



A CSÖKKENTETT KLINKERHÁNYADÚ, KÖRNYEZETBARÁT CEMENTEK ELŐÁLLÍTÁSÁT MEGALAPOZÓ ŐRLÉSELMÉLETI ÉS ŐRLÉSTECHNOLÓGIAI KUTATÁSOK

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Készítette:

Gável Viktória
*okl. előkészítéstechnikai mérnök,
okl. betontechnológus szakmérnök*

Tudományos témavezetők:

Prof. Dr. habil. Csőke Barnabás
egyetemi tanár

Prof. Dr. Opoczky Ludmilla
c. egyetemi tanár, kém. tud. dr.

MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A doktori iskola vezetője: Dr. Lakatos István
egyetemi tanár, akadémikus

I. Bevezetés, tudományos előzmények

Civilizációnk egyik legfontosabb építőanyaga a cement. Az idő múltával változott, ill. fejlődött a *portlandcement* gyártási technológiája és bővült a gyártott cementek választéka. Így az utóbbi időben a *portlandcementek* mellett megjelentek az ún. *csökkentett klinkerhányadú cementek*, melyek a klinker és a kötőanyag szabályozó anyag mellett jelentős mennyiségű *cementkiegészítő anyago(ka)t* (granulált kohósalak, szénerőművi filterpernye, természetes puccolán stb.) tartalmaznak. A cementválasztékban végbement, ill. jelenleg is végbemenő változások fő mozgatói a piaci verseny élesedése, a cementtermelés költségcsökkentésének szükségessége, valamint az egyre fokozódó környezetvédelmi követelmények kielégítésére való törekvés, ugyanis a cementek *klinkerhányadának csökkentése* igen fontos a *cementipar CO₂ emissziójának csökkentése* szempontjából.

A cementek fizikai-mechanikai tulajdonságainak alakulása szempontjából – a klinker kémiai-ásványi összetétele mellett – meghatározó szerepet játszik a cement őrlési finomsága (fajlagos felület, szemcseméret-eloszlás). A cement egy adott finomságra történő őrlésének energiaigényét az őrléstechnológiai paraméterek (őrlőberendezés típusa, osztályozó leválasztási hatásfoka, őrlést segítő anyagok alkalmazása stb.) mellett a klinker és a cementkiegészítő anyagok mechanikai igénybevétellel szembeni ellenállása, ill. őrlőhetősége befolyásolja alapvetően.

A klinker őrlőhetősége különösen fontos szerepet játszik a csökkentett klinkerhányadú cementek előállításánál. Ez a paraméter azonban nemcsak azért fontos, mert nagymértékben befolyásolja az őrlőberendezés működését, az őrlési folyamat hatékonyságát és az őrlés energiaigényét, hanem azért is, mert jelentős hatással van az előállított cement – és ezen belül a klinkerhányad és a cementkiegészítő anyag-hányad – finomságára, ill. szemcseméret-eloszlására és ezáltal minőségére – szilárdságára és alkalmazástechnikai tulajdonságaira – is.

A portlandcementek őrlési finomságának, ill. szemcseösszetételének és szemcseméret-eloszlásának jelentőségét a cement minősége vonatkozásában a hazai kutatók is már felismerték.

Beke [1] szerint a klinker őrlőhetőségére a legnagyobb hatást szövetszerkezete gyakorolja. Bizonyította, hogy a portlandcement szilárdságát és szilárdulási ütemét a szemcseösszetétel határozza meg [2], melynek leírására a Rosin-Rammler-Sperling-Bennett(RRSB)-egyenlet használatát tartotta indokoltnak, mivel kimutatta, hogy az RRSB-eloszlás két állandója az aprítás sztochasztikus folyamatának fontos statisztikai jellemzői [3], [4].

Opoczky [5] kutatásai során összefüggést keresett a klinkerek őrlhetősége, valamint kémiai-ásványi összetétele és szerkezete között, ezért mélyrehatóan tanulmányozta az egyes klinkerásványok őrlhetőségét [6]. Továbbá Beke korábbi megállapításait a többkomponensű cementekre is kiterjesztve az RRSB-egyenlet paramétereit matematikai jelentésükön túlmenően anyagminőségi szempontból is értelmezte [7], [8], [9], valamint bizonyította, hogy a többkomponensű cementek különböző őrlhetőséggel rendelkező anyagokból együttőrléssel történő előállításakor az egyes komponensek őrlhetősége befolyásolja a cement szemcseméret-eloszlását és az egyes komponensek frakciók szerinti megoszlását [10].

Révay [11] kísérleti úton bizonyította, hogy a cementkiegészítő anyagot tartalmazó, különőrléssel előállított cementek esetében a „teljes” cement frakcióösszetétele és a 28 napos nyomószilárdság között nincs korreláció, azoban a klinkerhányad 3-32 μm -es frakciója és a cement szilárdsága között fennáll a Beke által 40 évvel korábban megállapított korreláció.

Beke és Opoczky megállapításait Mrákovitsné és Verdes [12] kísérletei is igazolták.

A klinkerek gyártási technológiájában bekövetkező változásoknak a klinker szövetszerkezetére, őrlhetőségére és a cement minőségére gyakorolt hatásának vonatkozásában Sas [13], Unland [14] és Hills [15] publikációi emelendők ki.

Az egyes cementkiegészítő anyagok hidraulikus, ill. puccolános aktivitásának őrléssel történő növelésének és a cement minőségére gyakorolt hatásának tanulmányozásával számos kutató foglalkozott, ill. foglalkozik. E területen végzett tudományos munkám során a hazai kutatók közül elsősorban Opoczky [16], [17], [18], Révay [11], [19], Csőke és Mucsi [20], [21], a külföldi kutatók közül pedig Detwiler [22], Öner [23], Sigh és Middendorf [24], [25], valamint Djuric és Ranogajec [26] munkásságára támaszkodtam.

A szakirodalom feldolgozása alapján a következőket állapítottam meg:

- A klinkerek őrlhetősége, kémiai-ásványi összetétele, szövetszerkezete és a gyártástechnológiai paraméterek közötti összefüggések vonatkozásában tett megállapítások ellentmondanak egymásnak és összehasonlításuk nehézségekbe ütközik a különböző őrlhetőségi jelzőszámok használata miatt. A klinkerek őrlhetőség alapján történő minősítésére nem áll rendelkezésre kellően megalapozott osztályozási rendszer.

- A cementek őrlésfinomsága és nyomószilárdsága közötti összefüggéseket, ill. a szemcseméret-eloszlás paramétereinek az őrlés során történő változását elsősorban a kiegészítőanyag mentes portlandcementek őrlésekor vizsgálták.
- A jelenleg érvényben lévő európai cement szabványban foglalt cementösszetételek korlátain belül az egyes gyártandó cementek paramétereinek kiválasztására nincsenek általános érvényű szabályok, azok műszaki megalapozása szükséges. Az egyes cementkiegészítő anyagok minősítése nehézségekbe ütközik.
- A hazai cementekben lévő cementkiegészítő anyag hányad még nem éri el a szabvány által megengedett maximális mennyiséget. A többkomponensű cementekkel kapcsolatosan tett korábbi megállapítások kisebb cementkiegészítő anyag tartalomra és hagyományos őrlésfinomságra vonatkoznak.

II. Tudományos munkám célkitűzései

Az általam végzett kutatások, vizsgálatok fő célkitűzése a csökkentett klinkerhányadú cementek előállításával és felhasználásával összefüggő kérdések komplex kutatása, vizsgálata:

- A klinkerek *őrölhetősége és szövetszerkezete*, valamint a *gyártástechnológiai paraméterek* közötti összefüggések vizsgálata.
- A klinkerek *őrölhetőség* alapján történő *minősítési rendszerének* kidolgozása.
- A klinker és a cementkiegészítő anyagok – granulált kohósalak, szénerőműi filterpernye, természetes puccolán (trassz) – *minőségének* (kémiai-ásványi összetétel, kémiai és fázisösszetétel, hidraulikus, ill. puccolános aktivitás, szilárdsági hatások, őrölhetőség) vizsgálata a *csökkentett klinkerhányadú cementek fontosabb tulajdonságaira gyakorolt hatásuk* szempontjából.
- A klinker és a cementkiegészítő anyagok együttőrlésével előállított *csökkentett klinkerhányadú cementek* fontosabb *finomsági* (Blaine-felület, szemcseméret-eloszlás) és *minőségi jellemzőinek* (nyomószilárdság), valamint *egyes alkalmazástechnikai tulajdonságainak* (vízigény, szulfátállóság, fehérség) vizsgálata a *kiegészítő anyag tartalom és az őrlési finomság függvényében, általános összefüggések megállapítása.*

- *A filterpernyék és filterpernye-őrlemények finomságának jellemzésére alkalmas értékelési módszerek fejlesztése.*
- *Az őrlési eljárás – együtt-, külön-, kombinált őrlés – szerepe a csökkentett klinkerhányadú – elsősorban a filterpernye-tartalmú – cementek előállításánál, az őrlési eljárások fejlesztése.*

III. Az alkalmazott vizsgálati-kutatási és értékelési módszerek

Kutatómunkám során tudományosan megalapozott, ill. nemzetközileg elfogadott – lehetőleg szabványosított – vizsgálati módszereket alkalmaztam.

A cementklinkerek és a cementkiegészítő anyagok *kémiai összetételének* vizsgálata *klasszikus analitikai* módszerekkel történt.

A granulált kohósalakok *fázisösszetételének* meghatározása és értékelése JEOL JDX 8S típusú *röntgendiffrakciós* készülékkel, *pordiffrakciós* módszerrel történt. A minták minőségi és mennyiségi fáziselemzését, értékelését egy erre a célra kifejlesztett speciális szoftverrel végeztük.

Az *őrölhetőség* vizsgálatára a hazai és nemzetközi cementipari gyakorlatban elfogadott Zeisel- és a Bond-féle eljárásokat, ill. berendezéseket használtam.

A *Zeisel-féle őrölhetőség* vizsgálati módszer a Rittinger-törvényen alapszik, mely kimondja, hogy az őrlésre fordított energia arányos a képződött új felülettel. A vizsgálat során az alsó őrlőedényből és változtatható terhelésű felső forgó őrlőgyűrűből álló Zeisel-malomban a meghatározott szemcseösszetételű mintát $\sim 5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ fajlagos felületig őröltem és közben az energiafogyasztást nyomatókméréssel mértem. A kívánt őrlési finomság eléréséhez tartozó fajlagos energiafelhasználást nevezzük a Zeisel-féle „fajlagos őrölhetőség” (W_t)-nek.

A *Bond-féle őrölhetőség* vizsgálati eljárás a körfolyamatos őrlést szimulálja laboratóriumi golyósmalomban. Az eljárás a Bond-féle ún. „harmadik elmélet”-en alapszik, mely kimondja, hogy bármely szemcsenagysághoz tartozó teljes energia fordítva arányos a szemcsenagyság négyzetgyökével. A Bond-malom egy 305x305 mm belső átmérőjű golyósmalom, melynek őrlőtesttöltete 20 kg vegyes méretű acélgolyó. A vizsgálatot az egyensúlyi állapot eléréséig végeztem, az ekkor malomfordulatonként megőrlődő anyagmennyiség, az ún. golyósmalmi őrölhetőség (G), melyből a Bond-féle „munkaindex” (W_i) értékét számítottam.

A cementklinkerek *szövetszerkezetének* tanulmányozására egy Olympus BX51 típusú ún. „upright” kutató *mikroszkóp* (fénymikroszkóp) áll rendelkezésünkre, a mikroszkópi felvételek készítése Olympus C-7070 típusú 7,1 Megapixel felbontású digitális fényképezőgéppel történik. A klinkerszemcsék műgyantába ágyazását követően felületi csiszolatot készítettünk, majd a csiszolat maratásával tettük láthatóvá a számunkra értékes információkat. A megfelelő maratási technikát Sas László János a Duna-Dráva Cement Kft. Minőségi és K+F vezetője dolgozta ki. A klinkercsiszolatokról készített fényképek értékelése szövegesen, *szubjektív* megállapítások alapján történt.

A cementek őrlésfinomságának jellemzésére az ún. *Blaine-felületet* használtam. A vizsgálati módszer az ún. permeabilitás, azaz *légáteresztő-képesség* mérésén alapszik. A számítás alapja a szűrésre vonatkozó Darcy-féle áramlási egyenlet, melyet Kozeny és Carman töltött halmazokra alkalmazott, ugyanis előírt feltételek között a cement fajlagos felülete arányos annak az időtartamnak a négyzetgyökével, amely meghatározott levegőmennyiségnek a tömörített cementrétegen való átáramlásához szükséges.

Kutatásaim során a *szemcseméret-eloszlás* vizsgálatára korábban CILAS 715, majd CILAS 850 HR típusú, nedveseljárású *lézergranulométereket* használtam. 2009. év folyamán a CEMKUT Kft-ben beszereztünk és üzembe helyeztünk egy Horiba Jobin Yvon gyártmányú LA-950 típusú, száraz és nedves eljárású *lézergranulométer*, melynek mérési tartománya 0,01-3000 μm . A lézergranulométerek a *fénydiffrakció*, ill. *-szóródás* mérésén alapuló vizsgáló berendezések. A vizsgálati módszer azon a jelenségen alapszik, hogy *a szemcsét megvilágító lézerfénynyaláb elhajlási szöge fordítottan arányos a szemcse méretével*. A kutatásaim tárgyát képező szilárd szemcsés anyagok, ill. őrlmények szemcseméret-eloszlásának vizsgálatakor vizsgálóközegként etanolt (abszolút alkohol) használtam és ultrahangos diszpergálást alkalmaztam. A vizsgálati eredmények feldolgozását, ill. értékelését a Rosin-Rammler-Sperling-Bennett-, röviden RRSB-egyenlet, ill. annak két paramétere: az n egyenletességi tényező és az x' finomsági mérőszám alapján is elvégeztem.

A cementeknek a szabványos folyósság eléréséhez szükséges vízmennyiségének, röviden *vízigényének* (v) meghatározása ún. *Vicat-készülékkel* történt. A készülék speciális rúdjának bemerülési mélységéből következtetünk a cementpép folyósságára. Annak a cementpépnek a víztartalma a vizsgált cement vízigénye (v), melynél a merülőrúd és az üveglap közötti távolság $6 \pm 1 \text{ mm}$.

A szabványos összetételű habarcsból készített, előírt módon tárolt, 40x40x160 mm méretű hasáb alakú próbatestek *hajlító- és nyomószilárdságát* 2, 7, ill. 28 napos korban, a szabvány által előírt paraméterekkel rendelkező *törőgéppel* (Tonitechnik gyártmányú) határoztuk meg. A hajlítószilárdság meghatározásához a középpontos terheléses eljárást alkalmaztuk. A nyomószilárdságot a hajlítószilárdság vizsgálatakor eltört fél hasábok oldallapjain vizsgáltuk.

A *szilárdsági határfok* (H) a cementkiegészítő anyagot nem tartalmazó, CEM I jelű portlandcement, az ún. „alapcement” 28 napos korban mért nyomószilárdságának és az ugyanezon cementből 20 m/m%-os, az „alapcementtel” azonos fajlagos felületre megőrölt cementkiegészítő anyag hozzákeverésével készített, ún. „keverékcement” 28 napos *nyomószilárdságának aránya*.

A cementek *szulfátduzzadását* lépcsős szemcseszerkezetű habarcsból készített, vékony hasáb alakú, előzetesen gőzkezelt, majd 4,4 m/m%-os nátrium-szulfát oldatban tárolt próbatestek – Graaf-Kaufmann készülékkel mért – hosszváltozása alapján határoztuk meg. A cementek szulfátállóságát a próbatestek 28 napos korban mért és a vonatkozó szabvány szerint számított *hosszváltozása* alapján minősítettem.

A *puccolános aktivitást mézsfelvétel* alapján határoztuk meg, azaz kétnaponkénti titrálással – összesen 15 alkalommal – meghatároztuk azt a kalcium-oxid mennyiséget, melyet 1 g anyag felvett 100 ml telített mézszoldatból. Az 1 g puccolános anyag által lekötött kalcium-oxid mennyiségének halmozott értéke – a minta összes mézsfelvétele mg/g-ban kifejezve – jellemzi a puccolános aktivitást.

Az *örlemények fehérségének* vizsgálatát MOMCOLOR 100 típusú *színmérő készülékkel* végeztem. A mérés során az örlemény felületéről visszaverődő fény színínger összetevőit (X, Y, Z) határoztam meg ismert színű, ill. fehérségű (OMH 88-11-00 sorszámú) fehér etalonmintához viszonyítva. Az X, Y, Z színínger összetevőkből számítottam a CIELAB rendszer szerinti világossági tényező (L^*) értékét.

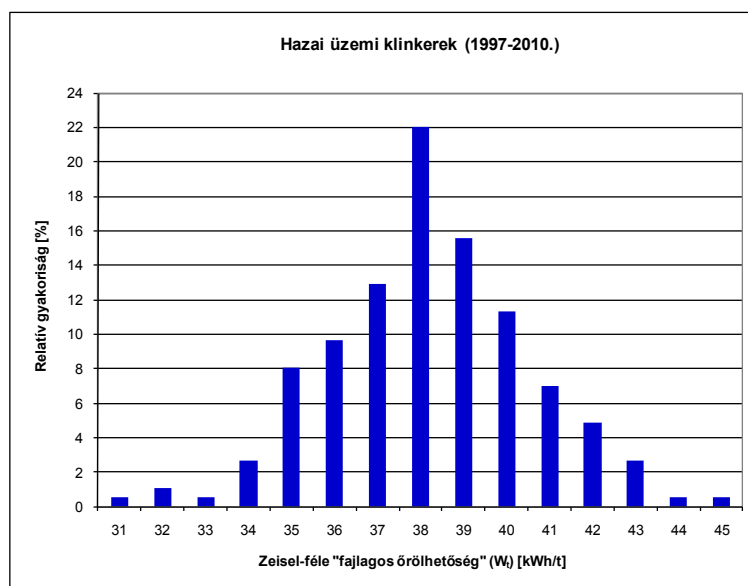
Kutatómunkám során a kitűzött célok elérése érdekében elsőként a klinkert vetettem vizsgálat alá, különös tekintettel az örölhetőségre és az azt befolyásoló gyártástechnológiai paraméterekre. Ezt követően granulált kohósalak, erőműi filterpernye és természetes puccolán (trassz) felhasználásával szisztematikus laboratóriumi kísérleteket végeztem annak megállapítására, hogy a klinkerhez adagolt cementkiegészítő anyagok mennyisége és az örlési finomság hogyan befolyásolja az együttörléssel előállított cement minőségét, ill. alkalmazástechnikai

tulajdonságait (elsősorban nyomószilárdságát és vízigényét). Végül elvégeztem a cementkiegészítő anyagok összehasonlító értékelését a cement tulajdonságaira gyakorolt hatásuk szempontjából. A vizsgálati eredmények lehetővé teszik a csökkentett klinkerhányadú cementek gyártásának szabályozását: a cementkiegészítő anyagok mennyiségének és az őrlési finomság tudatos megválasztását a kitűzött cementminőségi (szilárdság, vízigény) követelmény elérése érdekében.

IV. Tudományos eredmények, tézisek

1. Kidolgoztam a klinkerek őrlhetőség – Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőség” (W_f) és Bond-féle „munkaindex” (W_i) – alapján történő minősítési, ill. osztályozási rendszerét.

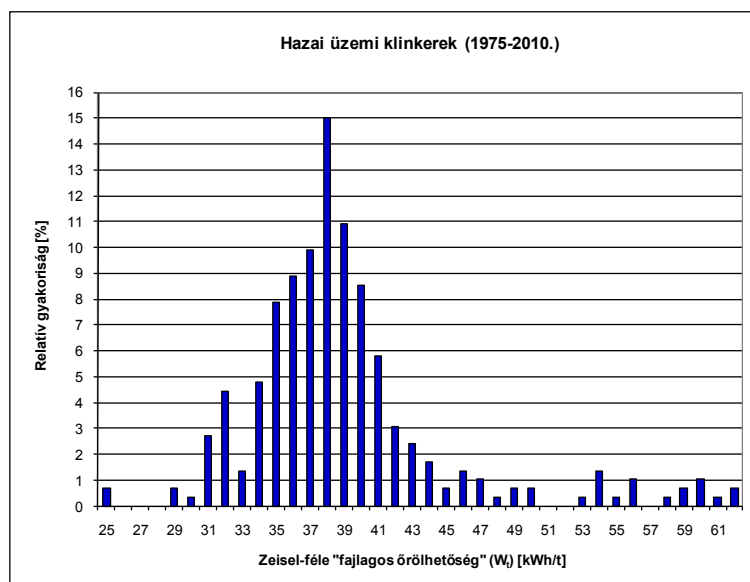
1.1. A hazai cementgyárak által 1997-2010. években gyártott 186 db üzemi klinkerminta Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőség” (W_f) értékének matematikai-statisztikai feldolgozása alapján bizonyítottam, hogy azok *normális eloszlást* követnek (1. ábra).



1. ábra: Az 1997-2010. években gyártott, ill. vizsgált üzemi klinkerek Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőségének” (W_f) relatív gyakorisági hisztogramja

A normális eloszlás statisztikai jellemzői – átlag: $\bar{x} = 37,68$ kWh/t; tapasztalati szórás: $S = 2,36$ – alapján kijelöltem az őrlhetőségi tartományok határait, mely határértékeket kerekítve kialakítottam a klinkerek Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőség” (W_f) értékének minősítési osztályait: „könnyen”, „közepesen” és „nehezen” őrlhető klinkerek. Korábbi (1975-1996. években) üzemi

klinkerek Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőségének” (W_i) értékét (2. ábra) is figyelembe véve, ill. azok minősítésére további két őrlhetőségi osztályt jelöltem ki: „rendkívül könnyen” és „rendkívül nehezen” őrlhető klinkerek (1. táblázat).



2. ábra: Az 1975-2010. években gyártott, ill. vizsgált üzemi klinkerek Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőségének” (W_i) relatív gyakorisági hisztogramja

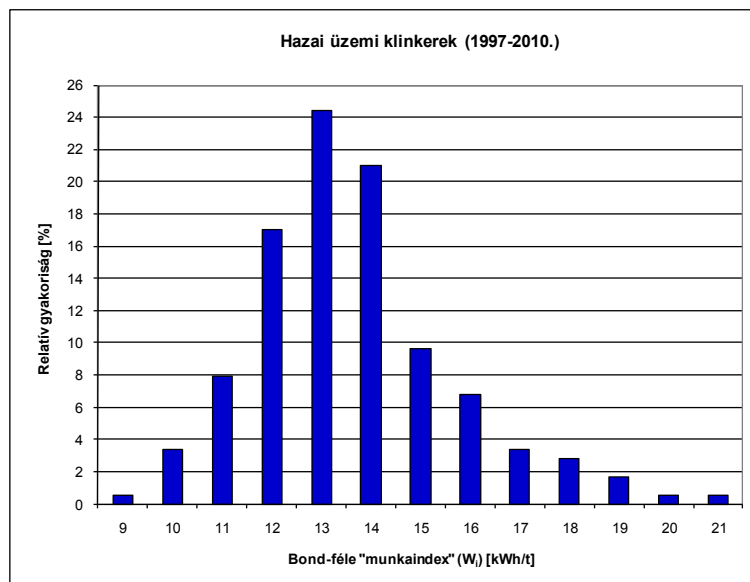
1. táblázat: A klinkerek osztályozása a Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőség” (W_i) értéke alapján

Korrigált, alkalmazásra javasolt határértékek		Minősítési osztály	Jele
Felső határ „ W_{fE} ” [kWh/t]	Alsó határ „ W_{tA} ” [kWh/t]		
	> 45	rendkívül nehezen őrlhető	RN
≤ 45	> 40	nehezen őrlhető	N
≤ 40	> 35	közepesen őrlhető	KÖZ
≤ 35	> 30	könnyen őrlhető	K
≤ 30		rendkívül könnyen őrlhető	RK

1.2 A hazai cementgyárak által 1997-2010. években gyártott 178 db üzemi klinkerminta Bond-féle „munkaindex” (W_i) értékének matematikai-statisztikai feldolgozása alapján bizonyítottam, hogy azok *lognormális eloszlást* követnek (3. ábra).

A lognormális eloszlás statisztikai jellemzői – átlag logaritmusa: $\ln \bar{x} = 2,56$ kWh/t; tapasztalati szórás logaritmusa: $\ln S = 0,15$ – alapján kijelöltem az őrlhetőségi tartományok határait, mely határértékeket kerekítve kialakítottam a klinkerek Bond-féle „munkaindex” (W_i) értékének

minősítési osztályait: „könnyen”, „közepesen” és „nehezen” őrlhető klinkerek (2. táblázat). A klinkerek Bond-féle „munkaindexének” (W_i) vonatkozásában korábbi vizsgálati eredmények nem állnak rendelkezésemre.



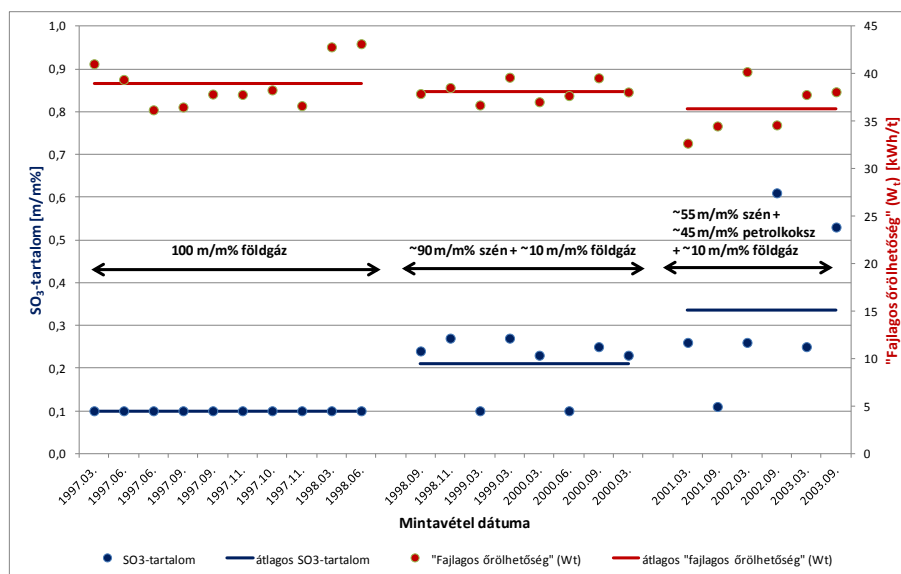
3. Az 1997-2010. években gyártott, ill. vizsgált üzemi klinkerek Bond-féle „munkaindexének” (W_i) relatív gyakorisági hisztogramja

2. táblázat: A klinkerek osztályozása a Bond-féle „munkaindex” (W_i) értéke alapján

Korrigált, alkalmazásra javasolt határértékek		Minősítési osztály	Jele
Felső határ „ W_{iF} ” [kWh/t]	Alsó határ „ W_{iA} ” [kWh/t]		
	> 15	nehezen őrlhető	N_B
≤ 15	> 11	közepesen őrlhető	$KÖZ_B$
≤ 11		könnyen őrlhető	K_B

1.3. Az üzemi klinkerek Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőségének” (W_f) eloszlása normális eloszlást, Bond-féle „munkaindexének” (W_i) eloszlása pedig lognormális eloszlást követ, ami elméleti megfontolások alapján a két vizsgálati módszer eltérő őrlési finomságával magyarázható. Ugyanis a Bond-féle módszer az őrlés durva tartományára jellemző, ezért lényegesen kisebb – 0-hoz közelebbi – őrlhetőségi számot eredményez, ami az eredmények eloszlását alulról korlátozza és lognormálissá „torzítja”. Ez magyarázatul szolgálhat Unland (2003) megállapítására is, miszerint a kisebb őrlési finomságra – 3000 cm²/g fajlagos felületre – vonatkoztatott Zeisel-féle őrlhetőség értékek eloszlása lognormális.

2.2. Üzemi klinkerek komplex vizsgálata alapján bizonyítottam, hogy a *széntüzelés*, valamint a *petrolkoks* felhasználása, ill. a klinker ezáltal megnövekedett SO_3 -*tartalma* az *örölhetőséget kedvező* irányba befolyásolja (4. ábra), ugyanis az $[SO_4]^{2-}$ -ionok az alit(C_3S)- és belit(C_2S)-kristályokba beépülve $[(SO_4)^{2-} \rightarrow (SiO_4)^{4-}]$ *csökkenthetik azok mikrokeménységét* [27], [28].



2.3. A cementiparban felhasználásra kerülő alternatív anyagokban leggyakrabban előforduló elemek: *króm(Cr)*, *cink(Zn)*, *bárium(Ba)*, *nikkel(Ni)*, *titán(Ti)* és *foszfor(P)* – a nikkel (Ni) kivételével – *kedvezően befolyásolják a klinker örlhetőségét*, ugyanis a klinkerásványokba beépülve megváltoztatják azok kristályszerkezetét, mikro- és makrotulajdonságait, végső soron a klinker fizikai-mechanikai tulajdonságait. Az etalon és a nyomelemet tartalmazó

modellklinkerek mérési eredményei közötti négyzetes középeltérések alapján az egyes nyomelemeket *a klinker őrlhetőségére gyakorolt hatásuk szerint rangsoroltam* (3. táblázat).

3. táblázat: Nyomelemek rangsorolása a klinker őrlhetőségére gyakorolt hatásuk alapján

Őrlhetőségre gyakorolt hatás	Rangsor	Nyomelem
Kedvező 	1	Titán (Ti)
	2	Bárium (Ba)
	3	Króm (Cr)
	4	Cink (Zn)
	5	Foszfor (P)
Elhanyagolható	-	Nikkel (Ni)

2.4. Üzemi klinkerek komplex vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőség” (W_i) értékét elsősorban a klinker mikroszerkezete – a klinkerásványok mennyisége, állapota – befolyásolja és így egyben *anyagjellemzőnek* is tekinthető, míg a Bond-féle „munkaindex” (W_i) értékének alakulásában sokkal inkább a klinker makroszerkezete – porozitása, repedezettsége – játszik meghatározó szerepet. Fentiekből következően a klinker őrlhetősége – Zeisel-féle „fajlagos őrlhetőség” (W_i) és Bond-féle „munkaindex” (W_i) értéke – és kémiai-ásványi összetétele, valamint a gyártástechnológiai paraméterek között matematikai összefüggések nem határozhatók meg, de általános megállapítások tehetők.

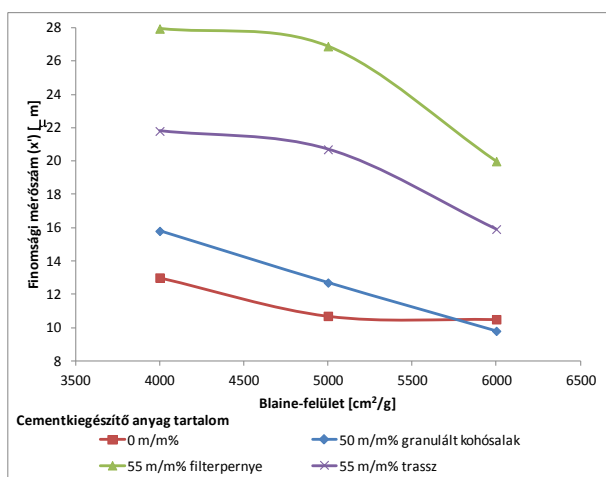
3. A csökkentett klinkerhányadú cementek együttőrléssel történő előállításakor a cementkiegészítő anyagok befolyásolják a cement szemcseméret-eloszlásának – finomsági mérőszámának (x') és egyenletességi tényezőjének (n) – valamint vízigényének (v) alakulását: mindhárom tényező vonatkozásában a kohósalak adagolásával előállított cement viselkedése csaknem azonos, ezzel szemben a pernye és a trassz adagolásával előállított cementeké alapvetően eltér a cementkiegészítő anyagot nem tartalmazó cement viselkedésétől.

3.1. A klinker és a cementkiegészítő anyagok együttőrlésekor az őrlési finomság (Blaine-felület) növelésével a finomsági mérőszám (x') minden esetben csökken, még a finomabb – 5000 és 6000 cm²/g közötti – őrlési tartományban is (5/a. ábra).

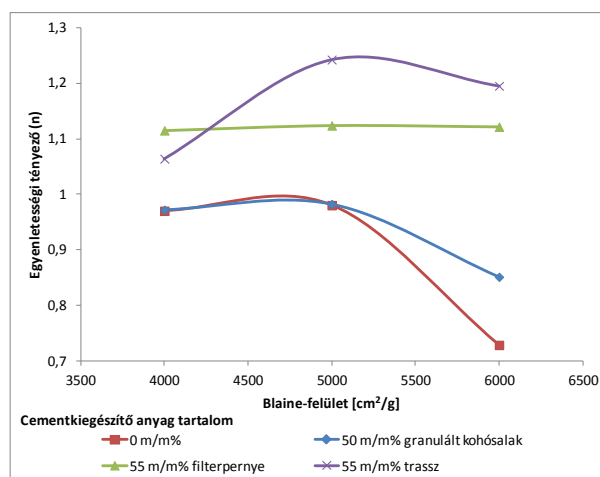
3.2. Együttőrléskor a cementkiegészítő anyagok a cement egyenletességi tényezőjét (n) eltérően befolyásolják, mégpedig a granulált kohósalak ~ 5000 cm²/g Blaine-felületig gyakorlatilag nem

befolyásolja, további őrléskor kissé csökkenti. A filterpernye együttőrléskor minden őrlésfinomságnál jelentősen megnöveli a cement egyenletességi tényezőjét (n), míg a trassz hatása a finomabb – 5000 és 6000 cm^2/g közötti – őrlési tartományban jelentősebb (5/b. ábra).

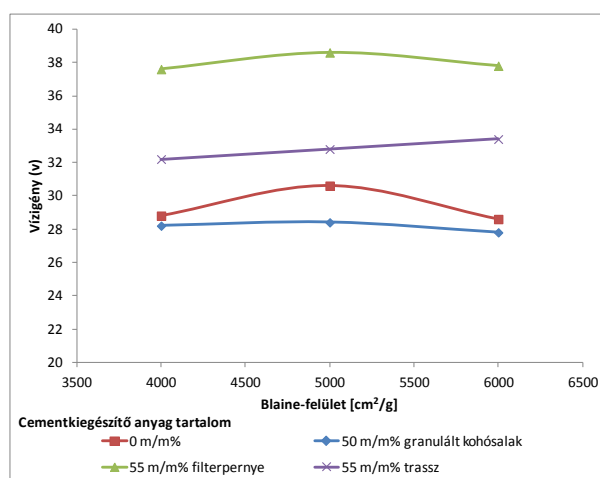
3.3. Együttőrléskor a cementkiegészítő anyagok a cement vízigényét is befolyásolják, hatásuk azonban az őrlési finomság (Blaine-felület) növelésével nem változik számottevően (5/c. ábra).



a.



b.

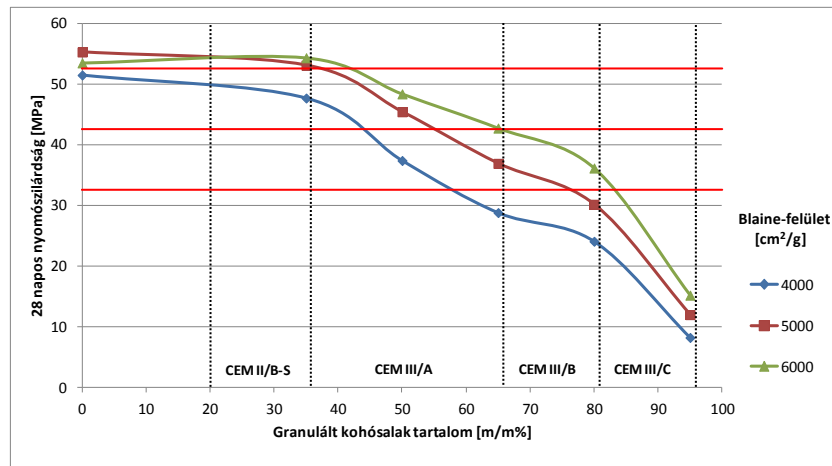


c.

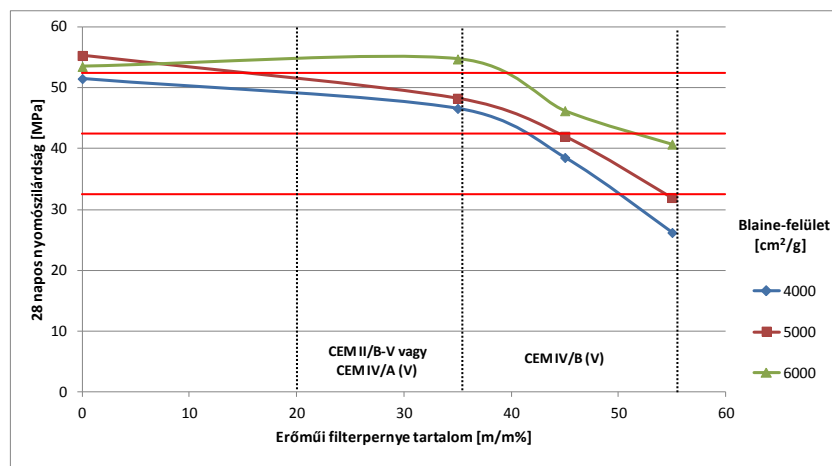
5. ábra: A cement finomsági mérőszámának (x'), egyenletességi tényezőjének (n) és vízigényének (v) változása az őrlési finomság (Blaine-felület) függvényében a cementkiegészítő anyagok és klinker együttőrlésekor

4. A csökkentett klinkerhányadú cementek nyomószilárdsága a cementkiegészítő anyag mennyiségének növelésével szignifikánsan csökken.

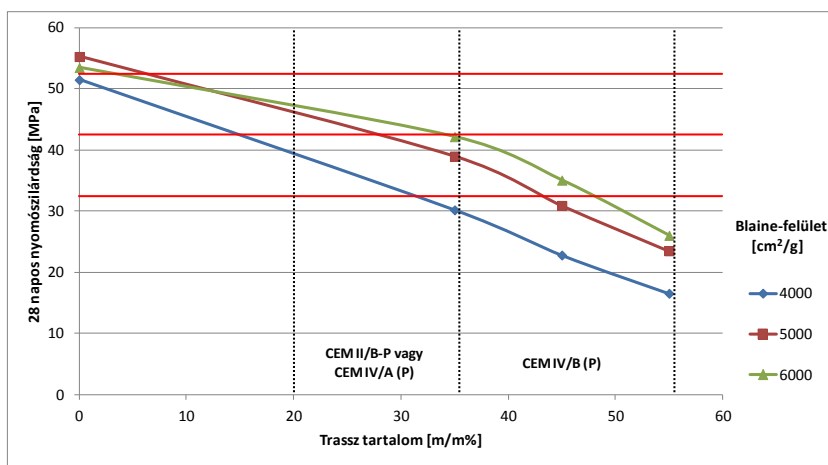
4.1. A cementkiegészítő anyag mennyiségének növeléséből eredő szilárdságsökkenés azonban minden esetben az őrlési finomság növelésével – a cementkiegészítő anyagra jellemző határok között – ellensúlyozható (6-8. ábra).



6. ábra: A granulált kohósalak-tartalmú cementek 28 napos nyomószilárdságának változása a granulált kohósalak tartalom és a Blaine-felület függvényében

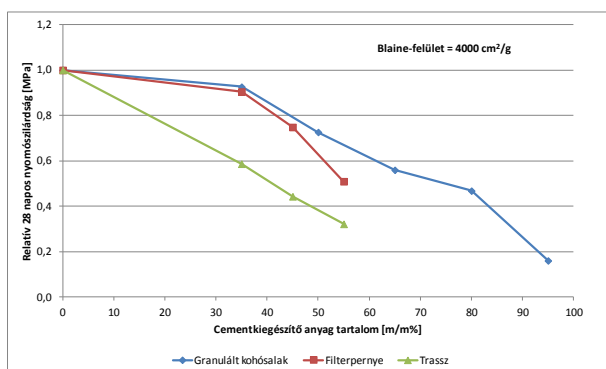


7. ábra: A filterpernye-tartalmú cementek 28 napos nyomószilárdságának változása a filterpernye tartalom és a Blaine-felület függvényében

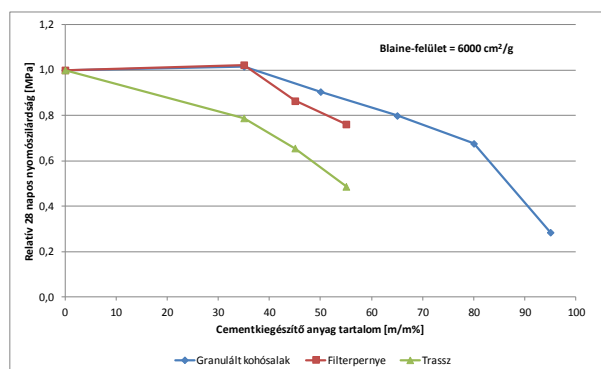


8. ábra: A trassztartalmú cementek 28 napos nyomószilárdságának változása a trassz tartalom és a Blaine-felület függvényében

4.2. A cement nyomószilárdságát legnagyobb mértékben a trassz, legkevésbé a granulált kohósalak csökkenti, a filterpernye pedig a kettő között helyezkedik el. A granulált kohósalak és a filterpernye 35 m/m% tartalomig alig csökkenti a nyomószilárdságot, ezzel szemben már kis mennyiségű trassz adagolása is a nyomószilárdság drasztikusabb csökkenésével jár (9/a-b. ábrák).



a.



b.

9. ábra: A különböző őrlési finomságú (Blaine-felület) cementek relatív 28 napos nyomószilárdságának változása a cementkiegészítő anyag tartalom függvényében

4.3. Előbbiek magyarázata a cementkiegészítő anyagok eltérő aktivitása, ami a nagymennyiségű cementkiegészítő anyagot tartalmazó, nagyobb őrlési finomságú cementek előállításánál történő

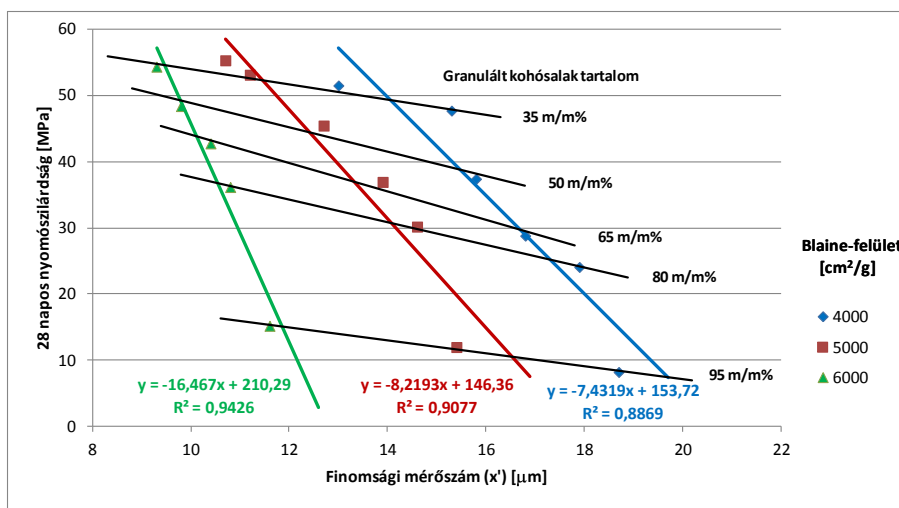
felhasználás esetén inkább jellemezhető az aktivitási jelzőszámokkal, mint a szilárdsági hatásokkal (4. táblázat).

4. táblázat: Cementkiegészítő anyagok aktivitási jelzőszámai

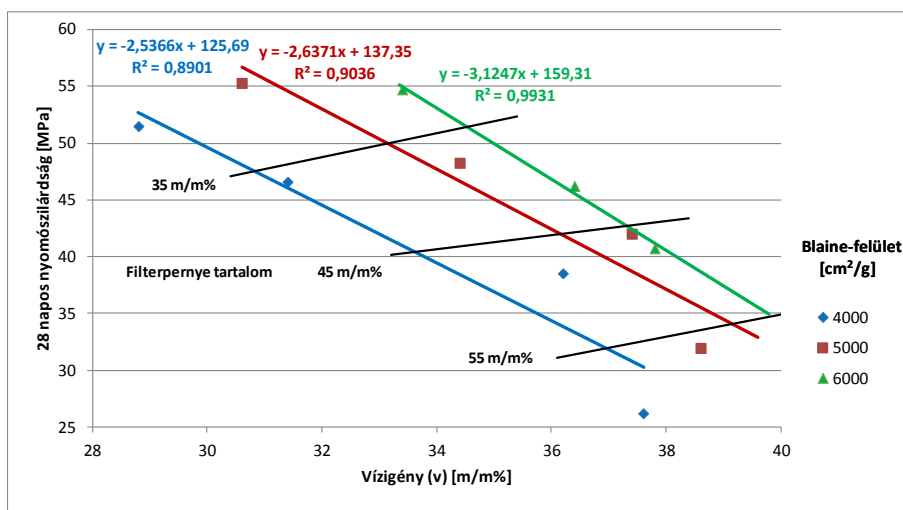
Cementkiegészítő anyag	Aktivitási index		Szilárdsági hatások (H)
	I _a DIN	I _a ASTM	
Dunaújvárosi granulált kohósalak	1,59	1,26	0,91
Filterpernye	0,90	0,38	0,84
Trassz	0,64	0,17	0,82

5. Az értekezésben közölt vizsgálati és értékelési módszer, amely az klinker és a cementkiegészítő anyagok anyagi jellemzőit (aktivitási indexek, összetételi indexek), továbbá azok örlhetőségi (örlhetőségi indexek) és örlményeik finomsági jellemzőit, valamint alkalmazástechnikai tulajdonságait (szilárdság, vízigény) egyidejűleg, együtt és különörlés mellett egyaránt vizsgálja és függvényekkel értékeli, lehetővé teszi a csökkentett klinkerhányadú cementek gyártásának tudatos szabályozását – a cementkiegészítő anyag mennyiségének és a cement örlési finomságának beállításával – a kitűzött minőségi követelmény (vízigény, nyomószilárdság) elérése érdekében.

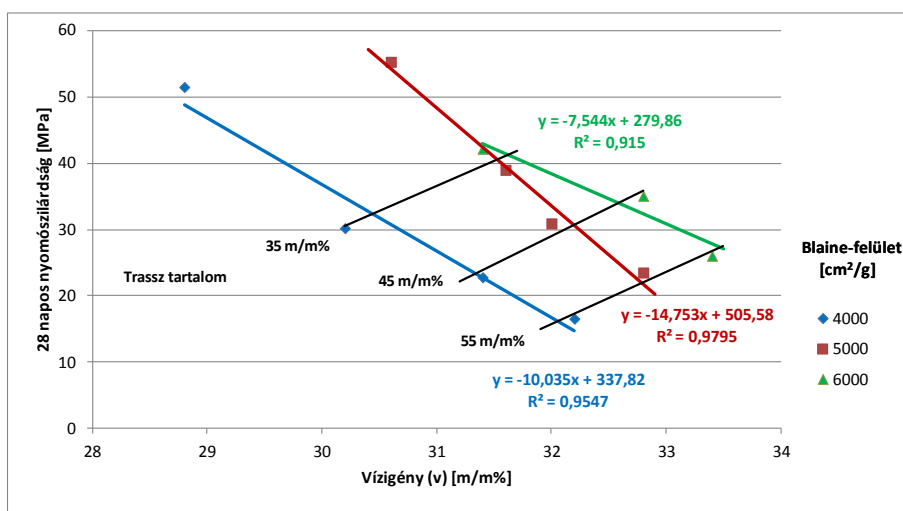
5.1.A vizsgálati eredmények alapján megszerkesztett nomogramok felhasználásával az előírt szilárdsági követelményeket kielégítő granulált kohósalak-tartalmú cementek összetétele és örlési finomsága tervezhető (10. ábra), filterpernye és trassz felhasználása esetében pedig a szilárdság mellett a vízigény is szabályozható (11-12. ábra)



10. ábra: A granulált kohósalak-tartalmú cementek cementkiegészítő anyag tartalma, örlési finomsága [Blaine-felület és finomsági mérőszám (x')], valamint 28 napos nyomószilárdsága közötti összefüggések



11. ábra: A filterpernye-tartalmú cementek cementkiegészítő anyag tartalma, őrlési finomsága (Blaine-felület) és vízigénye (v), valamint 28 napos nyomószilárdsága közötti összefüggések



12. ábra: A trassztartalmú cementek cementkiegészítő anyag tartalma, őrlési finomsága (Blaine-felület) és vízigénye (v), valamint 28 napos nyomószilárdsága közötti összefüggések

5.2. A különböző cementkiegészítő anyagok eltérően befolyásolják a csökkentett klinkerhányadú cementek szemcseméret-eloszlását és ezáltal a cement különböző minőségi jellemzőinek alakulásában játszanak meghatározó szerepet. A granulált kohósalak elsősorban a cement szemcseméret-eloszlásának finomsági mérőszámát (x') és nyomószilárdságát, míg az erőműi filterpernye és a trassz a cement szemcseméret-eloszlásának egyenletességi tényezőjét (n) és vízigényét (v) befolyásolja.

6. A vonatkozó cement termékszabványban szereplő minőségi jellemzők nem elegendők a granulált kohósalakok minőségének megítéléséhez. A granulált kohósalakra, mint

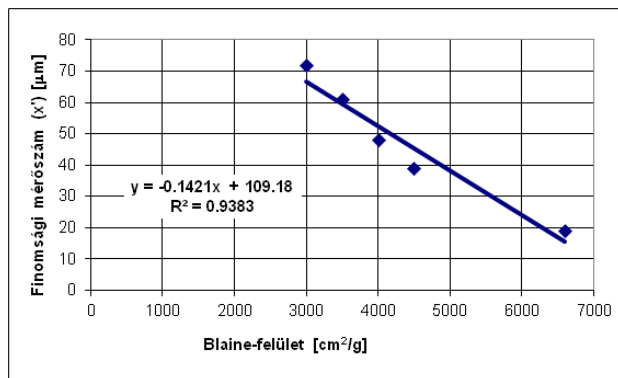
cementkiegészítő anyagra (EN 197-1) vonatkozó követelmények (üveges és kristályos fázisok mennyisége, a CaO, MgO és SiO₂ mennyisége) alapján nem lehet egyértelmű következtetést levonni a granulált kohósalak hidraulikus aktivitására (szilárdsági határfok) vonatkozóan. A granulált kohósalakok *hidraulikus aktivitásának* jellemzésénél, ill. cementkiegészítő anyagként történő felhasználhatóságának megállapításánál azok *modulusokkal* (M_a , M_b) és *aktivitási indexekkel* ($I_{a\text{ DIN}}$, $I_{a\text{ ASTM}}$) jellemezhető *összetételét* is figyelembe kell venni (5. táblázat).

5. táblázat: Dunaújvárosi és kassai granulált kohósalak fontosabb minőségi jellemzői

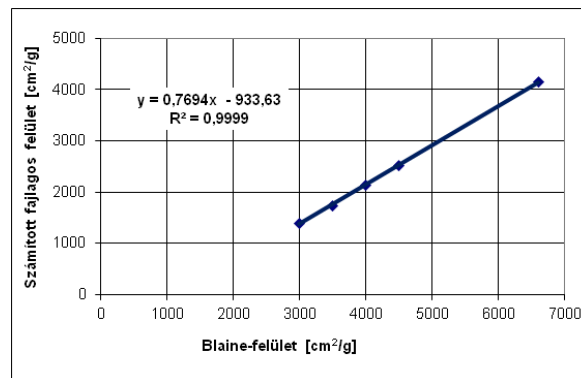
		Dunaújvárosi	Kassai
Aktivitási modulus (M_a)	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$	0,22	0,19
Bázicitási modulus (M_b)	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$	1,12 (bázikus)	0,93 (savanyú)
DIN Aktivitási index ($I_{a\text{ DIN}}$)	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$	1,59	1,29
ASTM Aktivitási index ($I_{a\text{ ASTM}}$)	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + 1/3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + 2/3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}$	1,26	1,04
Szilárdsági határfok (H)		0,91	0,85
Üveges fázis mennyisége [%]		~ 60	~ 85

7. A filterpernye és azt különböző mennyiségben tartalmazó cementek finomságáról, ill. fajlagos felületéről hitelesebb információt kapunk, ha ezen értéket a szemcseösszetételből, ill. a szemcseméret-eloszlásból hatványfüggvényes közelítéssel számítjuk (számított fajlagos felület).

Összefüggést állapítottam meg a filterpernyék permeabilitásos módszerrel meghatározott Blaine-felülete, finomsági mérőszáma (x') és számított fajlagos felülete között (13-14. ábra).



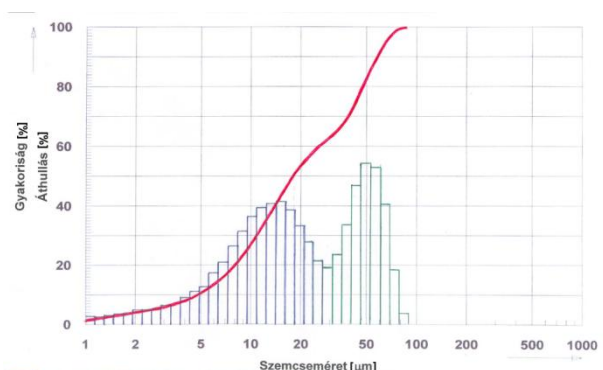
13. ábra: Az eredeti állapotú és őrlött filterpernyék finomsági jellemzői: Blaine-felülete és finomsági mérőszáma (x') közötti összefüggés



14. ábra: Az eredeti állapotú és őrlött filterpernyék finomsági jellemzői: Blaine-felülete és számított fajlagos felülete közötti összefüggés

8. Bizonyítottam a külön-, ill. kombinált őrlési eljárás előnyét a csökkentett klinkerhányadú, filterpernye-tartalmú cementek előállításánál. A filterpernye puccolános aktivitásának – és így a pernyetartalmú cementek szilárdságának növeléséhez – elegendő csak a filterpernye durva frakcióit megőrölni.

8.1. Megállapítottam, hogy a hazai cementiparban felhasznált filterpernyék általában kettős csúcsú, ún. bimodális szemcseösszetétellel rendelkeznek (15. ábra), valamint a „finom” ($< 30 \mu\text{m}$) és „durva” ($> 30 \mu\text{m}$) frakció kémiai összetétele különböző, mégpedig a „durva” ($> 30 \mu\text{m}$) frakció nagyobb mennyiségben tartalmaz reakcióképes SiO_2 -t és CaO -t, mint a „finom” ($< 30 \mu\text{m}$) frakció (6. táblázat).

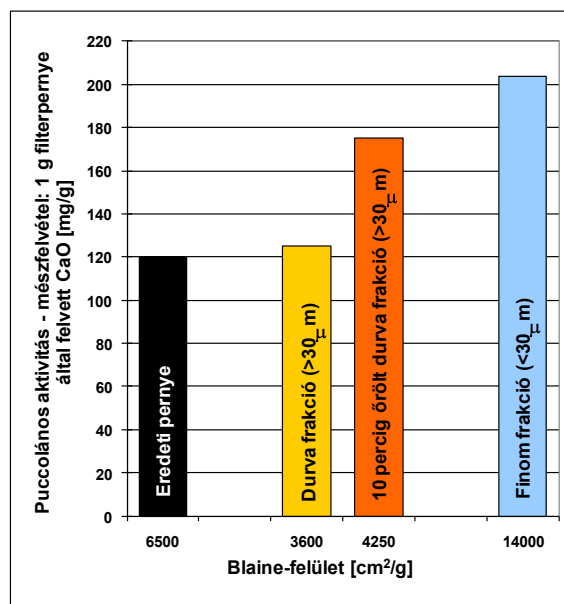


15. ábra: Filterpernye szemcseösszetétele, ill. szemcseméret-eloszlása

6. táblázat: Filterpernye frakcióinak fajlagos felülete és kémiai összetétele

	„Finom” ($< 30 \mu\text{m}$)	„Durva” ($> 30 \mu\text{m}$)
frakció		
Blaine-felület [cm^2/g]	14000	3600
Fontosabb komponensek [m/m%]		
izzítási veszteség	4,00	2,04
SiO_2	35,19	50,27
reakcióképes SiO_2	26,13	33,89
CaO	18,89	9,77
reakcióképes CaO	4,10	7,03
Al_2O_3	13,91	18,04

8.2. Bizonyítottam, hogy a filterpernye puccolános aktivitásának növelése céljából elegendő csak a durva szemcséket megőrölni. A filterpernye „durva” ($> 30 \mu\text{m}$) frakciójának puccolános aktivitása kisebb, mint a „finom” ($< 30 \mu\text{m}$) frakcióé, a „durva” ($> 30 \mu\text{m}$) frakció finomságának őrléssel történő növelésével azonban a filterpernye puccolános aktivitása nagymértékben növelhető (16. ábra).



16. ábra: Az eredeti állapotú filterpernye, valamint „finom” ($< 30 \mu\text{m}$) és „durva” ($> 30 \mu\text{m}$) frakcióinak puccolános aktivitása

8.3. Kísérleti úton bizonyítottam, hogy a *legkedvezőbb nyomószilárdságú* filterpernye-tartalmú csökkentett klinkerhányadú cement előállítása *a klinker és a filterpernye „durva” ($> 30 \mu\text{m}$) frakciójának együttőrlésével, ill. a filterpernye „finom” ($< 30 \mu\text{m}$) frakciójának utólagos hozzákeverésével* valósítható meg.

V. Az értekezés eredményeinek hasznosítási lehetőségei

Az értekezés eredményei a cementipari gyakorlatban hasznosíthatók, ill. egyes eredmények már hasznosításra is kerültek.

A klinkerek őrlhetősége és az azt befolyásoló tényezők közötti összefüggések ismeretében kimutatható, hogy egy üzemi cement őrlési energiaigényének megváltozása az őrlő-osztályozó rendszer működésének vagy a klinker őrlhetőségének megváltozására vezethető-e vissza, ill. a gyártástechnológiában történt változtatások befolyásolják-e a klinker őrlhetőségét, szükséges-e a malmok működését felülvizsgálni. Emellett bizonyos technológiai változtatásokkal lépések tehetők a könnyebben őrlhető klinkerek előállításának irányába.

Mivel az egyik hazai cementgyárban 2007-2009. között egy átfogó fejlesztési program keretében a teljes klinkergyártó technológiai sort modernizálták, így nagy érdeklődés mutatkozott a cementgyár részéről az új gyártósoron *előállított klinkerek komplex – kémiai-ásványi összetétel, szövetszerkezet, őrlhetőség – vizsgálata* iránt. Ezen – *jelenleg is folyamatban lévő – kutatás* során 1996-ig visszamenően évente elvégzem a klinkerek őrlhetőségi vizsgálati eredményeinek feldolgozását, ill. értékelését különös tekintettel az adott cementgyárban végrehajtott egyes technológiai változtatásokra.

A csökkentett klinkerhányadú, pernyetartalmú cementek üzemi körülmények között történő előállításánál az őrlésre fordított energia csökkenthető az általam javasolt kombinált (különőrlés + keverés) őrlési eljárás alkalmazásával. A cementipari gyakorlatban ez olyan módon valósítható meg, hogy a filterpernyét a szélosztályozóba adagolják, majd, a leválasztott durva frakciót a cementmalomba vezetik, a „finom” frakciót pedig közvetlenül a cementhez adagolják, ill. keverik. Ezen elképzelést a 2006-2008. években az egyik hazai cementgyárban a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet és a Cemkut Kft. által közösen a „Klinkertakarékos, környezetbarát cement előállítását elősegítő őrléstechnikai kutatások” c. Innovációs kutatás keretében végzett kísérletek tapasztalatai is alátámasztják.

Kutatási eredményeim a 2007. évtől *a hazai Cementipari Társaságok közös megbízásából végzett és jelenleg is folyamatban lévő „A nagy mennyiségű, egy vagy több cementkiegészítő anyagot tartalmazó hazai kompozit-portland- és kompozitcementek teljesítőképességének és azt befolyásoló minőségi és technológiai paraméterek vizsgálata”* c. kutatási téma keretében is hasznosításra kerülnek. Emellett megalapozzák a speciális minőségi követelményeket kielégítő, kis klinkerhányadú, új típusú ún. CEM X cementek hazai bevezetését, melyek tulajdonságai nagymértékben függenek a lokálisan hozzáférhető cementkiegészítő anyagok minőségétől és adagolandó mennyiségétől. A CEM X cementek műszaki előírásainak, ill. az európai szabvány kidolgozása a CEMBUREAU CEN TC51 WG6 munkacsoportjának feladatát képezi, azonban ezen cementek reális összetételének kidolgozása csakis a cementipar helyi adottságainak figyelembevételével, kísérleti úton lehetséges.

Kutatási eredményeim környezetvédelmi szempontból is hasznosíthatók, ugyanis a gyártott cementek klinkerhányadának csökkentése hozzájárul a cementipar CO₂-emissziójának további csökkentéséhez.

További kutatásaim során tervezem *a különőrléssel előállított csökkentett klinkerhányadú cementek* összetétele, őrlési finomsága és minősége közötti általános érvényű összefüggések vizsgálatát is. Kutatásaim ilyen irányú folytatásának aktualitását az adja, hogy:

- egyrészt a mérnöki építményeknek és így az előállításukhoz felhasznált cementeknek is egyre speciálisabb követelményeknek kell megfelelni, ami az jelenti, hogy a cementgyártóknak egyre gyakrabban kell majd az *egyedi igényeknek megfelelő összetételű, piacorientált cementeket* előállítani, amire a *különőrlési + keverési technológia* alkalmasabb;
- másrészt a hazánkban 2011-ben megépült új cementgyárban *adottak a különőrlési + keverési technológia megvalósításának műszaki feltételei*, azonban *e technológia bevezetése számos laboratóriumi és üzemi kísérlet elvégzését és értékelését igényli.*

VI. Irodalom

- [1] Beke, B.: A cementipar néhány őrlési kérdéséről. Tudományos közlemények 33, Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet (1969) Budapest
- [2] Beke, B.: A finomőrlés folyamata (Kézirat). Budapesti Műszaki Egyetem Továbbképző Intézete, Budapest (1975)
- [3] Beke, B.: Aprításelmélet. Szilikátkémiai Monográfiák IV., Akadémiai Kiadó, Budapest (1963)

- [4] Beke, B.: Őrlemények szemcseméret-eloszlásának egyenletességi tényezője. *Műszaki Tudomány* 44 (1971) pp. 83-96
- [5] Opoczky Ludmilla: Cementőrlési folyamatok tanulmányozása és intenzifikálása felületaktív anyagok alkalmazásával. Kandidátusi értekezés, Budapest 1968
- [6] Opoczky, L. – Wojnárovitsné, H.I.: Klinkerőrlemény szemcséinek morfológiája és összetétele. *Építőanyag XXXV.* (1983) 7. szám pp. 241-245
- [7] Opoczky, L.: Mahltechnische und Qualitätsfragen bei der Herstellung von Kompositzementen. *Zement-Kalk-Gips* 46 (1993) Nr.3, S.136-140
- [8] Opoczky, L.: Possibilities for influence the particle size distribution in production of composite cements. *Európai Vegyészmérnöki Aprítási és Osztályozási Munkabizottság Egri ülésén (Comminution Conference) elhangzott előadások különkiadványa. Miskolci Egyetem* (1995), pp.1-18
- [9] Opoczky, L. – Hilger, M.: Grinding technology and quality of composite cements. *Proc. of the 10th Int. Congress on the Chem. of Cement (Göteborg, Sweden) Vol.1.* (1997) 1i009 4pp
- [10] Opoczky, L.: Grinding technical questions of producing composite cement. *Int. J. of Miner. Processing* 44-45 (1996) pp. 395-404
- [11] M. Révay – F. Illés: Effect of the partial dispersity of the components on the properties of composite mixtures. *HUN-Pra-PARTEC Int. Conf. on Practical Aspects of Particle Technology, Proceedings* pp. 141-146, Budapest 2001
- [12] Mrákovitsné, T.K. – Verdes, S.: Őrlési problémák nagyszilárdságú cementek előállításánál. *Építőanyag XXXVIII.* (1986) 9. szám pp. 257-261
- [13] Sas, L.: Effect of coarse quartz and limestone grains on the properties of raw meal, clinker and cement. *Proc. of the 10th Int. Cong. on the Chemistry of Cement, Göteborg, Vol.1.* (1997) 1i048 8pp
- [14] G. Unland – K. Meltke – O. Popov – F. Silbermann: Assessment of the grindability of cement clinker. Part 2, *Cement International* 2/2003 Vol. 1, pp. 54-63
- [15] Hills, L.M.: Clinker Microstructure and Grindability: Updated Literature Review, Research & Development Information, PCA R&D Serial No. 2967 (2007)
- [16] Opoczky Ludmilla: A pernyék szilikátkémiai tulajdonságai. "Tiszta környezetünkért" Szénerőműi pernyék hasznosításával tudományos konferencián elhangzott előadás, *A Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat, Bányászat*, 55. kötet, (2001) p. 97-106, Egyetemi Kiadó, Miskolc 2001
- [17] L. Opoczky – F.D. Tamás: Multicomponent Composite Cements. *Advances in Cement Technology: Chemistry, Manufacture and Testing* (Editor: S.N. Gosh) pp. 559-594, Tech Books International, New Delhi 2002
- [18] L. Opoczky – S. Verdes – K. Mrákovits Török: Grinding Technology for Producing High Strength Cement of High Slag Content. 1. World Cong. Particle Technology, 6. European Symp. Comminution, Preprints pp. 281-294, Nürnberg 1986
- [19] Révay M. – Opoczky L.: A HCM Rt. által gyártott trassz- és kompozit portlandcementek néhány jellemző tulajdonsága. *Beton VII. évf. 1. szám* 1999 pp. 3-7
- [20] Csőke, B., Mucsi, G., Sik, Cs.: Production and practical application of mechanically activated fly ash-based binding material. *VIIth Int. Conf. on Mechanochemistry and Mechanical Alloying, Jamshedpur, India* 2008
- [21] Csőke, B., Mucsi, G., Gál, A., Szabó, M.: Mechanical activation of lignite fly ash and brown coal fly ash and their use as constituents in binders. *Cement International* No. 4/2009 Vol. 7, pp. 76-85
- [22] Detwiler, R.J. – Bhatti, J.I. – Bhattacharja, S.: Supplementary Cementing Materials for Use in Blended Cements. *Research and Development Bulletin RD112T*, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 1996
- [23] M. Öner: A study of intergrinding and separate grinding of blast furnace slag cement. *Cement and Concrete Research* 30 (2000) 473-480
- [24] Singh, N.B. – Middendorf, B.: Chemistry of blended Portland cements. Part 1: Natural pozzolanas, fly ashes and granulated blastfurnace slags. *Cement International*, 4/2008, Vol. 6. pp. 76-88
- [25] N.B. Singh – B. Middendorf: Chemistry of blended Portland cements. Part 2: silica fume, metakaolin, reactive ash from agricultural wastes, inert materials and non-Portland blended cements. *Cement International*, 6/2009, Vol. 7. pp. 78-90
- [26] Djuric, M. – Ranogajec, J.: Mathematical Modelling in Cement Technology. *Advances in Cement Technology: Chemistry, Manufacture and Testing* (Editor: S.N. Gosh) pp. 203-243, Tech Books International, New Delhi 2002
- [27] Juhász, A. Z. - Opoczky, L.: Mechanical Activation of Minerals by Grinding. *Akadémiai Kiadó - Ellis Horwood Ltd Publishers*. Budapest - Chichester 1990
- [28] Z. Juhász – L. Opoczky: Mechano-Chemistry and Agglomeration. *Progress in Mining and Oilfield Chemistry, Vol. 5: Advances in Incremental Petroleum Production* (Editor: I. Lakatos) pp. 405-412, Akadémiai Kiadó, Budapest 2003

VII. Az értekezés témakörében készült publikációk jegyzéke

Gável Viktória – Opoczky Ludmilla – Sas László: A technológiai paraméterek és a klinker szövetszerkezete, valamint az őrlőhetőség közötti összefüggés. *Építőanyag* **52** (2000) pp. 34-39.

Gável, Viktória – Opoczky, Ludmilla – Sas, László: Knowing clinker microstructure – a possibility to influence grindability through technology. 22nd International Conference on Cement Microscopy (ICM) (2000) Montreal, Quebec pp. 215-225

Jankó András – Gável Viktória: Kivirágzási jelenségek a beton felületén. *Beton* VIII. évf. (2000) 7-8.sz. pp. 12-14.

Gável Viktória: A cementminőség szerepe betonadalékszer alkalmazásakor. *Építőanyag* **53** (2001) pp. 115-118.

Gável Viktória – Hatvani Zoltán: A nagynyomású hengermalom cementipari alkalmazásának lehetőségei. *Építőanyag* **54** (2002) pp. 23-26.

Révay, M. – Gável, V.: Thaumassite Sulfate Attack at the Concrete Structures of the Ferenc Puskás Stadium in Budapest. First International Conference on Thaumassite in Cementitious Materials, BRE Garston 19-21 June 2002 (CD)

Opoczky, Ludmilla – Gável, Viktória: Effect of certain trace elements on the grindability of cement clinkers in the connection with the use of wastes. 10th European Symposium on Comminution, Heidelberg, 2nd-5th September 2002, p. 11 (CD)

L. Opoczky – V. Gavel: Effect of Certain Trace Elements on Grindability of Cement Clinkers Connected with Use of WA. Focus on Remaining Oil and Gas Reserves, Progress in Mining and Oilfield Chemistry, Vol. 4. Akadémiai Kiadó, Budapest 2002, pp. 295-304

Opoczky Ludmilla – Gável Viktória: A különőrlés előnyei kompozitcementek előállításánál. *Építőanyag* **55** (2003) pp. 2-7.

M. Révay – V. Gável: Thaumassite sulphate attack at the concrete structures of the Ferenc Puskás stadium in Budapest. *Cement & Concrete Composites* **25** (2003) 1151-1155

L. Opoczky – V. Gável: Significance of the particle size distribution of cements with fly ash admixture. PORANAL – 9th International Symposium on Particle Size Analysis, Environmental Protection and Powder Technology, Balatonfüred 2004. szeptember 5-7. (CD)

L. Opoczky – V. Gavel: Effect of Certain Trace Elements on Grindability of Cement Clinkers Connected with Use of WA. International Journal of Mineral Processing 74 (2004) S129-S136

Opoczky Ludmilla – Gável Viktória: A szemcseméret-eloszlás jelentősége pernyeadalékos cementek előállításánál. Építőanyag 56 (2004) pp. 130-133.

Opoczky Ludmilla – Gável Viktória: Egyes nyomelemek hatása a cementklinker őrlhetőségére. Építőanyag 57 (2005) pp. 5-10.

Gável, Viktória – Opoczky, Ludmilla – Sas, László: Correlations of grindability, chemical-mineral composition and texture of cement clinker. 11th European Symposium on Comminution, Budapest, 9-12 October 2006 (CD)

Csőke, Barnabás – Mucsi, Gábor – Opoczky, Ludmilla – Gável, Viktória: Modification of fly ash properties by grinding. 11th European Symposium on Comminution, Budapest, 9-12 October 2006 (CD)

B. Csőke, Dipl.-G. Mucsi, L. Opoczky, V. Gável: Modifying the hydraulic activity of power station fly ash by grinding. CEMENT INTERNATIONAL 06/2007 pp. 86-93

V. Gável, L. Opoczky, L. Sas: Investigation of the correlations between grindability, texture and production parameters of cement clinkers. CEMENT INTERNATIONAL 5/2008 pp. 38-42

Ludmilla Opoczky and Viktória Gável: Manufacture of Low-Chromate Cements. World Cement, February 2009 pp. 50-57

V. Güvel, L. Opoczky, L. Sas: Çimento Klinkerinde Öğütülebilirlik, Yüzen Dokusu ve Üretim Parametreleri Arasındaki Bağının Araştırılması (Investigation of the Correlation Between the Grindability, Texture and Production Parameters of Cement Clinker). Çimento ve Beton Dünyası (Cement and Concrete World), January February 2009 pp.62-71

Gável Viktória – Takács Enikő: Adalékszerek szerepe a betonok tartósságának alakulásában. Beton XIX. évf. (2011) 3.sz. pp. 3, 22-24.