

# 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 CO<sub>2</sub>-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

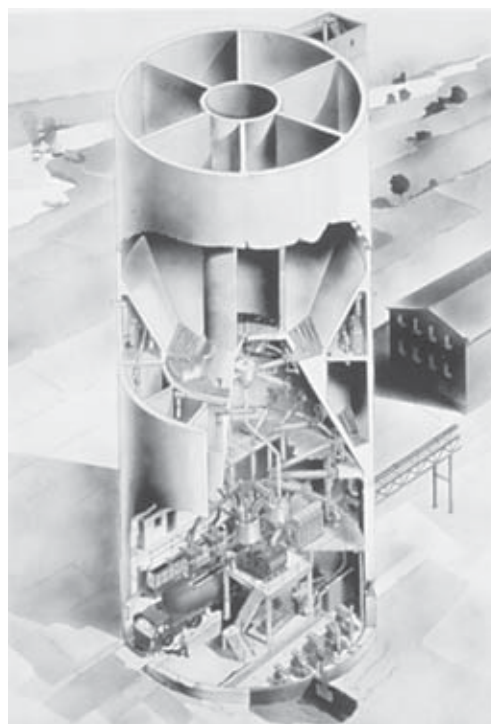
#### Kompozitcementekkel elérhető energiamegtakarítás

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

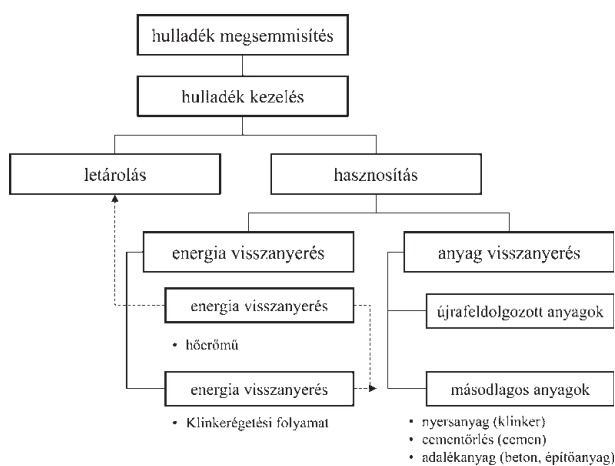
1998-ban, a német karsdorfi cementgyárban helyezték üzembe. A silónak 22 kamrája van.



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

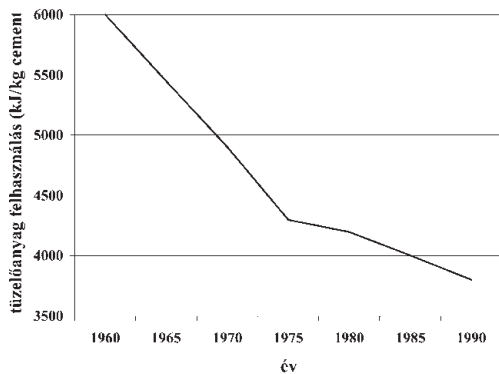
A cementiparban világszerte használt alternatív, másodlagos tüzelőanyagok a következők:

- *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.

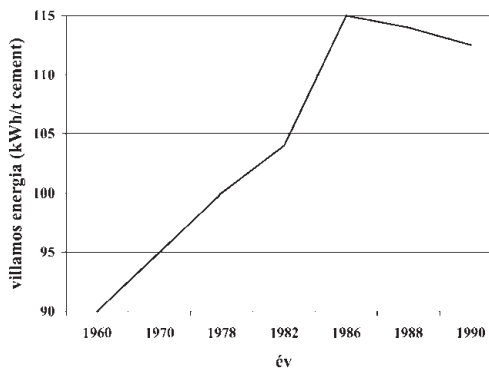
#### Energiamegtakarítás a klinkerégetésnél és a cementőrlésnél

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

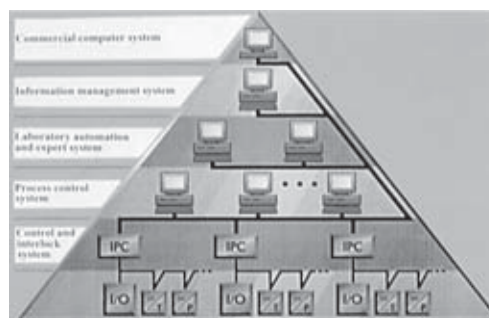
Még nagyobb az elektromosenergia-megtakarítás a cementőrlésnél, noha e megtakarítások egy részét a portalanítás, a tüzelőanyag-őrlés és az automatizálás többletköltségei felemésztették. A cementiparban a fajlagos elektromosenergia-szükséglet alakulását 1960 óta a 7. ábra mutatja. Mint látható, 1986-tól 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 siló 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 generációit

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).

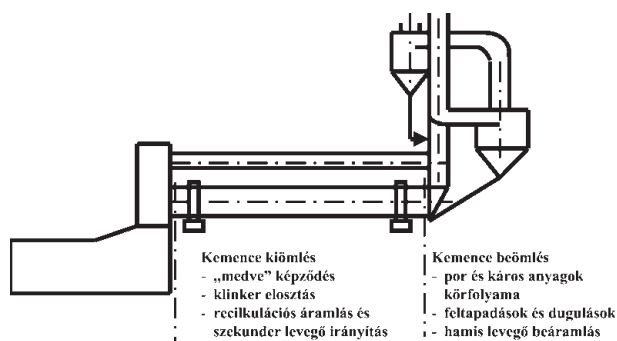
Végül rámutatunk arra a paradoxonra, hogy a forgókemencében ott történik a tüzelés, ahol a zsugorítás exoterm

2. táblázat

Távlati jelentőségű kutatási témák

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

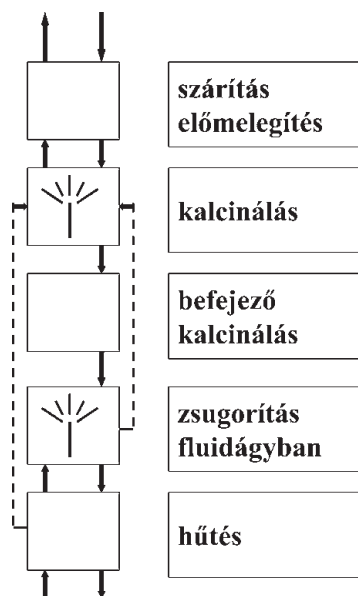




9. ábra. Átmenetproblémák a forgókemencék rendszerhatárán

folyamata meggy végbe. A hőfelszabadítással együtt a magas, 2000 °C-ig emelkedő hőmérséklet nemcsak az NO<sub>x</sub>-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.

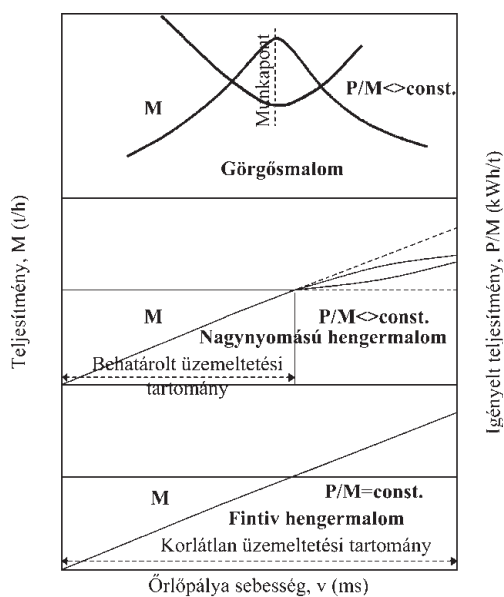
A nagynyomású hengermalom behatárolt anyagöltést és olyan őrlési nyomást igényel, amely a görgősmaloménak (az ún. „horomill”-nél szükségesnek) többszöröse, és csak korlátozottan állítható be. A nagy nyomások alkalmazása robusztus felépítést tesz szükségessé, és nagy kopási költségeket eredményez, ezért 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