

PhD tézisek

Készült a nyilvános vitára

***A GŐZÖLÉS HATÁSA A CEMENT KLINKEREK ÉS
CEMENTEK KLORIDION MEGKÖTŐ KÉPESSÉGÉRE***

Kocsányiné Kopecskó Katalin,
okl. vegyészmérnök

Tudományos vezető:
Dr. Balázs György, prof. emeritus

Budapest, 2006.

1. A KUTATÁSI FELADAT RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEI

1.1 Bevezetés

A vasbeton acélbetétjének kloridion okozta korróziója veszélyesebb, mint az egyenletes felületi légköri korrózió. A kloridion ún. lyukkorróziót hoz létre. Ez a jelenség különösen veszélyes feszített acélbetétek alkalmazása esetén. Ezért kell megakadályozni a kloridion behatolását az acélbetétig. Erre több lehetőség adódik, pl. betontechnológiai szabályozással korlátozható a beton összetevői által bevihető kloridion tartalom, illetve megfelelő betontechnológia alkalmazásával a kloridionok diffúziója lelassítható. Ez jelentheti a kis víz-cement tényezőre való törekvést, illetve a kloridionok megkötésére alkalmasabb cementösszetétel választását.

1.2 Tudományos előzmények

A cementek egyes klinkerásványai, a kalcium-aluminátok képesek a kloridionnal vegyületet, Friedel-sót ($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$) létrehozni, és az így már kémiaiilag megkötött kloridtartalom nem jelent közvetlen veszélyt az acélbetétre. A cementek és a kloridion kölcsönhatása tanulmányozható és modellezhető az egyes tiszta klinkerásványok és a kloridionok kölcsönhatásának vizsgálatával. Számos kutatás foglalkozott a klinkerásványok, illetve cementek kloridkötésével, abban az esetben, amikor a kloridtartalmú vegyület a keverővízzel került a pépbe. A kutatások igazolták, hogy a cement kalcium-aluminát klinkerásványai megkötik a kloridiont (Friedel, 1897; Balázs, 2001). További kutatások arra irányultak, hogy a megszilárdult (hidratált) cementkővet érő kloridhatást tanulmányozzák. Arra következtettek, hogy a hidratált aluminátok is megköthetik a kloridionokat (Neville, 1995; Balázs – Csizmadia – Kovács, 1997a; Balázs – Csizmadia – Kovács, 1997b).

2. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLJA

Az értekezés célja a következő kérdések megválaszolása volt:

- a) Milyen hatása van a szilárdítási módnak (természetes szilárdulás 20°C-on, gőzölés 60°C-on, valamint 90°C-on) a kalcium-aluminát klinkerásványok, illetve cementek hidratációs folyamatára? (A hidratációhoz a kalcium-aluminát mintákban a kissé képlékeny, a cementpép mintákban a szabványos folyósságú konzisztenciához szükséges vízigény állt rendelkezésre /MSZ EN 196-3:1990/.)
- b) Milyen hatása van a szilárdítási módnak és a gipsztartalomnak a hidratált kalcium-aluminát klinkerásványok (C_3A , valamint C_4AF) klorid kötésére? (Kísérleteimben a téli, jégmentesítő sózást modelleztem a megszilárdult pépminták sókezelésével. Kísérleteket végeztem C_3A , valamint C_4AF aluminát klinkerásványokkal úgy, hogy az alumináthoz adagolt gipsz tömegarányát változtattam.)
- c) Milyen hatása van a szilárdítási módnak a hidratált cementek klorid kötésére? Cementek által megköthető kloridtartalom megállapítása a kísérlet változóinak függvényében. (Kísérleteimhez három, eltérő ásványtani összetételű cementet választottam.)

3. A KUTATÁS MÓDSZERE

A kutatásban a fázisátalakulásokkal járó hidratációs folyamatokat derivatográfiai termoanalitikai és röntgendiffrakciós porvizsgálati módszerrel tanulmányoztam. E két vizsgálati módszer párhuzamos alkalmazása tette lehetővé a bonyolult fázisátalakulásokkal járó folyamatok széleskörű elemzését. Megállapításaim megerősítésére kiegészítésként pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokat is végeztem.

A mechanikai tulajdonságok változását a klinkerásványok esetén péphasábok hasító-húzószilárdsági vizsgálatával, a cementek esetén péphasábok hasító-húzószilárdsági és pépkockák nyomószilárdsági vizsgálatával követtem.

A téli jégmentesítő sózás modellezésére a természetesen szilárdult, valamint gőzölt péphasábok sókezelését 28 napos korukban kezdtem, tehát a pépminták már megszilárdult állapotukban kerültek kölcsönhatásba a kloridionokkal.

3.1 Kísérletek alumínátokkal

A C_3A , valamint C_4AF klinker/gipsz mintaösszetételeket, valamint a különböző kezelési módokat a 1. táblázat tartalmazza, amelyben a jelölésként alkalmazott törtszám számlálója a klinkerásvány, nevezője pedig a gipsz tömegarányát jelzi. A keverékekből vízzel azonos konzisztenciájú, kissé képlékeny pépeket készítettem, majd 10·10·50 mm-es sablonokba dolgoztam be. Az 1. és 2. mintasorozat így előkészített péphasábjait szobahőmérsékleten ($22\pm 1^\circ C$) tároltam, közel 100% relatív páratartalmú térben és 24 óra természetes szilárdulás után zsaluztam ki. A péphasábokat ezután hasonló körülmények között (exszikkátorban $22\pm 1^\circ C$ hőmérsékleten) tároltam tovább.

A 3–6. mintasorozat hasábjait úgy készítettem, hogy az előkészítés és pihentetés után a pépet 3 órán át gőzöltem $60^\circ C$ (3–4. mintasorozat), illetve $90^\circ C$ (5–6. mintasorozat) hőmérsékletű atmoszférikus nyomású gőztérben. A C_3A klinkerásvány esetében 1 óráig, a C_4AF klinkerásvány esetében 2 óráig pihentetés után kezdtem el a pépek gőzérlelését. Gőzölés után a péptestek a gőzölő berendezésben hűltek ki, a hasábokat 24 óráig korbán zsaluztam ki. A mintákat továbbiakban szobahőmérsékleten tároltam ($22\pm 1^\circ C$), közel 100% relatív páratartalmú térben (exszikkátorban).

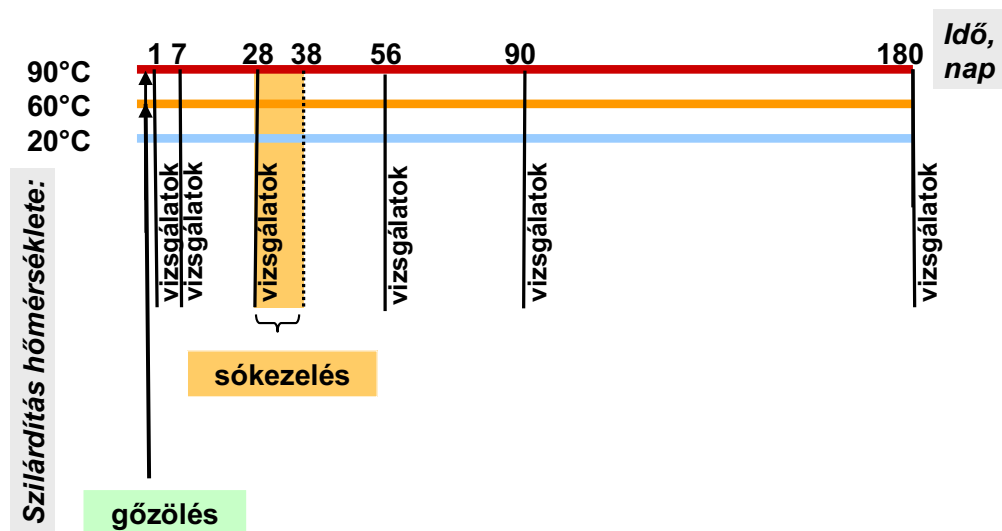
A 2., 4. és 6. mintasorozat hasábjait sókezelésnek vettem alá. A műveletet mind a természetesen szilárdult, mind a gőzölt mintákon megszilárdult állapotban, 28 és 38 napos kor között végeztem. A sókezelés módja: váltakozó tárolást alkalmaztam, a péphasábokat 24 órán át a sóoldatban, majd 24 órán át 100% relatív páratartalmú térben tároltam, összesen 10 napon át. A sóoldat koncentrációja: 10%-os NaCl oldat (10g NaCl 100ml vizes oldatban). A sókezelést követően a hasábokat szobahőmérsékleten ($22\pm 1^\circ C$) és közel 100% relatív páratartalmú térben tároltam.

A megszilárdult pépminták fázisösszetételét röntgendiffrakciós és derivatográfiai fázisanalitikai módszerekkel vizsgáltam meg. A vizsgálatokat C_3A klinkerásvány esetén 1, 7, 28, 90 és 180 napos korbán, a C_4AF klinkerásvány esetén 1, 7, 28, 56, 90 és 180 napos korbán végeztem el. Az 1., 3. és 5. sorozatok vizsgálata lehetőséget nyújtott az alumínátok hidratációjának, a természetes szilárdulás és gőzöléses szilárdítás hatásainak vizsgálatára különböző körülmények között, a 2., 4. és 6. sorozatok vizsgálatával pedig a téli jégmentesítő sózás hatásának modellezésével a kloridion megkötő képességet tanulmányoztam.

A mechanikai tulajdonságok változását kalcium-alumínát klinkerek esetén hasító-húzószilárdsági vizsgálattal követtem.

1. táblázat A kalcium-aluminát minták (C₃A, illetve C₄AF klinkerásványok) összetételei, valamint a minta előkészítési és kísérleti körülmények

Minta-sorozat	A kalcium-aluminát és gipsz tömegaránya	Minták kezelése és tárolása
1.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	100% r.p., 22°C
2.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	100% r.p., 22°C és sókezelés
3.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	gőzölés 60°C-on, majd 100% r.p.
4.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	gőzölés 60°C-on és sókezelés
5.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	gőzölés 90°C-on, majd 100% r.p.
6.	10/0, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5	gőzölés 90°C-on és sókezelés



1. ábra Áttekintő ábra a kísérleti tervről

3.2 Kísérletek cementekkel

Az aluminátokhoz hasonlóan gőzöléses, valamint a téli jégmentesítő sózás hatását modellező sókezeléses kísérleteket végeztem három kiválasztott cementtel is (1–6. mintasorozat, szilárdítás, kezelése és tárolás az 1. táblázatban leírtakkal azonos). A cementek szulfát-tartalmát nem változtattam meg, így a cementek esetében a szulfát-adagolás változásának hatását már nem tanulmányoztam. A cementek különböző arányban tartalmazták a szilikát-tartalmú klinkerásványok és cementkiegészítő anyagok mellett a C₃A és C₄AF klinkerásványokat:

- 1. cementminta: CEM I 42,5 N portlandcement,
- 2. cementminta: CEM III/A 32,5 N kohósalak cement, 40 m% kohósalak tartalommal,
- 3. cementminta: CEM I 32,5 RS rapid szulfátálló cement.

A 2. táblázatban láthatók a cementek kémiai összetételei. A 3. táblázatban foglaltam össze a felhasznált cementek klinkeralkotóinak Bogue-szerint számított ásványtani összetételét és jellemző adatait.

2. táblázat A cement minták kémiai összetétele

Összetevők, m%	CEM I 42,5 N	CEM III/A 32,5 N	CEM I 32,5 RS
SiO ₂	19,81	26,41	20,69
Al ₂ O ₃	5,64	6,07	3,61
Fe ₂ O ₃	3,57	1,95	6,10
TiO ₂	0,29	-	0,23
CaO	62,60	52,45	63,40
MgO	1,34	4,37	1,87
K ₂ O	0,61	0,65	0,17
Na ₂ O	0,09	0,17	0,33
SO ₃	2,79	3,08	2,35
Cl	0,02	-	0,01
oldhatatlan maradék	0,22	4,37	0,66

3. táblázat A cement minták klinkerösszetétele Bogue-szerint számítva, valamint jellemző adatai

Összetevők, m% és jellemzők	CEM I 42,5 N	CEM III/A 32,5 N	CEM I 32,5 RS
C ₃ S	53,06	31,86	53,36
C ₂ S	16,54	9,92	15,36
C ₃ A	8,78	5,27	-
C ₄ AF	10,85	6,51	29,10
C ₂ F	-	-	0,73
kötésszabályozó	4,74 CaSO ₄	3,00 CaSO ₄	4,00 CaSO ₄
ásványi anyag		40,00 salak	
szabad mész	0,12	-	0,45
izzítási veszteség	3,38	2,03	1,00
KST	93,99	-	92,67
SM	2,15	-	2,13
AM	1,58	-	0,59

Magyarázat: salak – őrlt, granulált kohósalak, KST – mésztelítési tényező, SM – szilikát modulus, AM – alumínát modulus

A cementpép mintákban a hidratációhoz a szabványos folyósságú konzisztenciához szükséges víz állt rendelkezésre (MSZ EN 196-3), ezek a következők voltak:

- 1. cementminta: $v/c = 0,280$,
- 2. cementminta: $v/c = 0,305$,
- 3. cementminta: $v/c = 0,260$.

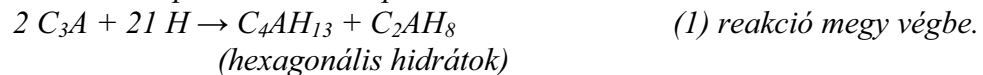
A megszilárdult cementpép minták fázisösszetételét *röntgendiffrakciós és derivatográfias fázisanalitikai módszerekkel* vizsgáltam meg 1, 7, 28, 56, 90 és 180 napos korban. A mechanikai tulajdonságok változását cementek esetén péphasabok hasító-húzószilárdsági és pépkockák nyomószilárdsági vizsgálatával követtem.

4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

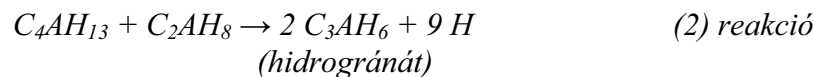
Álló betűkkel a tézisek szövegét adom meg, *dőlt betűkkel szerepelnek hozzáfűzött magyarázataim, illetve a megállapítások szakirodalmi előzményei.*

1. Téziscsoport – a szilárdítási mód hatása a hidratációra témakörből

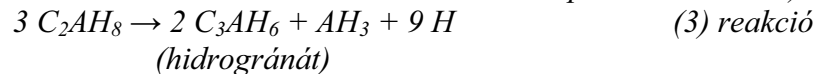
1.1 Tézis: *A gipszmentes C₃A pépmintákban a hidrogránát (C₃AH₆) képződéshez vezető reakció általában kétlépcsős. Az első lépcsőben a*



Ezt követi az irodalmak által alátámasztott



(Feldman–Ramachandran, 1966; Breval, 1976; Collepardi et al., 1978), illetve a



(Stein, 1965; Corstanje et al., 1973).

A kissé képlékeny konzisztenciájúra készített, gipszmentes C₃A pépmintákban a gőzölés hidratációt gyorsító hatása nem vezet a hidrogránát képződési reakció (2)-(3) teljessé válásához. A magas hőmérsékletű, 90°C-os gőzölés 1 napos korra a hidrogránát képződése mellett, az ebben a reakcióban felszabaduló víz, valamint a környezetből származó víz felhasználásával főként a hexagonális hidrátok további képződését (1) segíti elő a hidratálatlan C₃A-ból. A kötésvíz mennyiségéből adódó korlátozott vízmennyiség hatására az alumínátok hidratációja gátolt, mely észlelés az irodalomban leírttól eltérő. A 90°C-on gőzölt, 1 napos korú, gipszmentes C₃A pépmintában a hexagonális hidrátok és a hidrogránát szilárd oldatot képeznek.

Mivel a nagyobb hőmérséklet kedvez a szabályos rendszerű hidrát, hidrogránát (C₃AH₆) kialakulásának, 50 °C hőmérséklet felett C₄AH₁₃ és C₂AH₈ mellett már C₃AH₆ is keletkezik elsődleges vegyületeként (Feldman – Ramachandran, 1966; Collepardi et al, 1978).

1.2 Tézis: *A gipsztartalmú aluminát (C₃A, valamint C₄AF) pépmintákban, nagyobb gipsztartalom esetén (10/3, 10/4 és 10/5 klinker/gipsz tömegaránynál) a gőzölés hidratációt gyorsító hatása következtében sem jön létre a vizsgált 180 napos korig a stabil fázisnak tekintett hidrogránát. A hidratációt az ettringit – monoszulfát (AFt – AFm) fázisok egyensúlya jellemzi.*

2. Téziscsoport – a C₃A valamint C₄AF klinkerásványok kloridkötése témakörből

2.1 Tézis: *A gipszmentes aluminát (C₃A valamint C₄AF) pépmintákban szulfát nélkül nem képződhet monoszulfát. Monoszulfát hiányában valamelyik másik hidrátfázis vagy hidrátfázisok kötik meg a kloridionokat.*

Kísérletileg igazoltam, hogy hidratált, gipszmentes C₃A, illetve C₄AF pépmintákban sókezelést követően a Friedel-só a szulfáttartalmú AFm fázisból (a monoszulfátból) nem

jöhet létre, hanem a stabil fázisnak tekintett hidrogránátból képződik. A sókezelést követően a hidratált gipszmentes C_3A , illetve C_4AF pépminták jelentős hasító-húzószilárdság növekedését tapasztaltam, ami a hidrogránátból keletkező Friedel-só nagyobb térigényével magyarázható.

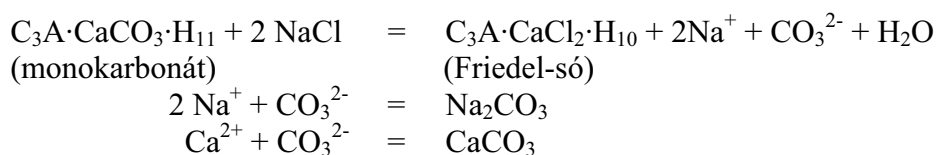
A Friedel-só sűrűsége kisebb, mint a hidrogránaté, így a porozitás csökkenéssel járó átalakulás a hasító-húzószilárdság növekedését okozza.

$$\rho (\text{Friedel-só}) = 2,056 \text{ g/cm}^3 \text{ (Terzis et al., 1987),}$$

$$\rho (\text{hidrogránát}) = 2,520 \text{ g/cm}^3 \text{ (Révay, 1977).}$$

2.2 Tézis: *Azokban a hidratált aluminát-gipsz pépmintákban, amelyek nem kerülnek kloridionokkal kölcsönhatásba, a karbonátosodás kalcium-monokarbo-aluminát AFm fázis képződéséhez vezet. Sókezelést követően az aluminát-gipsz pépmintákban a kalcium-monokarbo-aluminát fázis továbbiakban nem mutatható ki, helyette nátrium- és kalcium-karbonát képződik.*

Felismertem, hogy a kalcium-monokarbo-aluminát is megköti a kloridionokat és ez a kloridkötés a hidratált aluminát-gipsz pépmintákban nátrium- és kalcium-karbonát képződését vonja maga után. A folyamatok leírására a következő reakcióegyenletet állítottam fel:

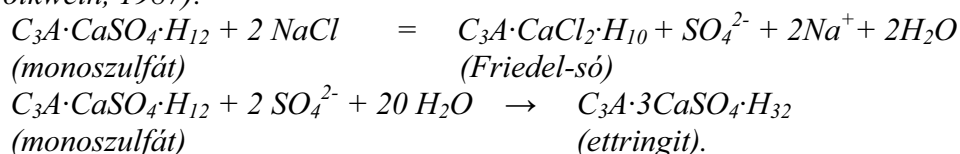


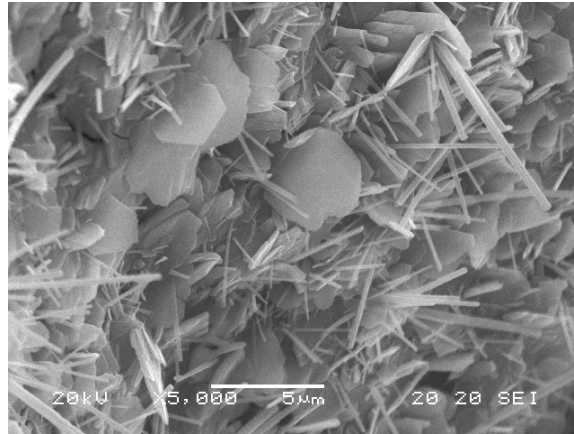
Továbbá felismertem, hogy a kalcium-karbonát képződési reakciója részleges ioncserével lehetséges a sókezelésből származó Na^+ -ionok és a hidratált kalcium-aluminát fázisok Ca^{2+} -ionjai között.

A C_3S és C_2S klinkerásványok hidratációjától eltérően a C_3A valamint C_4AF klinkerásványok hidratációja során nem szabadul fel $Ca(OH)_2$.

2.3 Tézis: Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálattal igazoltam, hogy hidratált cementpép minták sókezelését követően, a szulfát-AFm fázis (monoszulfát) és a kloridionok reakciója során felszabaduló szulfátionok a cementpépekben is másodlagos ettringit képződéshez vezetnek, és nem a hidratált cementpépben jelenlevő $Ca(OH)_2$ -dal reagálnak gipsz képződése közben (1. ábra).

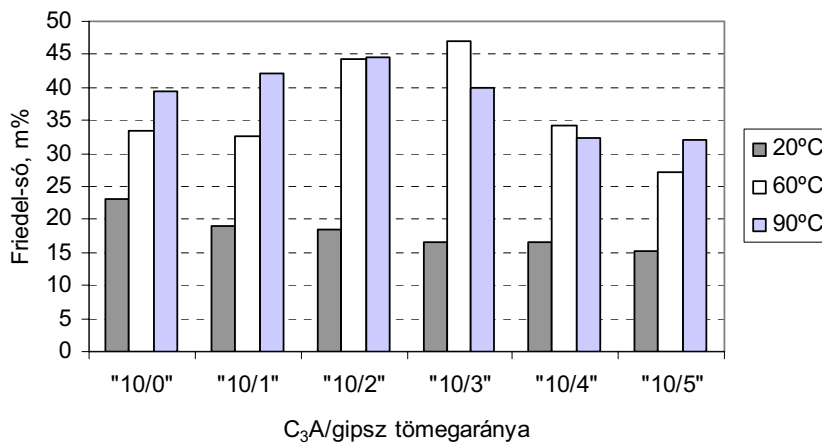
A másodlagos ettringit képződés a következő reakcióegyenletek szerint megy végbe (Volkwein, 1987):



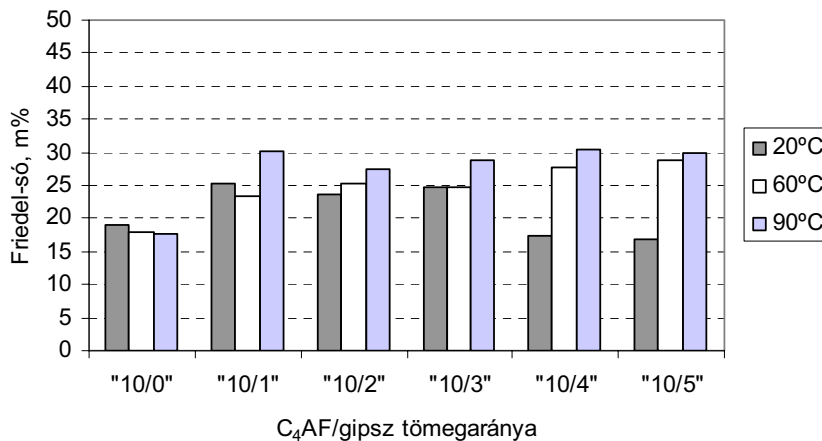


1. ábra Együtt nőtt hexagonális Friedel-só lemezek és túalakú ettringit kristályok, CEM III/A 32,5 cementpép SEM felvétele, nagyítás: 5000x, sókezelt, 180 napos minta

2.4 Tézis: Kísérletileg igazoltam, hogy a C_3A és C_4AF klinkerásványok kloridion megkötő képességét a gőzölés javítja. A kloridion megkötő képesség növekedése a gőzölés hatására C_3A klinkerásvány esetén nagyobb (2. ábra), mint a C_4AF klinkerásvány esetén (3. ábra).

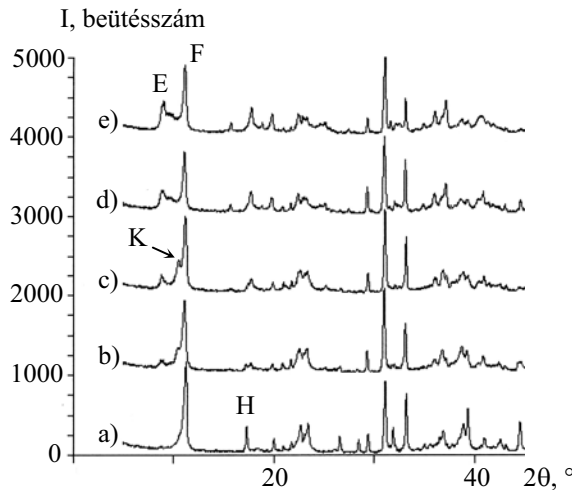


2. ábra A Friedel-só mennyisége a C_3A /gipsz tömegaránya és a szilárdítási hőmérséklet függvényében, az izzítási maradéokra vonatkoztatva, m%



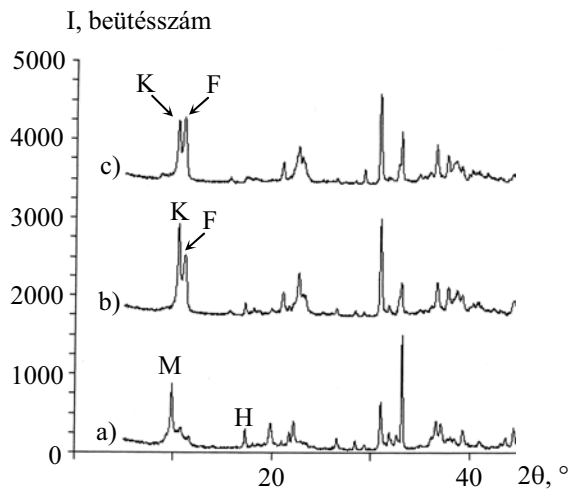
3. ábra A Friedel-só mennyisége a C_4AF /gipsz tömegaránya és a szilárdítási hőmérséklet függvényében, az izzítási maradékra vonatkoztatva, m%

2.5 Tézis: Kis gipsztartalom esetén (10/1 és 10/2 aluminátklinker/gipsz tömegarányú pépmintákban), sókezelést követően Friedel-són kívül Kuzel-só (szulfáttartalmú klorid-AFm vegyület) is keletkezik, mely a kémiailag kötött formában jelenlevő kloridtartalom további növekedését eredményezi (4. és 5. ábra). A Kuzel-só keletkezése nem jár másodlagos ettringit képződéssel és nem okozza a hasító-húzószilárdság csökkenését.



4. ábra

90 napos C_3A /gipsz keverékek
röntgendiffraktogramjai,
60°C-on gőzölt minták,
sókezelést követően.
 C_3A /gipsz tömegarány:
a) - e) 10/1-től 10/5-ig



5. ábra

Hidratált C_3A /gipsz keverék
röntgendiffraktogramjai.
 C_3A /gipsz tömegaránya: 10/2,
90°C-on gőzölt minták
a) sókezelés előtt, 28 napos
b) sókezelt, 90 napos
c) sókezelt, 180 napos

(Jelölések: F – Friedel-só, K – Kuzel-só, E – ettringit, H – hidrogránát, M – monoszulfát)

Nagyobb gipsztartalom esetén (10/3, 10/4 és 10/5 aluminátklinker/gipsz tömegarányú pépmintákban), sókezelést követően Kuzel-só nem keletkezik, a kloridionok Friedel-só formájában kötődnek meg, amely szulfácionok felszabadulásával másodlagos ettringit képződéshez vezet. A másodlagos ettringit képződés duzzadással járó folyamat, amely a hasító-húzószilárdság csökkenését eredményezi.

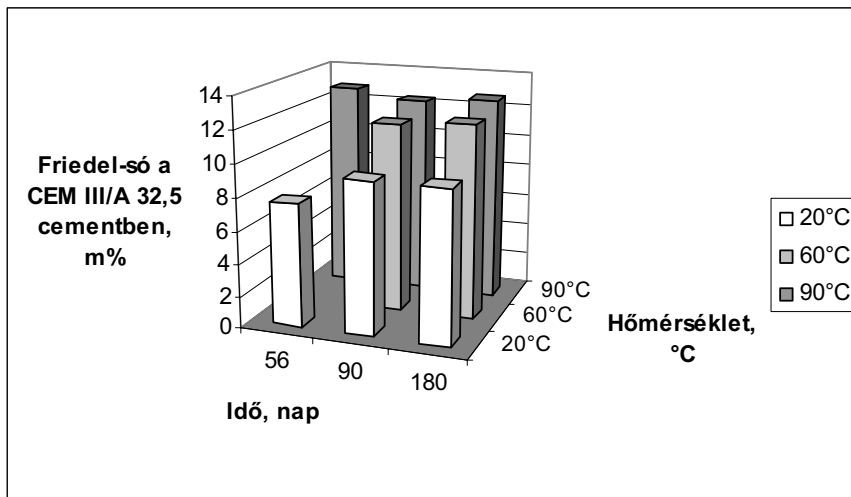
3. Téziscsoport – a cementek kloridkötése témakörből

3.1 Tézis: Kísérletileg igazoltam, hogy a gőzölt cementpépek (betonok) több kloridiont kötnek meg Friedel-só formájában, mint a gőzöletlenek. Továbbá a 90°C-on gőzölt cementpép minták több kloridiont kötöttek meg, mint a 60°C-on gőzölt cementpép minták.

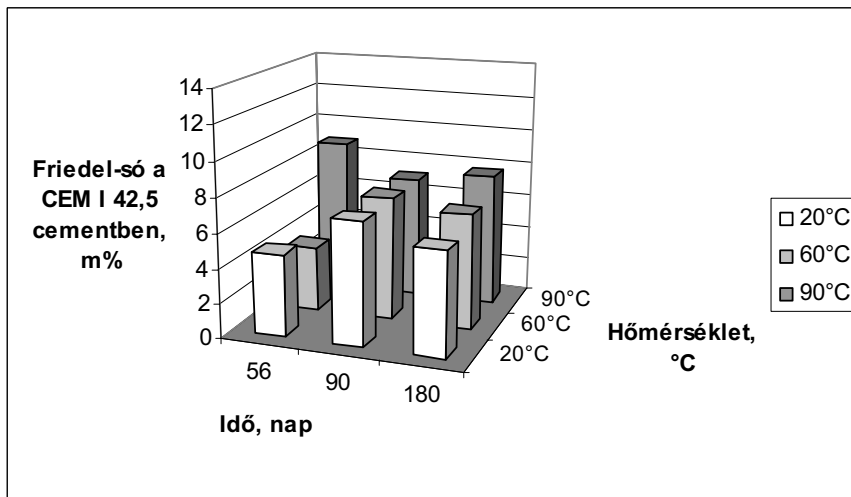
3.2 Tézis: A cementek kloridion megkötő képessége eltérő. A vizsgált cementek kloridion megkötő képessége (mind természetes szilárdulás, mind gőzölés esetén) csökkenő sorrendben a következő (6. ábra):

- CEM III/A 32,5 N
- CEM I 42,5 N
- CEM I 32,5 RS.

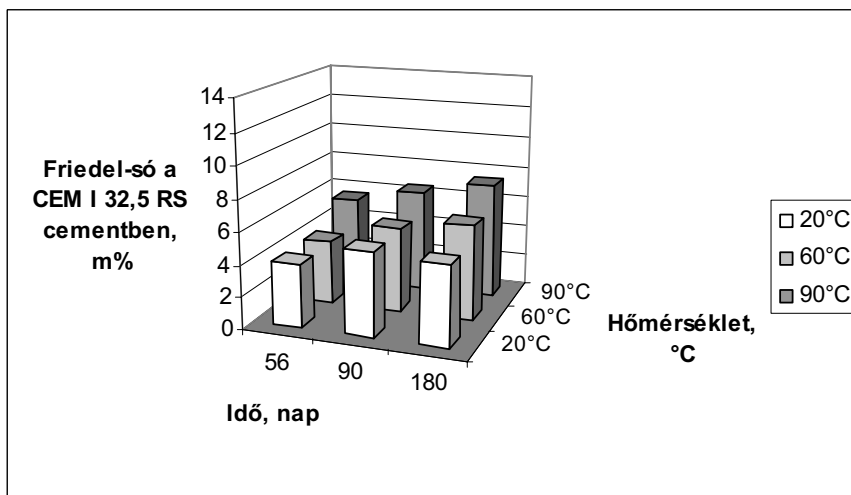
a)



b)



c)



6. ábra A Friedel-só mennyisége a minta kora és a szilárdítási hőmérséklet függvényében az izzítási maradékra vonatkozóan, m%

- a) CEM III/A 32,5 N
- b) CEM I 42,5 N
- c) CEM I 32,5 RS

Ezen cementek közül a legtöbb kloridiont a CEM III/A 32,5 40m% kohósalak tartalmú cement köti meg, ami alapján feltételezhető, hogy nemcsak a C₃A-nak és C₄AF-nek van kloridion megkötő képessége, hanem az őrlött, granulált kohósalaknak is. A legkevesebb kloridiont a CEM I 32,5 RS cement köti meg.

3.3 Tézis: Kísérletekkel igazoltam azt a feltételezést, hogy a kohósalak tartalmú cementben a nagyobb mértékű kloridion megkötő képesség a kohósalak tartalomnak tulajdonítható. Bebizonyítottam, hogy a gőzöléssel szilárdított, őrlött, granulált kohósalak önmaga is képes megkötni a kloridionokat, tehát akkor is, ha hidratációs folyamata nem a cementszilárdulás során keletkező, jellegzetes pH-jú és fázisú környezetben megy végbe. A kohósalak ezen tulajdonságát az üveges fázis alumínium tartamú összetevőinek hidratációja okozza. Ezen túlmenően megállapítottam, hogy a szulfátok jelenléte (a kísérletben ez 5 m% gipszkő volt) a kohósalak kloridion megkötő képességét rontja.

5. AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEINEK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

A téli jégmentesítő sózás akkor hat a betonra, amikor a cement alkotói már nagyrészt hidrátokká alakultak át. Úgy ítélem meg, hogy a különböző gipsztartalmú C₃A és C₄AF pépek vizsgálatával mind gőzölés, mind természetes szilárdulás esetén sikerült megismerni a kloridkötéssel járó bonyolult kémiai folyamatokat.

Három, egymástól lényegesen különböző ásványi összetételű cement hidrátszerkezetének a vizsgálatával bemutattam a Friedel-sóban kötött kloridionok keletkezésének és mértékének a meghatározását.

Mindezen eredmények különösen fontosak a közúti hídépítésben használható cementek kiválasztásában.

A gőzérlelt beton kedvező kloridion megkötő képességével kapcsolatos tapasztalat fontos, mert előregyártott beton- és vasbeton szerkezeteink jelentős részét gőzöléssel szilárdították.

Javaslom, hogy a közúti szegélyeket gőzöléses előregyártási technológiával kohósalak-portlandcement felhasználásával készítsék.

6. KITEKINTÉS ÉS JÖVŐBENI KUTATÁSI FELADATOK

Fontosnak tartom további kísérletekkel megállapítani a különböző mennyiségű ásványi kiegészítő anyagot (kohósalak, pernye, szilikapor, metakaolin, trasz) tartalmazó cementek kloridion megkötő képességét.

A kis víz-cement tényezővel készített, természetesen szilárdult klinkerásvány- és cementpép minták vizsgálatainak eredményeit összehasonlító tanulmányként javaslom felhasználni kis víz-cement tényezővel és folyósító- vagy kötőkésleltető szer alkalmazásával készített minták hidratációs folyamatainak tanulmányozására. További összehasonlító vizsgálatok segítségével fontosnak tartom a fenti adalékszerek hatásának tanulmányozását a kloridkötésre.

Az általam alkalmazott, atmoszférikus nyomáson végrehajtott gőzöléses szilárdítás kísérleti eredményei a cementpépekben fejlődő hidratációs hő pozitív hatásait kihasználó betontechnológia hidratációs folyamatainak tanulmányozására is módot ad.

7. JELÖLÉSEK

Szilikátkémiai jelölések:

H	= H ₂ O	víz
A	= Al ₂ O ₃	alumínium-oxid
C	= CaO	kalcium-oxid
F	= Fe ₂ O ₃	vas(III)-oxid
S	= SiO ₂	szilícium-dioxid

Szilikátkémiai képletek és a nekik megfelelő sztöchiometriai képlet:

C ₃ A	(3CaO·Al ₂ O ₃)	trikalcium-aluminát
C ₄ AF	(4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃)	tetrakalcium-aluminát-ferrit (brownmillerit)
C ₃ S	(3CaO·SiO ₂)	trikalcium-szilikát (alit)
C ₂ S	(2CaO·SiO ₂)	dikalcium-szilikát (belit, β-larnit)
CH	(Ca(OH) ₂)	kalcium-hidroxid (mészhidrát, portlandit)
AH ₃	(2 Al(OH) ₃)	alumínium-hidroxid
C ₃ AH ₆	(3CaO·Al ₂ O ₃ ·6 H ₂ O)	hidrogránát
C ₄ AH ₁₃		hexagonális hidrát
C ₂ AH ₈		hexagonális hidrát

További fontos képletek (ezeknél a fázisoknál az irodalomban a vegyes írásmód – szilikátkémiai és sztöchiometriai képletek egyidejű alkalmazása – a gyakoribb):

C ₃ A·3CaSO ₄ ·H ₃₂	ettringit
C ₃ A·CaSO ₄ ·H ₁₂	monoszulfát
C ₃ A/F·CaCl ₂ ·H ₁₀	Friedel-só, ill. vasanalógja
C ₃ A/F·0,5CaSO ₄ ·0,5CaCl ₂ ·H ₁₂	Kuzel-só, ill. vasanalógja
C ₃ A·CaCO ₃ ·H ₁₁	kalcium-monokarbo-aluminát (monokarbonát)
CaSO ₄	kalcium-szulfát (anhidrit)
CaSO ₄ ·2H ₂ O	kalcium-szulfát-dihidrát (gipsz)
CaCO ₃	kalcium-karbonát (kalcit, vaterit)
Na ₂ CO ₃	nátrium-karbonát

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Megköszönöm az OTKA T034467 „Téli sózásnak kitett, gőzölt vasbeton szerkezet tartósságának elvi kérdései” kutatási projekt támogatását.

9. HIVATKOZÁSOK A TÉZISFÜZETBEN

- Balázs Gy. (2001), „Barangolásaim a betonkutatás területén.”, *Akadémiai Kiadó*, Budapest, pp. 83-102, 120-133.
- Balázs, Gy.; Csizmadia, J. and Kovács, K. (1997a), „Chloride ion binding ability of calcium-aluminate, -ferrite and -silicate phases”, *Periodica Polytechnica*, Vol. 41 (2), pp. 147-168.
- Balázs, Gy.; Csizmadia, J. and Kovács, K. (1997b), „Analysis of the chloride binding ability of cements”, *Periodica Polytechnica*, Vol. 41 (2), pp. 183-198.
- Breval, E. (1976) „C₃A hydration”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 6 (1), pp. 129-137.

- Colleparidi, M.; Baldini, G.; Pauri, M. and Corradi, M. (1978), „Tricalcium aluminate hydration in the presence of lime, gypsum or sodium sulfate”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 8 (5), pp. 571-580.
- Corstanje, W. A.; Stein, H. N. and Stevels, J. M. (1973), „Hydration reactions in pastes $C_3S + C_3A + CaSO_4 \cdot 2H_2O$ at 25°C, Part I.”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 3, pp. 791-806.
- Feldman, R. F. and Ramachandran, V. S. (1966), „Character of hydration of $3CaO \cdot Al_2O_3$ ”, *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 49, pp. 268-273.
- Friedel, P. M. (1897), „Sur un Chloro-aluminate de Calcium Hydraté se Maclant par Compression”, *Bulletin Soc. Franc. Minéral*, Vol 19, pp. 122-136.
- Neville, A. M. (1995), „Properties of concrete”, *Longman House, Essex, England*, Fourth and Final Edition, pp. 569-571.
- Révay, M. (1977), „Az aluminátcementeknél tapasztalható szilárdságváltozások elméleti alapjainak vizsgálata”, *Tudományos közlemények, Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet*, 49. füzet, pp. 36-41.
- Stein, H. N. (1965), „The reaction of $CaO \cdot Al_2O_3$ with water in the presence of $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ”, *Journal of Applied Chemistry*, Vol. 15 (7), pp. 314-325.
- Terzis, A.; Filippakis, S.; Kuzel, H.-J. and Burzlaff, H. (1987), „The crystal structure of $Ca_2Al(OH)_6Cl \cdot 2H_2O$ ”, *Zeitschrift für Kristallographie*, Vol. 181, pp. 29-34.
- Volkwein, A. (1987), „Chlorideindringen und Stahlkorrosion durch Chlorid”, *Baustoffinstitut der Technischen Universität München, Fachtagung/1987*, pp. 17-22.
- MSZ EN 196-3:1990 Cementvizsgáló módszerek. 3. rész A kötési idő és a térfogatállandóság meghatározása.

9. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Kopecskó K. “Derivatográfia és Rtg-diffrakció mérnöki feladatok megoldásában”, *konferencia kiadvány, ÉPKO 2002 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia*, Csíksomlyó, 2002. június 6-9., pp. 135-141. **ISBN 973 85809 0 0**

Balázs Gy. és **Kocsányiné Kopecskó K.** “Az acélbetétek sózás okozta korróziójának megítélése”, *konferencia kiadvány, V. Nemzetközi Vasbetonszerkezet-javítási Konferencia*, Budapest, 2002. szeptember 4-5., Techno-Wato, pp 33-35.

Balázs, Gy. and **Kopecskó, K.** “Chloride Binding in Concrete”, *Concrete Structures*, Special Issue for **fib 2002** Osaka Congress, 2002, pp. 47-51. **ISSN 1419 6441**

Kopecskó, K. “Modelling of Cement Hydration by the Analysis of Clinker Behaviour”, *Proceedings of the 4th International Ph.D. Symposium in Civil Engineering*, (Editors: Schiessl, P., Gebekken, N., Keuser, M. and Zilch, K.), 19-21 September 2002, Munich, 2002, Vol. 1. pp. 326-331. **ISBN 3 935065-09-4**

Balázs Gy. és **Kopecskó K.** “A beton kloridion megkötő képessége”, *Vasbetonépítés*, V. évf. 1. szám, 2003/1, pp. 4-9. **ISSN 1419 6441**

Kopecskó K. és Balázs Gy. “Kloridok a vasbetonban”, *konferencia kiadvány, ÉPKO 2003 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia*, Csíksomlyó, 2003. május 29-június 1., pp. 151-156. **ISBN 973 86097 3 9**

Kopecskó, K. and Balázs, Gy. “Influence of Steam Curing on Chloride Ion Binding Capacity of C₃A”, 15. *IBAUSIL – Internationale Baustofftagung*, (Redaktion: Dr.-Ing H.-B. Fischer), 24-27 September 2003, Finger-Institut für Baustoffkunde, Weimar, 2003, Band 2, pp 963-973. **ISBN 3-00-010932-3**

Kopecskó K. “Fázisanalitikai módszerek alkalmazása a mérnöki gyakorlatban”, *konferencia kiadvány, Mérnökgeológiai Jubileumi Konferencia*, Budapest, 2003. december 4., pp 359-368. **ISBN 963 420 775 8**

Kopecskó, K. “Influence of Steam Curing on Hydration and Chloride Ion Binding Capacity of C₃A and C₄AF”, *Proceedings of the 5rd International Ph.D. Symposium in Civil Engineering*, (Editors: Walraven, J., Blaauwendraad, J. and Scarpas, T.), 16-19 June 2004, Delft, BALKEMA Publishers 2004, Volume 2, pp 781-787. **ISBN 90 5809 676 9**

Kopecskó, K. and Balázs, Gy. “Chloride Ion Binding of Cement Clinkers”, *Proceedings of the International Symposium on Durability and Maintenance of Concrete Structures organised by Croatian Society of Structural Engineers (CSSE) and Austrian society for Concrete and Construction Technology (ASCCT)*, (Editor: Radič, J.), 21-23 October, 2004, Dubrovnik, Croatia, SECON HDGK 2004, Croatia, pp 273-280. **ISBN 953-6175-21-5**

Kopecskó K. és Balázs Gy. “A jégtelenítő sózás hatása a cementhidratációra” *konferencia kiadvány, ÉPKO 2005 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia*, Csíksomlyó, 2005. június 2-5., pp 143-150. **ISBN 973-7840-05-4**

Kopecskó, K. and Balázs, Gy. “Chloride Ion Binding of Cement Clinkers and Cements Influenced by Steam Curing”, *Proceedings of the International fib Symposium on Structural Concrete and Time organised by Asociacion Argentina del Hormigon (AAHES), Asociacion Argentina de Tecnología del Hormigon (AATH), Laboratio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT)* (Editor: Di Mayo, A.A. and Zega, C.J.), 28-30 September, 2005, La Plata, Argentina, Volume 1, pp. 147-154. **ISBN 987216601-3**

Nem publikáció értékű anyagok az értekezés témaköréből:

Balázs, Gy. and **Kopecskó, K.** “Chloride ion binding capacity of C₄AF”, *Hochschulkolloquium Werkstoffe im Bauwesen*, 21-22. März 2002, TU Budapest. (poster és előadás, CD-ROM a konferencia teljes anyagából)

Kopecskó K. “Cementek kloridion megkötő képessége”, *100 éve született Palotás László c. jubileumi ünnepség és Építőanyag oktatók konferenciája*, előadás, BME, Budapest, 2005. január 29.

Kopecskó K. “Structural Concrete and Time, Section 1 (Corrosion of Reinforcement) and Section 2 (Durability of Concrete)”, *fib Anket, beszámoló az 1. és 2. Szekció előadásaiból*, BME, Budapest, 2005. november 2.