

A cementipar ma és holnap*

Fritz Feige

a Zement Kalk Gips International folyóirat kiadója

Bauverlag GmbH, Wiesbaden

Bevezetés

A világhírű mérnök és építész, Pier Linge Nervi egyszer a (vas)betont a legjobb építőanyagként jellemezte, amelyet valaha az emberiség feltalált. Ha Nervi kijelentése helytálló, akkor a cementipar jövője biztosított. Véleményének megerősítésére gondoljuk csak el, milyen szerkezeti anyagból lehetett volna jobban megépíteni az ausztrál Sydney operaházának tetősziluettjét, az osztrák Zillergründlben található völgyzárógátat vagy az Északi-tengerben felállított olajtermelő tornyot, mint betontól! (1-3. ábra)



1. ábra. Az új operaház, Sydney (Ausztrália)



2. ábra. Völgyzárógát, Zillergründe (Ausztria)



3. ábra. Olajkutató fűrőtorony, Északi-tenger

A beton valóban évszázadunk építőanyaga. Szabadon formázható, sokféle igénybevételnek megfelel, környezetvédelmi szempontból teljesen ártalmatlan, és jelentős mértékben újra feldolgozható. Ez a nagy tömegben alkalmazott olcsó építőanyag – mint a mindennapi kenyér – létszükségletté vált minden ember számára. A betonnal kapcsolatban ugyan még a szó valódi értelmében vett anyagtudományi ismeretekről nem beszélhetünk, de az újabb tulajdonságok felfedezése és az új alkalmazási lehetőségek kifejlesztése során tudásunk bővül.

E fejlődés és a piacra tóduló más építőanyagokkal folyó verseny során, a folyamatosan élesedő környezeti szabályozás következtében a cementipar közép- és hosszú távú képe is változik.

A ma cementipara

A világtermelés 1996-ban 1,4 Mrd tonnára tehető, és óvatos becslések szerint 2005-ben eléri az 1,8 Mrd tonnát. Ötszázmillió tonnás termelésével Kína, az utóbbi években nagy előnyt szerezve, a világ legnagyobb cementgyártójává fejlődött. Miközben az ázsiai „kistigrisek” a 90-es évek második felének krízisét valószínűleg sohasem fogják kiheverni, az USA cementipara valóságos robbanást élt át. Az európai cementipar helyzete azonban, néhány ország kivételével, nem különösebben jó.

Az acélgégyártás és energiatermelés, a bankok és biztosítótársaságok példájára a cementiparban is a koncentráció került előtérbe. A globalizáció jegyében létrejövő szervezetek racionalizálják az irányítási és gazdálkodási mechanizmust, központilag alakítják ki a műszaki politikát, centralizálják az alkatrész-raktározást és -beszerzést, egyre több külső szervezetet vonnak be a karbantartásba és üzemeltetésbe.

A berendezés- és alkatrészszállítók a bekövetkezett ár- és követelményversenyben nehéz helyzetbe kerülnek, létszámuk csökken, megfelelő műszaki-gazdasági alap hiányában kevesebb a lehetőségük az új és a jövőt megalapozó technológiai és berendezésfejlesztésre. Jelenleg mind a cementkutatásban, mind a technológiai fejlődésben pangás tapasztalható.

A cementipar legfontosabb fejlődési irányzatai

Az elmúlt években a cementipar költségcsökkentő intézkedésekkel, minőség iránti elkötelezettséggel és környezeti tudattal helytállt az építőanyag-piacon. Korszerű keverőberendezésekben különleges és kompozitcementet állítanak

* 2001. november 13-15. között Visegrádon rendezett Cementipari Konferencián elhangzott előadás nyomán

elő, terjed az alternatív nyers- és tüzelőanyagok felhasználása, energiatakarékos égető- és őrloberendezéseket helyeznek üzembe, és tért hódít a fejlett irányítástechnika.

A következőkben azokról a tendenciákról adunk áttekintést, amelyek Németország cementiparát jellemzik.

A kompozitcementek jelentősége

A különleges cementek mellett egyre nő a jelentősége a kompozitcementek gyártásának, ami a cementipar válasza a CO₂-emisszióval kapcsolatos vitára. A forgókemencében nagy energiárfordítással előállított klinker részleges helyettesítése kiegészítő anyagokkal jelentékeny energiamegtakarítást eredményez. Ez még akkor is fennáll, ha figyelembe vesszük, hogy a kiegészítő anyagoknak a klinkerhez képest kisebb hidraulikus és puzzolános aktivitása következtében az azonos szilárdság biztosításához a portlandcementekhez képest finomabbra kell őrölni a kompozitcementeket.

A különböző kiegészítő anyagok alkalmazásával elérhető energiamegtakarítást az 1. táblázat tartalmazza. Itt említjük meg, hogy az új európai cementszabvány elfogadott olyan kompozitcement-fajtát is, amely csak 5% klinkert tartalmaz.

1. táblázat

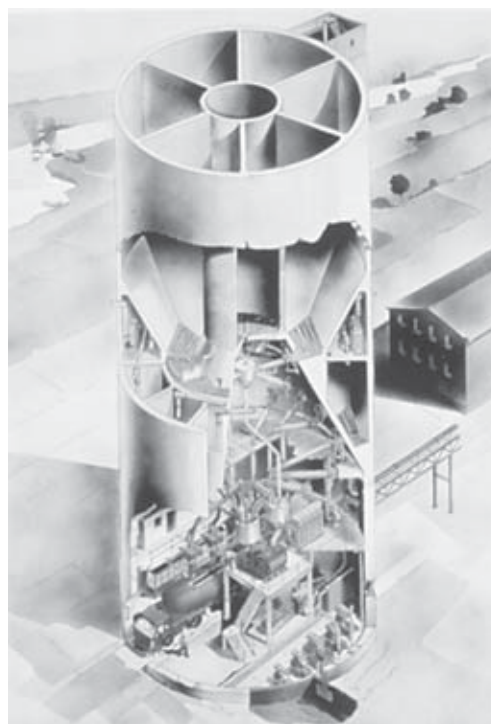
Kompozitcementekkel elérhető energiamegtakarítás

| Cementfajta | Klinker/kiegészítő anyag arány | Primer energiafelhaszn. % |
|--|--------------------------------|---------------------------|
| CEM I 32,5 Portlandcement | 100 | 100 |
| CEM II/B-S 32,5 Kohósalak-portlandcement | 70/30 | 77 |
| CEM III/A 32,5 Kohósalakcement | 50/50 | 64 |
| CEM II/B-P 32,5 Puccolán-portlandcement | 70/30 | 78 |
| CEM II/A-L 32,5 Mészköportlandcement | 80/20 | 86 |

Kompozitcementek előállítása különörléssel és ezt követő keveréssel

Az utóbbi években a minőségi, gazdasági és piacrugalmasági követelmények hatására a cementek jelentős részét már nem együttőrleléssel, hanem a komponensek különörlésével és előírt receptúra szerinti összekeverésével állítják elő. Egy német cementgyárban felállított többkamrás silóberendezést a hozzá tartozó keverővel a 4. ábrán mutatunk be. Keverőberendezésként a szárazhabarcs gyártásából ismert egytengelyű berendezések váltak be, amelyek működtetése az értékesítéshez igazodik, ugyanakkor a cementipari berendezések teljesítményével is összhangban van. A silóberendezéseket teljesen automatizálták, a komponenseknek az egyes silócellákból történő adagolásától kezdve az ömlesztett vagy zsákos késztermék kiadásáig. Az egyik legmodernebb és egyben legnagyobb kötőanyag-keverő és -kiadó berendezést

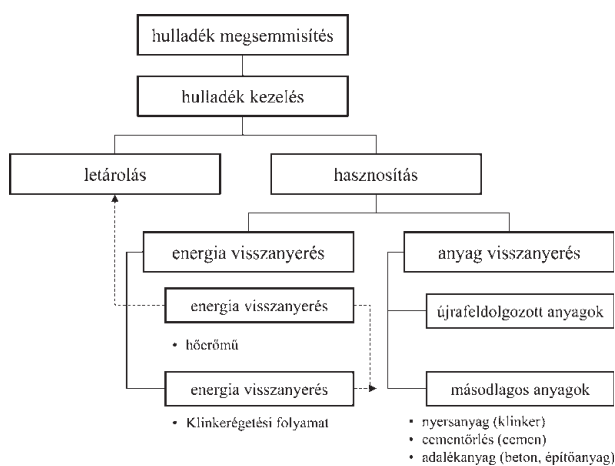
1998-ban, a német karsdorfi cementgyárban helyezték üzembe. A silónak 22 kamrája van.



4. ábra. Többkamrás siló keverővel

Alternatív nyers- és tüzelőanyagok alkalmazása

A természeti erőforrások kímélése és a költségek csökkentése érdekében vált fontossá a szekunder nyers- és tüzelőanyagok hasznosítása. A cementiparnak jutott az a szerep, hogy a forgókemence magas hőmérsékletét kihasználva az egyes iparágak hulladékait hasznosítsa. A hulladékártalmatlanítás és -hasznosítás lehetőségeit a cement, beton és más építőanyagok példáján, az 5. ábrán mutatjuk be.



5. ábra. Hulladékhasznosítás cement, beton és más építőanyagok előállításánál

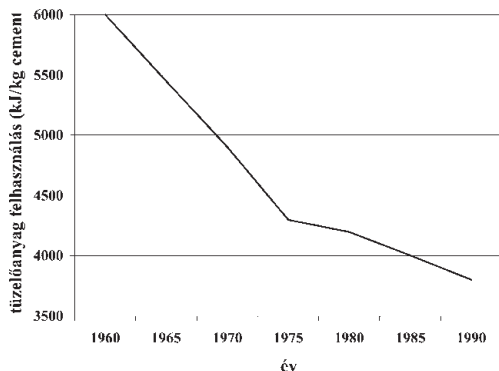
A cementiparban világszerte használt alternatív, másodlagos tüzelőanyagok a következők:

- *Szilárd*: papírhulladék, petrolkocsz, grafitpor, műanyag-hulladék, gumihulladék, használt gumiabroncs, akkuzár, aktivált bentonit, fahulladékok, rizshéj, olivamagok, kókuszdióhéj, háztartási hulladékok, olajtartalmú föld, szennyvíziszap, állati liszt.
- *Folyékony*: kátrányok, savgyanta, fáradt olaj, petrol-kémiai hulladékok, festék-hulladék, vegyi hulladékok, oldószer-hulladékok, lepárlási maradékok, viaszszuszpenziók, aszfaltiszapok, olajiszapok.
- *Gáznemű*: pirolízis gáz, biogáz.

Már jelenleg is vannak egyedi példák, amikor anyag vagy energia helyettesítésével, kohósalak vagy szennyvíziszap alkalmazásával a természetes nyersanyag és primer energiahordozó felhasználása az eddig még nem tapasztalt mértékben csökkenthető.

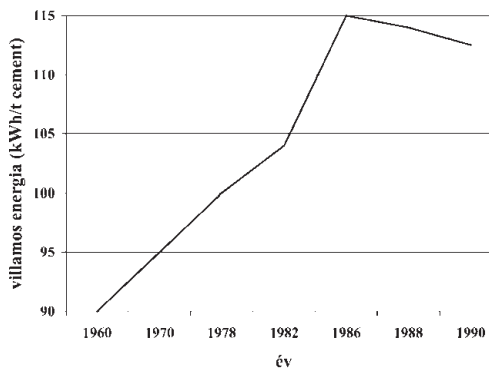
Energiamegtakarítás a klinkerégetésnél és a cementőrlésnél

A CEMBUREAU-tagok cementiparában a fajlagos hőfelhasználás alakulását 1960 óta a 6. ábra mutatja. A száraz-eljárás következtetés alkalmazásával, a kis egységek helyett nagy teljesítményű kemencék létesítésével, öt- és hatfokozatú ciklonos hőcserélők építésével, valamint a hűtőhatásfok 60%-ról 70-75%-ra történő növelésével 40 év alatt a fajlagos hőfelhasználást közel a felére csökkentették. Zavartalan üzemmenet esetén a 700 kcal/kg (~ 2900 kJ/kg) klinker fajlagos hőfelhasználással működő kemence ma már nem számít ritkaságnak.



6. ábra. A fajlagos hőfelhasználás alakulása a CEMBUREAU-országok cementiparában

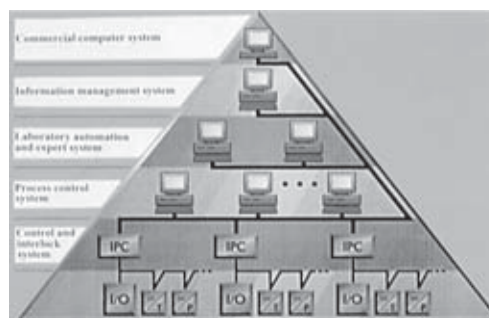
Még nagyobb az elektromosenergia-megtakarítás a cementőrlésnél, noha e megtakarítások egy részét a portalanítás, a tüzelőanyag-őrlés és az automatizálás többletköltségei felemésztették. A cementiparban a fajlagos elektromosenergia-szükséglet alakulását 1960 óta a 7. ábra mutatja. Mint látható, 1986-tól a trend csökkenő. Ezt nyilvánvalóan az energiatakarékos őrlési eljárások, a nagynyomású hengermalmok, kohósalak őrlésénél a görgősmalmok alkalmazása eredményezte.



7. ábra. A fajlagos villamosenergia-szükséglet alakulása a CEMBUREAU-országok cementiparában

Irányítástechnika és laboratóriuma automatizálás

A minőségbiztosítás követelményei és a költségsökkentési intézkedések eredményeként ma egy modern cementgyár termelési folyamatait a legkorszerűbb irányítástechnikával szabályozzák és ellenőrzik. Ma már nagymértékben automatizálták a termékkiadást és a laboratóriumi munkát is. Egy cementgyár automatizálási rendszerének felépítését a 8. ábra mutatja. A technológiai folyamatokat központi vagy decentralizált irányítási és szakértői rendszerek szabályozzák. A minőség-szabályozást és -biztosítást a laboratóriumok automatizálása szolgálja. Valamennyi folyamat és eljárás menetének, valamint ezek jellemző adatainak kiértékelését és elemzését általában egy menedzsment – információs – rendszer végzi.



8. ábra. Egy cementgyár automatizálási rendszerének hierarchikus felépítése

A holnap cementgyára

A jelen cementgyárát általában az jellemzi, hogy a mészkövet szolgáltató külszíni bánya közvetlen szomszédságába települt, száraz-eljárással működik, és egyetlen, napi 3000 t vagy nagyobb kapacitású termelővonallal rendelkezik. A környezet felé az emissziós értékeket betartja, berendezései, épületei és tárolói viszonylag nagy területet vesznek igénybe, nagyszámú silő és a hőcserélő torony emelkedik ki a tájból.

A jövő cementgyára a piachoz közelebb települ, kisebb és rugalmasabb lesz, hogy a más építőanyagokkal folytatott versenyben megőrizze a termék választékát, gyorsabban

és még jobb minőséggel tudja vevőit kiszolgálni. A kompozit- és különleges cementek növekvő jelentősége, a költségsökkenés és a természeti erőforrások kímélésének szükségessége miatt egyre több alternatív nyers- és tüzelőanyagot kell a cementgyártásban alkalmazni. A jövő cementgyára, amely esetenként csak egy őrlő- és keverőüzemből fog állni – a környezetvédelem szigorodó követelményei mellett – helyileg mind kevésbé kötődik majd a bányákhoz. Inkább a nagyvárosok szélére települ, hogy termékeit gyorsabban és a legrövidebb úton juttassa el a felhasználókhöz. A város pedig ellenszolgáltatásként az elektromos energiát, a széntüzelésű erőműből a pernyét és a gipszet, a helyi iparból származó alternatív nyers- és tüzelőanyagokat és a települési hulladékokat fogja szállítani a cementgyárnak. A korrekcióhoz szükséges nyersanyagok (például a mészkő) a környezetbarát vízi vagy vasúti szállítással jutnak el a cementgyárba. Az új cementgyár üzemeltetői között a nagy cementfelhasználók is ott lesznek, ugyanis a csak 40 vagy akár csak 5% klinkert tartalmazó cement felhasználója saját telepe udvarában maga is előállíthatja a cementet, ha a komponenseket, a „gerjesztőanyagként” használt portlandcementet vagy klinkert, valamint a kiegészítő anyagokat megvásárolja. Ez az átalakulás már megindult. Az utóbbi 10 évben létesült, az infrastruktúra szempontjából kedvező fekvésű üzemek mindössze 15-30 ezer t/év kapacitással rendelkeznek.

A jövő cementgyára egy modern vegyiüzemhez fog hasonlítani, amely kompakt felépítésű, emissziószegény és magas fokú automatizált. Nem rendelkezik majd a mai cementgyárakra jellemző nagy siló- és tárolókapacitással, sem a felhőkarcolókra emlékeztető hőcserélő toronnyal. A klinkerégetés a nagy termelési egységek helyett a kisebb és modulárisan bővíthető berendezésekben történik. A délkelet-ázsiai térségben gyakori, 10 000 t klinker/nap teljesítményű kemencék építése a cementgyártás történetében többé nem fog megismétlődni. A holnap környezettudatos társadalma nem fogja megengedni nagy termelési kapacitások koncentrációját egy helyen. Ezek nyersanyagellátása aránytalanul nagy beavatkozást igényel a természetbe, és a termék piacra juttatása is gondot okoz a közlekedésben.

A holnap cementgyártási technológiája

A jövő cementgyárának koncepciója csak akkor alapozható meg, ha a gépgyártók korábbi innovációs szerepükhöz visszatérnek, és az ipar számára új eljárások és gépek generációját

biztosítják. Az égetési és őrlési technikában olyan új eljárásokra van szükség, amelyeknek kedvező az energiahasznosítása, az időkihasználása, részterhelésekre alkalmasak, megbízhatóak és kellően automatizáltak. A 2. táblázatban bemutatunk néhány olyan kutatási témát, amelyek megvalósítása jövőbeni jelentőségük miatt nem tűr halasztást. A betontartósság alapvető szempontjainak szem előtt tartása mellett jó volna tudni, merre tart a kompozitcementek fejlődése, és melyek e cementfajta alkalmazásának határai. A gépgyártók fejlesztési érdeklődését felkeltené olyan nyersanyagkeverék kifejlesztése, amely a klinkerégetésnél a zsugorodási hőmérsékletet lényegesen csökkentené, ami az összes hőfelhasználás csökkenéséhez vezetne. Végül is feltehető a kérdés, milyen tüzelést fognak alkalmazni a forgókemencék 30 vagy 50 év múlva, amikor a fosszilis tüzelőanyagok már nem állnak rendelkezésre? Vagy milyen lesz a jövő cementgyárában az a malom és kemence, amely kedvező energiahasznosítás, időkihasználás és részterhelési lehetőség mellett alacsony emissziót biztosít?

Ha meggondoljuk, hogy a forgókemencét a 19. század végén találták fel, a 30-as évek közepén alkalmazták először az előmelegítő rostélyt, és mindössze 20 évvel később helyezték üzembe az első ciklonos hőcserélőt, akkor egy új égetési eljárás bevezetése régen esedékes. A jövő cementgyárának olyan új kemencerendszerre van szüksége, amely az aknakemencés eljárás üzemeltetési és beruházási költségeinek színvonalán működik, a forgókemencés eljárás klinkerminőségét produkálja, teljesítménye gyorsan felfutatható, de részterheléssel is gazdaságosan üzemeltethető és modulárisan bővíthető. Kritikusan szemlélve a mai forgókemencét, az a végbemenő reakciók és a tartózkodási idők szempontjából olyan heterogén berendezés, amely nincs összehangolva. A hőcserélő gázáramú reaktor, amelyben a tartózkodási idő a fokozatok számától függően 50-60 másodperc. A kalcinátor ugyancsak légáramú reaktor, itt a kivitelől függően a tartózkodási idő 4-6 másodperc. Ezután következik a forgókemence 40-50 perces különösen hosszú tartózkodási idővel és a hozzákapcsolt klinkerhűtő, amelyben a klinker 20-30 percig tartózkodik.

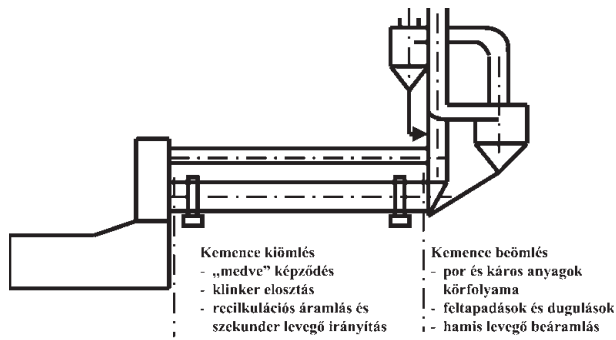
A terhelhetőség szempontjából is nagyon különböző berendezések rendszerhatárán az ismert átmenetproblémák jelentkeznek (9. ábra).

Végül rámutatunk arra a paradoxonra, hogy a forgókemencében ott történik a tüzelés, ahol a zsugorítás exoterm

2. táblázat

Távlati jelentőségű kutatási témák

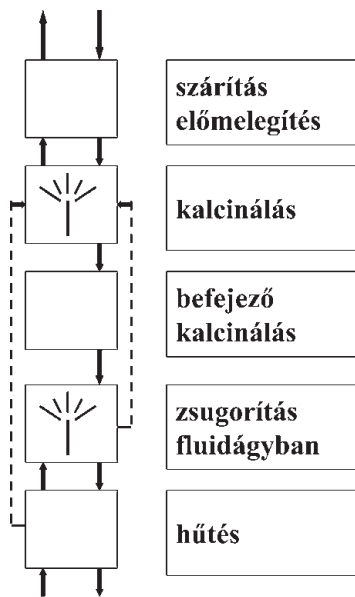
| Anyag jellegű kutatások | Technológiai jellegű kutatások |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – A beton tartósságának javítása – Kompozitcementek alkalmazási lehetőségei és határai – Különleges cementek jelentősége és fejlesztése – Könnyen égethető nyersliszt keverék kifejlesztése | <ul style="list-style-type: none"> – Klinkerégetés nem fosszilis energiahordozókkal – Zsugorítás szabályozott tartózkodási idejű fluidrétegben – Klinkerhűtés légfelesleg nélkül – Anyagrétegben végzett nyomás alatti aprítás gépészeti továbbfejlesztése |



9. ábra. Átmenetproblémák a forgókemencék rendszerhatárán

folyamata meggy végbe. A hőfelszabadítással együtt a magas, 2000 °C-ig emelkedő hőmérséklet nemcsak az NO_x-képződésnek kedvez, hanem a kemenceköpeny magas falazati veszteségét is okozza. Az eljárás egyes műveleteit sematikus a 10. ábrán mutatjuk be. Talán nem tévedünk, ha úgy gondoljuk, hogy a termodinamikailag hőigényes kalcinálásra több időt kellene fordítani, és a zsugorítási folyamatot egy szabályozott tartózkodási időt biztosító fluidágyban kellene végrehajtani.

Az aprítás terén sem lehetünk elégedettek azzal az eredménnyel, amit a nagynyomású őrlés bevezetése és a görgősmalom, a klinker és kohósalak őrlésre való továbbfejlesztése jelent. A görgősmalomban az anyagágyat az őrlőtányér peremmagassága határozza meg. Csak ideális esetben áramlik a közepén feladott anyag egy optimális differenciálgörbének megfelelő körgyűrű alakú őrlőpályára. Jelentős lehet az az anyagmennyiség, amely őrlés nélkül átjut a tányér peremén. Ez meghatározó módon függ az őrlőeszközök helyzetétől, és megnöveli az amúgy is nagy anyagkörfolyamat az őrlő- és az osztályozózóna között. Mivel az anyagmozgást és ezzel a tányér fordulatszámát a súrlódási és a centrifugális erő viszonya határozza meg, a görgősmalom csak egyetlen munkapontban éri el optimális energiahasznosítás mellett



10. ábra. Korszerű kemencében végbemenő folyamatok

a maximális teljesítményt. Ez az eljárás technikai tulajdonság kizárja a részleges terhelhetőséget vagy a malom más anyag őrlésére történő gyors és rugalmas átállítást.

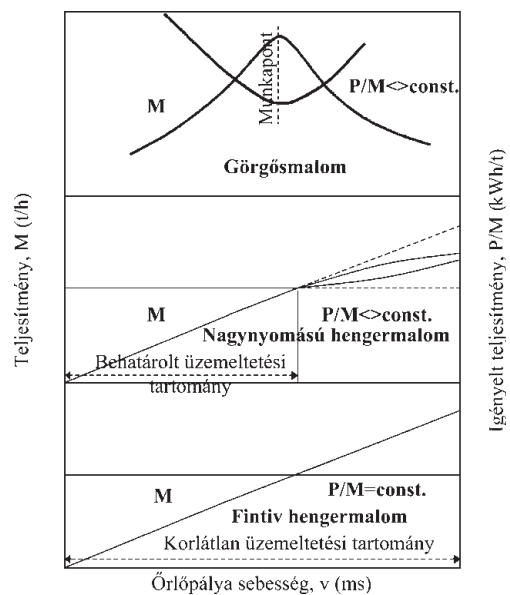
A nagynyomású hengermalom behatárolt anyagöltést és olyan őrlési nyomást igényel, amely a görgősmaloménak (az ún. „horomill”-nél szükségesnek) többszöröse, és csak korlátozottan állítható be. A nagy nyomások alkalmazása robusztus felépítést tesz szükségessé, és nagy kopási költségeket eredményez, ezért alkalmazása ma kevésbé kedvelt. Ugyanakkor meghatározott tartományban anyagmennyiség-től függő kvázi lineáris sebesség-teljesítmény összefüggéssel rendelkezik, ami a teljesítmény szabályozására előnyösen felhasználható.

Az ún. „horomill”, amelyből eddig mintegy tucatot építettek, a görgősmalommal összehasonlítható őrlési és teljesítménytulajdonságokkal rendelkezik. Műszaki nehézségek miatt bevezetése néhány év óta leállt.

A szerző saját vizsgálataiból származik a felismerés, hogy egy nyomáselven működő malomnál lineáris sebesség-teljesítmény összefüggés áll fenn, és az üzemelés során változó vastagságú anyagrétegek őrlését 50 MPa alatti nyomáson kellene végezni. A teljesítmény-sebesség összefüggés sémáját egy fiktív görgősmalomra egy tényleges görgősmalommal és egy nagynyomású hengermalommal összehasonlítva a 11. ábrán mutatjuk be.

Zárszó

A cementiparnak jövője van! Növekedése minden bizonnyal világszerte lelassul, és középtávon azokra az országokra és régiókra korlátozódik, ahol a fejlesztési szükségletek még fennállnak. Reméljük, egy napon újra innovációs korszak fog beköszönteni. Ehhez szükséges, hogy lehetőleg a világ minél több pontján gondolkozzanak új technológiák, valamint berendezések kifejlesztésén.



11. ábra. Teljesítmény-sebesség összefüggés görgős- és hengermalomnál

Néhány gondolat az MSZ EN ISO/IEC 17025:2001 szabvány bevezetésével kapcsolatban

Talán nem lesz haszontalan, ha közreadom azokat a tapasztalatokat, amelyeket szereztem több mint egy évtized alatt a laboratóriumok minőségirányítási rendszerének vizsgálata, akkreditálása során. Úgy gondolom, különösen szükséges akkor, amikor a minőségirányítási követelmények fejlődnek, igényesebbé válnak.

A tapasztalat azt bizonyítja, hogy azok a laboratóriumok voltak sikeresek, amelyeknek vezetői megismerték a minőségirányítás rendszerét, annak mondanivalóját, azt magukévá tették, alkalmazták a mindennapos munkájukban. Munkatársaik pedig megértették a rendszer követelményeit, azonosultak a célkitűzésekkel, s ennek ismeretében és tudatában végezték munkájukat.

Ha erre a felismerésre szükség volt az MSZ EN 45001:1990 szabvány alkalmazása idején, akkor különösen szükség van erre ma. Az új szabvány (17025-ös) mondanivalójának elsajátítása, megértése alapos tanulmányozást, végiggondolást igényel. Alkalmazása nem könnyű, de nem is megoldhatatlan feladat.

Néhány eleme új megfogalmazást kapott, egyes vonatkozásban a követelmények szigorodtak, egyes helyeken oldottabbak, több a választási lehetőség. A szabvány egyes elemei hangsúlyosabbak. Jelentősen növekedtek a követelmények a dokumentáltsággal szemben. Ennek mondanivalóját úgy lehetne lefordítani, hogy ami nincs dokumentálva, az nincs is.

Sajátossága a szabványnak, hogy tartalmazza az ISO 9001, 9002 követelményeit, amely a laboratórium minőségirányítási rendszerébe tartozó vizsgálati (kalibrálási) szolgáltatások körében értelmezhető.

Az új követelmények az alkalmazás első fázisában a minőségirányítási kézikönyv összeállításánál valósulnak meg. A kézikönyv összeállításával kapcsolatban nincs kötelező előírás. Alapvető, hogy a dokumentum jól határozza meg a szervezet minőségpolitikáját, és gondosan, átfogóan, összefüggésben jelölje meg a minőségirányítás rendszerét.

Megítélésem szerint az a jó kézikönyv, amely pontosan rögzíti a működés alapjait, átfogóan, áttekinthetően mutatja be a minőségirányítás rendszerét, a részletes dokumentumok, eljárások, gyűjtemények pedig mellékletként kapcsolódnak a kézikönyvhöz. (Útmutatás az akkreditáláshoz szükséges minőségirányítási dokumentációhoz. NAR-20. 2002. V. sz. függelék.)

A kézikönyvvel kapcsolatos feladatok közül csak hármat emelnék ki, melyekre jelentőségüknek megfelelően több figyelmet kell fordítani:

- a munkaköri leírás pontossága,
- a dokumentumok számbavétele,
- a kézikönyv alapos ismerete.

A laboratóriumvezető fontos feladata, hogy alaposan gondolja át és konkrétan határozza meg a laboratórium személyzetének feladatát, munkáját. Jelölje meg felelősségi

körét, hatáskörét, s ezt *munkaköri leírásban* rögzítse. Cél szerű azt személyesen is megbeszélni, hogy ne legyen félreértés. Minden munkatársnak ismernie kell, hogy mit vár el tőle a főnöke. Nem elég átfogó fogalmazást adni a munkaköri leírásokról. Nagyon csálóka az a felfogás, hogy úgysis tudják mi a feladatuk. Tapasztalataim szerint ezen a téren van még tennivaló.

Hangsúlyos feladat a *dokumentumok rendszerezett számbavétele*, az azonosíthatóság követelményének teljesítése, a nyomon követhető jelzések használata. Ezek teljesítése biztosítja azok kezelhetőségét, a szükséges módosítások nyomon követését.

Nagyon fontos, hogy a laboratórium munkatársai, de mindazok, akik a laboratórium munkájára befolyást gyakorolnak, megismerjék a kézikönyvben leírt rendszert, megértésük, magukévá tegyék, és feladataikat ennek szellemében végezzék. A *kézikönyv alapos ismerete* lehet a harmonikus együttműködés, a sikeres, hiteles, megbízható munka záloga.

Az új minőségirányítási rendszer fontos eleme:

- a munkavégzés színvonalát biztosító továbbképzés,
- az eredményközlés ellenőrzése,
- a felülvizsgálatok érdemi teljesítése,
- a megelőző tevékenység,
- a vezetőségi átvizsgálás,

melynek rendszeres elvégzése jelentős feltétele a minőségirányítási rendszer hatékonyságának. Ezek számbavétele, időrendi elosztása lényeges eszközei az irányítómunkának.

Fontos a minőségügyi rendszer működtetése szempontjából, hogy a laboratórium személyzete a mindenkori követelményeknek megfelelően jól felkészült legyen, megbízható munkát végezzen. Ezért a vezetésnek gondoskodnia kell a személyzet rendszeres, sokoldalú *továbbképzéséről*, ismereteinek bővítéséről. Cél szerű – megfelelő értékelés után – képzési programot készíteni, ennek eredményeit figyelemmel kísérni.

A vizsgálati eredmény pontos közlése a felhasználó, a megrendelő számára igen fontos igény, követelmény, információ. Ezért azok megbízhatóságára megkülönböztetett figyelmet kell fordítani. Az eredményközlés ellenőrzésére a szabvány több megoldást kínál:

- tanúsított anyagminták használata,
- részvétel a laboratóriumok közötti összehasonlításban,
- megismételt vizsgálat,
- megőrzött tárgyak, anyagok újravizsgálata,
- eredmények közötti összehasonlító vizsgálat.

A laboratóriumvezető fontos feladata, hogy az eddig szerzett szakmai tapasztalatok felhasználásával a vizsgált anyag *eredményközlésének ellenőrzési módszerét* alakítsa ki, és határozza meg az alkalmazás gyakoriságát.

Hangsúlyos része a szabvány követelményeinek a belső auditok lefolytatásának, eljárásrendjének kidolgozása. A követelmény meghatározza, hogy az auditot képzett, képesített

személy vezetheti, akinek lehetőleg függetlennek kell lennie az auditálandó tevékenységtől. Az eljárási rend szabályozza az auditálandó tevékenységi folyamatot, az ellenőrzés(ek) időpontját, az ellenőrizendő területet, a megállapítások írásba foglalásának módját, valamint a hibajavítás határidejét és a hibajavítás jelentésének módját és címzettjét. A megállapítások konkrétak legyenek, hivatkozással a szabvány vagy kézikönyv pontjára, mely részben, vagy hibásan, vagy nem teljesült.

Fontos, hogy a *belső audit ne legyen formális*. Célja ennél fogva az, hogy segítse a laboratórium színvonalas működését, és kerülje el a hibákat. Az ellenőrzés segítse elő a gyenge pontok feltárását. Természetesen alapkövetelmény, hogy a megállapítások pontosak, jól fogalmazottak, érthetőek legyenek.

Új eleme a szabványnak a *megelőző tevékenység*. A belső, külső felülvizsgálati ellenőrzések, panaszok értékelése alapot nyújt arra, hogy az irányítási rendszer egyes elemeit, az eljárási rend(ek) egyes szakaszait időközben felülvizsgálják, továbbfejlesszék, a hibák előfordulását minél jobban csökkentse. Tehát a szabályozások rendszeres gondozása javítja az irányítás színvonalát, hatékonyságát.

A minőségpolitikai nyilatkozatból fakadó feladatoknál írja elő a szabvány a *vezetőségi átvizsgálást*. Ennek megszervezésénél a vezetőség széles körű információra támaszkodhat. Figyelembe veheti:

- a belső auditok megállapításait és a helyesbítő intézkedések hatását,
- a külső testületek, pl. a NAT felülvizsgálati jegyzőkönyveinek megállapításait,
- a laboratóriumok közötti összehasonlítások, felkészültségi vizsgálatok eredményeit,
- a vevői visszajelzéseket,
- minden idevonatkozó tényező szerepét,

– a munka terjedelmében vagy jellegében bekövetkezett változásokat.

E tapasztalatok felhasználásával értékelheti a laboratórium munkáját, számba veheti az eredményeket és a gyenge pontokat, ennek alapján megfelelő intézkedéseket tehet a munka színvonalának, megbízhatóságának emelésére.

A szabvány alkalmazásának új eleme a *mérési bizonytalanság* megjelölése, hogy a vizsgálati eredmények korrekt eligazítást adjanak a megrendelőnek. A mérési bizonytalanság becslésére, megjelölésére megfelelő eljárást kell kidolgozni, mely szakmailag megállja a helyét azoknál a vizsgálatoknál, ahol ez értelmezhető és szükséges. (Útmutató a mérési bizonytalanság kifejezéséhez. OMH 1995.) Biztosítani kell, hogy a vizsgálati jelentés ne adjon téves mutatókat a bizonytalanságról.

A szabványnak rendező eleme a *vizsgálati módszerek érvényesítése, validálása* azokban az esetekben, ahol nincs állami szabvány. A validálási módszer kidolgozása nagy körültekintést, szakmai megfontoltságot kíván. A feladat jellegétől függően segítséget nyújthat a referencia-anyagminták alkalmazása, az eredmények összehasonlítása más módszerekkel, a laboratóriumok közötti összehasonlítások módszeres értékelése. A validált módszert célszerű az akkreditálási kérelemmel együtt benyújtani.

E gondolatok közlésével természetesen nem törekedhetem teljességre a terjedeleme korlátozott volta miatt. Megkíséreltem segítséget nyújtani a szabvány teljesebb megértéséhez. Szerettem volna ráirányítani többek között a figyelmet azokra a feladatokra, megoldásokra, amelyek teljesítésével az elérendő célt, a minőségirányítási rendszer és a szakmai megalapozottság erősítését, a laboratóriumi munka színvonalát tovább lehet javítani.

Dr. Tóth Dezső, NAT akkreditáló mérnök

Az „Építőanyag” 2002. évi megjelenését támogatja az IPAR MŰSZAKI FEJLESZTÉSÉÉRT ALAPÍTVÁNY

Tudja, mi történik az építészetben?

www.epiteszforum.hu – Építészfórum napi frissítésű online újság, nem csak építészeknek

A tartalomból: új házak • műhelyek • pályázatok • technológia • díjak

• lakásügyi körkép • fórum

Tegye közkinccsé munkáit, gondolatait! Jelenjen meg Ön is!

e-mail: info@epiteszforum.hu

1033 Budapest, Hajógyári-sziget 131. II. emelet

Reakciókinetikai törvényszerűségek alkalmazása a beton tartósságának becslésére

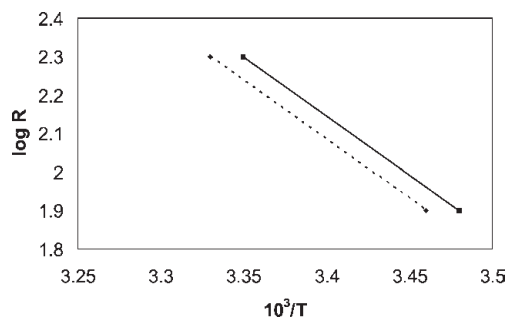
„Az oltott mésztől a betonig”*



Révay Miklós
CEMKUT Kft.

Bevezetés

Egy rangos tudományos folyóirat egyik április 1-jei számában komoly hangú értekezés jelent meg arról, hogy a tücsök-ciripelés hangmagassága és a hőmérséklet között összefüggés van [1, 2]. A lap olvasói csak akkor fogtak gyanút, hogy áprilisi tréfáról van szó, amikor a szerző a „Kalibrált Tücsök Rt.” által forgalomba hozott szerkezetet ismertette, amely lehetővé teszi, hogy a tücsköt hőmérő helyett alkalmazzák. Jót nevetett ezen a tudományos közvélemény. Ez egészen addig tartott, amíg egy másik lapban meg nem jelent egy közlemény „Az Arrhenius-törvény néhány szokatlan alkalmazása” címmel, és be nem bizonyította, hogy a tücsök-ciripelés frekvenciája igenis függ a hőmérséklettől [1, 3]. Ugyanis az ezt szabályozó enzim koncentrációjának logaritmusá egyenesen arányos az abszolút hőmérséklet reciprokával, ami nem más, mint az Arrhenius-törvény [4]. Össze is hasonlították a „tréfás” és a „komoly” cikk eredményeit, és feltűnően jó egyezést találtak (1. ábra).



1. ábra. Tücsök-ciripelési frekvencia (R) – abszolút hőmérséklet (T)

Talán ez a tréfa is hozzájárult ahhoz, hogy nagyobb bátorsággal kezdjük alkalmazni a reakciókinetikai összefüggéseket különböző betontartóssági problémák vizsgálatánál, hisz ha hajlamosak is vagyunk erről megfélekedni, a beton szilárdulása is kémiai folyamat.

A következőkben szeretnénk erre néhány példát bemutatni. Ezek előtt azonban ismertetjük a mésztöltés reakciósebességével kapcsolatos megfigyeléseinket, ugyanis sztöchiometriailag igen egyszerű reakciója (1. táblázat a) képlet) alkalmassá teszi bonyolultabb rendszerek modellezésére.

A mész oltási sebessége

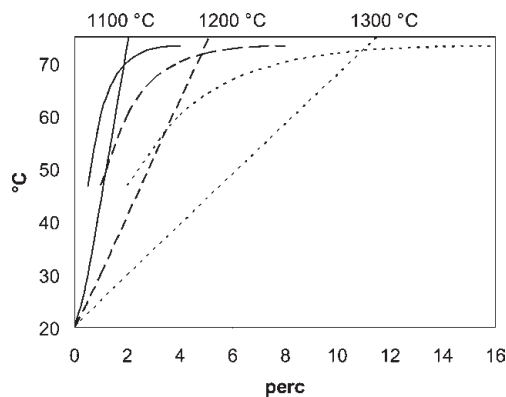
A mésztöltés sebességéről minden mészégető tudja, hogy szabályozható az égetési körülményekkel. Ezt illusztráljuk a következő ábrával is, amelyen különböző hőmérsékleteken kiégetett meszek oltási hőmérsékletét mutatjuk be. A folyamatra elég jól lehet alkalmazni a reakciókinetikailag elsőrendű kémiai reakciók sebességi egyenletét [4-6]; így megfelelő koordináta-rendszerben az égetési hőmérséklet növekedésével csökkenő meredekségű egyeneseket kapunk [7-9] (2. ábra). Ha pedig akár „nedves”, akár „száraz” oltás után vizsgáljuk a keletkező mészhidrát szemcsék méretét, azt tapasztaljuk, hogy az elsődlegesen képződő szemcsék mérete növekszik az égetési hőmérséklettel, a szekunder szemcséké, vagyis az aggregátumoké pedig csökken (3. ábra). A lejátszódó folyamatokat úgy magyarázhatjuk, hogy az égetési hőmérséklet növekedésével a mész tömörebbre ég, kisebb lesz a belső felület, tehát lassabban oltódik. Ilyenkor több az idő a kristályok növekedésére.

1. táblázat

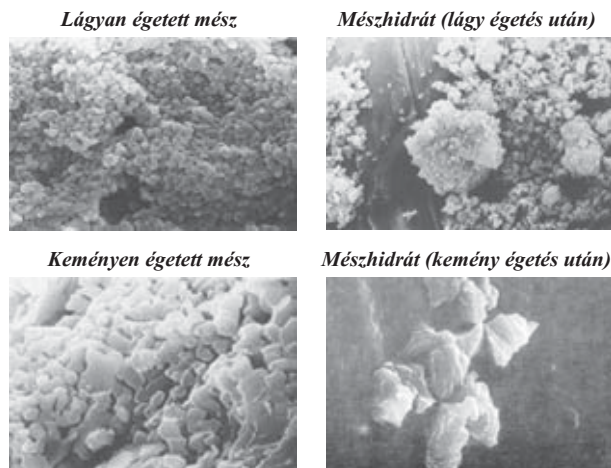
Kémiai reakciók

| | |
|--------------|--|
| a) | $C + H \rightarrow CH$ |
| b) | $M + H \rightarrow MH$ |
| c) | $CA + 10H \rightarrow CAH_{10} \rightarrow \frac{1}{3}C_3AH_6 + \frac{1}{3}AH + 6AH \xrightarrow{3\bar{c}} C\bar{c} + 10H$ |
| d) | $C_3S + mH \rightarrow C_nSH_p + (3-n)CH \xrightarrow{(3-m)\bar{c}} 3C\bar{c} + SH_n$ |
| Rövidítések: | $C = CaO; M = MgO; A = Al_2O_3; H = H_2O; \bar{c} = CO_2$ |

* 2001. november 13-15. között Visegrádon rendezett Cementipari Konferencián elhangzott előadás nyomán

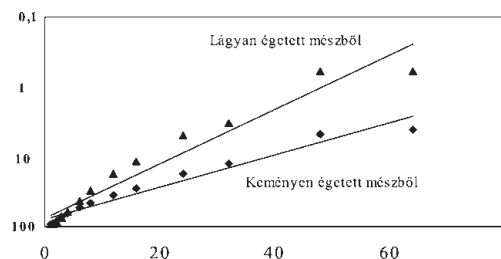


2. ábra. Meszok oltódási sebessége



3. ábra. Égetett mesz és mészhidrát szövetszerkezete ($n = 3000^*$)

A hidratáció sebessége és a hidratációs termékek közötti szoros összefüggés szép példája, hogy a szemcseméret-eloszlás formailag ugyanazzal az összefüggéssel írható le, mint a hidratáció sebessége (4. ábra).



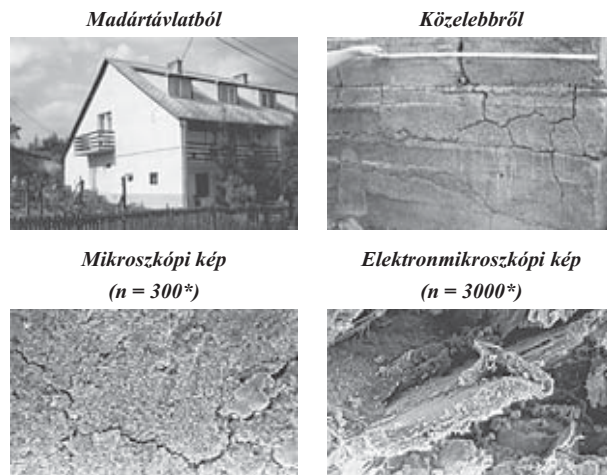
4. ábra. Hidratált mesztermékek szemcseméret-eloszlása

Ennek a folyamatnak mindössze annyi köze van a beton tartósságához, hogy amennyiben túlégetett szabad mesz marad a cementben, az a megszilárdulás után oltódik be, és így a beton tönkremegy [10, 11].

Ehhez hasonló folyamat miatt korlátozzák a cementben a megengedhető MgO mennyiségét is [12, 13] (1. táblázat b) képlet). Ugyanis a „szabad magnézia” is okozhat duzzadási reakciót, amit autoklávólással szoktak vizsgálni [14].

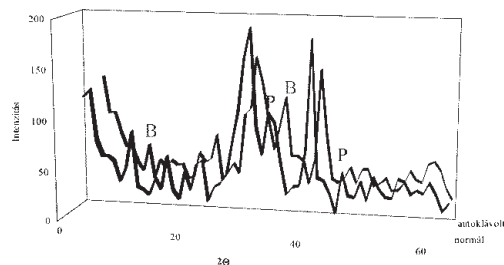
A martinsalakbeton időállósága

A szabad MgO azonban nemcsak a cementben káros. Erről feledkeztek meg csaknem ezer háznál, ahol betonadalékként alkalmaztak periklász- (MgO) tartalmú ördi martinsalakat [15]. A napi sajtóból is jól ismert jelenség illusztrálására elrettentésképpen mutatjuk be a következő felvételeket (5. ábra). A folyamat részleteit az ÉMI Rt. megbízásából végzett vizsgálataink tisztázták.



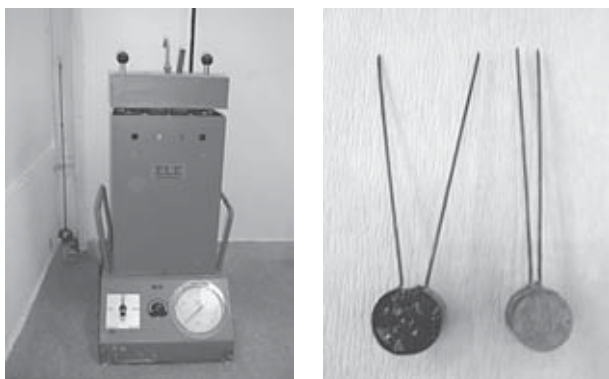
5. ábra. Martinsalak házak

Ennek keretében a roncsolódás várható mértékének megállapítására mi is az autoklávólást választottuk. Autoklávólás előtt az anyagban kimutatható a szabad MgO (periklász), azután pedig a brucit $Mg(OH)_2$ (6. ábra), amelynek képződése több mint kétszeres (2,18x) térfogat-növekedéssel jár. A periklász-brucit reakció például tágulásméréssel detektálható (7. ábra), a brucit mennyisége pedig legkönnyebben derivatográfia segítségével határozható meg. Az autoklávólás előtti és utáni brucit mennyiségéből pedig megtudhatjuk, hogy hol tart a folyamat. Egy kis merésszel ezek várható időtartamára is következtethetünk. Ha ugyanis feltételezzük, hogy a periklász hidratáció hasonlóan megy végbe, mint a rokon CaO-é, a betonkészítés idejéből és az azóta végbement folyamatból következtethetünk a még várhatóra. Így például az ábrán bemutatott ház melegebb déli oldalából vett mintában a folyamat már több mint 95%-ig végbement, és további károsodás már gyakorlatilag nem várható, az északi oldal viszont alig

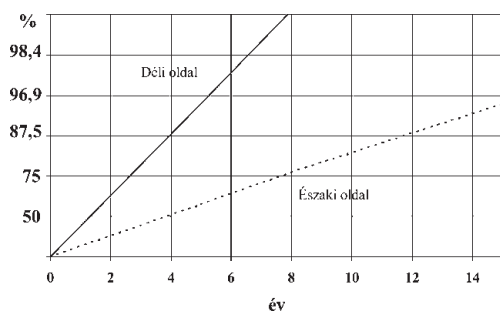


6. ábra. Martinsalakbeton-minták RTG diagramja (eredeti: háttal; autoklávolt: elől; P-periklász; B-brucit)

van túl a félidőn, és várhatóan csak kb. 10 év múlva fejeződik be az átalakulás (8. ábra).



7. ábra. Autokláv próba



8. ábra. Diagram az $MgO-Mg(OH)_2$ átalakulási idő becsülésére

A bauxitbeton szilárdságcsökkenése

Az autoklávoltást és derivatográfus vizsgálatot, mint metodikai fogást, egyébként a bauxitbetonok vizsgálatánál alkalmaztuk először. Bár a „bauxitbeton”-kérdésről nem túl régen – egyebek közt e lap hasábjain is – jelentek meg közlemények [16–18], annyira kapcsolódik választott témánkhoz, hogy talán nem fölösleges röviden itt is emlékezni az 1960-as években kitört bauxitbeton-pánikra. Ezt az okozta, hogy az akkori vizsgálatok szerint a 30-as években bauxitcement felhasználásával épült létesítmények szilárdsága évente átlagosan 5 kp/cm^2 -rel ($0,5 \text{ MPa}$) csökkent. Ezt extrapolálva úgy találták, hogy az épületek 5-10 év múlva akár össze is dőlhetnek. Mivel vagy kétezer ilyen épületet tartottak nyilván, érthető volt a riadalom.

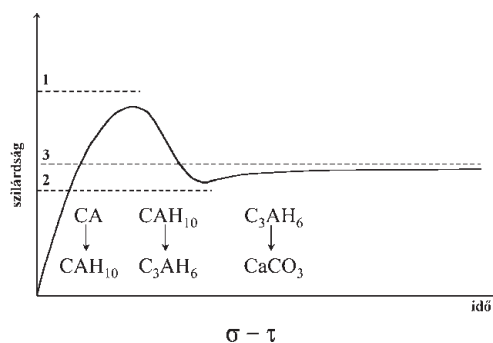
A romlást, mint Talabér [19, 20] vizsgálatai is bizonyították az okozta, hogy a szilárdulás során képződő vegyületek kisebb térfogatúakká alakulnak át (1. táblázat c) képlet), minek következtében a megnövekvő porozitás hatására lecsökken a szilárdság. A folyamat egyes részleteinek, így a várható szilárdságcsökkenés mértékének becsülésére annak idején Társaságunk egyik jogelődjét, az akkor Talabér által vezetett intézet (ÉaKKI, majd SZIKKTI) Kutató Cementosztályát bízták meg.

Kísérleteink alapján úgy nézett ki, hogy talán mégsem akkora a baj, mint amilyenek eleinte látszott, ugyanis a folyamat később lelassul. Ezt alátámasztották a folyamatosan

végzett szilárdságvizsgálatok, amelyek egyre kisebb évenkénti szilárdságcsökkenést regisztráltak. Így az évtized közepére már csak $1-2 \text{ kp/cm}^2$ évenkénti romlásról beszéltek. De azért nem volt minden kockázat nélküli az a prognózisunk, hogy a szilárdságcsökkenés előbb-utóbb teljesen leáll, sőt néhány esetben ez már meg is történt, és már kismértékű szilárdságnövekedés sem kizárt.

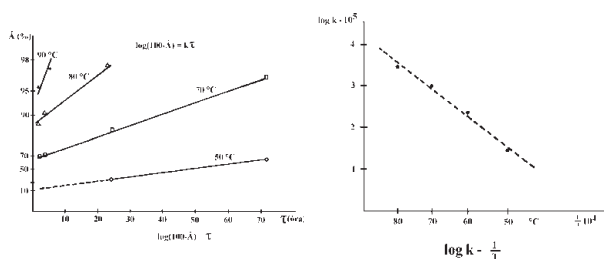
A teljes folyamat ugyanis egy tipikus esetben, némi egyszerűsítéssel a következő szakaszokra osztható (9. ábra):

- a hidratáció-vezérelt szakasz, amelyet porozitáscsökkenés és szilárdságnövekedés jellemez (időtartama nálunk 1-3 év);
- a konverzió-vezérelt szakasz, porozitásnövekedéssel és szilárdságcsökkenéssel (3-tól 10-30 évig);
- a karbonátosodás-vezérelt szakaszban a porozitás ismét csökken, ami kismértékű szilárdságnövekedést is okozhat (20-30 év után);
- végül az öregedési szakaszban, ha egyéb káros külső hatás nem jelentkezik a cementmátrixban, legfeljebb bizonyos átkristályosodási folyamatok mennek végbe.



9. ábra. Bauxitbetonok tipikus szilárdsági görbéje

A létesítmény sorsa attól függ, hogy a konverzió-vezérelt szakaszban a szilárdságcsökkenés eléri-e az alsó küszöbértéket. A káros folyamat sebessége pedig az Arrhenius-törvény szerint függ a hőmérséklettől, így 90°C -on az átalakulási felezési ideje 10 perc, de az itteni, mintegy 10°C -os átlaghőmérsékletnél kb. 30 év (10. ábra).



10. ábra. Átalakulási sebesség különböző hőmérsékleteken

Vizsgálatainknak volt néhány olyan részlete is, amelyek alapjait a mészhidratációjánál is tapasztaltuk. Így a kialakult kristályszerkezet diszperzitása itt is annál nagyobb, minél gyorsabb a folyamat, és a kisebb kristályok között a pórusok száma is kisebb lesz, vagyis azonos mértékű porozitásnö-

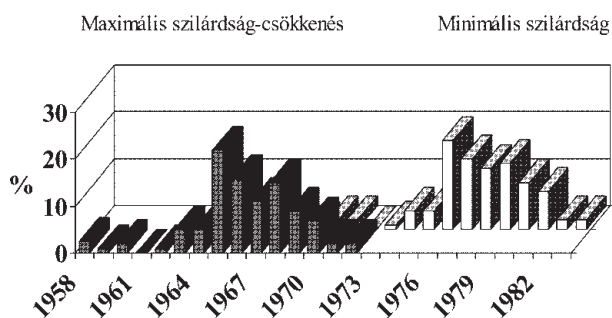
vekedés esetén több pórus képződik. A több pórus végső soron több hibahelyet jelent a cementmátrixban, ezek számának növekedése pedig azonos porozitás esetén kisebb szilárdságot eredményez. Így már volt magyarázat arra a tapasztalatra, hogy miért különösen veszélyes a bauxitbeton károsodása meleg, párás helyiségekben, például meleg vízű uszodákban. (A leglátványosabb betonkárosodás Magyarországon is és Angliában is itt jelentkezett.) Úgyszintén ez a magyarázata, hogy a francia Lafarge bauxitcement alkalmazásának kedvezőtlen tapasztalatai korábban jelentkeztek az afrikai gyarmati kikötőkben, mint az anyaországban, holott az előbbieket később épültek.

De azt is ki lehetett mutatni, ahogy közeledünk az egyensúlyi állapothoz, a kristályok és a köztük lévő pórusok mérete is növekszik, számuk, vagyis a hibahelyek száma pedig csökken. Így a hibahelyek számának csökkenése valamit még hozzátehet a karbonátosodás okozta porozitáscsökkenés szilárdságnövelő hatásához.

Az egyensúlyi állapothoz közeli kristály- és pórusméret-növekedést a fiziko-kémikusok ebben az esetben is a kristálycsíra-képződés sebességének a kristályméret növekedési sebességhez viszonyított csökkenésével magyarázzák [21].

Kidolgoztunk egy módszert is a bauxitbeton várható szilárdságváltozásának becslésére. Ennek az a lényege, hogy derivatogramot készítünk autoklaválás előtt és után. Ezekből nem túl bonyolult számítással meghatározható a hidratációs termékek jelenlegi és a végállapothoz tartozó összetétele, a betonkészítés óta eltelt időből számítható a három jellemző kémiai folyamat, tehát a hidratáció, a hidroaluminát-konverzió és a karbonátosodás sebessége, valamint az ezekkel járó porozitás- és szilárdságváltozás [16].

Számításaink szerint a leggyorsabb szilárdságcsökkenésnek az 1960-as években kellett végbemenni, az 1980-as évekre azonban a romlás megállt (11. ábra). Prognózisunkat a gyakorlat igazolta.



11. ábra. Bauxitbeton épületek szilárdságának alakulása

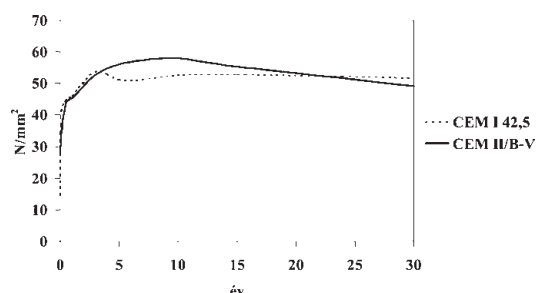
A portlandcementbeton szilárdulása

A portlandcementeknél a helyzet azért bonyolultabb, mint az eddig tárgyalt esetekben, mert komplikáltabb a kémiai folyamat is (1. táblázat d) képlet). További bonyodalmakat okoz, hogy a folyamat gyorsítása a jól bevált hőmérséklet-növeléssel nem célszerű, ugyanis magasabb hőmérsékleten a reakció a nagyobb CaO-tartalmú vegyületek irányába

tolódik el (a képletben n értéke növekszik), ami egész más tömörtérfoogat-változást és szilárdságot eredményez.

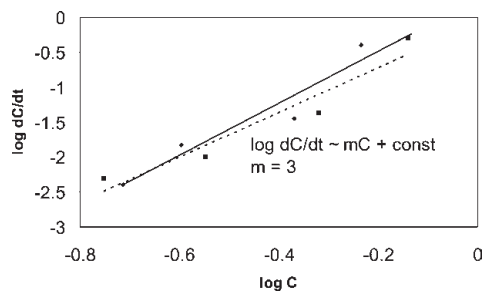
Azért néhány birtokunkban lévő több évtizedig állandó hőmérsékleten (20 °C) és környezetben (vízben) tárolt szabványos cementhabarcs próbatest szilárdságvizsgálati eredményei alapján megkíséreltünk a szilárdulási görbék alapján a hidratációra és ennek „sebességi egyenletére” következtetni.

A 12. ábrán, a mai elnevezés szerint, egy CEM I és egy CEM II/B-V jelű pernyeporlandcement szilárdulási görbéjét mutatjuk be.



12. ábra. Cementek szilárdsága 30 évig

Az adatokat úgy alakítottuk át reakciókinetikailag kezelhető formájúvá, hogy egyrészt közvetlen kapcsolatot tételeztünk fel a hidratáció és a porozitás között, másrészt a porozitás és a szilárdság közötti összefüggésre elfogadtuk a több szerző által javasolt exponenciális közelítést [22]. Ezek alapján a hidratáció (pontosabban a porozitáscsökkenést okozó kumulatív folyamat) sebességére differenciális módszerrel [5] meghatározva (13. ábra) 3. rendű reakció adódik (vagyis a kiinduló koncentráció feleződési ideje fordítva arányos annak négyzetével).



13. ábra. Hidratáció rendűségének meghatározása

Megkíséreltük, hogy az egyenlet ismeretében megpróbáljunk a korai szilárdságokból a későbbiekre (pl. a 28 naposra) következtetni, azonban ehhez egyelőre kevés adat áll rendelkezésre.

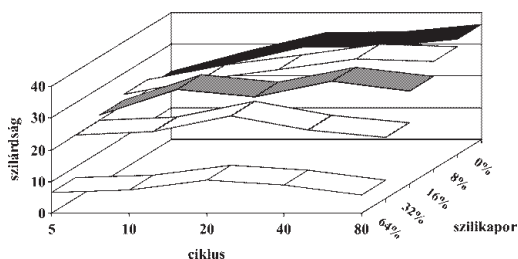
A puccolános kiegészítő anyagot tartalmazó cement stabilitása

A hosszú idős szilárdságvizsgálatok keretében szerettünk volna választ adni a puccolántartalmú cementek és betonok

stabilitásának kérdésére is. Ez hazai vonatkozásban azért aktuális, mert Szepesi és Majer [23] munkásságának hatására szakmai körökben tartja magát az a felfogás, hogy ilyen anyagok túlzott mértékű adagolásának hatására a cementkő túlzottan „elsavanyodik”, csökken a pH, aminek hatására „poliszilikátos lebomlás” szenved és tönkremegy. Ezt az érvelést később mások is átvették [24–26].

Az előbbieken idézett hosszú idős cementhabarcs-vizsgálatok eredményei a maximum után ugyan valóban mutatnak bizonyos szilárdságcsökkenést (12. ábra), azonban ez nemcsak a puccolános kiegészítő anyagot tartalmazó cementkőnél mutatkozik. Ezért a magunk részéről némi szkepticizmussal fogadtuk ezt az érvelést, már csak azért is, mert Szepesi a bauxitbetonok szilárdságcsökkenését is ilyen mechanizmussal magyarázta, amiről beigazolódott, hogy nem igaz. Másrészt a római kori puccolános kötőanyagokkal létesült építmények is ez ellen szólnak. Az Árpád híd környékén feltárt római kori romoknak is többet ártott a néhány évtizednyi tartózkodás a fővárosi levegőn, mint a sok évszázados poliszilikátos lebomlás.

A most ismertető gyorsított öregedési vizsgálatainktól is azt vártuk, hogy igazolják feltevésünket. Ezek során változó szilikapor-tartalmú (0–64%) cementpép próbatesteket készítettünk, amelyeket váltakozva tároltunk vákuumban és nyomás alatt szén-dioxiddal telített vízben. Az volt ugyanis a feltevézésünk, hogy ettől a kettős savanyítástól, ha van ilyen, biztos végbemegy a poliszilikátos lebomlás. A kísérletsorozat eredménye a 80. ciklus után az, hogy a pH, a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - és a CaCO_3 -tartalom a várakozásnak megfelelően alakul, a szilárdság pedig saját várakozásunk ellenére, különösen nagy szilikapor-tartalom esetén csökkent (14. ábra). Azonban ennek mértéke olyan mérvű karbonátosodás és pH-csökkenés után lesz jelentős, amely normális körülmények között csak a beton tervezett élettartama után (50 év) jönne létre [27]. Mindenesetre tovább folytatjuk a vizsgálatokat.



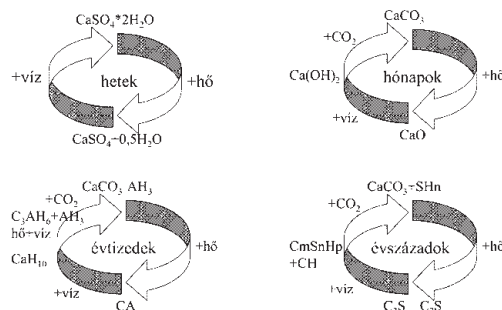
14. ábra. Szén-dioxid-kezelés – szilárdság

A kötőanyagok „körforgása”

Tamás Ferenc nagydoktori disszertációját [28] a következő gondolatokkal (nem szó szerinti idézet) zárta: Kezdetben volt az agyag és a mészkő. Ezt kibányászták, megőrölték, homogenizálták, kalcium-szilikátokká, aluminátokká égettek, majd újra megőrölték. Ebből vízzel habarcsot, betont készítettek, ami megszilárdult – hidrátvegyületek képződése

közben. Majd a víz, nap, szél és az emberi tevékenység hatására a szilárd hidrátvegyületek elkezdtek bomlani, és hatására szilikát- és aluminát-hidrátok, valamint CaCO_3 képződött. Ez pedig nem egyéb, mint agyag és mészkő. Tehát a kör bezárult.

Ezen okfejtés néhány más kötőanyagra vonatkozó kiegészítését mutatjuk be a 15. ábrán.



15. ábra. A kötőanyagok „körforgása”

A gipsz például néhány hét alatt bejárja a kör egyes állomásait, a mészkőnek ehhez néhány hónap kell. Pár év a „magnezitkör” élettartama, pár évtized a bauxitcementé, és reméljük, néhány évszázad a portlandcementé is. De a kör akkor is előbb-utóbb bezárul.

Irodalom

- [1] Beck, M.: Tudomány-áltudomány. Bp., 1977.
- [2] Smith, A.S.: Spectrum. 59, 10. (1969).
- [3] Laidler, K. J.: Chem-Educ. 49, 343. (1972).
- [4] Erdey-Grúz T.–Shay G.: Elméleti fizikai kémia. II. Bp., 1954.
- [5] Pilling, M. J.–Seakins, P. W.: Reakciókinetika. Bp., 1997.
- [6] Atkins, P. W.: Fizikai kémia. III. Bp., 1998.
- [7] Révay M.: Különleges mész... SZIKKTI Tud. közl. 52. k. Bp., 1976.
- [8] Révay M.: Baustoffindustrie. 17, 13. (1974).
- [9] Révay M.: Építőanyag. 102. (2000).
- [10] Talabér J.: Cementipari kézikönyv, Bp., 1966.
- [11] Riesz L.: Cement és mészgyártási... Bp., 1989.
- [12] Dolezai K.: Kand. dissz. Bp., 1963.
- [13] Dolezai K.: SZIKKTI Tud. közl. Bp., 1963.
- [14] ASTM C. 151-84.
- [15] Révay M.: Beton. 7, 7. (2001).
- [16] Révay M.–Wagner Zs.: 1st European Symp on. Therm. Anal. Salford. (1976).
- [17] Talabér J.: Építőanyag. 48, 107. (1996).
- [18] Révay M.: Építőanyag. 51, 2. (1999).
- [19] Talabér J.: Építőanyag. 18, 161., 202., 295., 349. (1956).
- [20] Talabér J.: Építőanyag. 37, 123. (1975).
- [21] Babuskin, V. I.–Matveev, G. M.–Mcsedlov–Petroszjan, O. P.: Termodinamika szilikátov. Moszkva, 1986.
- [22] Déri M.–Tamás F.–Träger T.–Révay M.: Szilikátipari termékek mikrostruktúrája. Bp., 1979.
- [23] Szepesi Gy.–Majer J.: Műszaki Élet. 34, 21. 9.
- [24] Kovács R.: Építőanyag. 23, 180. (1971).
- [25] Orbán J.: Kand. ért. (1985).
- [26] Vámos Gy.: EGI Jelentés 4850. (1980).
- [27] MSZ 206-1:2002. Beton. I. rész.
- [28] Tamás F.: Akadémiai doktori értekezés (1978).

Gyűrű- és tapadékképződés a klinkerégető forgókemencékben*



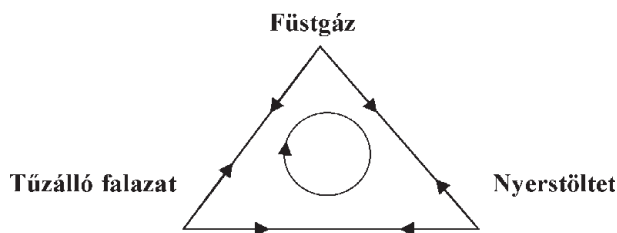
Jankó András
CEMKUT Kft.

A gyűrű- és tapadékképződés szerepe

A gyűrű- és tapadékképződés szerepe és előnye forgókemencékben:

- a tűzálló falazat védelme, kímélése a láng- és gázsugárzástól, a töltet koptatóhatásától (klinker, klinkerpor), valamint a kemence hőszigetelése;
- a kialakult szokásos méretű közép-, zsugor- és klinkerpor gyűrűk a torlasztóhatásuk folytán a nyerstöltet tartózkodási idejét kismértékben növelik, ami a nyerstöltet kalcinálódására és zsugorodására kedvező hatást gyakorol.

A gyűrű- és tapadékképződésben szerepet játszó tényezők kölcsönhatását klinkerégető forgókemencékben az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. A kölcsönhatások szemléltetése forgókemencékben

A tűzálló falazaton képződő tapadék kialakulása a következőképpen mehet végbe [1]:

- a klinkerszemcse felületéről az olvadék a tűzálló falazatra vándorol, ahol a finom por megkötődik;
- a kemencetöltet és a tűzálló falazat (főleg nagy Al_2O_3 -tartalmú köveknél) közötti reakciók olvadékot hoznak létre, és ez a követ erodálja [2];
- a kemencetöltet és a tüzelőszer hamuja közötti, helyileg korlátozott reakciók eutektikus olvadékot eredményeznek.

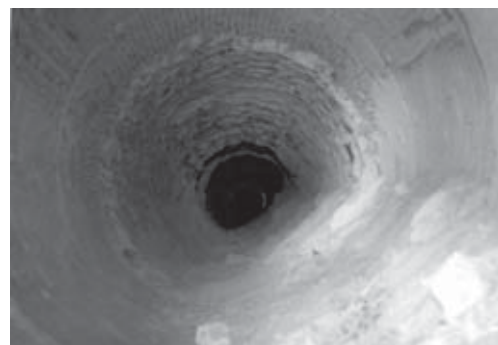
A gyűrű- és tapadékképződésben szerepet játszó jelenségekről az 1. táblázat ad áttekintést [3].

A forgókemencékben rendszeresen kialakuló gyűrűk általában nem zavarják a termelést, ha azok nem nőnek tovább, vagy időben összeomlanak.

A forgókemencékben a szilárd anyag haladási irányában az alábbi gyűrűtípusok alakulhatnak ki [1, 3]:

- iszapgyűrű, porgyűrű,
- középgyűrű, lisztgyűrű,
- olvadékgyűrű, zsugorgyűrű,
- hamugyűrű, klinkerpor gyűrű.

A 2. ábrán egy forgókemence hűlő- és zsugorító zónája látható zsugorgyűrűvel és középgyűrűvel. A 3. ábra középgyűrűt mutat be.



2. ábra. Forgókemence belvilága a kiömlés felől nézve. Elöl a középgyűrű, majd a zsugorgyűrű látható

A klinkerégetéshez felhasznált anyagoknak a gyűrű- és tapadékképződésre hatást gyakorló tulajdonságai az alábbiakban foglalhatók össze [1-4]:

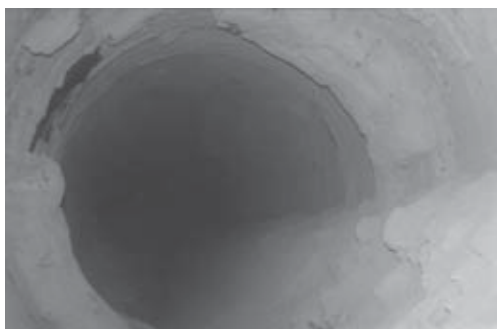
- A kemenceliszt, klinker, por, tüzelőanyag, hamu kémiai és granulometriai összetétele, valamint az előbbiekingadozása. A nyersanyagokkal és tüzelőszerrel bevitt alkáliák, kloridok, szulfátok, fluoridok stb. koncentrációja és illékonysága.
- A kemence kénháztartása.
- A tűzálló falazat kémiai és ásványi összetétele.

1. táblázat

A gyűrű- és tapadékképződésben ható tényezők forgókemencékben

| A ható erők számbavétele | Példák |
|--|--|
| Nedvesség- és olvadéktapadás | Iszapgyűrű, porgyűrű, zsugorgyűrű (szárító-, kalcináló zóna, zsugorító zóna) |
| Felületi erők (elektrosztatikus feltöltődés, nemezelődés stb.) | „Szárász” lisztgyűrű, porgyűrű, középgyűrű (kalcináló zóna) |

* 2001. november 13-15. között Visegrádon rendezett Cementipari Konferencián elhangzott előadás nyomán



3. ábra. Forgókemencében képződött középgyűrű a zsugorítózóna felől nézve

- A füstgáz összetétele, különösen akkor, ha a gázatmoszféra redukáló; portartalma.
- Hőmérséklet-eloszlás a kemencében.
- Áramlási sebesség (füstgáz, por, nyerstöltet).
- A kemence méretezése.

A nyersanyagokkal bevitt illó alkotók főbb forrásai [1]:

- földpátok – ortoklász, albit;
- illit-csoportozóhoz tartozó agyagásványok;
- kaolinit és montmorillonit által adszorbeált kationok, különösen a káliumionok;
- agyagásványokra rakódott sók, különösen alkáli-szulfát és -klorid;
- szulfidként bevitt kénvegyületek, mint pl. piritpörk;
- kén, különösen a szénből és fűtőolajból származó;
- alkálisók szilárd tüzelő anyagokból (különösen németországi barnaszenekekből).

A tapadékképzést előidéző hatások mindig együtt hatnak a tapadékot elbontó hatásokkal. A tapadék vastagsága (általában 50...200 mm) és stabilitása minden ható tényező együttes eredménye.

Stabil tapadék kialakulásához meghatározott mennyiségű és viszkozitású olvadék szükséges. Az 1200 °C feletti hőmérsékleti tartományban (zsugorítózózában) a klinkerolvadék a mértékadó alkotó, a 600 és 1200 °C közötti tartományban pedig az alkáli-kloridok és alkáli-szulfátok a meghatározó tényezők.

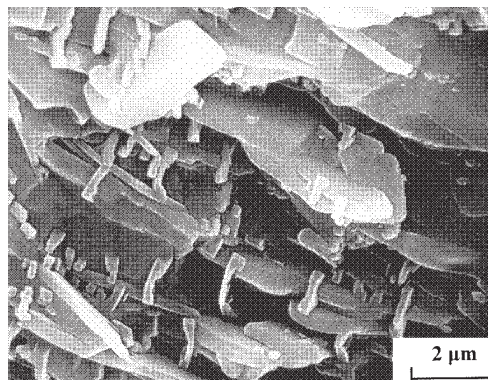
Továbbá bizonyos „kettős sók” (ásványok) a tapadék és gyűrűk kialakulásában nagy szerepet játszanak, mivel nagy összetartó erőt jelentenek (felületi erők, nemezelődés). Ilyen kettős sók a következők [1, 5]:

- spurrit ($2C_2S \cdot CaCO_3$), kb. 920 °C-ig létezik;
- szulfát-spurrit ($2C_2S \cdot CaSO_4$), kb. 1300 °C-ig stabil;
- kalcium-szulfó-aluminát ($3CA \cdot CaSO_4$), kb. 1300 °C-ig mutatható ki;
- kromát-spurrit ($2C_2S \cdot K_2CrO_4$), kb. 1500 °C-ig egzisztál;
- $Na_2Ca(CO_3)_2$, $Na_2CO_3 \cdot 2Na_2SO_4$, létük kb. 830 °C-ig tart;
- $3C_3S \cdot CaF_2$, $2C_2S \cdot CaF_2$, $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$, $3CA \cdot CaF_2$.

Néhány jellegzetes tapadék mikroszerkezete a 4. és 5. ábrán látható.

A 6. ábra az 5. ábrán látható tapadék elektronmikroszkopos vizsgálatának (EPMA – Electron Probe X-ray Micro-Analysis) eredményét szemlélteti, amelyből a szulfát-spurrit ($2C_2S \cdot CaSO_4$) jelenléte valószínűsíthető. A feltételezést minőségi röntgendiffrakciós analízissel (XRDA – X-Ray Diffractometric Analysis) is megerősítettük.

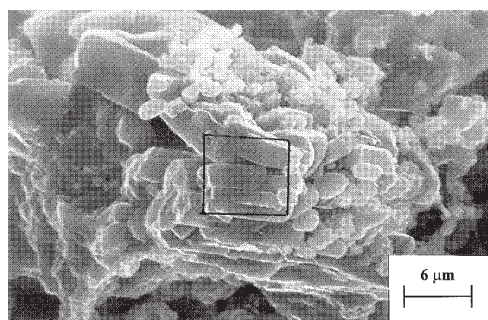
A 7. ábrán a kalcit ($CaCO_3$) és spurrit ($2C_2S \cdot CaCO_3$) gőznyomását (P_{CO_2}) ábrázoltuk a hőmérséklet függvényében [7]. Jól látható, hogy a spurrit nagyobb stabilitása a kisebb gőznyomásának köszönhető.



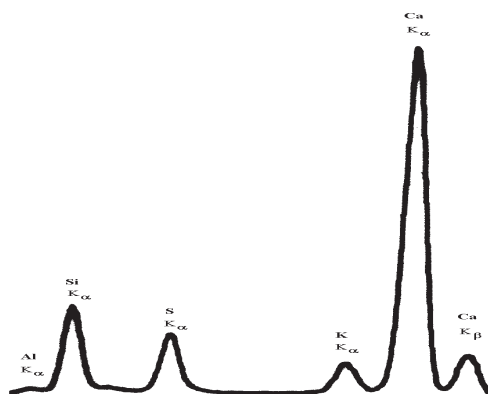
4. ábra. Középgyűrű mikroszerkezete.

Jól szemlélteti a szilárd alkotók nemezelődését.

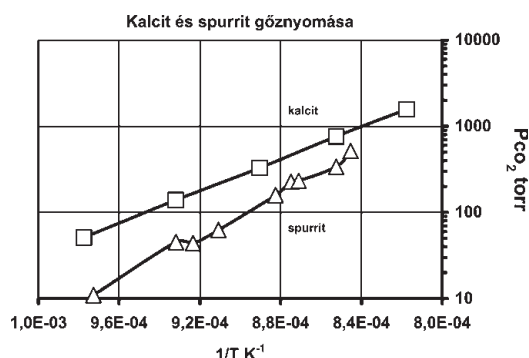
A kaptajfa alakú „kapcsok” a spurrit ($2C_2S \cdot CaCO_3$) kristályai



5. ábra. Fászerkezetű (dendrites) tapadék mikroszerkezete (kalcinálózózából). A bekeretezett terület valószínűleg szulfát-spurritből áll, környezete pedig kalcium-aluminátokat tartalmaz



6. ábra. Az előbbi fászerkezetű tapadék elektronmikroszkopos vizsgálatának (EPMA). Az azonosított elemek a jelerősség sorrendjében: Ca, Si, S, K, Al



7. ábra. Kalcit és spurrit gőznyomása a hőmérséklet függvényében [7]

Védő jellegű és stabil tapadékképződés elősegítése

A védő jellegű és stabil tapadék kialakulását, valamint a termelést zavaró nagymérvű gyűrűképződés megakadályozását a következő műszaki-technológiai intézkedésekkel – a teljes ségre való törekvés igénye nélkül – érhetjük el:

- A kemenceliszt kémiai és ásványi összetételének, valamint granulometriájának stabilizálásával.
- A tűzálló falazat anyagának és a falazás módjának helyes megválasztásával hatékonyan befolyásolhatjuk a tapadék stabilitását a forgókemence különböző zónáiban, illetve a lebegtető hőcserélőben a tűzálló falazat és az alkáliolvadék közötti kölcsönhatásokat csökkenthetjük (a kémiai reakciók elkerülése, a „nedvesítési hajlam” csökkentése stb.).
- A kemencetest káros mértékű deformációjának elkerülésével. Például a forgókemence „ostorozó” mozgása a tapadékot és gyűrűket leveri, illetve a tűzálló falazatot elmozdítja.
- Az égő (gáz-, olaj- és szénporéggő) és a forgókemence tengelye által bezárt szög helyes megválasztásával a zsugorító zóna hőterhelése megfelelően beállítható, miáltal a célnak megfelelő, a termelést nem zavaró gyűrűk képződnek, és a különböző kemencezónákban pedig védő jellegű tapadék alakul ki a tűzálló falazaton,

illetve a lebegtető hőcserélőben ritkábban jelentkeznek dugulások.

- Tapadékok és gyűrűk „karbantartása”:
 - a hőcserélő rendszeres tisztítása a kalcinált liszt szabad ömlésének (mozgásának) biztosítása céljából (pl. pneumatikus tisztítás);
 - a nagyméretű gyűrűk leolvasztása „rátüzeléssel”, vagy összeomlasztása a hőmérséklet-eloszlás megváltoztatásával, illetve folytonos felügyelete és „lelövése” különböző módszerekkel (pl. nagynyomású vízszugár, ipari ágyú, CARDOX eljárás);
 - a kemence tapadégmentesítése adalékanyagokkal (pl. szuperfoszfát) [6];
 - a túlnövekedett klinkerpor gyűrű (klinkerkiömlésnél) méretének csökkentése „faragással” stb.

Irodalom

- [1] Seidel, G.–Huckauf, H.–Stark, J.: Technologie der Bindebaustoffe, Band 3. Brennprozess und Brennanlagen, c. p. 32, 165-176.
 - [2] Wajdowicz, A. A.–Brito, Carlos A.: La Chimie du clinker et son influence sur la durée des réfractory, Ciment, Bétons, Plâtres, Chaux, N° 787-6/90, p. 394-405.
 - [3] Opitz, D.: Die Ansatzringe in Zementdrehöfen, Schriftenreihe der Zementindustrie, Heft 41/1974.
 - [4] Sylla, H.-M.: Ansatzbildung durch Salzschnmelzen, Zement-Kalk-Gips, 30, 9. p. 487-494.
 - [5] Amafuji, A.–Tsumagari, A.: Formation of Double Salt in Cement Burning, Supplementary Paper I-82, Proceedings of The Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968.
 - [6] Bényei Károly: Körfolyamatok a korszerű klinkergyártásban, Építéstügyi Tájékoztatói Központ, Budapest, 1986.
 - [7] Steuervald, F.–Hackenberg, P.–Scholze, H.: Dampfdruck von Spurrit $2C_2S \cdot CaCO_3$, Zement-Kalk-Gips, 23, 12. 579-580. (1970).
- Jankó András: Gyűrűképződmények vizsgálata száraz eljárású forgókemencékben. SZIKKTI kutatási zárójelentés, 1979. Tsz.: 2-68-III/77.
- Jankó András: Az agyagösszetétel hatása a HCM forgókemencék tapadékképződésére. SZIKKTI kutatási jelentés, 1981. Tsz.: 20-2-II/35.
- Jankó András. Additional Examination of the Ring formed in a Clinker Burning Pilot Rotary Kiln by means of Thermogravimetric Analysis (TGA) and Electronmicroscopy. Proceedings of the Seventh International Conference on Cement Microscopy, March 25-28, 1985, Ft. Worth, Texas, U.S.A.
- Jankó András: A klinkerégető forgókemence zsugorító zónájában képződött tapadék mikroszerkezeti jellemzői. Építőanyag. XLV, 2. 62-66. (1993).



SZIKKTI Labor Kft.

Brookfield cég magyarországi képviselője és márkakereskedője

Cím: 1034 Budapest, Bécsi út 122-124. „D” épület fszt. (1301 Pf.:81)

SZIKKTI Telefon: 388-8752 • Tel./Fax: 368-7626 • Fax: 430-1460 • E-mail: sziktilaborkft@matavnet.hu

Nemzeti Akkreditálási Testület által 502/0119 számon akkreditált, kalibráló laboratórium

TISZTELT ÜGYFELEINK!

A SZIKKTI Labor Kft., mint a **BROOKFIELD** Inc. U.S.A. laboratóriumi és ipari viszkoziméterek magyarországi hivatalos forgalmazója az ÖNÖK rendelkezésére áll a következő szakterületeken:

- új készülékek – laboratóriumi és ipari viszkoziméterek, reométerek – beszerzése,
- tartozékok és standard anyagok beszerzése,
- javítási és recalibrációs munkák elvégzése,
- alkalmazástechnikai szaktanácsadás.

A nagynyomású hengermalom cementipari alkalmazásának lehetőségei*

Gável Viktória** – Hatvani Zoltán***

** CEMKUT Kft.

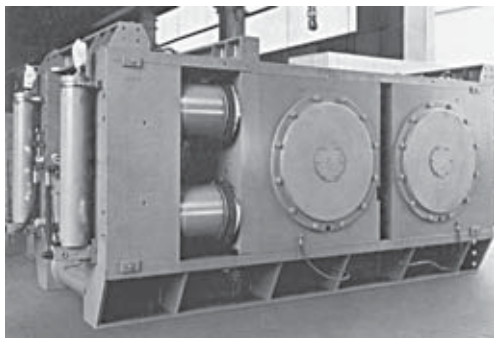
*** Miskolci Egyetem



Bevezetés

A cementgyártás egyik igen fontos és nagy energiát igénylő részfolyamata a klinkerőrlés, mely általában golyósmalomban történik. Mai ismereteink szerint azonban a golyósmalomban történő őrlés sem a mechanikai igénybevételek, sem pedig a fajlagos energiafelhasználás szempontjából – mely nagyobb része a malomtöltet mozgatására fordítódik – nem tekinthető optimálisnak.

Az őrlési energia csökkentésére való törekvés vezetett ahhoz, hogy az 1980-as évekre külföldön kifejlesztették a termékágyas nagynyomású hengermalmokat (1. ábra) [1], melyeket már számos külföldi cementgyárban sikeresen alkalmaznak cementklinker őrlésére is. A nagynyomású hengermalom kifejlesztése Schönert professzor nevéhez fűződik, aki erről 1996-ban a CEMKUT Kft. 5 éves jubileuma alkalmából Velencén rendezett Cementipari Tudományos Konferencián tartott előadást. Az egyedi szemcsékkel és szemcsekollektívákkal végzett kísérleti eredményei szerint a rideg anyagok, mint pl. a cementklinker is, a legkisebb fajlagos energiaszükséglettel nyomó igénybevétellel apríthatók [2]. A nagynyomású hengermalomban a nyomóerő több mint ötszöröse a nyíróerőnek, szemben a golyósmalommal, ahol a nyíróerők aránya jóval nagyobb.



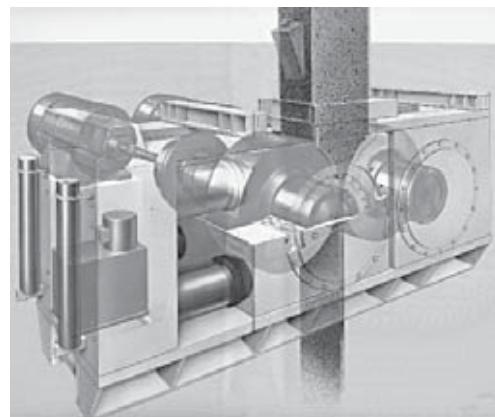
1. ábra. KRUPP POLYSIUS – POLYCOM típusú nagynyomású hengermalom

A termékágyas nagynyomású hengermalom működése

A malom két azonos fordulatszámmal egymással szemben forgó hengerből áll. A hengerek közül az egyik elmozdulhat,

a másik fixen telepített. Az elmozduló hengert hidraulikusan, nagy nyomással támasztják ki (2. ábra) [1].

Az őrlendő anyagot a hengerek közé vezetik, s a forgó hengerpár a laza anyagot a hengerek közti résbe behúzza, miáltal az anyag pórusterfogata jelentősen lecsökken, és az így komprimált anyagban a szemcsék igen hatásosan aprózódnak.



2. ábra. A nagynyomású hengermalom működése

A berendezés működésének alapvető eltérése a hagyományos hengermalmokkal szemben az, hogy az itt alkalmazott nyomó igénybevétel lényegesen nagyobb. A nyomóerő 50 MPa-tól akár 300-800 MPa-ig is terjedhet [3], s ennek eredményeképp a hengerek közé kerülő szemcsék törési valószínűsége közeledik a 100%-hoz.

Mivel a nagynyomású hengermalomban történő őrlésnél egy bizonyos mértékű nyomásnál már fellép a szemcsék agglomerálódása, a hengert elhagyó kompaktált anyagot dezagglomerálni kell. Erre a célra főként ütés-ütközés igénybevétellel működő prall-, kalapács- vagy cementklinker őrlésénél elsősorban golyósmalmokat használnak.

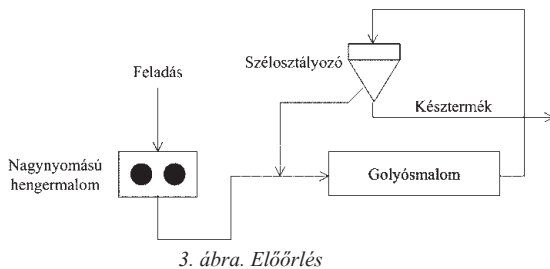
Technológiai megoldások

A nagynyomású hengermalom cementőrlésre való alkalmazására alapvetően 4 féle technológiai megoldást fejlesztettek ki [3].

* 2001. november 13-15. között Visegrádon rendezett Cementipari Konferencián elhangzott előadás nyomán

1. Előőrlés

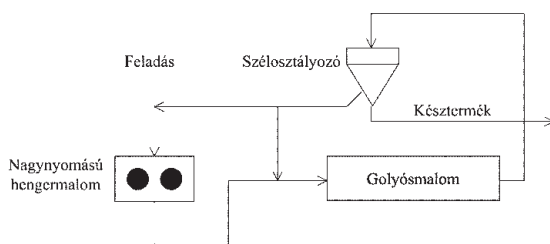
A nagynyomású hengermalom alkalmazható pusztán előőrlésre a golyósmalom előtt. Ekkor csak a golyósmalom üzemel körfolyamatban egy szélesztályozóval (3. ábra).



3. ábra. Előőrlés

2. Hibrid-őrlés

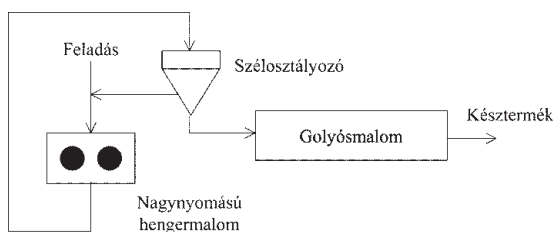
Hibrid rendszerű őrlésnél mind a nagynyomású hengermalom, mind pedig a golyósmalom körfolyamatban üzemel. Mégpedig úgy, hogy a golyósmalomból kikerülő őrléményt három frakcióra választják szét, melyből a legfinomabb a késztermék, a középső frakció a golyósmalomba kerül vissza, és a legdurvább anyag a hengermalomra kerül újra feladásra (4. ábra).



4. ábra. Hibrid-őrlés

3. Kombi-őrlés

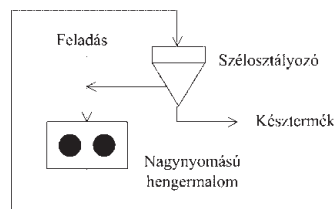
Kombi rendszerű őrlés alkalmazása esetén a nagynyomású hengermalom van a körfolyamatba kapcsolva, és ennek leválasztott finomterméke kerül további őrlésre vagy dezagglomerálásra a golyósmalomba (5. ábra).



5. ábra. Kombi-őrlés

4. „Készre”-őrlés

Találkozhatunk a nagynyomású hengermalom cement-őrlésre való alkalmazásával önmagában is, golyósmalom nélkül. Ekkor a szintén körfolyamatban üzemelő hengermalom leválasztott finomterméke egyben már a késztermék is (6. ábra).



6. ábra. „Készre”-őrlés

Szakirodalmi közlemények és külföldi tapasztalatok egyértelműen bizonyítják, hogy a nagynyomású hengermalom cement-őrlésre való alkalmazása jelentős energiamegtakarítást és a feldolgozóképeség növekedését eredményezi (1. táblázat) [3].

1. táblázat

A nagynyomású hengermalom alkalmazásával elérhető energiamegtakarítás

| Őrlési technológia | Kapacitás-növekedés | Energia-megtakarítás |
|--------------------|---------------------|----------------------|
| Előőrlés | 30-40% | 10-15% |
| Hibrid-őrlés | 60-80% | 10-20% |
| Kombi-őrlés | 80-200% | 15-30% |
| „Készre”-őrlés | – | 35-50% |

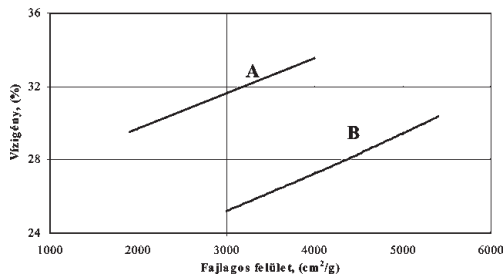
A nagynyomású hengermalomban történő őrlés hatása a cementminőségre

Eltérőek a tapasztalatok, ill. vélemények a cementek minőségét illetően. A kérdéssel foglalkozó külföldi kutatók egyetértenek abban, hogy a nagynyomású hengermalomban előállított cementek minősége eltér a hagyományos golyósmalom-rendszerben előállított cementek minőségétől.

Azonban a nagynyomású hengermalommal kapcsolatosan sem hazai gyakorlati tapasztalatokkal, sem pedig vizsgálati eredményekkel nem rendelkezünk. Ugyanis Magyarországon jelenleg a cement-őrlés kizárólag golyósmalmokban történik, s az őrlésméretet, ill. őrlési technológiát érintő eddigi hazai kutatások is e típusú malomra vonatkozóan történtek.

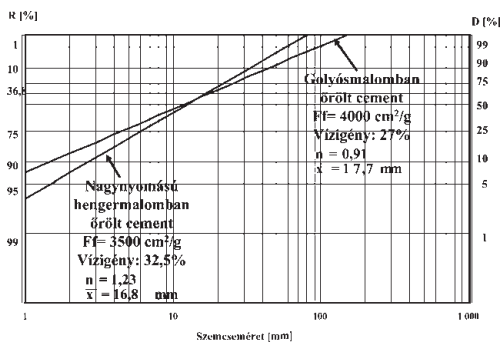
A cement minőségével kapcsolatos kérdések között mindenekelőtt meg kell említeni a nagynyomású hengermalomban előállított cementek vízigényét. Ugyanis a nagynyomású hengermalomban őrölt cementek vízigénye általában nagyobb a golyósmalomban őröltekéhez képest.

Ez látható a 7. ábrán [4] is, mely két cement vízigényét mutatja fajlagos felületük függvényében. Az A-jelű cement nagynyomású hengermalomban őrölt, majd kalapácsos malommal dezagglomerált, míg a B-jelű hagyományos golyósmalomban előállított cement. Látható, hogy azonos fajlagos felület értékeknél a hengermalomban őrölt A-jelű cement vízigénye lényegesen nagyobb, mint a golyósmalomban őrölt B-jelű cementé.



7. ábra. A cement fajlagos felülete és vízigénye közötti összefüggés

Ezen okok tisztázása céljából megvizsgáltuk két kb. azonos fajlagos felületű nagynyomású hengermalomban, ill. golyósmalomban előállított cement szemcseméret-eloszlását (8. ábra). Látható, hogy a hengermalomban előállított cement egyenletességi tényezőjének értéke $n \geq 1$, azaz szemcseméret-eloszlása „szűkebb”, mint a golyósmalomban őrölté. A nagynyomású hengermalomban őrölt cementek nagyobb vízigénye a „szűkebb” szemcseméret-eloszlással összefüggésben van. Ugyanis egy cementörleményben a szilárd térfogati hányad annál kisebb, ill. a vízzel kitöltendő hézagok térfogata annál nagyobb, minél „szűkebb” annak szemcseméret-eloszlása [5].



8. ábra. Golyósmalomban és nagynyomású hengermalomban őrölt cementek szemcseméret-eloszlása

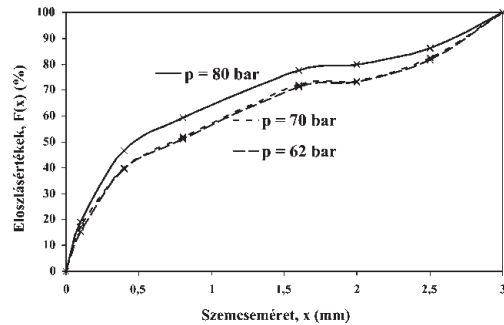
A Miskolci Egyetemen a CEMKUT Kft.-vel együttműködve vizsgálatokat végeztek annak tisztázására, hogy a nagynyomású hengermalom egyes üzemi paramétereinek változtatása milyen hatással van a klinkerörlemények szemcseméret-eloszlására.

A vizsgálatok elvégzéséhez egy 200 mm hengerátmérőjű malmot használtunk, és a mérések során a támasztónyomást, a hengerek kerületi sebességét, azaz fordulatszámát és a hengerek közötti üresjárási résméretet változtattuk. A klinkerminta előkészítése kíméletes aprítással két fokozatban történt.

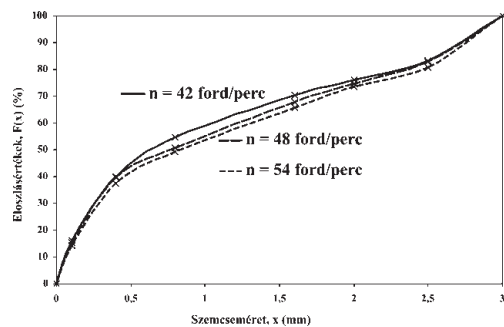
A 9. ábrán állandó $S_0 = 2,5$ mm-es üresjárási résméret, állandó $n = 45$ ford/perc fordulatszám és három különböző támasztónyomás ($p = 62, 70, 80$ bar) mellett készült őrlemények szemcseméret-eloszlása látható. Nagyobb támasztónyomás alkalmazásakor csökkent az őrlemény átlagos szemcsemérete, és szemcseméret-eloszlása is „szűkebb” lett.

A következő esetben állandó volt a támasztónyomás ($p = 80$ bar) és az üresjárási résméret ($S_0 = 3,5$ mm), a változtatott paraméter a hengerek fordulatszáma volt ($n = 42$,

48, 54 ford/perc). Az őrlemények szemcseméret-eloszlását tekintve látható, hogy a fordulatszám változtatásával nem sikerült jelentős változást elérni az őrlemények szemcseméret-eloszlásában (10. ábra).

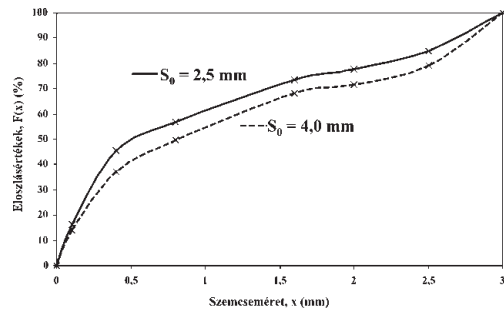


9. ábra. A támasztónyomás változtatásának hatása a klinkerörlemény szemcseméret-eloszlására



10. ábra. A fordulatszám változtatásának hatása a klinkerörlemény szemcseméret-eloszlására

Természetesen kisebb résméret alkalmazása esetén csökkent az őrlemény átlagos szemcsemérete, és kismértékben szélesebb, „szórtabb” szemcseméret-eloszlású klinkerörleményt kaptunk, a különbség azonban nem számottevő (11. ábra).



11. ábra. Az üresjárási résméret változtatásának hatása a klinkerörlemény szemcseméret-eloszlására

Tehát a nagynyomású hengermalom üzemi paramétereinek változtatásával – különösen mivel ezek nem tág határok között változtatható értékek voltak – nem sikerült számottevően befolyásolni az őrlemény szemcseméret-eloszlásának jellegét, az mindig viszonylag „szűk” maradt.

Fontos azonban kihangsúlyozni, hogy a nagynyomású hengermalomban előtört klinker őrölhetősége, azaz Bond-féle munkaindexje igen kedvezően alakult, azaz lényegesen kisebb volt, mint az eredeti klinkeré. Míg az eredeti klinker

őrölhetősége $W_i \sim 17$ kWh/t, a hengermalomban előtört klinkerek esetén $W_i \sim 14$ kWh/t volt (2. táblázat).

2. táblázat

Az eredeti és a nagynyomású hengermalomban előtört klinker őrölhetősége

| Bond-féle munkaindex értékek | |
|------------------------------|--|
| Eredeti klinker | Nagynyomású hengermalomban előtört klinker |
| ~ 17 kWh/t | ~ 14 kWh/t |

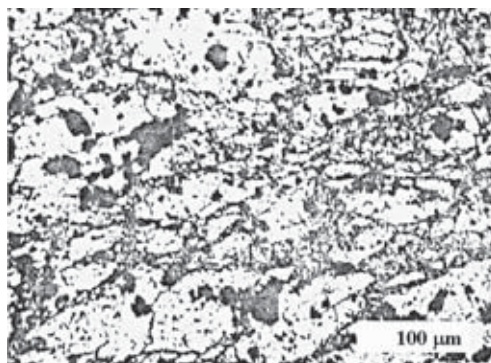
Ez elsősorban arra vezethető vissza, hogy a nagy nyomóerő hatására az el nem tört klinkerszemcséken is makro- és mikroméretű repedések képződtek, ami jelentősen megkönnyítette e szemcsék további aprítását (12. ábra) [6].

Összefoglalás

Az általunk végzett eddigi vizsgálatok természetesen nem elegendők ahhoz, hogy messzemenő következtetéseket vonjunk le. Ezért mindenképpen indokolt ezzel a malomtípussal a továbbiakban kutatási szinten behatóbban foglalkozni.

További vizsgálatok szükségesek a cementminőség vonatkozásában például a cement vízigény-kérdésének, a cement kötőszabályozóként alkalmazott szulfáthordozó vízvesztési folyamatainak tisztázására, például a REA-gipsz esetében.

Tisztázandó továbbá, hogy milyen előnyöket nyújthat a nagynyomású hengermalom a nagy mennyiségű és/vagy többfajta cementkiegészítő anyagot tartalmazó cementek gyártása, vagy pedig a „különőrlési + keverési” technológia alkalmazása esetében. Például a klinkernél nehezebben őrölhető granuláltkohósalak-tartalmú cementek előállításánál



12. ábra. Nagynyomású hengermalomban történő őrlés okozta repedések klinkerben

nemcsak az őrlési energia csökkenése, hanem a kohósalak hidraulikus aktivitásának növekedése is várható a nagynyomású hengermalomban történő „előőrlés” következtében.

Irodalom

- [1] KRUPP POLYSIUS: POLYCOM high-pressure grinding roll. Grinding technology.
- [2] Schönert, K.–v.d. Ohe, W.–Rumpf, H.: Technische Feinzerkleinerung mit Einzelkornbeanspruchung zwischen zwei Flächen. Chemie-Ing.-Technik, 37, (3/1965) 259-264.
- [3] Feige, F.: Entwicklungsstand der Hochdruckzerkleinerung. Zement-Kalk-Gips, 46, (9/1993) 586-595.
- [4] Rosemann, H.–Hochdahl, O.–Ellerbrock, H.-G.–Richartz, W.: Untersuchungen zum Einsatz einer Gutbett-Walzenmühle zur Feinmahlung von Zement. Zement-Kalk-Gips, 42, (4/1989) 165-169.
- [5] Opoczky, L.: A többkomponensű cementek szemcseméret-eloszlása és minősége. Építőanyag, 48, (1996) 55-60.
- [6] Wüstner, H.–Dreizler, I.–Oberheuser, G.: Einsatz von Rollenpressen in Mahlanlagen für Kohle, Zementrohstoffe und Zement. Zement-Kalk-Gips, 40, (7/1987) 345-353.

RENDEZVÉNYTERVEK

Az SZTE XXV. Küldöttgyűlése

Időpont: 2002. május 22. 10 óra. *Helye:* MTESZ Budai Konferencia Központ, 1027 Budapest, Fő u. 68.

Program:

- A magyar tudomány helyzete
Előadó: dr. Balogh Tamás főosztályvezető, OM Stratégiai Főosztály
- Beszámoló az Egyesület tevékenységéről és terveiről
- Közhasznúsági jelentés
- Az Ellenőrző Bizottság jelentése
- Beszámoló és előterjesztés a 2001. évi költségvetés teljesítéséről és a 2002. évi költségvetési előirányzatról
- Szilikátiparért Emlékérmek átadása
- Örökös Tagok avatása
- Elnöki zárás

A végleges „Meghívót” május elején postázzuk.

Emlékezés Fellner Jakabra születésének 280. évfordulóján

2002. április 24. (szerda) 14 óra. Helye: Épületfenntartók Országos Egyesülete, Budapest VI., Paulay E. u. 6.

Rendezők: Építéstudományi Egyesület Építéskivitelezési Szakosztály, Senior Klub, Szilikátipari Tudományos Egyesület Szigetelési Szakosztály, Épületfenntartók Országos Egyesülete.

Előadó: dr. Merényi László ny. tanár, történész; felkért hozzászóló: dr. Rudnyánszky Pál c. egyetemi docens, okl. építészmérnök, az SZTE társelnöke.

Környezetvédelem a téglá- és cserépiparban Konferencia

2002. május 9-10. Helye: Volán Hotel Kft., Balatonvilágos. *Rendezők:* Szilikátipari Tudományos Egyesület Téglá- és Cserép Szakosztálya, Magyar Téglás Szövetség, Téglá- és Cserépipari Környezetvédelmi Társulás.

Részletes programot a Szakosztály tagjai kapnak, igény esetén másoknak is megküldjük.