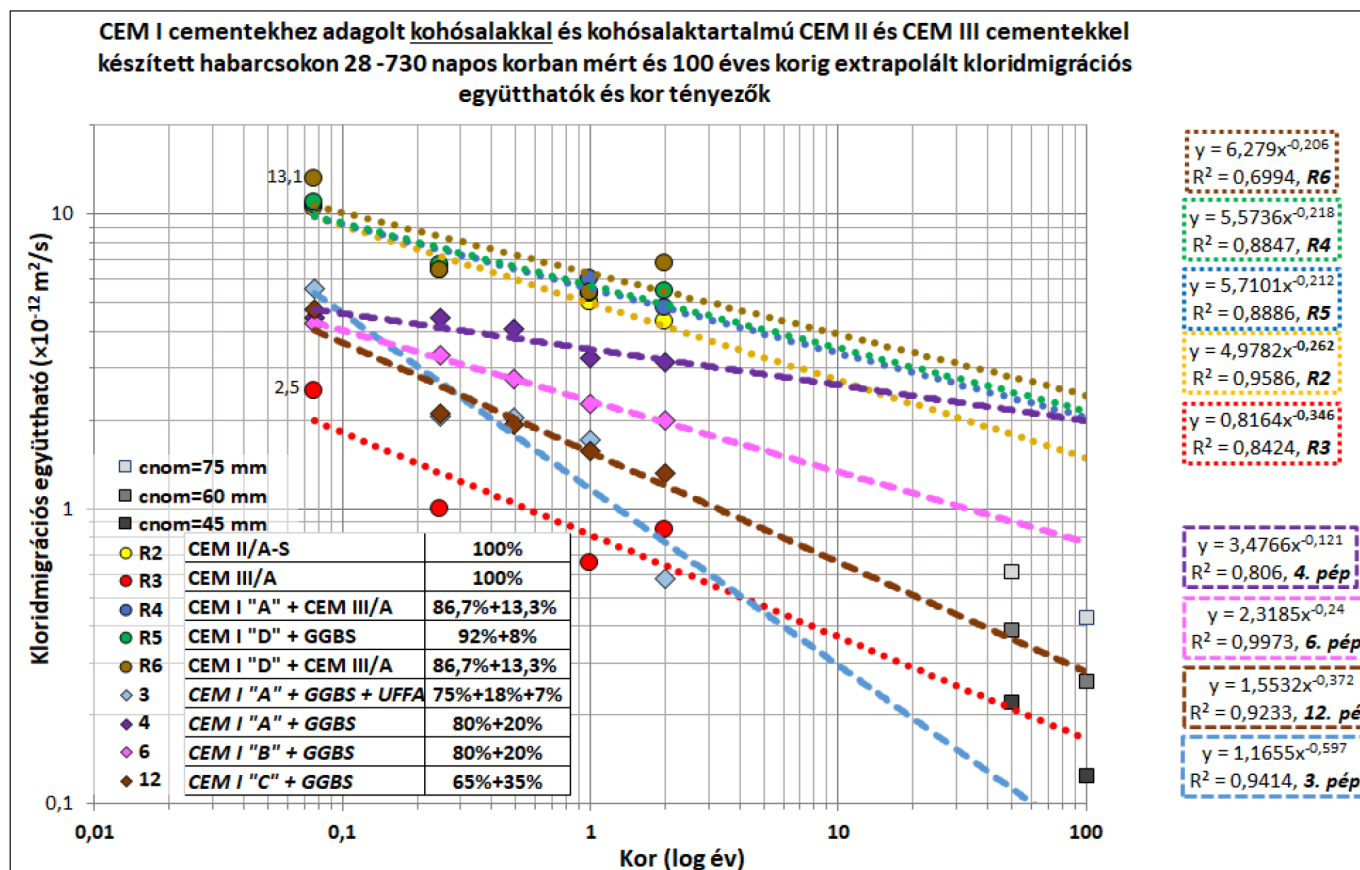
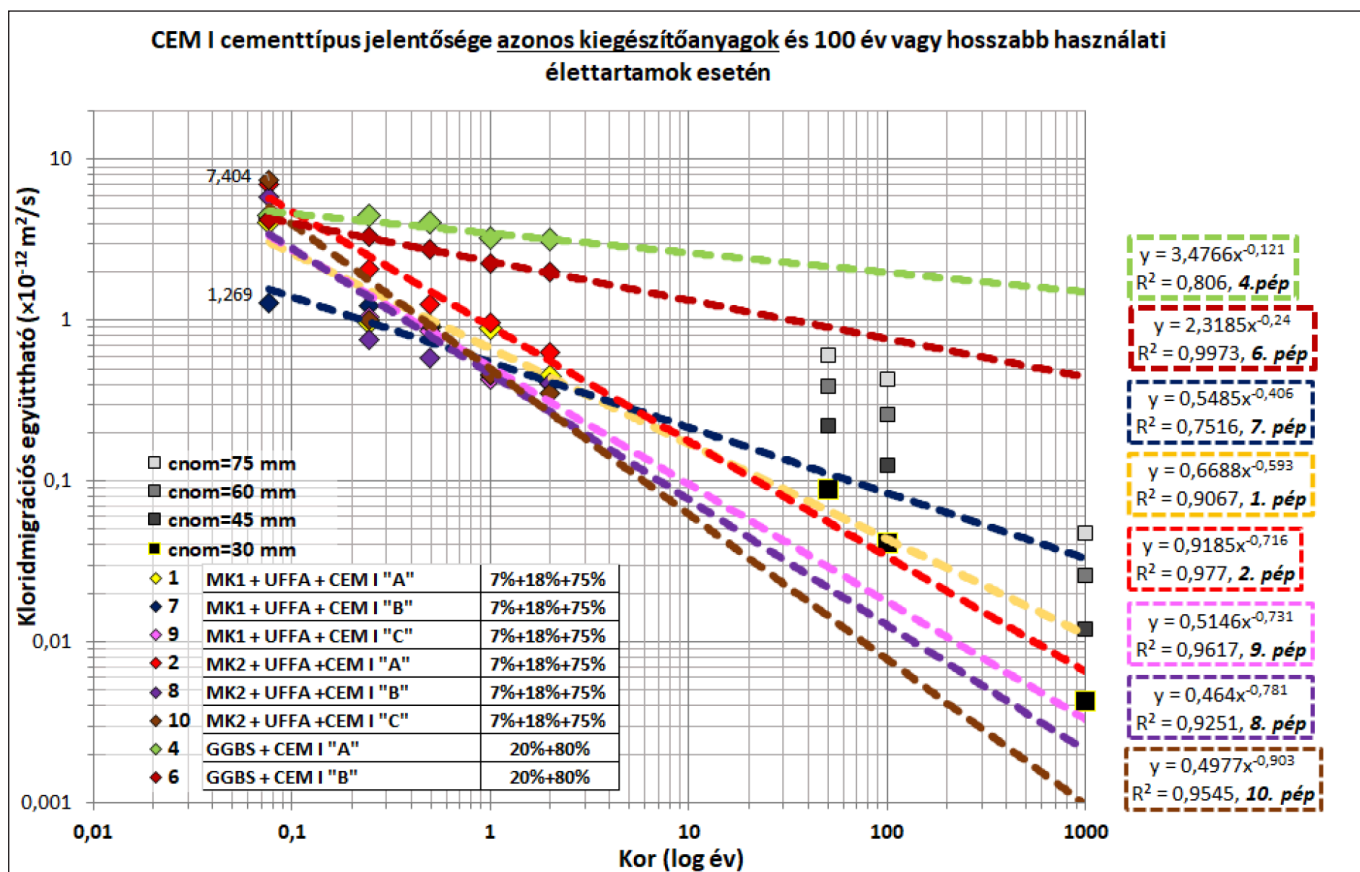
8. ábra: A CEM I, CEM II/A-S (kereskedelmi és kísérleti) és CEM III/A cementek hatása a kloridmigrációra

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).



4.2 Órölt 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).

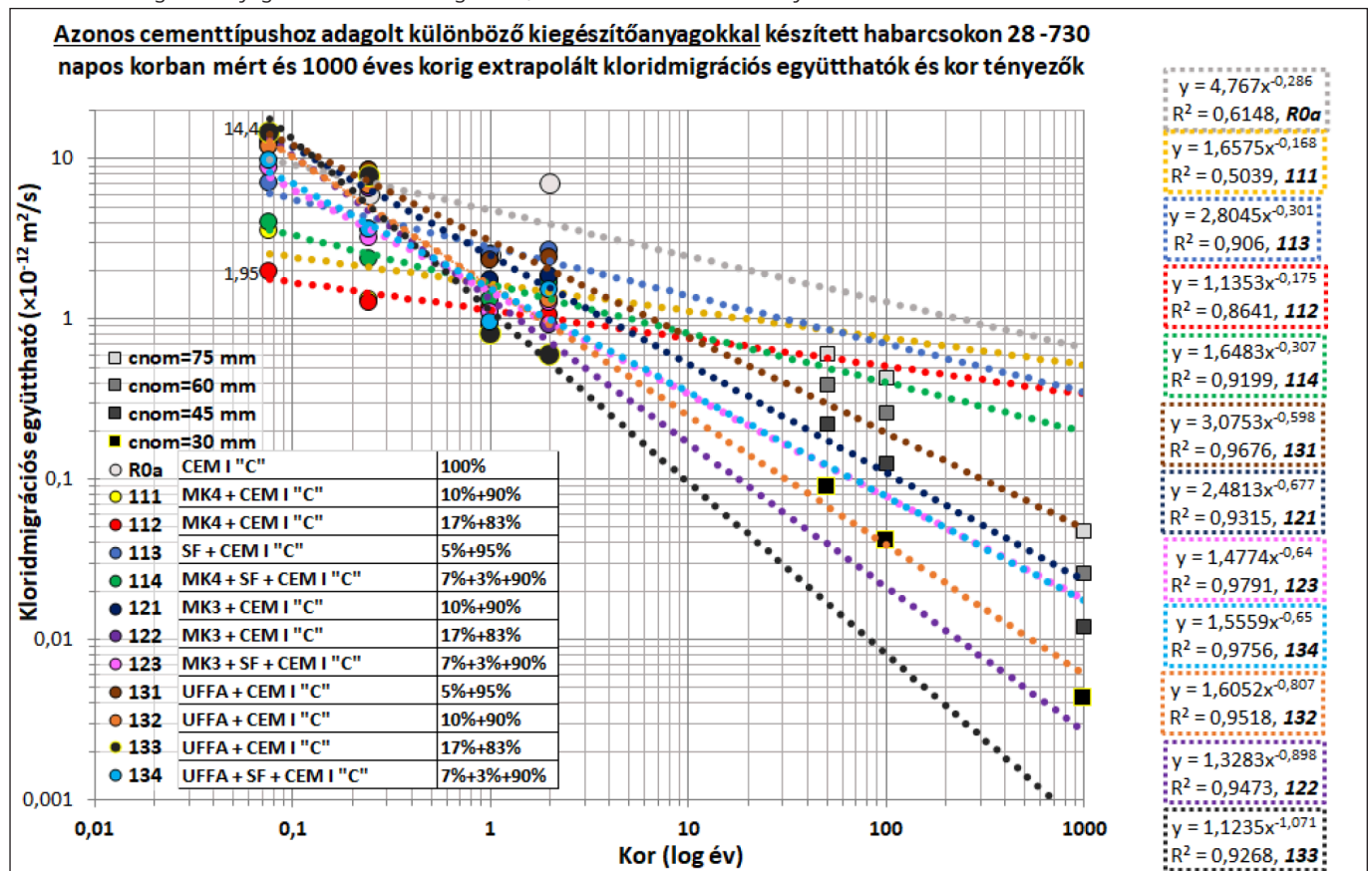
Az egyes metakaolin típusok közötti jelentős különbségeket mutatja, hogy az MK4 jelű metakaolin 17%-os adagolásával is már éppen határon van az 50 év használati élettartamhoz szükséges ($c_{nom}=75$ mm) betonfedés (lásd: 112 jelű keverék piros színű görbéjét). Ha ugyanehhez az MK4 metakaolinhoz szilikaport 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 ($\alpha_{R0a}=0,286$).

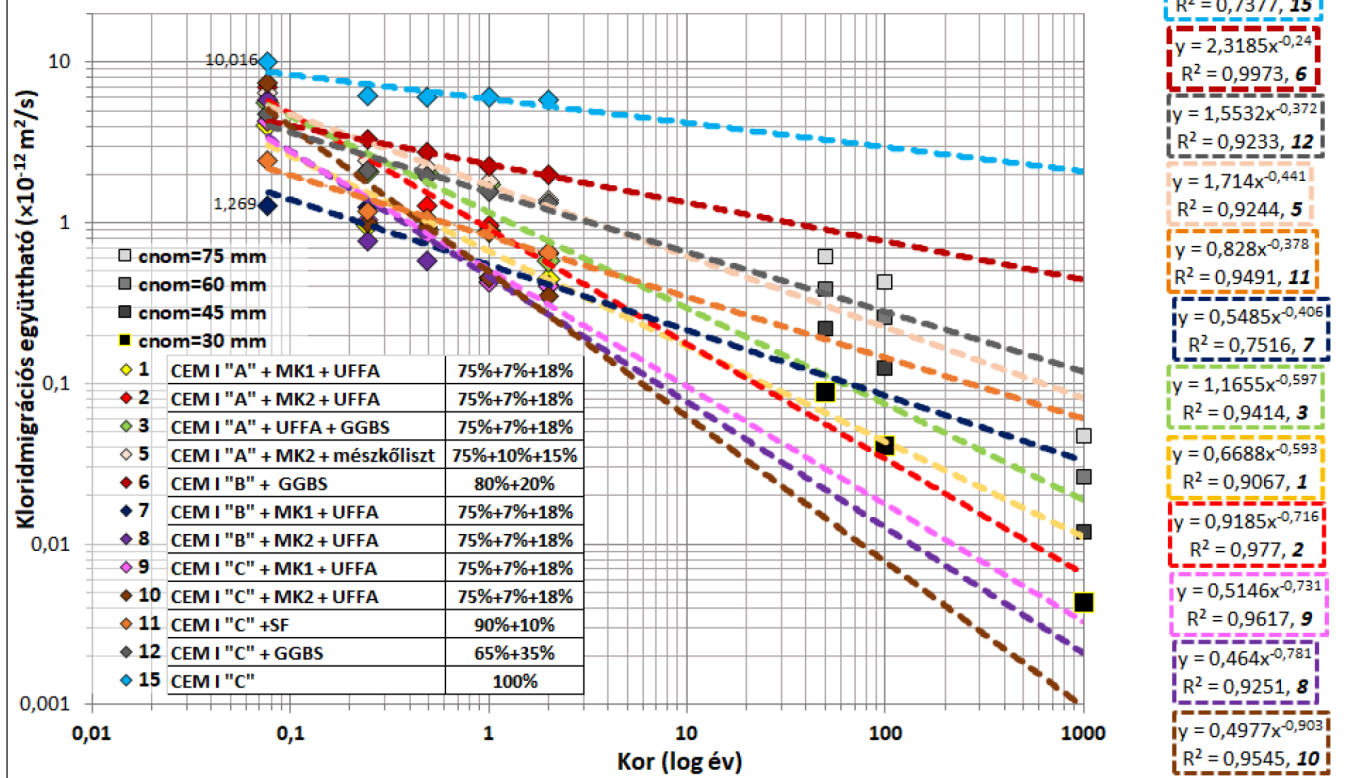
A 13. ábra mutatja a 3-féle cementtípussal készült és különböző kiegészítőanyagokat tartalmazó próbatestek mérési adatait, a görbék lefutását, valamint a különböző használati élettartamokhoz szükséges betonfedés értékeit.

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+mészkőliszt=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).

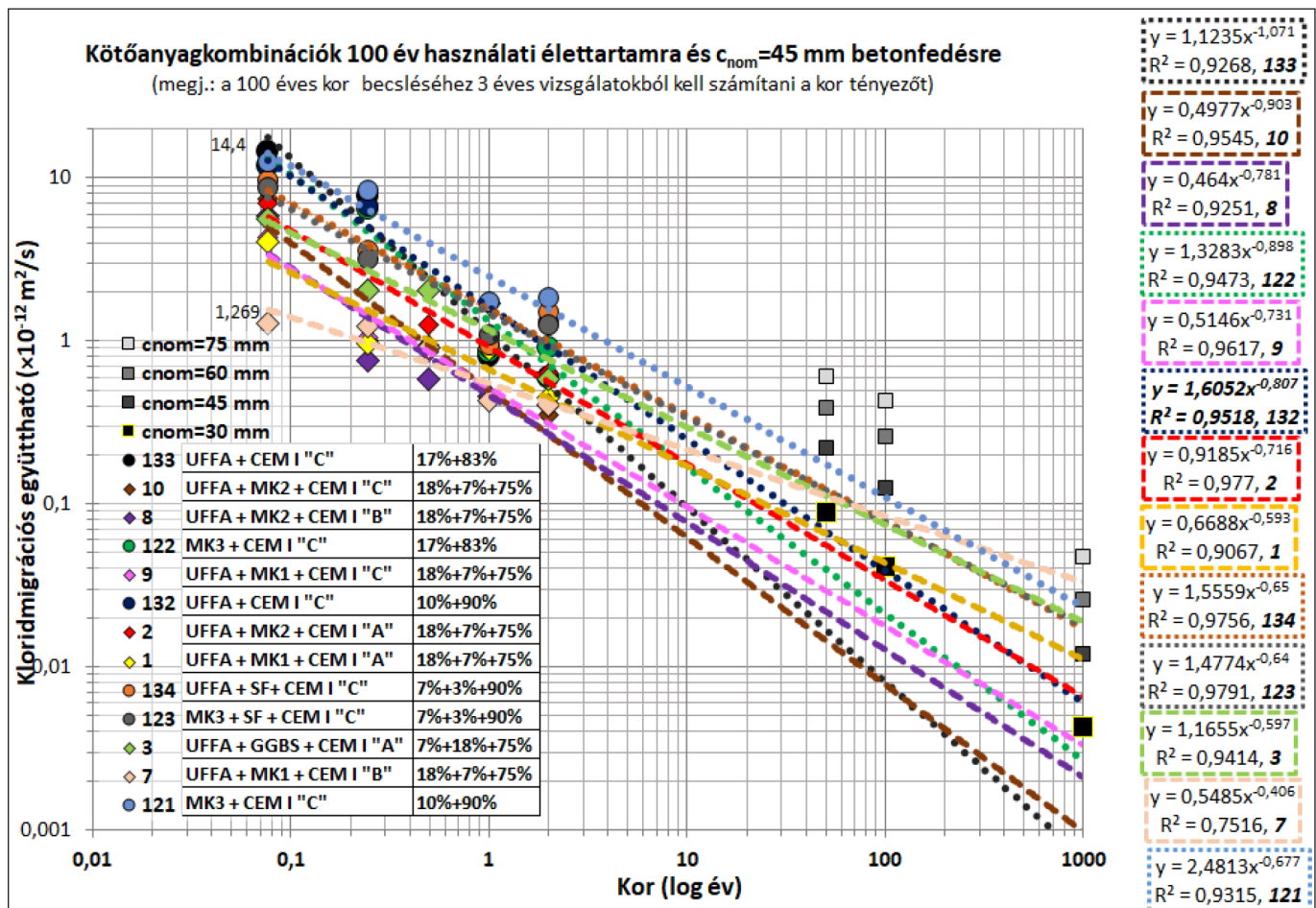
A 35% kohósalakot tartalmazó keverék az 50, ill. 100 év használati élettartamhoz várhatóan rendre $c_{nom}=60$, ill. 75 mm betonfedést igényel (lásd 13. ábrán a szürke szaggatott vonalú, 12 jelű keverék görbéje).

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 kortényezőző csökkenő sorrendjében láthatóak a keverékek. Ez a fajta csoportosítás már nyújt némi támpontot, mert arról tájékoztat, hogy a kortényezőző $\alpha \leq 0,3$ 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.

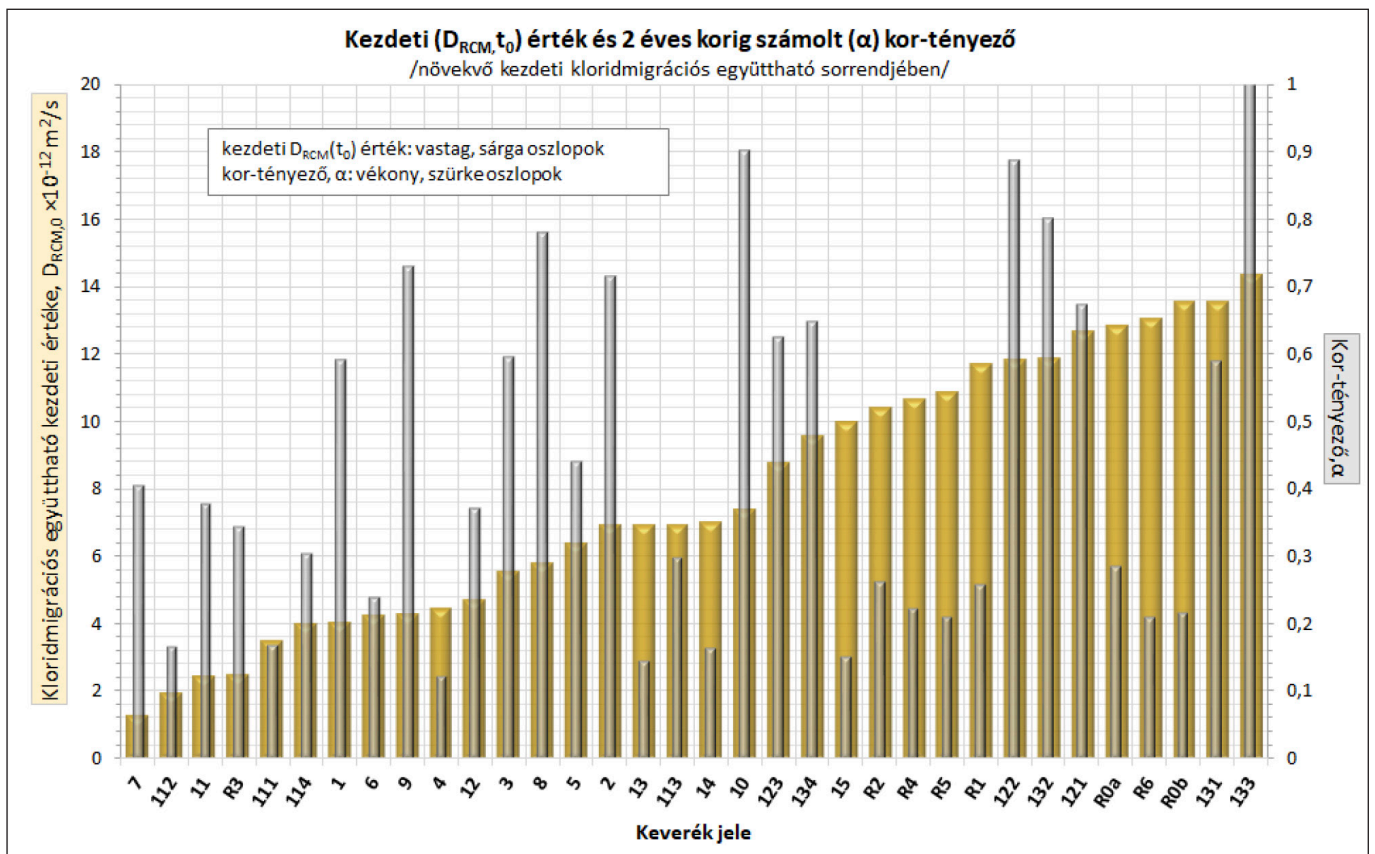
A 112 és 114 jelű keverékek (rendre 17% MK4 jelű metakaolin, ill. 7% MK4 +3% szilikapor) jelzik azt a gyakorlati határesetet, ahol még éppen teljesülhet az 50 éves használati élettartam, de csak $c_{nom}=75$ mm betonfedés esetén (lásd még a 12. ábrát). Az ilyen esetek, amikor az igen kedvező kezdeti D_{RCMP,t_0} értékhez olyan kis kortényezőző 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 kortényezőző (lásd 121, 122, 123, 1, 2, 7, 8, 9, 10 és 5 jelű keverékeket a 12. és 13. ábrákon).

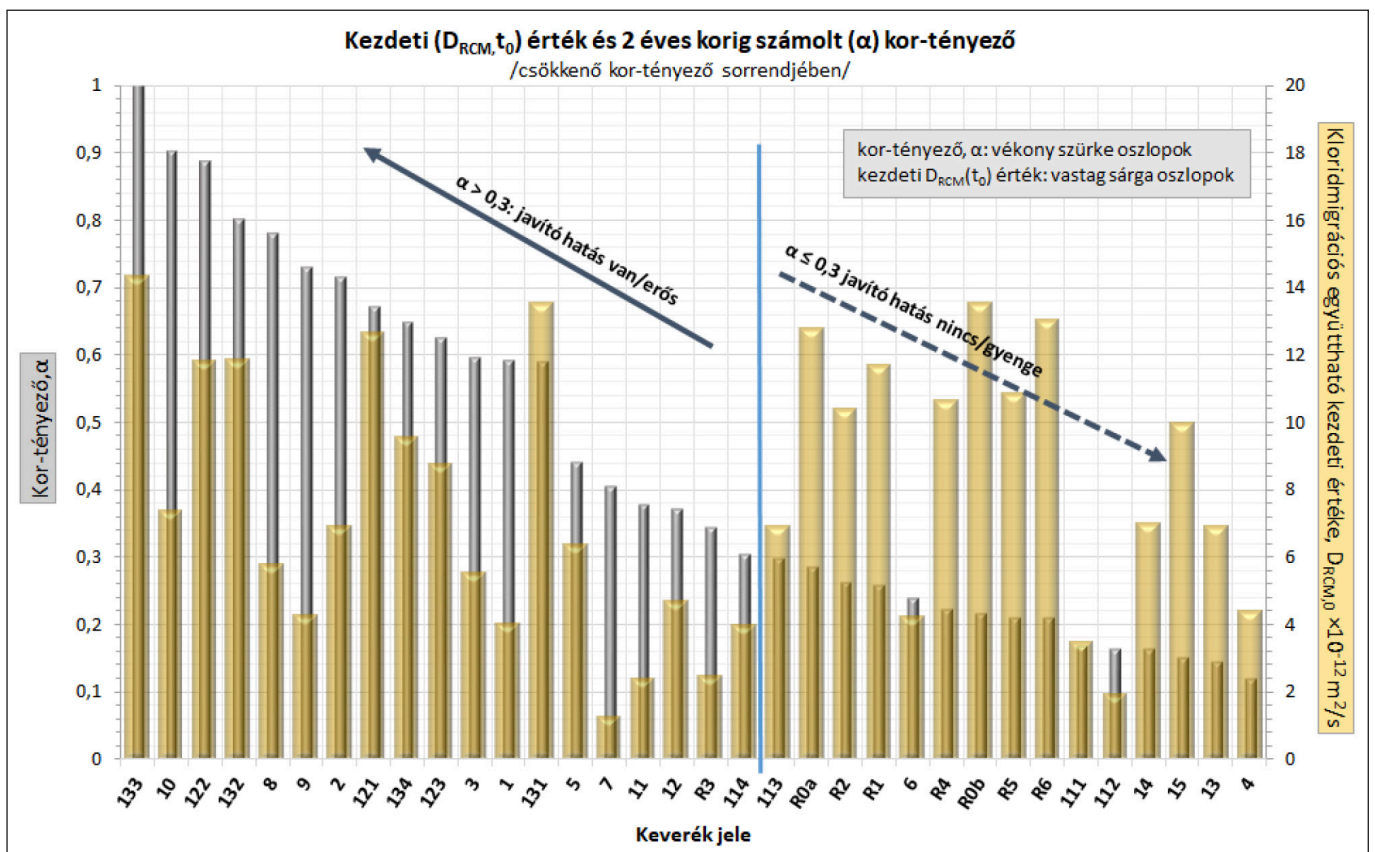
Meg kell említeni, hogy az MK2 metakaolin 10%-os adagolása kedvező kezdeti értéket (D_{RCMP,t_0}) és kortényezőzőt mutat a 15% mészkőlisztet tartalmazó kötőanyag-kombinációban is, mert a $c_{nom}=60$ mm betonfedés megfelelőnek tűnik az 50 és 100 év használati élettartamhoz (lásd 5 jelű keveréket a 13.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

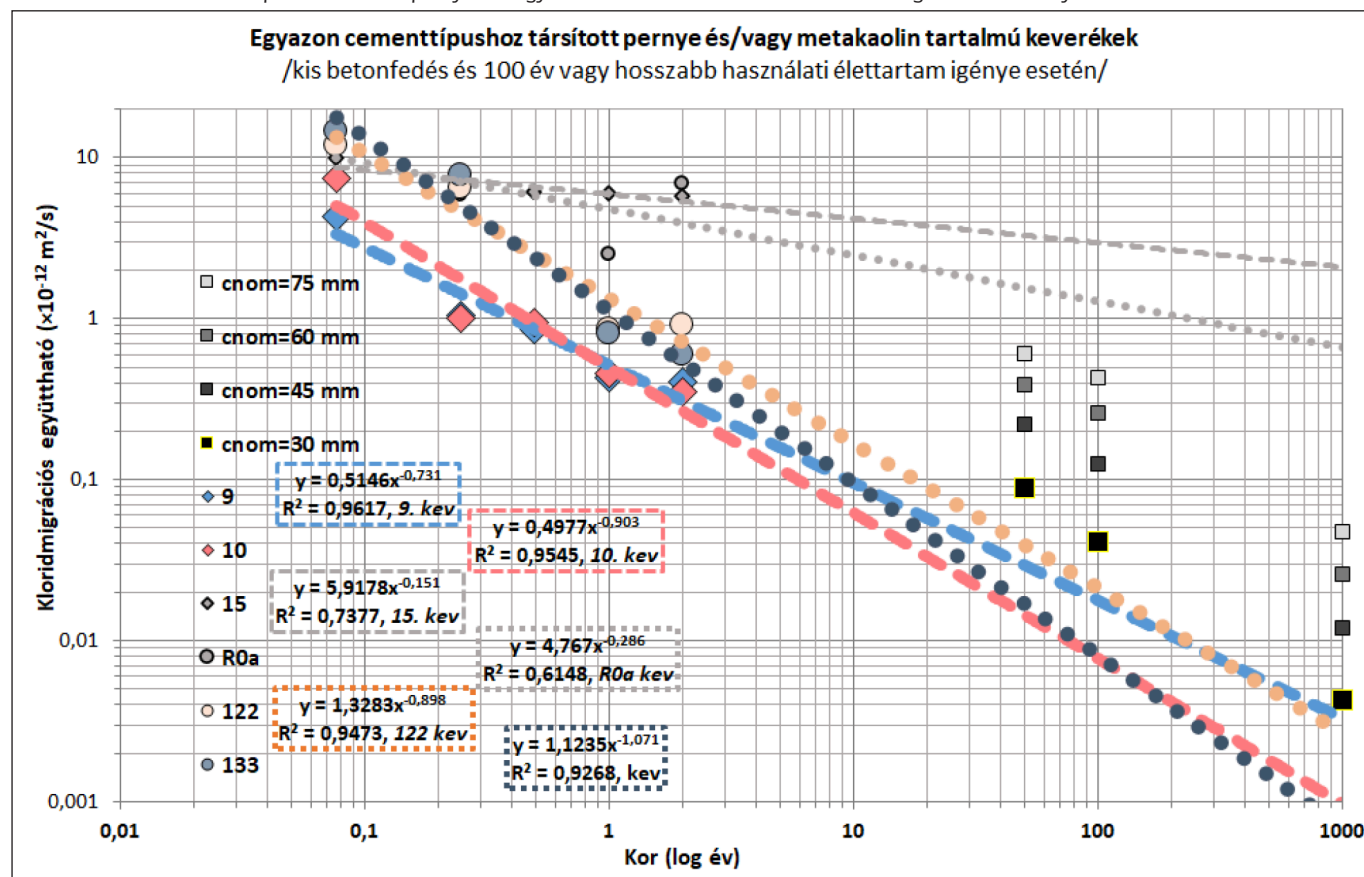
A 9 és 10 jelű keverék (világoskék és rózsaszínű szaggatott vonalú) metakaolin+köszénpernye adagolású, háromösszetevős kötőanyag-kombináció. Különbség az alkalmazott metakaolin típusában volt. A 9 jelű keverék készült a „gyorsabb”, MK1 jelű metakaolinnal; ennek kisebb a kezdeti D_{RCM,t_0} értéke, mint 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 környezője alapján várhatóan egyre jobban „növeli az előnyét”.

A 122 és 133 jelű keverékek (narancs és kékeszürke 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 környezője 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 erőtani tervezést hamarosan olyan anyagtani 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., Kovács 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.