

Nyomelemek hatása a cementklinker képződési folyamataira, kristályszerkezetére és tulajdonságaira

Opoczky Ludmilla, CEMKUT Kft.

Bevezetés

Az egyre fokozódó környezetvédelmi követelmények hatékony intézkedések végrehajtását sürgetik a hulladékanyagok hasznosítása terén. A hulladékok hasznosítása tekintetében a cementiparnak kiemelt szerepe van, mivel a cementgyártási technológia alkalmas a különböző hulladékanyagok felhasználására.

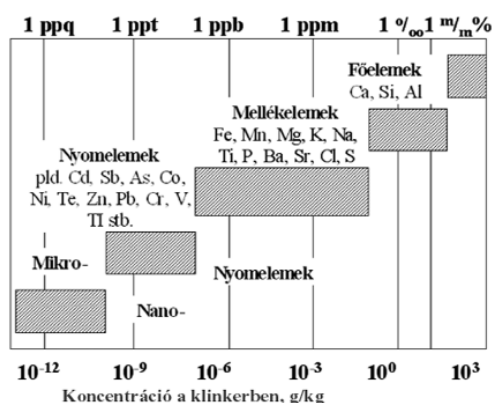
A hulladékok alternatív anyagként történő felhasználása következtében megnőtt a nyerslisztbe, a klinkerbe és a cementbe bekerülő nyomelemek és ezen belül a nehézfémek száma és mennyisége. Ezzel összefüggésben szükségessé vált a nyomelemek cementkémiai és várható környezeti hatásainak tanulmányozása.

A kutatások során a **Ba** (bárium), **Pb** (ólom), **P** (foszfor), **Ti** (titán), **Cr** (króm), **Co** (kobalt), **Ni** (nikkel), **Zn** (cink), **Cd** (kadmium) és **V** (vanádium) nyersliszttek égethetőségére, klinkerképződési folyamatokra, a klinker és a cement egyes tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgáltuk. Ezen belül tanulmányoztuk az egyes elemek klinkerfázisok szerinti eloszlását, a klinkerfázisokba történő beépülésének jellegét, kioldódásának mértékét, mely utóbbi információt szolgáltat a nehézfémek viselkedéséről a cement feldolgozása és üzemeltetése során.

E témakörben végzett kutatásokat az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA) támogatja, ill. finanszírozza (T 029195 sz.).

Nyomelemek szerepe a cementgyártásban

A cementklinkerben lévő elemeket – koncentrációjuk alapján – fő-, mellék- és nyomelemekre osztjuk (1. ábra).



1. ábra. A cementklinker fő-, mellék- és nyomelemeinek koncentrációtartományai [1]

A cementklinker kémiai és fizikai tulajdonságait alapvetően a benne lévő fő- és mellékelemek sorozata határozza meg. Összhányaduk a klinkerben általában ~ 99% körül van.

Azokat az elemeket, amelyek koncentrációja a klinkerben kisebb mint 100 ppm, nyomelemeknek nevezzük. A cementiparban felhasználásra kerülő természetes nyers- és hagyományos tüzelőanyagok általában csak kis mennyiségben tartalmaznak nyomelemeket. Hulladékanyagok – alternatív anyagként történő felhasználása esetén – a klinkerégető rendszerbe bekerülő nyomelemek száma és mennyisége is nő, ami ahhoz is vezethet, hogy koncentrációjuk a klinkerben a 100 ppm értéket meghaladja.

A nyomelem sorsát a cementklinker égetőrendszerben elsősorban illékonyasága határozza meg. A klinkerégetésnél uralkodó magas hőmérsékleten a felhasználásra kerülő anyagokban a kötések részben vagy teljesen felbomlanak, az illékony nyomelemek nagyobb része elpárolog és átmeleg a gázfázisba. A nem vagy kevésbé illékony nyomelemek jelentős része ugyanakkor a nyerslisztben marad, ill. a klinkerben megkötődik. A klinkerégető rendszerbe bekerülő nyomelemek befolyásolják a klinkerképződési folyamatokat, és hatást gyakorolnak a klinker és a cement tulajdonságaira is.

A klinkerásványok egyik fontos kristálykémiai sajátossága az, hogy képesek bizonyos mennyiségben „idegen” elemeket a rácsukba felvenni, mely beépülés következtében rácshibák keletkezhetnek: így ha a nyomelem (atom) a rács egyes pontjain lévő főelemet (atomot) (Ca, Al, Si) helyettesíti, akkor szubsztitúciós rácshibák, ha pedig rácsközi helyekre ékelődik be, intersticiós vagy Frenkel-féle rácshibák stb. A nyomelemek beépülése következtében változhat az ionok közti kémiai kötések jellege, az ionok koordinációja stb., ami végső soron a klinkerásványok tulajdonságainak változását vonhatja maga után. Kittel szerint „a szilárd test számos tulajdonsága sokkal nagyobb mértékben függ a kristály rácshibáitól, mint az alapanyagoktól, mely mintegy a rácshibák hordozójának tekinthető” [2].

A nyomelemeknek a klinkerásványok képződési folyamataira és tulajdonságaira gyakorolt hatásában meghatározó szerepet játszanak elektromos tulajdonságaik és geometriai méretük. Az elektromos tulajdonságok között a kémiai kötések alakulása szempontjából legfontosabb az adott ionok elektronegativitása és polarizációs mértéke, a geometriai méretek között pedig az ionsugár

nagysága. Az elektronegativitási értékek adnak felvilágosítást arról, hogy mely kötéstípus (ionos, kovalens) dominál az adott vegyületben. A klinkerásványok kristályainak kötéstípusai átmeneti jellegűek az ionos és kovalens között.

Az 1. táblázatban összefoglaltuk a klinker főelemeire (Ca, Si, Al), valamint a vizsgálat tárgyát képező – e cikkben tárgyalt – nyomelemekre vonatkozó, fentiekben említett jellemzőit [3, 4].

1. táblázat

Egyes ionok elektronegativitása, mérete és kötési jellege*

Ca ²⁺	Si ⁴⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Cr ³⁺	Cr ⁶⁺
Elektronegativitás										
1,0	1,8	1,5	1,8	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6
Ionsugár, Å										
1,04	0,41	0,57	0,67	0,74	0,99	1,20	0,74	0,72	0,69	0,52
Százalékos ionos jelleg (FÉM-O), %										
79	51	63	51	59	55	51	51	51	59	59

* A különböző szerzők által közölt adatok némileg eltérnek egymástól

Kísérleti anyagok és vizsgálati módszerek

Ebben a cikkben a cinkkel (Zn), nikkellel (Ni), ólommal (Pb), krómmal (Cr), kadmiummal (Cd) és kobalttal (Co) végzett vizsgálatok eredményeiről számolunk be.

Az égethetőségi, ill. klinkerképződési vizsgálatokhoz igen nagy tisztaságú nyersanyagokból etalon nyerskeveréket készítettünk (TT = 0,90; SM = 2,2; AM = 1,7), melyhez különböző mennyiségben (0,05 ... 2,5 m/m%) ZnO-t, NiO-t, PbO-t, CdO-t, CoO-t és Cr₂O₃-t adagoltunk. Az ilyen módon előállított nyerskeverékeket ~ 5000 cm²/g fajlagos felületre (Blaine-szám) őröltük, majd pasztillákat készítettünk belőlük, melyeket a laboratóriumi elektromos szilitrudas kemencében levegő (oxidáló) atmoszférában 1400 C°-on 30 percig égettük. Az előállított modellklinkerekben határoztuk meg a szabad CaO-tartalmat etilénlikolos módszerrel. A modellklinkereket röntgendiffrakciós (JEOL JDX-8S típus), optikai mikroszkópi (OLYMPUS BH-2 típus) rászó fényben, valamint elektronmikroszkópi (JEOL JSM-35 típus) + mikroszonda (EDAX, LINK típus) vizsgálatoknak vetettük alá. Az egyes nyomelemek klinkerfázisok szerinti eloszlásának vizsgálatához szelektív szétoldást (szalicilsav/metanol, cukor/desztillált víz) alkalmaztunk. A nyomelemek a cement hidraulikus, ill. fontosabb fizikai-mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálata céljából a klinkereket laboratóriumi malomban ~ 3200 cm²/g fajlagos felületre (Blaine-szám) őröltük, SO₃ = 3,5 m/m%-nak megfelelő mennyiségű gipszkeverékkel adagolva mellett.

A nyomelemek, ill. nehézfémek a cement felhasználása és üzemeltetése során várható viselkedésének vizsgálata céljából kioldási vizsgálatokat végeztünk az következők szerint:

- kioldódás desztillált vízben, mely azokról a nyomelemről, ill. nehézfémekről ad előzetes információt, melyek a cement vízzel történő összekeverése, azaz feldolgozása során a cementből azonnal kioldódhatnak;
- kioldódás ammónium-acetát pufferben (pH = 4,5) azokról a nyomelemről, ill. nehézfémekről ad előzetes információt, melyek a cement üzemeltetése során „gyenge savas” hatásokra kioldódhatnak.

A kivonatok készítése MSZ 21978-9:1998 sz. szabvány szerint történt. A kioldódott mennyiségek meghatározását ICP-AES (Atomemissziós plazmaspektrometriás) módszerrel végeztük.

Vizsgálati eredmények

Az 2. táblázatban összefoglalt égethetőségi vizsgálatok eredményeiből látható, hogy a ZnO, NiO, PbO és CoO adagolásával és mennyiségének növekedésével – a vizsgált mennyiségben – a klinkerek szabad CaO-tartalma csökkent, amiből olyan következtetés vonható le, hogy a nikkellel, az ólommal, a cinkkel és a kobalttal a nyersliszt égethetőségét, azaz a klinkerképződési folyamatokat kedvezően befolyásolják. A kadmiummal ezzel szemben növeli a nyersliszt szabad CaO-tartalmát, azaz kedvezőtlen hatást gyakorol a nyersliszt égethetőségére. Megjegyezzük, hogy az illó elemek közé tartozó kadmium hatásának tanulmányozása azért volt fontos, mert annak jelenléte az üzemi klinkerekben gyakran kimutatható.

2. táblázat

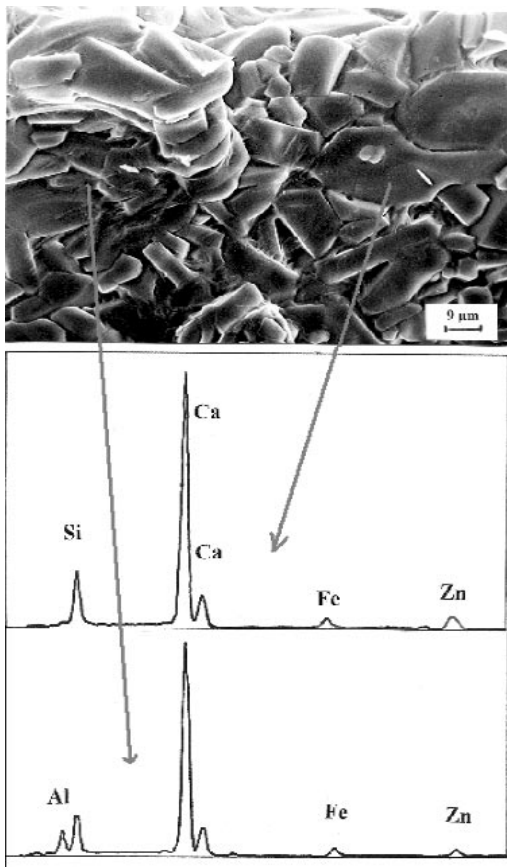
Cink, nikkellel, ólom, kadmium és kobalt hatása a nyersliszt égethetőségére

	Fém-oxid mennyisége, m/m%						
	0	0,05	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0
ZnO							
Szabad CaO, m/m%	1,20	1,05	0,85	0,75	0,73	0,68	0,55
NiO							
Szabad CaO, m/m%	1,20	0,85	0,74	0,65	0,57	0,46	0,29
PbO							
Szabad CaO, m/m%	1,20	0,98	0,87	0,72	0,65	0,60	0,50
CdO							
Szabad CaO, m/m%	1,20	1,62	1,78	1,79	1,81	2,76	5,92
CoO							
Szabad CaO, m/m%	1,20	1,18	1,16	1,15	1,13	0,68	0,45

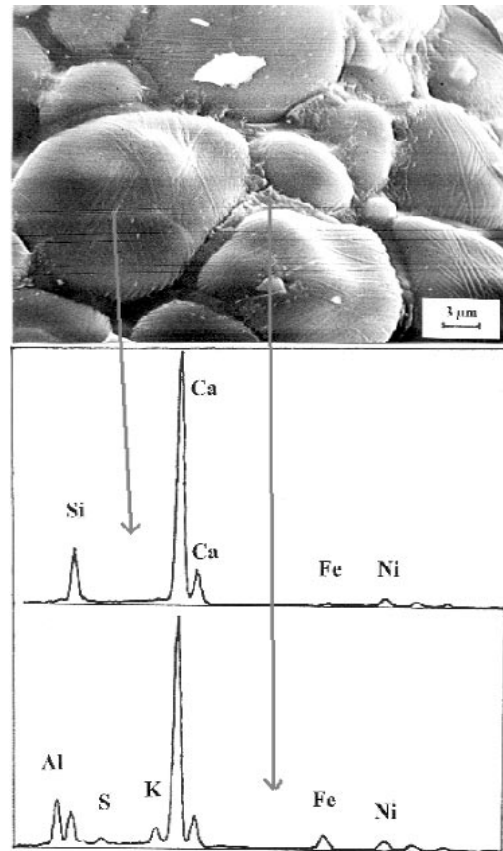
Az elektronmikroszkópi felvételek és a hozzájuk tartozó röntgenspektrumok szerint a cink (Zn) az alit- és aluminát-ferrit, a nikkellel (Ni), az ólommal (Pb), a kobalttal (Co)

és a kadmium (Cd) leginkább az *aluminát-ferrit-fázisban* koncentrálódik, de jelenlétük a *szilikátfázisokban* is kimutatható (2. ábra). Ezen megállapításokat a cink, a nik-

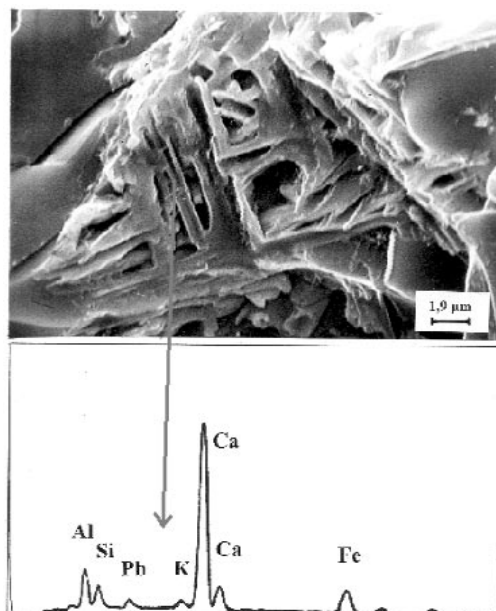
kel és az ólom vonatkozásában a szelektív szétoldási vizsgálatok is alátámasztják (3. táblázat).



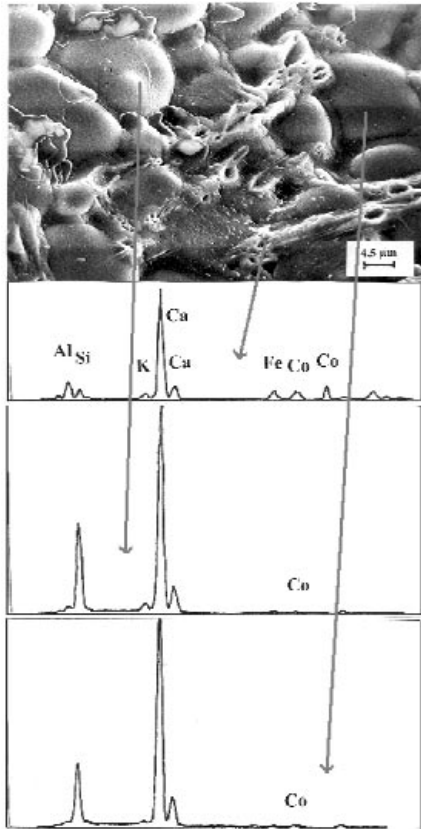
A. Cinktartalmú klinker



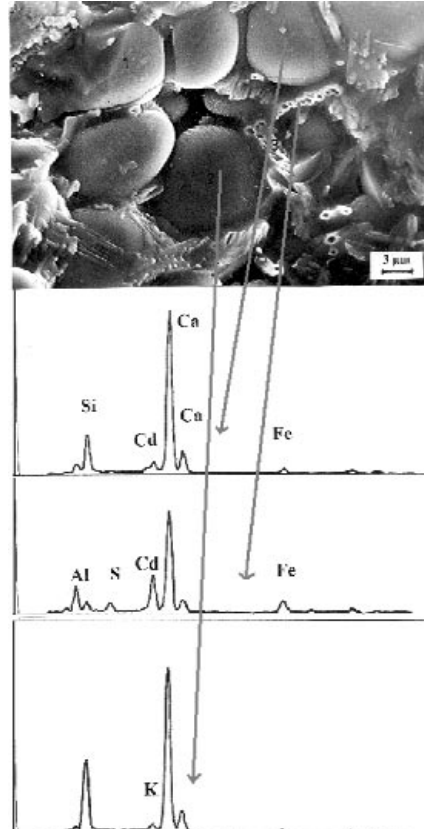
B. Nikkeltartalmú klinker



C. Ólomtartalmú klinker



D. Kobalttartalmú klinker



E. Kadmiumtartalmú klinker

2. ábra. Modellklinkerek elektronmikroszkópi felvételei és röntgenspektrumai

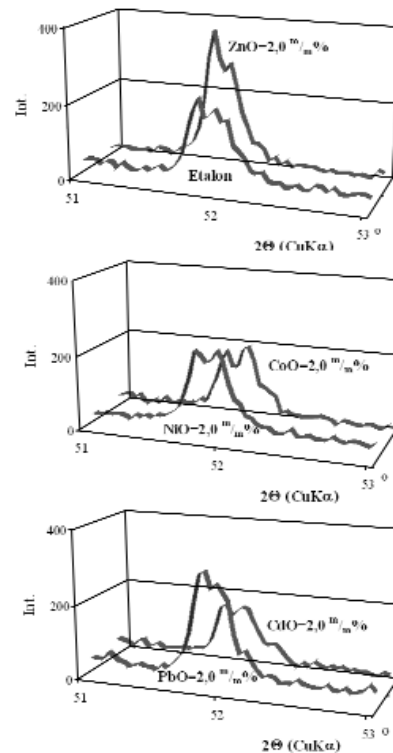
3. táblázat

Egyes nyomelemek, ill. nehézfémek klinkerfázisok szerinti eloszlása

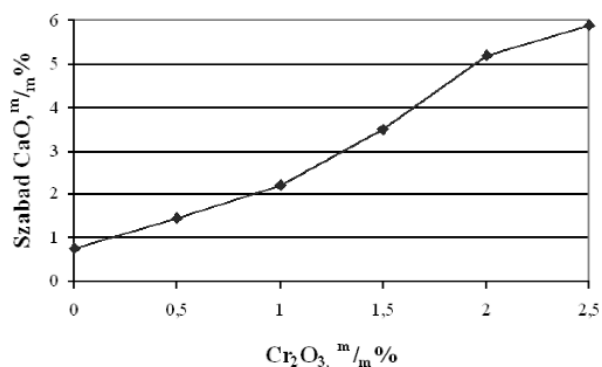
Klinkerfázisok	Komponensek		
	Zn	Ni	Pb
	m/m%		
Szilikát (alít, belít)	0,40	0,23	0,20
Aluminát-ferrit	0,72	1,82	2,00
Aluminát	0,15	0,18	0,12
Klinker ásványi össze- tége (Bogue szerint)	$C_3S = 59,5$ m/m%	$C_3A = 9,2$ m/m%	
Fém-oxid mennyisége a klinkerben	$C_2S = 19,8$ m/m%	$C_4AF = 11,5$ m/m%	0,50 m/m%

Röntgendiffrakciós vizsgálatok szerint – $2\theta = 51-53^\circ$ közötti csúcs alakja alapján – etalonklinker az alítot (C_3S) *triklin*, a ZnO, NiO, PbO, CdO és CoO adagolású modellklinkerek pedig *monoklin* módosulatban tartalmazzák (3. ábra).

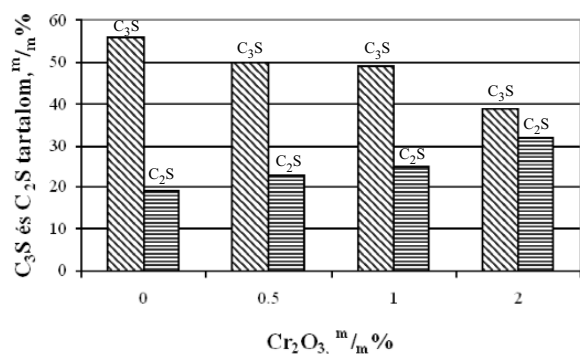
A különböző Cr_2O_3 -tartalmú nyerslisztekkel laboratóriumi kemencében előállított modellklinkerek szabad CaO-tartalma a 4. ábrán, C_3S és C_2S -tartalma a 5. ábrán látható.



3. ábra. Modellklinkerek röntgendiffraktogramjai



4. ábra. Szabad CaO változása a Cr₂O₃-tartalom függvényében



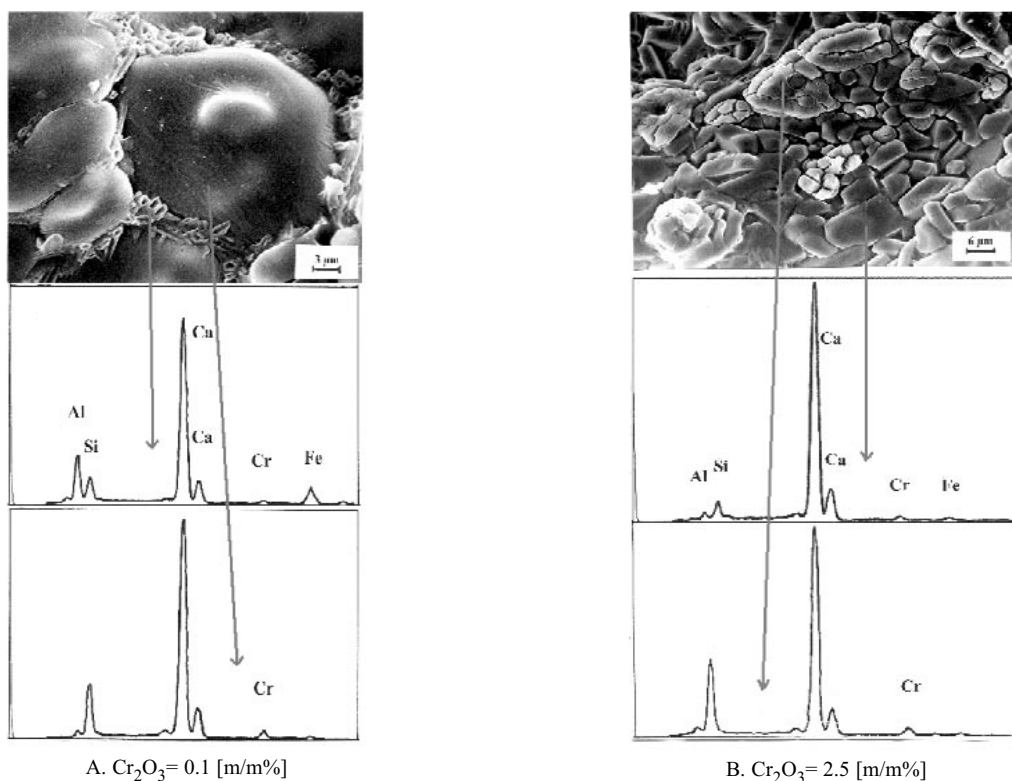
5. ábra. C₃S és C₂S mennyiségének változása a Cr₂O₃-tartalom függvényében

Megállapítható, hogy a Cr₂O₃-tartalom növekedésével a klinkerek szabad CaO-tartalma nőtt (4. ábra), és ezzel egyidejűleg csökkent a C₃S (alit)-, és növekedett C₂S (belit)-tartalma (5. ábra). A vizsgálati eredményekből olyan következtetés vonható le, hogy a króm kedvezőtlen hatást gyakorolt a nyersliszt égethetőségére, mintegy fékezte az alit (C₃S) képződését.

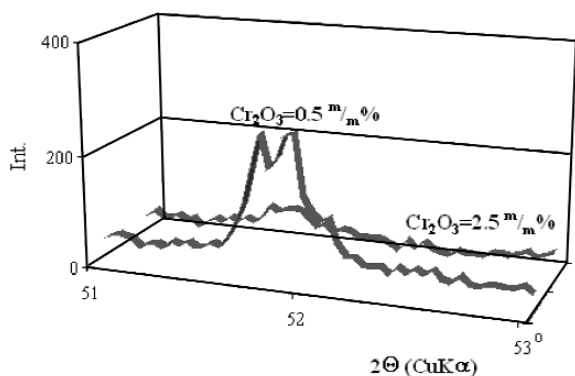
Az elektronmikroszkópi felvételek és a hozzájuk tartozó röntgenspektrumok szerint a króm leginkább a szilikátfázisokban (alit, belit) koncentrálódik, de jelenléte az aluminát-ferrit-fázisban is kimutatható (6/A ábra). A 2,5 m/m% Cr₂O₃-adagolással készült klinker elektronmikroszkópi felvételen bomlásnak indult alit-, valamint belit- és CaO-kristályok láthatók (6/B ábra). A C₃S bomlását a 2,5 m/m% Cr₂O₃-adagolással készült klinkerben röntgendiffrakciós felvételek is alátámasztják (7. ábra).

A különböző nyomelemek adagolásával készült modellklinkerek szövetszerkezetének jellegzetességei legjobban az alitkristályok állapotával jellemezhetők:

- a ZnO-tartalmú klinkerek jól kristályosodott, hexagonális és prizma alakú, 10-50 μm-es nagyságú alitkristályokat tartalmaznak;
- a NiO-tartalmú klinkerekre jól kristályosodott, a szokásostól eltérő, kikerekedett alakú, 15-20 μm-es nagyságú alitkristályok jelenléte a jellemző;
- a PbO-tartalmú klinkerek nagyméretű (80 μm-es), prizma alakú, hosszúkás alitkristályokat és nagyobb mennyiségű „köztes-fázist” tartalmaznak;



6. ábra. Krómtartalmú modellklinkerek elektronmikroszkópi felvételei és röntgenspektrumai



7. ábra. Krómtartalmú modellklinkerek röntgen diffraktogramjai

- a Cr_2O_3 -tartalmú klinkerekre a szokásosnál nagyobb méretű ($>100 \mu\text{m}$) hexagonális és prizma alakú, zöld színű, „smaragdhatású” alitkristályok jelenléte a jellemző. Az alitkristályok zöld elszíneződését az alitfázisba beépült króm (Cr^{3+} és Cr^{6+}) okozza;
- a CdO- és CoO-tartalmú klinkerekre jól kristályosodott, kikerekedett formájú, 20-30 μm nagyságú alitkristályok, valamint nagyobb mennyiségű „közet-fázis” jelenléte a jellemző. A CdO-tartalmú klinkerek gyakran prizma alakú, hosszúkás – a PbO-tartalmú klinkerekénél megfigyelthez hasonló – alitkristályokat tartalmaznak.

Vizsgálataink szerint egyes nyomelemek pozitív hatást gyakorolnak a klinkerek őrlhetőségére. Ezekkel a kérdésekkel egy másik dolgozatban foglalkozunk részletesen [5].

A 0,1 m/m% fém-oxid-adagolású modellklinkerekből előállított cementek fontosabb fizikai-mechanikai tulajdonságai nem tértek el lényegesen a fém-oxidot nem tartalmazó klinkerekből előállított cementétől. Ez a megállapítás valamennyi fém-oxiddal készült cementre vonatkozik. Ennek illusztrálására a ZnO-adagolású cementtel végzett vizsgálatok eredményeit mutatjuk be (4. táblázat).

4. táblázat

Az etalon (C_0) és a cinktartalmú (C_{Zn}) klinkerből előállított cementek fizikai-mechanikai tulajdonságai

Tulajdonságok	Cement jele	
	C_0	C_{Zn}
Fajlagos felület, cm^2/g	3230	3250
Kötési idő		
– víz a szabványos folyóssághoz, m/m%	27,0	27,5
– kötés kezdete, óra-perc	3-20	3-00
– kötés vége, óra-perc	4-30	4-20
Térfogat-állandóság (Le Chatelier-gyűrű), mm	1,0	1,0
Szilárdság, MPa		
2 nap	15,8	15,0
7 nap	26,2	25,8
28 nap	34,8	35,2

* ZnO = 0,1 m/m%

A kioldódási vizsgálatok eredményeit az 5. táblázatban foglaltuk össze.

5. táblázat

0,05 m/m% fém-oxid-tartalmú modellklinkerek kioldódási vizsgálatának eredményei

Nehézfémtartalom, mg/kg (ppm)	Zn	Ni	Pb	Cd	Co	Cr
vízben kioldódott	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1	46,7
amm.-acetát pufferben (pH = 4,5) kioldódott	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1	48,0

A kioldódási vizsgálatok eredményeiből megállapítható, hogy a klinkerek vizes és „gyenge savas” kivonataiban valamennyi vizsgált nyomelem, ill. nehézfémet koncentrációja – króm kivételével – a kimutathatósági határ alatt van. Ez mindenképpen arra enged következtetni, hogy a vizsgált nehézfémek döntő mértékben a klinkerek égetése során a klinkerfázisokban megkötődtek, mégpedig olyan „erősen”, hogy sem vízben, sem pedig „gyenge savas” (pH = 4,5) közegben nem oldódtak ki. A szélsőségesen kis oldhatóságot a klinkerek „vizes” kivonatainak nagy pH-értéke is okozhatta, melynek köszönhetően az egyes nehézfémek hidroxidok formájában kicsapódtak.

A Cr_2O_3 -adagolású klinker vizes és „gyenge savas” kivonatai ugyanakkor jelentős mennyiségű vízoldható Cr^{6+} -t tartalmaznak. A nyerslisztbe Cr_2O_3 -formában bevitt króm (Cr^{3+}) tehát – a kemencében uralkodó oxidáló atmoszférában – részben hatos vegyértékű krómmá (Cr^{6+}) alakult át, mely részben a klinkerfázisokban lekötődött. A klinkerfázisokban le nem kötődött, vízoldható Cr^{6+} – vizsgálataink szerint – kálium-kromátok ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ és/vagy K_2CrO_4) formájában maradt a klinkerben. Hozzá kell tenni, hogy a megszilárdult cementekből 28 és 120 napos korban sajtolással kinyert porusolatok Cr^{6+} tartalma általában sokkal kisebb annál, mint ami a cement vízzel történő keverése során a cementből azonnal kioldódik. Ebből arra lehet következtetni, hogy a cement hidratációja, ill. szilárdulása során a vízoldható kromátok jelentős része a hidrát-fázisokban megkötődik [6].

Fontosabb megállapítások és következtetések

Vizsgáltuk a cink (Zn) a nikkelt (Ni), az ólomot (Pb), a kadmium (Cd), a kobalt (Co) és a krómet (Cr) által a nyersliszt égethetőségére és a klinkerképződési folyamatokra, a klinker szövetszerkezetére, valamint a cement tulajdonságaira gyakorolt hatását. Ezen belül tanulmányoztuk az egyes nyomelemek klinkerfázisok szerinti eloszlását, beépülésének jellegét stb. Elvégeztük a kioldódási vizsgálatokat is, melyek információt szolgáltatnak a nehézfémek várható környezeti hatásairól a cement feldolgozása és üzemeltetése során.

Megállapítottuk, hogy a *cink*, a *nikkel*, az *ólom* és a *kobalt* 0,05 ... 2,0 m/m%-os (fém-oxidokra számított) mennyiségben adagolva *kedvezően*, a *kadmium* és a *króm* pedig *kedvezőtlenül* befolyásolják a *nyersliszt égethetőségét*. A nyomelemek kis mennyiségben is hatást gyakorolnak az olvadékfázis mennyiségére és minőségére, elsősorban viszkozitására, valamint a klinkerfázisok képződésére stb.

A vizsgálat tárgyát képező nyomelemek a klinker égetése során a klinkerfázisokba épülnek be: a cink az *alít- és aluminátferrit-*, a króm az *alít- és belít-*, a nikkel, az ólom, a kobalt és a kadmium leginkább az *aluminátferrit-fázisban* koncentrálnak, de jelenlétük a *szilikátfázisokban* is kimutatható. A fém-oxidokat tartalmazó klinkerek az alitot (C_3S) *monoklin módosulatban* tartalmazzák.

Vizsgálataink igazolták, hogy a cink, a nikkel és a kobalt a C_3S -rácsban a Ca^{2+} -iont helyettesítik. Mivel a Zn^{2+} ($r_k = 0,74 \text{ \AA}$), a Ni^{2+} ($r_k = 0,72 \text{ \AA}$) és a Co^{2+} ($r_k = 0,74 \text{ \AA}$) ionok sugarainak mérete valamivel kisebb, mint a Ca^{2+} -ioné ($r_k = 1,04 \text{ \AA}$), ezek beépülése nem idéz elő figyelemre méltó feszültségeket, deformációkat a C_3S -kristályrácsban. A nagyobb ionsugarú Pb^{2+} ($r_k = 1,20 \text{ \AA}$) beépülése viszont deformációkat okozhat a C_3S -kristályrácsban. Az ólom beépülési jellegének (helyettesítés, beékelődés) tisztázása további vizsgálatokat igényel. A $Ca^{2+} \leftrightarrow Cd^{2+}$ ioncsere folyamatának lefolyása kérdéses. Véleményünk szerint a Cd^{2+} -ion leginkább a rácsközi helyekre ékelődik be az alitrácsban, rácshibák keletkezését vonva maga után, ami a C_3S C_2S -ra és CaO -ra történő bomlását is okozhatja. Ezzel magyarázható részben a CdO által a nyersliszt égethetőségére gyakorolt kedvezőtlen hatása. A vizsgált nyomelemek, ill. ionok Ca^{2+} -ion helyére történő beépülése következtében az alitrácsban az ionos kötés százalékos hányada csökken.

A Cr_2O_3 a nyersliszt égethetőségére, ill. az alit képződésére gyakorolt kedvezőtlen hatása azzal van összefüggésben, hogy a kemence *oxidáló atmoszférában* képződött hatos vegyértékű króm a βC_2S -t stabilizálja, mely hatás mechanizmusa abban áll, hogy a $[CrO_4]^{2-}$ -anion ($r_a = 3,00 \text{ \AA}$) a βC_2S -rácsban a $[SiO_4]^{4-}$ -anion ($r_a = 2,90 \text{ \AA}$) helyére épül be („heterovalens” izomorfizmus). E beépülés, ill. stabilizáció következtében a βC_2S oldódásának sebessége az olvadékfázisban csökken, ami lassítja, fékezi az alit (C_3S) képződését. A króm elsősorban $[CrO_4]^{2-}$ formájában épül be a $[SiO_4]^{4-}$ helyére az alít-, ill. belít-fázisokba, de emellett a Cr^{3+} -formában tör-

tendő beépülésével is számolni kell [7, 8]. Mivel a Si-O komplexben a kovalens kötés hányada $\sim 50\%$, a Cr-O-ban pedig $\sim 39\%$, a fenti beépülés következtében az alít- és belít-kristályokban a kovalens kötés hányada és így azok keménysége is csökken, és ezáltal javul a klinker őrlhetősége [5].

A 0,1 m/m% fém-oxidot tartalmazó modellklinkerekből előállított cementek fontosabb hidraulikus, ill. fizikai-mechanikai tulajdonságai gyakorlatilag azonosak voltak az etalonklinkerből előállított cementével. A szélsőségesen nagy mennyiségű ($> 2,00 \text{ m/m\%}$) fém-oxidot tartalmazó cementek egyes tulajdonságai (vízigény, térfogat-állandóság, kezdeti szilárdság stb.) azonban eltértek az etaloncement tulajdonságaitól. Ezekkel a kérdésekkel egy másik dolgozatban foglalkozunk majd részletesen.

A kioldódási vizsgálatok eredményeiből olyan következtetés vonható le, hogy a vizsgált *nehézfémek* – króm kivételével – a *cement feldolgozása és üzemeltetése* során a *cementmátrixból nem fognak kioldódni, így nem kerülnek közvetlen kapcsolatba a környezettel*. A cement feldolgozása és üzemeltetése során a vízzel oldható Cr^{6+} *jelenlétéből* esetlegesen adódó környezeti hatásokkal azonban számolni kell. Ezzel összefüggésben indokolt a cementben lévő Cr^{6+} -nak Cr^{3+} -ra történő átalakítási kérdéseivel (pl. redukálószer alkalmazása) kutatási szinten foglalkozni.

Irodalom

- [1] Sprung, S.: Spurenelemente – Anreicherung und Minderungsmaßnahmen. Zement-Kalk-Gips 41 (1988) Nr. 5, pp. 251-257.
- [2] Kittel, Ch.: Bevezetés a szilárdtestfizikába. Műszaki Kiadó, Budapest, 1966.
- [3] Butt, Ju. M. – Timasev, V. V.: Portlandcementnij klinker. Sztrójizdat, Moszkva, 1967.
- [4] Berecz, E.: Kémia műszakiaknak. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [5] Opoczky, L. – Gábel, V.: Effect of certain trace element on the grindability of cement clinkers in the connection with the use of wastes. 10th European Symposium on Comminution, Heidelberg, 2002. pp. B 43.
- [6] Opoczky, L. – Fodor, M. – Tamás, F. – Tritthart, J.: Chemical and environmental aspects of heavy metals. Cement and Concrete Research (s. a.)
- [7] Boikova, A.: Solid solution of cement-minerals. Publiser „Nauka”, Leningrad, 1974.
- [8] Opoczky, L. – Fodor, M. – Révay, Zs.: Cement chemistry and environmental effects of chromium introduced by waste materials. 14. Internationale Baustofftagung (IBAUSIL), Weimar, 2000. Vol. 1. pp. 1-0061 – 1-0068.

Hirdessen az **Építőanyag** című folyóiratban!