

302935

# ÉPÍTŐANYAG

XLII.  
ÉVFOLYAM  
BUDAPEST, 1990  
ÉPÍTŐANYAG, 42 (5), 161-200 (1990)

5

A SZILIKÁTIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

# É P Í T Ó A N Y A G

A mész és cement-, az üveg-, a finomkerámiai-, a téglá- és cserép-, a kő-kavics- és a betonipar, a szigetelőanyagok iparának tudományos szakirodalmi folyóirata

## Szerkesztőbizottság:

elnöke:

Dr. Talabér József

felelős szerkesztő:

Dr. Székely Ádám

tagjai:

Dr. Balázs György

Dr. Bálint Pál

Dr. Csizi Béla

Dr. Grofcsik Elemér

Iffy László

Dr. Jilek József

Dr. Kacsalova Lídia

Dr. Kertész Pál

Dr. Kovács Róbert

Dr. Kuvári Árpád

Lenkei György

Dr. Mátrai József

Dr. Mihócs Ferenc

Dr. Opoczky Ludmilla

Riesz Lajos

Sápi Lajos

Serédi Béla

Szentmártony Gusztáv

Dr. Tamás Ferenc

Treil István

Dr. Gráger Tamás

Wilwerger Ferenc

## SZILIKÁTTECHNIKA ROVAT

rovatvezető:

Garai György

tagjai:

Agócs István

Dr. Ábrahám Ferenc

Diószeghy Miklós

Dr. Farkas Ödön

Dr. Kolostori János

Dr. Mátrai Ferenc

Mogyorósi Sándor

Dr. Nagy Szilárd

Róth Jenő

Sobor Ede

Dr. Svoboda Vilmos

Dr. Szaladnya Sándor

Dr. Szőke Béla

Tahy Gáspár

## TARTALOM

<i>Kacsalova Lídia</i> : A hidrargillit termikus bomlása III. A böhmít keletkezésének mechanizmusa . . . . .	161
<i>Wojnárovitsné Hrapka Ilona – Opoczky Ludmilla</i> : Mesterséges szervesetlen szálak korróziója cementmátrixban . . . . .	166
<i>Balázs György – Kovács Károly</i> : A beton karbonátosodása . . . . .	175
<i>Kápolnai Iván</i> : Zsolnay-ék . . . . .	185

## SZILIKÁTTECHNIKA ROVAT

<i>Svoboda Vilmos</i> : Ipari szennyvíztisztítás a Zsolnay Porcelángyárban . . . . .	190
<i>Hajnal Lajos</i> : Kislejtésszögű álló perlitduzzasztó csökemence továbbfejlesztése . . . . .	195

## CONTENS

<i>Katchalova, Lidia</i> : Thermal decomposition of hydrargillit III. Mechanism of boehmit formation . . . . .	161
<i>Wojnárovits-Hrapka, Ilona – Opoczky, Ludmilla</i> : Corrosion of Synthetic Inorganic fibres in Cement Matrix . . . . .	166
<i>Balázs, György – Kovács, Károly</i> : Carbonation of Concrete . . . . .	175
<i>Kápolnai, Iván</i> : The Zsolnay Family . . . . .	185
<i>Svoboda, Vilmos</i> : Industrial Wastewater Purification in the Zsolnay Porcelain Works . . . . .	190
<i>Hajnal, Lajos</i> : Development of Stationary Low-Slope Rotary Kiln for the Manufacture of Expanded Perlite . . . . .	195

## INHALT

<i>Frau, Kacsalova, Lidia</i> : Thermischer Abbau des Hydrargillits III. Der Mechanismus der Boehmitbildung . . . . .	161
<i>Frau, Wojnárovits, Hrapka Ilona – Frau Opoczky Ludmilla</i> : Die Korrosion synthetischer anorganischer Fasern in der Zementmatrix . . . . .	166
<i>Balázs, György – Kovács, Károly</i> : Die Karbonatorierung des Betons . . . . .	175
<i>Kápolnai, Iván</i> : Die Zsolnay-s . . . . .	185
<i>Svoboda, Vilmos</i> : Industrieabwasserreinigung in der Porzellan-Fabrik Zsolnay . . . . .	190
<i>Hajnal, Lajos</i> : Weiterentwicklung eines stehenden Perlitblhofens mit kleinem Neigungswinkel . . . . .	195

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Качалова, Лидия</i> : Термическое разложение гидраргиллита. III. Механизм образования бемита . . . . .	161
<i>Войнаровитчнe, X. Илона – Опoчки, Людмила</i> : Коррозия синтетических неорганических волокон в цементной матрице . . . . .	166
<i>Балаж, Дьерь – Ковач, Карой</i> : Карбонизация бетона . . . . .	175
<i>Каполнаи, Иван</i> : „Жольнавчане” . . . . .	185
<i>Свобода, Вильмош</i> : Очистка промышленных сточных вод на Фарфоровом Заводе в Жольнаи . . . . .	190
<i>Хайнал, Лайош</i> : Дальнейшее развитие стоячей печи с маленьким углом наклона для в суочивания перлита . . . . .	195

## A hidrargillit termikus bomlása III. A bőhmit keletkezésének mechanizmusa

Kacsalova Lídia  
Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet,  
Budapest

### 1. Bevezetés

A bőhmit keletkezésének folyamatát sok kutató vizsgálta, aminek eredményeként négy különböző mechanizmust állapítottak meg. Az első mechanizmus szerzői azt állítják, hogy a bőhmit a hidrargillitben szerkezeti vízvesztés közben bekövetkező kristályrács átrendeződés nyomán keletkezik [1–5].

A második mechanizmus szerint a bőhmit az alumínium-oxid rehidratációjának terméke [6]. E mechanizmus két lépcsős: a hidrargillit dehidratációjakor először vízmentes alumínium-oxid alakul át, majd ez az  $Al_2O_3$  a maradék vízzel reagálva bőhmitet képez.

A harmadik mechanizmus alapján a bőhmit keletkezését hidrotermális folyamatnak kell tekintenünk [7]. Szerzőjük szerint a nagyméretű hidrargillit kristályok hevítésekor bennük belső gáznyomás jön létre, aminek következtében a bőhmit keletkezésének kedvező hidrotermális viszonyok alakulnak ki.

A bőhmit keletkezésének negyedik mechanizmusát a kvázi-izotermál–kvázi-izobár termogravimetrius és mikroszkópikus kísérletek eredményeire alapozták [8]. A részlegesen dehidratált hidrargillit szemcsék felületén elsődleges átalakulási centrumokat találtak, amelyeket a bőhmit fázis gócaiként identifikáltak. A hidrargillit bőhmitté való átalakulását e mechnizmus szerint a kristálygöcképződés sebessége határozza meg.

Számos kutató véleménye megegyezik abban,

hogy a bőhmit keletkezése a hidrargillit szemcsemérettől függ: a durvakristályos alumínium-trihidroxid bőhmiten keresztül, míg a finomszemcséjű közvetlenül átmeneti fázisú alumínium-oxid alakul át. Azonban a szemcsék, illetve aggregátumok méretére vonatkozóan az adatok ellentmondásosak [9].

Megállapítást nyert, hogy a hidrargillit elsődleges kristályok méretének csökkentésével és a bennük levő kristálydefektusok növekedésével a bőhmit keletkezésének lehetősége korlátozódik, illetve megszűnik [10].

Nem kétséges, hogy a vizsgálati eredményekre az alumínium-trihidroxid tulajdonságai mellett a kísérleti körülmények is hatással vannak. Amint megállapították a hidrargillit hevítési sebességének növelésével a bőhmit mennyisége csökken, keletkezési hőmérséklete pedig nagyobb lesz [11, 12].

E cikk I. és II. részében közölt eredményeinkből feltételezhető volt, hogy a bőhmit keletkezésében nagy szerepet játszhat a hidrargillit morfológiája, az aggregátumokat alkotó kristályok kristálykémiai állapota, szerkezeti homogenitása [12–13]. Következésképpen lehetségesnek tartottuk, hogy a bőhmit keletkezése az ismert mechanizmusok közül nem kizárólagosan egy, hanem párhuzamosan vagy egymást követően működő több mechanizmus szerint történik. Ennek igazolására irányultak az alábbi kísérletek.

## 2. Kísérleti módszerek

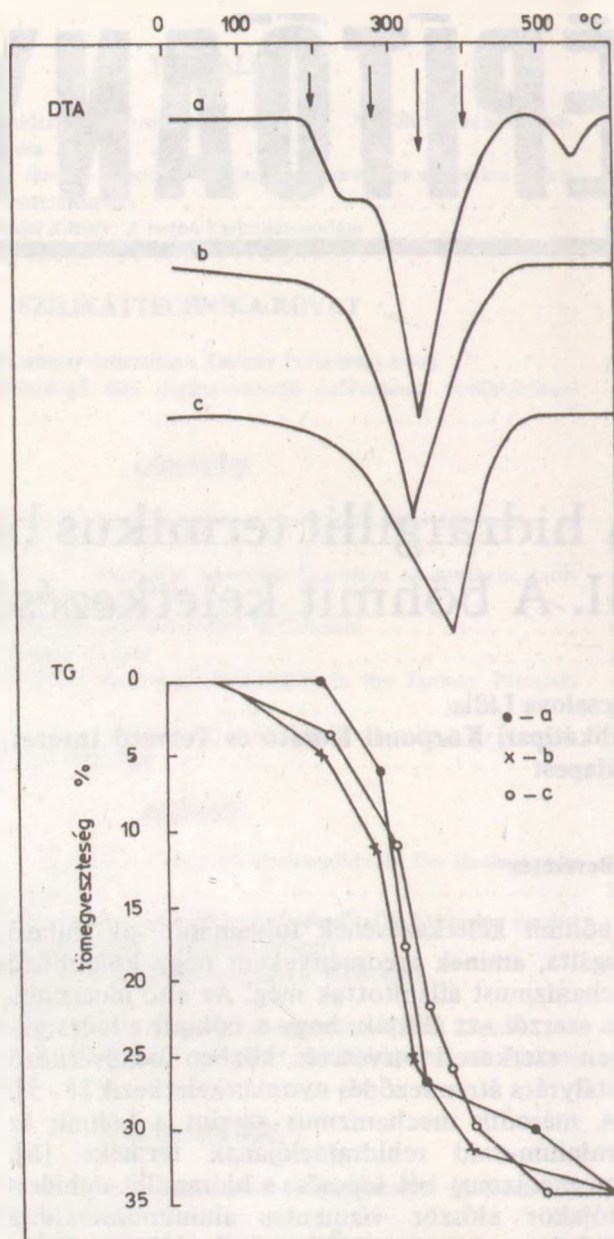
A kísérleteket az e cikk I. és II. részében tárgyalt hidrargillittel folytattuk. A hidrargillit dehidratációjakor bekövetkező fázis átalakulásokat MOM gyártmányú derivatográf és JEOL típusú diffraktométer, a morfológiai változásokat pedig JEOL pásztázó elektronmikroszkóp segítségével tanulmányoztuk. A vizsgált minta mennyisége 3 g volt, hevítését 10 °C/perc sebességgel végeztük. A hidrargillit őrlése „Herzog” malomban történt, a minták szemcseméretét „CILAS” lézer-granulométerrel határoztuk meg.

## 3. Kutatási eredmények

### 3.1. A bőhmit keletkezése hidrotermális mechanizmus szerint

A hidrargillit dehidratációja során keletkező bőhmit mennyiségét a differenciál-termoanalízis adatai alapján számoltuk ki. A 480°–600° közötti endotermikus effektushoz tartozó tömegvesztés a TG görbe szerint 4,7% volt, ami 31,4% bőhmit tartalomnak felel meg (1. ábra). A bőhmit keletkezés hőmérséklet-intervallumának meghatározására a hidrargillit a derivatográfban hevítettük az 1. ábrán megjelölt hőmérsékletig, miközben minden hőmérséklet elérése után a mintát lehűtöttük és röntgenvizsgálatnak vetettük alá. A röntgenfelvételeken a bőhmit csúcsok intenzitásváltozása alapján meghatároztuk azt a bőhmit mennyiséget, amely az 1. táblázatban feltüntetett hőmérsékleti szakaszokon keletkezett. Annak ellenére, hogy a TG görbén 200 °C-ig még nem mutatkozott tömegvesztés, ezen a hőfokon 5%-os mennyiségben bőhmit keletkezett. Ez a tény a hidrargillit „rejtett” dehidratációjára utal, amelynek okát e cikk második részében tárgyaltuk [12]. Mivel a hidrargillit-aggregátumok felületén termikusan stabil kristályréteg van, dehidratációja nem a felületen, hanem az aggregátumok belsejében indul meg. A felszabaduló kristályvíz mindaddig az aggregátumok belsejében marad, amíg el nem kezdődik a felületi rétegben elhelyezkedett kristályok dehidratációja. Ennek következtében 200 °C-ig a hidrargillit-aggregátumok belsejében hidrotermális viszonyok alakulnak ki. Az 1. táblázat adataiból látható, hogy ebben a szakaszban a bőhmit keletkezésére az amorf alumínium-oxid teljes mennyisége elhasználódott, a víz pedig feleslegben maradt.

Az ipari hidrargillitek kristályvíz tartalma az elméletinél általában nagyobb, ami „rosszul” kristályosodott, vagy amorf alumínium-hidroxid jelenlétére utal. Ez a fázis az aggregátumok belsejében helyezkedik el és hevítéskor szintén hidrotermális úton bőhmitté alakul át.



1. ábra  
Az eredeti (a) és az őrlött (b) hidrargillit, illetve utóbbiból sajtolt próbatest (c) derivatogramja

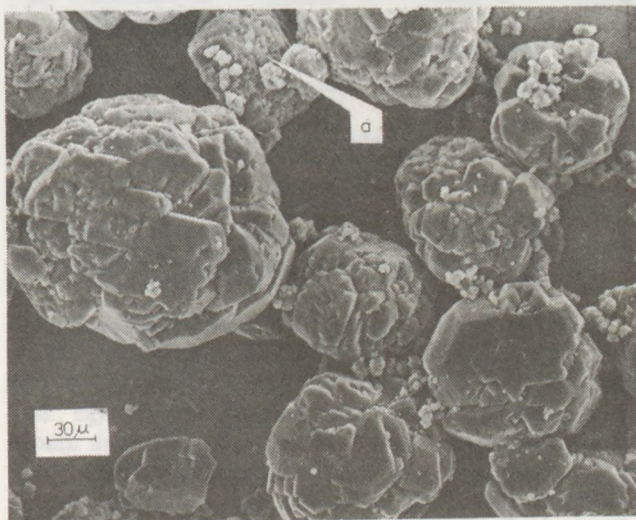
1. táblázat

A bőhmit mennyisége a röntgen- és TG analízis adatai alapján [%]

T °C	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	reakcióba nem lépett mennyiség	
		amorf Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
200	5	–	2,8
200–280	22,6	–	0,9
280–340	3,8	35,1	–

### 3.2. Bőhmit keletkezése a rehidatációs mechanizmus szerint

A hidrotermális mechanizmus szerzői szerint 200–220 °C-on a vízgőz belső nyomás annyira megnő, hogy a nagy kristályokat elroncsolja, ezáltal a hidrotermális mechanizmus működése megszűnik, vagyis a finomszemcséjű hidrargillitben bőhmit már nem keletkezhet. Ezzel szemben kísérleti eredményeink azt mutatták, hogy egyrészt a bőhmit keletkezése éppen 200–280 °C között a legerőteljesebb (1. táblázat), másrészt, hogy a hidrargillit-aggregátumok nemcsak 200 °C-os, hanem 340 °C-os hevítés után sem bomlottak el. A 2. táblázat adatai szerint a hevítés hatására a hidrargillit szemcseösszetétele gyakorlatilag nem változott. A 340 °C-on hevített hidrargillit SEM felvétele megerősítette a granulometriai vizsgálat eredményeit és megmutatta, hogy a hevítéskor nemcsak az aggregátumok mérete, hanem morfológiája is változatlan marad (2. ábra).



2. ábra  
A 340 °C-on hevített hidrargillit SEM felvétele  
a) az aggregátum belsejében elhelyezett kristályok

2. táblázat

A bőhmit szemcseösszetétele

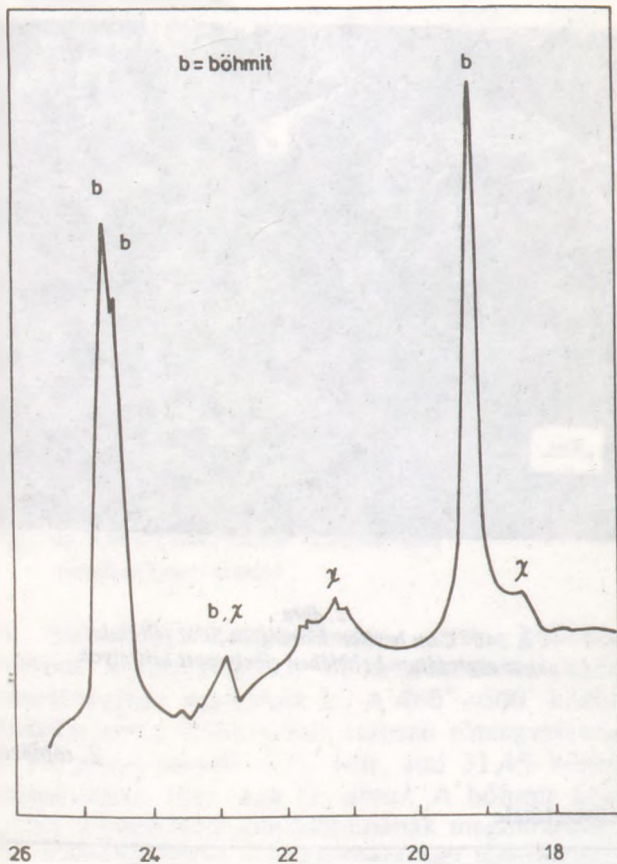
A minta jele	szemcseméret mikrométerben								
	192	128	96	64	48	32	24	16	16
eredeti	20,2	12,2	34,3	8,6	2,4	4,9	6,0	4,0	6,5
340 °C-on hevített	17,6	8,0	30,0	12,3	7,5	5,0	7,5	5,6	6,5
őrölt	0,5	0,4	7,1	4,5	8,7	6,9	8,5	7,5	55,9

Fentiek alapján a 200–280 °C közötti bőhmit keletkezését továbbra is a hidrotermális mechanizmussal lehetett magyarázni. Azonban, amint az 1. ábrán látható 200 °C után az aggregátumok felületén is megindul a dehidratációs folyamat, amiről TG görbén tömegvesztés, a DTA görbén pedig az első endotermikus effektus tanúskodik. Ennek következtében lehetővé vált, hogy az aggregátumok belsejében visszamaradt víz a felületük felé migráljon, ami a hidrotermális mechanizmus működését jelentős mértékben korlátozza.

Viszont kedvező körülmények alakulnak ki a rehidatációs mechanizmus számára. A kristályvíz távozásával az aggregátumok felületén porózus nagyreakcióképes amorf alumínium-oxidból álló réteg jön létre. Tekintettel arra, hogy a diffúzió sebessége 200–280 °C között még mérsékelt, az aggregátumok belsejéből a felület irányába diffundáló víz jelentős része reakcióba léphet az amorf alumínium-oxiddal, bőhmit képződését eredményezve. Az 1. táblázat adatai azt mutatják,

hogy ebben a hőmérsékleti intervallumban 22,6% bőhmit képződött, részben a hidrotermális, de főként a rehidatációs mechanizmus szerint.

A 280 °C után a hidrargillit dehidratációja jelentősen felgyorsul. A TG adatai szerint a kristályvíz diffúziójának sebessége négyszeresére nőtt. A hőmérséklet növekedésével az amorf alumínium-oxid részecskék mérete növekszik, ennek megfelelően a rehidatációs képességük csökken. Ezért 280–340 °C között csupán 3,8% bőhmit képződött, annak ellenére, hogy ebben a hőmérsékleti intervallumban a hidrargillit kristályrácsának végleges bomlása révén nagy mennyiségben amorf fázis keletkezett (1. táblázat). Az amorf fázis kristályosodásának terméke a benne lévő vízmennyiségtől és a hőmérséklettől függ. Ezért a 340 °C-on hevített hidrargillit röntgenfelvételén a bőhmit csúcsain kívül, más kristályos fázis,  $\chi$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diffrakciós maximumai is megtalálhatók (3. ábra). Tehát a bőhmit keletkezése 340 °C-on befejeződött, az összes mennyisége pedig az elméletileg lehetségeshez viszonyítva 56% volt.

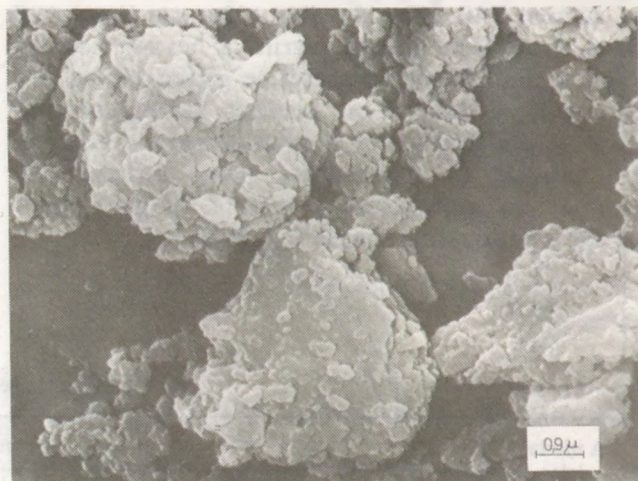


3. ábra  
A 340 °C-on hevített hidrargillit diffraktogramja

### 3.3. A böhmite keletkezésének megakadályozása

A fent leírt eredményeinkből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a hidrargillit dehidratációja során a böhmite keletkezése a hidrargillit sajátos morfológiájának a következménye. A hidrargillit-aggregátumok felépítése olyan, hogy a felületén levő kristályok termikusan stabil réteget képeznek, mivel ezek – az aggregátumok belsejében elhelyezkedettekkel szemben – nagyobb méretű szabályosabb geometriai formájú, tökéletesebb kristályosodású, kristálykémiailag szilárdabb kötésű és defektusokban szegényebb (2. ábra). Ennek a megállapításnak az igazolására szükség volt a hidrargillit morfológiájának megváltoztatására oly módon, hogy az aggregátumok felületén levő kristályok termikus stabilitását csökkentettük, a hidrargillit kristályrácsában a hibahelyek koncentrációjának növelésével. Ismeretes, hogy a defektusok létrehozásának egyik lehetősége az alumínium-hidroxid mechanokémiai aktiválása [10]. E célból a hidrargillittel őrlési kísérleteket végeztünk, arra törekedve, hogy a finom, 1 mikrométernél kisebb frakció mennyisége 10%-nál nagyobb ne legyen. Az őrlés hatására a hidrargillit szemcsemérete csökkent, eloszlásuk egyenletesebb

lett, emellett nagyméretű aggregátumok is megmaradtak. A 2. táblázat adatai szerint a 32 mikrométernél nagyobb méretű aggregátumok mennyisége 28%. Az őrlött hidrargillit röntgenfelvétele bizonyos eltérést mutatott az eredetiéhez képest, ami néhány csúcs intenzitásának kis csökkentésében nyilvánult meg a kristályrács hibahelyek növekedésére utalva. Az őrlött hidrargillit SEM felvételéből látható, hogy az aggregátumok felülete valóban megrongálódott, a belsejükben levő kisebb méretű kristályok egy része felszabadult és ezek új felületeket képeztek (4. ábra).



4. ábra  
Az őrlött hidrargillit SEM felvétele

A dehidratációs folyamat összehasonlítására az őrlött hidrargillitet az eredetivel azonos körülmények között derivatográfban hevítettük. Az 1. ábrán látható TG görbéből megállapíthatjuk, hogy az őrlött hidrargillit dehidratációja 150 °C-kal alacsonyabb hőmérsékleten kezdődött, a kristályvíz pedig kétszer nagyobb sebességgel távozott. Ilyen körülmények között az aggregátumokban se hidratermális, se rehidratációs viszonyok nem alakulhatnak ki. Így várakozásunknak megfelelően az őrlött hidrargillit DTA görbéjén nem jelent meg se a böhmite keletkezését tükröző 280 °C-os, se a böhmite bomlását jelző 510 °C-os endotermikus effektus.

A derivatográfiai vizsgálatot megismételtük úgy, hogy mintaként nem port, hanem az őrlött hidrargillitből 2 t/cm<sup>2</sup> nyomással sajtolt próbatestet alkalmaztunk, feltételezve, hogy ebben az esetben a dehidratációs folyamat lelassul, ami lehetővé teszi a böhmite keletkezését. Valóban, a hidrargillit kristályrácsának bomlása 40 °C-kal később fejeződött be, ugyanakkor a dehidratációs folyamat kezdeti hőmérséklete nem változott. A hidrargillit próbatest DTA-görbéjén csak egy 380 °C-os endotermikus csúcs volt, ami a hidrargillit böhmite keletkezés mentes dehidratációjára utal (1. ábra).

Tehát a dehidratációs folyamat ebben az esetben is a próbatest felületén kezdődött. A próbatest morfológiáját az 5. ábrán feltüntetett SEM felvétel tükrözi.



5. ábra  
Az őrlött hidrargillitből sajtolt próbatest SEM felvétele

Fentiek alapján bebizonyosodott, hogy a böhmít keletkezésének fő feltétele az, hogy a hidrargillit dehidratációja ne a felületi rétegben, hanem az aggregátumok belsejében levő kristályokon kezdődjék. Ellenkező esetben a böhmít képződése elmaradt. Természetesen, minél kisebb az aggregátumok mérete, annál kisebb eltérés lehet az alkotó kristályok szerkezetében, annál nagyobb a lehetőség a böhmít keletkezésének elmaradására. A szemcseméretre vonatkozóan az ellentmondásos irodalmi adatokat éppen azzal magyarázhatjuk, hogy a böhmít keletkezését elsősorban mégsem a szemcseméret, hanem a hidrargillit morfológiája befolyásolja.

#### Irodalom

- [ 1 ] Stumpf, H. C. — Russel, A. S. — Newsome, I. W. — Tucker C. M. (1950): *Ind. Eng. Chem.*, 42, 7, 1398
- [ 2 ] Sasvári, K. — Hegedüs, A. (1954): *Magyar Kémiai Folyóirat* 60, 11, 333
- [ 3 ] Ginsberg, H. — Hüttig, W. (1956): *Z. Anorg. Allg. Chem.* 285, 169
- [ 4 ] Zivkovic, Z. C. (1977): *ThermoChim. Acta*, 21, 391
- [ 5 ] Goswami, K. — Gupta, N. — Mehta, S. K. (1980): *Trans. Indian Cer. Soc.*, 39, 5, 156
- [ 6 ] Day, M. K. B. — Hill, V. I. (1953): *J. Phys. Chem.*, 57, 946
- [ 7 ] DeBoer, H. I. — Fortuin, I. M. H. — Steggerda, I. I. (1954): *Proc. K. Ned. Akad. Wet. B*, 170, 434
- [ 8 ] Paulik, F. — Paulik, J. — Naumann, R. — Köhnke, R. — Petzold, D. (1983): *Thermochemica Acta*, 64, 1
- [ 9 ] Gitzen, W. H.: *Alumina as a ceramic material*, USA Ohio, 1970, 17

- [10] Naumann, R. — Köhnke, K. — Paulik, J. — Paulik, F. (1983): *Thermochemica Acta*, 64, 15
- [11] Kaptay, G. (1968): *Kohászat*, 101, 10, 429
- [12] Kacsalova, L. — Migály, B. (1989): *Építőanyag*, 41, 1, 1
- [13] Kacsalova, L. (1989): *Építőanyag*, 41, 3, 81

#### Kacsalova, Lídia: A hidrargillit termikus bomlása. III. A böhmít keletkezésének mechanizmusa

A hidrargillit kristályrácsának fokozatos bomlását az amorf alumínium-oxid keletkezése kíséri. A hidrargillit dehidratációjának körülményeitől függően a böhmít nem csak egy, hanem több, egymást követően vagy párhuzamosan működő mechanizmus szerint is keletkezhet. 200 °C körül hidrotermal mechanizmus működik. 200–380 °C között a böhmít képződéséhez az amorf alumínium-oxid rehidratációja járul hozzá. Az  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  amorf fázis kristályosodásának terméke a víztartalmától és a hőmérséklettől függ: 340 °C-on megindul a  $\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$ -dá való átalakulása, emiatt a böhmít képződése befejeződik. A böhmít keletkezése a hidrargillit morfológiai felépítésének a következménye. A hidrargillit aggregátumok termikusan stabil felületi rétegének roncsolásával a böhmít képződése megakadályozható.

#### Katchalova, Lídia: Thermal decomposition of hydrargillit. III. Mechanism of boehmit formation

The gradual decomposition of hydrargillit crystalline lattice is accompanied by the formation of amorphous alumina. Depending on the condition of hydrargillit dehydration boehmit may be formed not only by one but by different mechanisms, acting either successively or simultaneously. At about 200 °C the hydrothermal mechanism takes place. In the temperature range 200–280 °C the rehydration of amorphous alumina contributes also to the formation of boehmit. The crystallization product of amorphous  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  depends on its water-content and the temperature: at 340 °C it transforms to  $\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$  therefore the formation of boehmit stops.

Boehmit formation is the consequence of the morphological structure of hydrargillit. By the destruction of the thermally stable surface layer of hydrargillit aggregates boehmit formation can be avoided.

#### Frau Kacsalova Lídia: Thermischer Abbau des Hydrargillits. III. Der Mechanismus der Boehmitbildung

Der allmähliche Abbau des Hydrargillit-Kristallgitters ist von der Bildung des amorphen Aluminiumoxydes begleitet. Abhängig von den Umständen der Dehydratation des Hydrargillits kann Boehmit nicht nur in einem, sondern in mehreren, aufeinander folgenden oder parallel ablaufenden Mechanismen erfolgen. Im Bereich von 200 °C funktioniert der hydrothermale Mechanismus. Zwischen 200–280 °C trägt die Rehydratation des amorphen Aluminiumoxyds zur Boehmitbildung bei. Das kristalline Produkt der Kristallisation der amorphen  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  – Phase hängt von dem Wassergehalt und der Temperatur

ab. Bei 340 °C beginnt die Umbildung zu  $\chi$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , deshalb ist somit die Boehmitbildung beendet. Der Boehmitbildung ist das Resultat des morphologischen Aufbaues des Hydrargillits. Die Boehmitbildung kann durch die Zerstörung der thermisch stabilen Oberflächenschicht der Hydrargillitaggregate verhindert werden.

#### Качалова, Лидия: Термическое разложение гидраргиллита. III. Механизм образования бемита

Постепенный распад кристаллической решетки гидраргиллита сопровождается образованием аморфного оксида алюминия. В зависимости от условий дегид-

ратации гидраргиллита бемит может образовываться не только по одному, но и по различным, действующим последовательно или параллельно механизмам. Около 200 °C действует гидротермальный механизм. В интервале температур 200–280 °C образованию бемита способствует регидратация аморфного оксида алюминия. Продукт кристаллизации аморфной фазы  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  зависит от содержания в ней воды и температуры: при 340 °C начинается ее превращение в  $\chi$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  и образование бемита заканчивается. Причиной образования бемита является морфологическое строение гидраргиллита. Разрушением термически стабильного поверхностного слоя гидраргиллитовых агрегатов можно предотвратить образование бемита.

## Mesterséges szervesetlen szálak korróziója cementmátrixban

Wojnárovitsné, Hrapka Ilona – Opoczky Ludmilla  
Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet,  
Budapest

### Bevezetés

Világszerte sokan foglalkoznak a szálerősítésű, illetve cementkötésű kompozitanyagok előállításával, annál is inkább, mert az utóbbi időben jelentősen bővült a szálanyagok választéka és ezzel egyidejűleg javult azok minősége és korrózióállósága.

A cementkötésű termékek kialakításánál a mesterséges szállal szemben követelmény: jó technológiai bedolgozhatósága, megfelelő felületi tulajdonságai, szálmechanikai paraméterei és nem utolsósorban korrózióállósága.

Korábbi munkánkban [1, 2] modellkísérletekkel vizsgáltuk a különböző szervesetlen szálak lúgos korrózióját a telített mésvizes kezelése során, az általunk kidolgozott módszerrel. Ez a módszer, mely igen jó információt szolgáltat a szálak kémiai stabilitásáról, nem tükrözi a szál valódi viselkedését a cementkötésű termékben, mivel a modellkísérleti körülmények eltérnek a cementmátrixban uralkodó állapottól.

Újabb kutatásaink célja a mesterséges szervesetlen szálak cementmátrixban való beépülésének, illetve korróziójának komplex módon való vizsgálata. Összehasonlító szálanyagként a szakirodalom alapján lúgállóknak tekinthető [3] krizotil-azbesztet alkalmaztunk, illetve e célból modellanyagként

azbesztcementet (továbbiakban ac. rövidítéssel jelölve) választottunk.

### Kísérleti anyagok és vizsgálati módszerek

A kísérletekhez krizotil-azbesztet és különböző típusú mesterséges szervesetlen szálakat használtunk, melyek a következők voltak: „A” bazaltgyapot (hazai), „TEL” üvegyapot (francia), „Sibrál” kaowool (cseh), „B” bazaltgyapot (NSZK), „Cemfil” üvegszál (angol). A szálanyagok fontosabb jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az 1. ábra korábbi vizsgálataink (2) alapján, a mesterséges szervesetlen szálak kémiai stabilitására jellemző adatokat mutatja.

Az alkalmazott portlandcement 450-minőségű volt ( $\text{C}_3\text{S} = 46,01$  m %,  $\text{C}_2\text{S} = 27,29$  m %,  $\text{C}_3\text{A} = 4,48$  m %,  $\text{C}_4\text{AF} = 12,54$  m %; fajlagos felület (Blaine szám) = 280 m<sup>2</sup>/kg).

A szálerősítésű kísérleti termékeket a merítési elven működő „Miniplatte” berendezésen állítottuk elő, lemezek formájában. A kísérleti gyártás során egy azbesztkeveréket (P-3-60 10 m %; P-5-50 60 m %; P-6-45 30 m %) használtunk, melyet előzőleg 10 percig turbomixerben foszlattunk, majd a cementet is hozzáadva összekevertük. A cement-azbeszt aránya: 84:16 m %. Az azbeszt-cement



	„A” bazaltgyapot	„B” bazaltgyapot	„TEL” üveggyapot	„Sibrál” kaowool	„Cem-fil” szál	Krizotil azbeszt
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	7,00	–	–	–
SiO <sub>2</sub>	41,50	46,58	63,45	53,65	62,10	40,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,66	15,27	3,45	44,90	2,17	0,78
TiO <sub>2</sub>	1,62	2,44	0,05	0,01	0,01	–
FeO	5,63	6,05	0,22	–	–	0,62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,23	5,28	–	0,11	0,05	3,98
CaO	20,51	10,80	7,39	0,50	5,50	0,58
MgO	10,23	8,58	3,25	0,21	0,10	38,62
K <sub>2</sub> O	1,51	1,36	1,66	0,01	0,27	0,15
Na <sub>2</sub> O	2,54	2,58	12,69	0,24	14,01	0,02
ZrO <sub>2</sub>	–	–	–	–	15,50	–
MnO	–	0,17	–	–	–	–
SO <sub>3</sub>	0,21	–	0,33	–	0,10	–
Izz. v.	–	–	–	–	–	13,56
Átl. szálátmérő [μm]	5,8	5,28	7,0	3,99	17,81	
Átl. szálhossz [mm]	21,0	20,0	9,0	30,0	20,0	5–7
Fajl. fel. [m <sup>2</sup> /g]	0,179*	0,206*	0,161*	0,296*	0,09*	22,7**
Átl. szálátmérőjű szál szakítószil. [N · mm <sup>-2</sup> ]	2000	2700	1650	1800	1800	~3000

\* számított érték

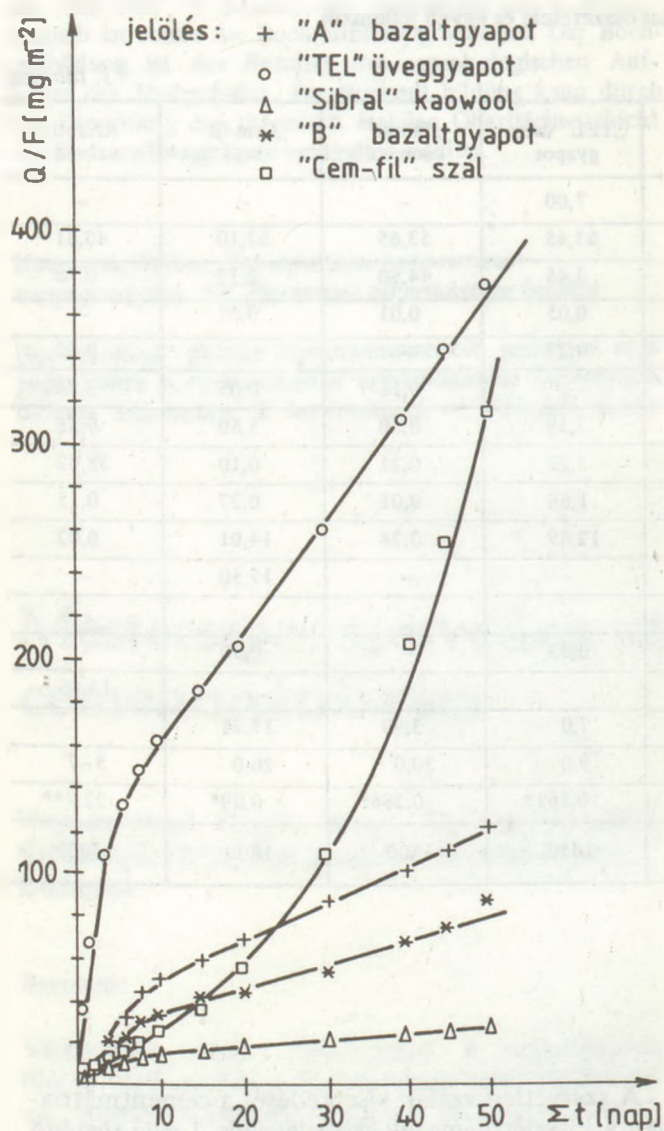
\*\* mért érték

keverékből először etalon lemezt állítottunk elő, majd a P-3-60 és P-5-50 azbesztfajták 10–10 m %-át mesterséges szálanyagokkal helyettesítve további lemezeket gyártottunk. A mesterséges szálanyagokat a turbomixerben előzőleg 5 percig foszlattuk. A keverés sorrendje a következő volt: víz + szervesetlen szál + azbesztkeverék + cement.

A merítőhengeres eljárás alkalmazása a kísérleti termékek gyártásánál számos előnyt nyújt a hagyományosan készített szálerősítésű cementhabarcsokkal szemben. Ebben az esetben ugyanis jobban érvényesül a szálak eloszlása és elrendeződése (orientáció) a cementmátrixban, valamint a szál és a cement közötti tapadás. Ezek azok a tényezők, melyek döntő mértékben befolyásolják a szálerősítésű anyagok fizikai-mechanikai tulajdonságait. Az ily módon előállított termék húzó-hajlítószilárdságának, illetve pórusszerkezetének változásából tehát nemcsak a szálkorrózióra, hanem a szál és a cement közötti kötéskapcsolatban bekövetkezett változásokra is lehet következtetni.

A szervesetlen szálak viselkedését a cementmátrixban a kísérleti lemezek szobalevegőn 1 évig történő tárolása, majd „mesterséges öregítése” után bekövetkező szilárdsági, morfológiai, fázisösszetételei és pórusméret-eloszlási vizsgálatainak eredménye alapján értékeltük. „Mesterséges öregítési” módszerként 0,79 MPa (8 att) nyomáson illetve 170 °C-on történő 8 órás autoklavozást alkalmaztunk. Az 1 éves lemezek autoklavozásának célja a cement hidratációjának, illetve a szálak és a cementhidratáció során képződött Ca(OH)<sub>2</sub> közötti reakciónak, azaz a szálkorrózióknak gyorsítása volt.

A minták textúráját JEOL JSM-35 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal, fázisösszetételét JEOL JDX-8 típusú röntgendiffraktométerrel, porozitását a 117-0,004 μm tartományban higanypenetrációs módszerrel (MICROMERITICS 915 típusú készülékkel) határoztuk meg. A kísérleti lemezek hajlítószilárdságát szálra merőleges (⊥) és szállal párhuzamos (||) irányban kivágott 3–3 minta esetén mértük és az eredményeket átlagoltuk.



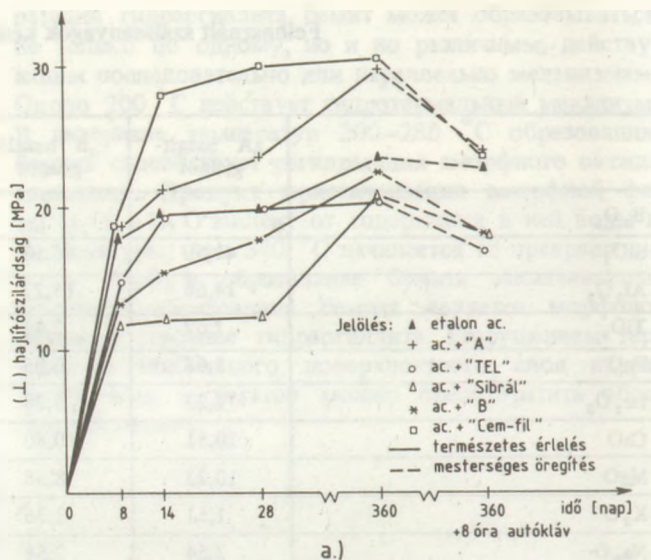
1. ábra

Szálanyagok 70 °C-os kvázifolyamatos, teltett mészvizes kezelésénél az egységnyi szálfelületre vonatkoztatott anyagkioldódás [2]

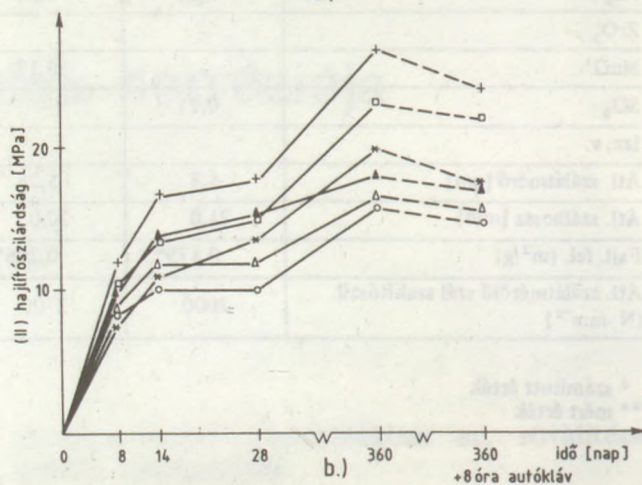
### Kísérleti eredmények

1. A szobalevegőn tárolt és autoklávolt kísérleti lemezek (I) és (II) hajlítószilárdságát, valamint az ezekből számított átlagos értékek változását a 2–3. ábrák szemléltetik. A 3. ábra alapján főként a „Sibrál” és a „TEL”, kisebb mértékben a „B” szálak bevitelével a lemezek átlagos hajlítószilárdsága kisebb, mint a csak azbesztet tartalmazó mintáé. Igen kedvezőek a szilárdsági értékek viszont az „A” és „Cem-fil” száladalékok esetén.

1.1. Szobalevegőn való 1 éves tárolás során a különböző száladalékú kísérleti lapok (I) és (II) hajlítószilárdsága eltérően változik (2. ábra), az átlagos hajlítószilárdság (3. ábra) nő. A morfológiai



a.)

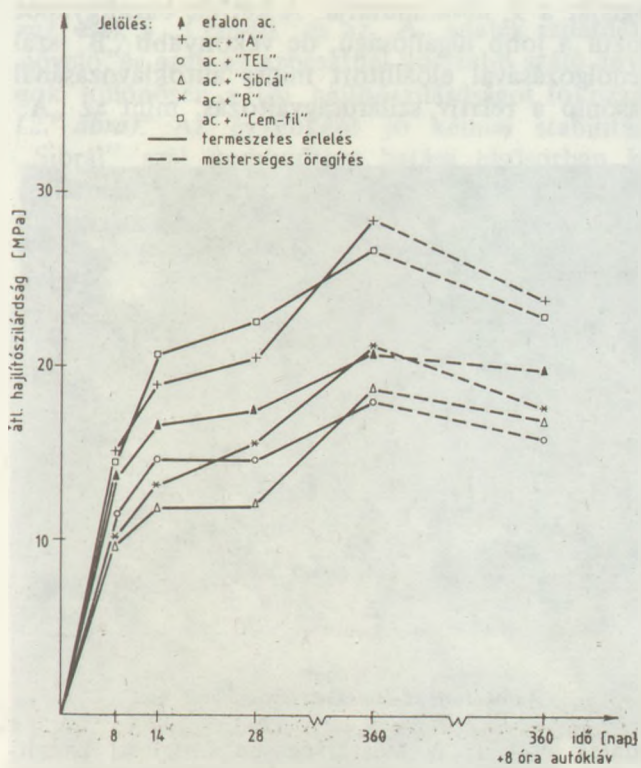


2. a–b. ábrák

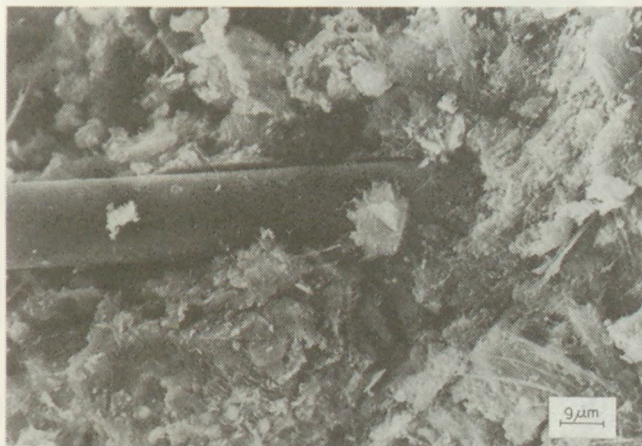
Kísérleti ac. lemezek (I) és (II) hajlítószilárdságának változása

vizsgálatok szerint 28 nap szobalevegőn történő szilárdulásnál a szákkorrózió elhanyagolható, fő jellemző a cementhidratációs termékek szálakra való ránövése (4. ábra). Az 1 éves lemezekben a cement további hidratációja mellett, szálfelületi korrózió is megfigyelhető. Ennek mértéke a kis kémiai stabilitású „TEL” és „Cem-fil” szálaknál a legjelentősebb (5–6. ábrák). A többi mesterséges szál korróziója a szobalevegőn szilárdult mintákban lényegesen kisebb mértékű, amit példaként a 7. ábra mutat.

A szintetikus száladalékú lapok etalon ac. lemezhez viszonyított szilárdulásának tanulmányozása (8. ábra), lehetővé teszi a mesterséges szálak cementmátrixban való viselkedésének mélyebb értelmezését. A szintetikus szálerősítésű lapok 8 és 28 nap közötti szilárdságát (amikor még a szákkorrózió elhanyagolható), elsősorban a szál–cement kapcsolat határozza meg. Ebből a szempontból a cementhidratációs termékek szálakra való fokozatos ránövése, azaz kedvező hatása mellett, a szál felületi tulajdonságainak és a szálméret nagyságá-



3. ábra  
Kísérleti ac. lemezek átl. hajlítószilárdságának változása

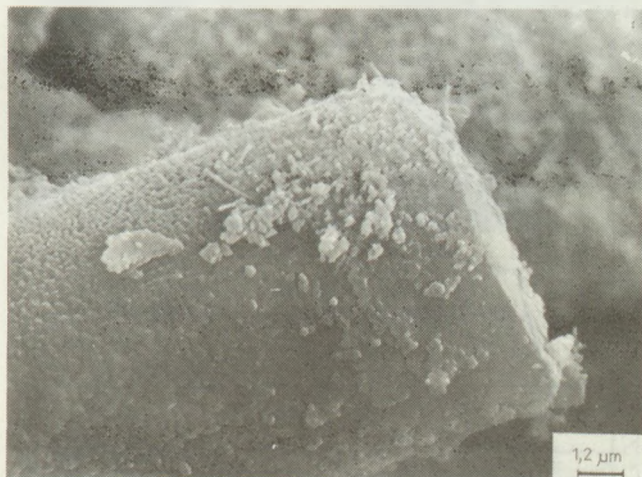


4. ábra  
28 napos ac. lemezben lévő „Cem-fil” szál

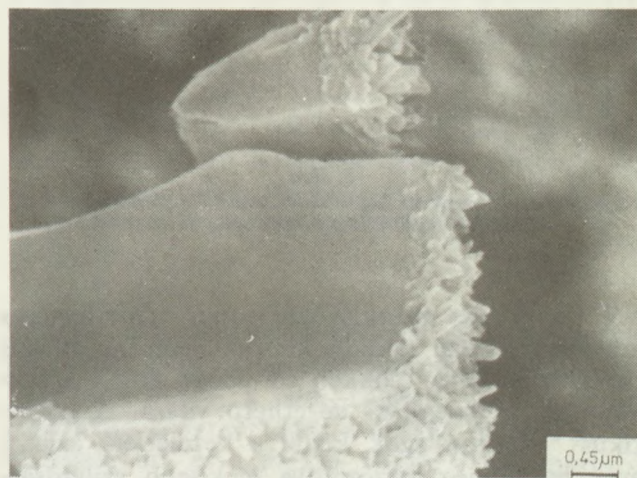
nak meghatározó szerepe van. Mivel a cement-szemcsék mérete a szálátmérőhöz képest nagyobb, ezért a vastagabb szálak alkalmazása esetén jobb kontaktus alakulhat ki a cement és a szál között. A vizsgált vastagabb szálak közül, a jó felületi tulajdonságokkal rendelkező „A” és „Cem-fil” az ac. lemez szilárdságát kedvezően befolyásolja (8. ábra). Az 1. táblázatban feltüntetett szálhalmazjellemzők adatai alapján feltételezhető, hogy a „TEL” és a „B” anyagok szilárdságcsökkentő hatását elsősorban kedvezőtlen felületi tulajdonságaik, míg a „Sibrál” mintánál a kis szálátmérő-

ből is eredő rossz szál–cement kötés kapcsolat okozza. Az ac. lemez 8 és 28 nap közötti szilárdsága a „TEL”, „B” és „Sibrál” azonos beviteli tömege esetén, a szálanyagok nagyobb fajlagos felületének arányában csökken (8. ábra). A kedvezőtlen szál–cement kontaktusnál tehát a száladalékok növekvő fajlagos felületével egy fokozott szerkezetfeszítő hatás érvényesül.

A cement és a szintetikus szálak kötés kapcsolata a hidratáció előrehaladtával, 28 nap és 1 év között általában tovább javul, amit a kis kémiai stabilitású, azaz erősebben korrodált „TEL” és „Cem-fil” szálak (5–6. ábrák) kivételével az 1 éves lemezek etalonhoz viszonyított növekvő hajlítószilárdsága (8. ábra) is bizonyít. A „Sibrál”, „A” és „B” szálak 1 éves mintákban megfigyelt kismértékű korróziója (7. ábra) segíti kötőanyagmátrixba való beépülésüket.



5. ábra  
1 éves ac. lemezben lévő „Cem-fil” szál



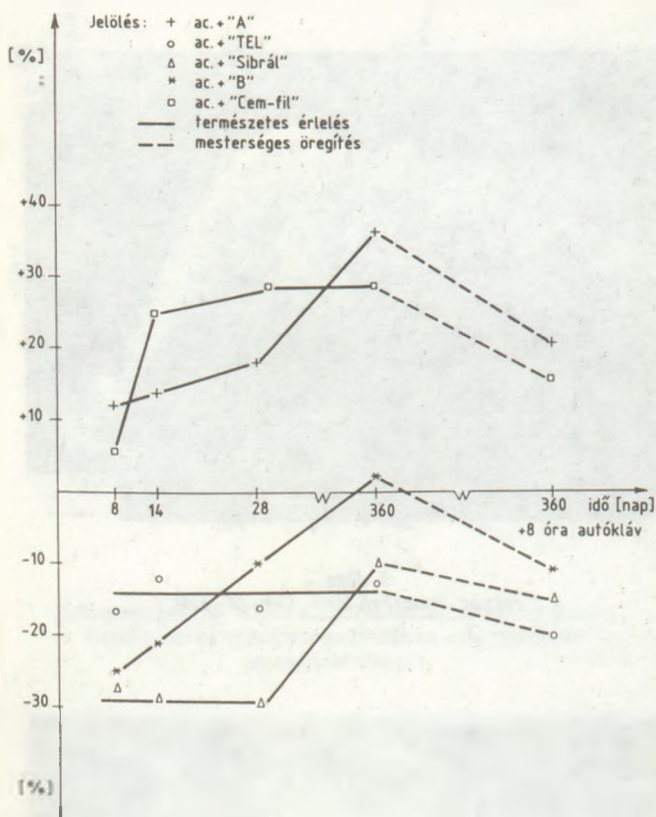
6. ábra  
1 éves ac. lemezben lévő „TEL” szál



7. ábra  
1 éves ac. lemezben lévő „Sibrál” szál



9. ábra  
Autoklávolt ac. lemezben lévő „Sibrál” szál

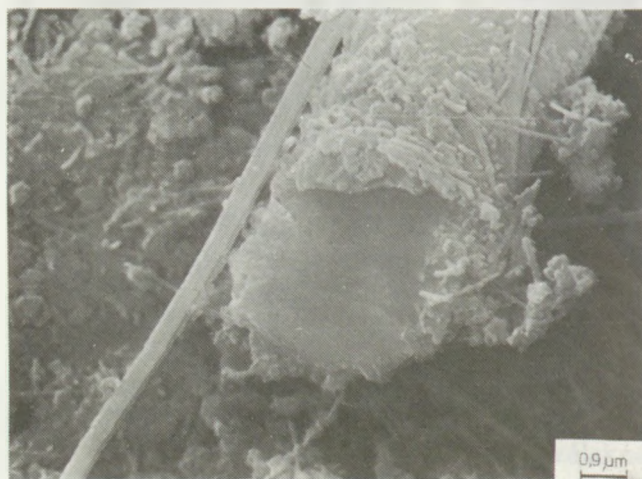


8. ábra  
Kísérleti ac. lemezek átl. hajlítószilárdságának etalon ac. lemezre vonatkoztatott változása

1.2. A 8 órás autoklávozás során a mesterséges szálanyagokkal készült kísérleti lemezek átlagos hajlítószilárdsága csökken (8. ábra), ami e szálanyagok korróziójára vezethető vissza. A szintetikus szálanyagok közül a kezeletlen, azaz 1 éves mintákhoz viszonyítva legkisebb szilárdságcsökkenést a legjobb kémiai stabilitású (1. ábra) „Sibrál” szálnál tapasztaltunk, melynek morfo-

lójáját a 9. ábra mutatja. A kétféle bazaltgyapot közül a jobb lügállóságú, de vékonyabb „B” szál bedolgozásával előállított minta autoklávozásánál hasonló a relatív szilárdságváltozás, mint az „A”

adalék esetén. A mesterségesen öregített bazalt-szálak jellemző textúráját a 10–11. ábrák szemléltetik. Az 1 év szobalevegőn történt szilárdulás után is erősen korrodált „TEL” szál autokláv kezelésénél tovább folytatódik a szálsugárirányú

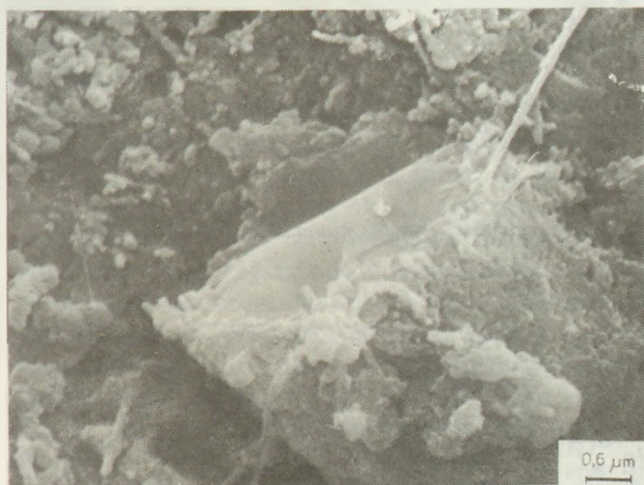


10. ábra  
Autoklávolt ac. lemezben lévő „B” szál

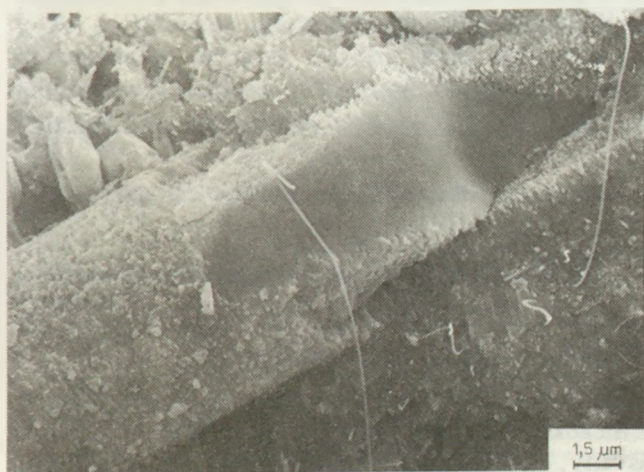
korrózió (12. ábra). A kis kémiai stabilitású, de a legnagyobb átmérőjű „Cem-fil” szálak erős oldódása ellenére is jelentős marad az ép szálrész (13. a–b ábrák). Az előzőekben ismertetett vizsgálatokból kitűnt, hogy a szálkorrózió okozta szilárdságcsökkenés a szál kémiai stabilitásának és átmérőjének, vagyis a szálsugárirányú korrózió-nak függvénye.

Az „öregített” minták etalon ac. lemezhez viszonyított átlagos szilárdságváltozása alapján (8. áb-

ra), csak a „Cem-fil” és az „A” adalék szilárdságnövelő, és ezek az azbesztnél hosszabb szálú anyagok különösen a (II) hajlítoszilárdságot fokozzák (2. ábra). Az egyébként jó kémiai stabilitású „Sibrál” szál kedvezőtlen hatása elsősorban kis szálátmérőjének következménye, mely miatt nem tud kialakulni megfelelő kötőkapcsolat a cementmátrix és a szál között (14. ábra).



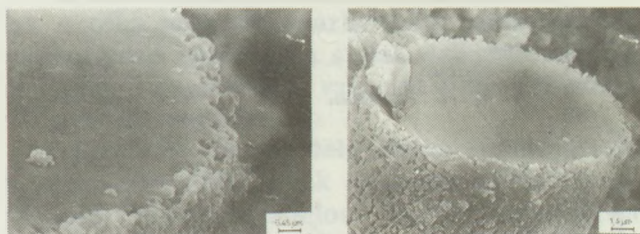
11. ábra  
Autoklávolt ac. lemezben lévő „A” szál



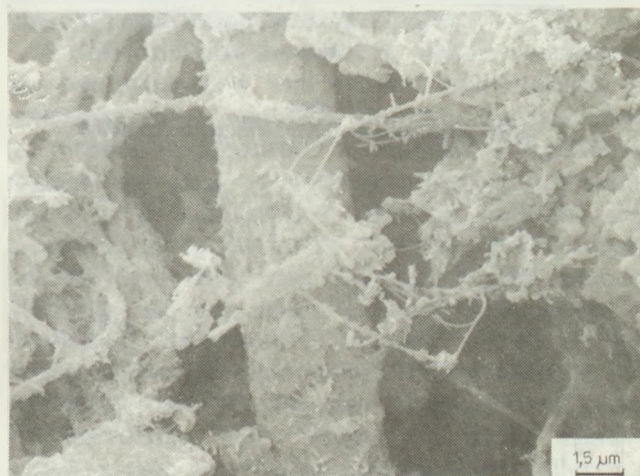
12. ábra  
Autoklávolt ac. lemezben lévő „TEL” szál

2. A kísérleti lemezek kummulatív porozitás-görbéin általában két jellemző, a makro- és mezopórusok mérettartománya különíthető el (15–20. ábrák).

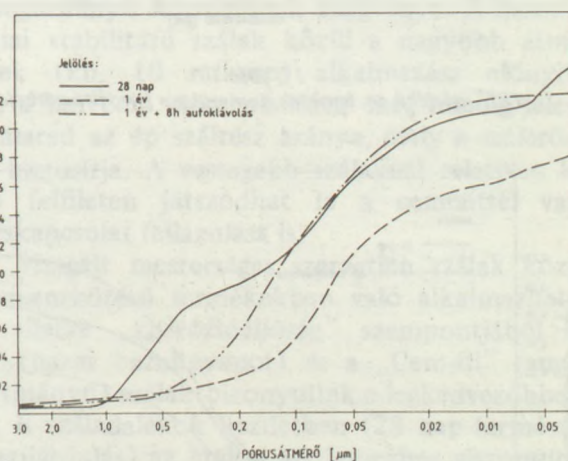
A 28 napos korban a makropórusok mezopórusokhoz viszonyított legnagyobb térfogataránya a szilárdsági szempontból is legkedvezőtlenebb „Sibrál”, míg a legkisebb térfogatarány a „Cem-fil” és „A” szálakat tartalmazó mintáknál állapítható meg. A hidratációs és karbonátosodási folyamatok előrehaladásával valamennyi minta fajlagos pórustérfogata csökken, a makropórusok eltömítődésével a pórusméret finomodik. Ez a folyamat az 1 éves



13. a–b. ábrák  
Autoklávolt ac. lemezben lévő „Cem-fil” szálak

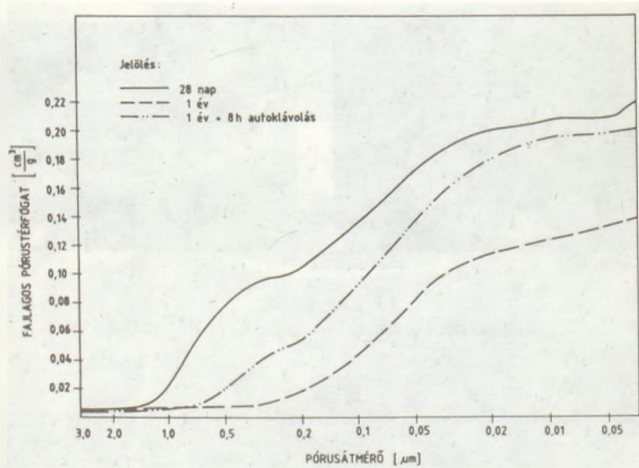


14. ábra  
Autoklávolt ac. lemezben lévő „Sibrál” szál

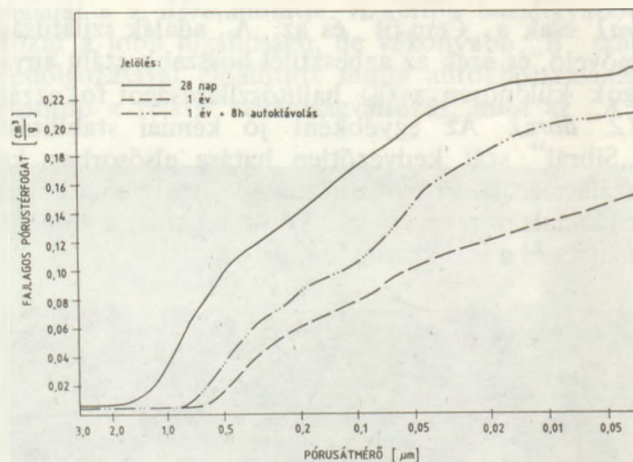


15. ábra  
Eталon ac. lemezek kummulatív porozitás-görbéje

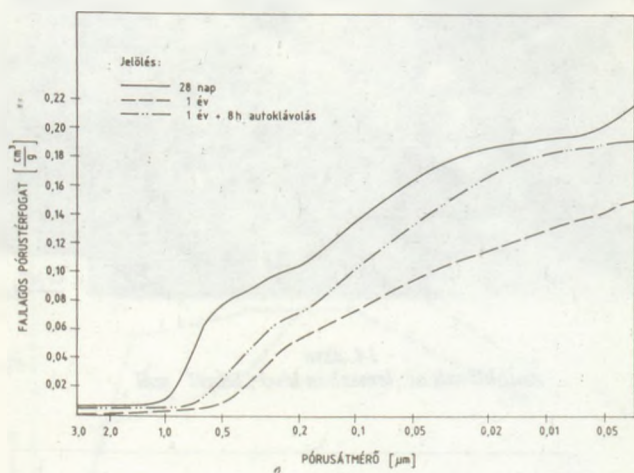
minták szilárdságnövekedésében is megnyilvánul (3. ábra). Autoklávózás hatására a lejátszódó szálkorrózió, illetve a szál–cement kötőkapcsolat fellazulása következtében a minták fajlagos pórustérfogata nő, és a makro- illetve a mezopórusok jellemző tartománya általában a nagyobb pórusméretek felé tolódik. Ez a folyamat az összes minta szilárdságcsökkenésével jár. Autoklávózás



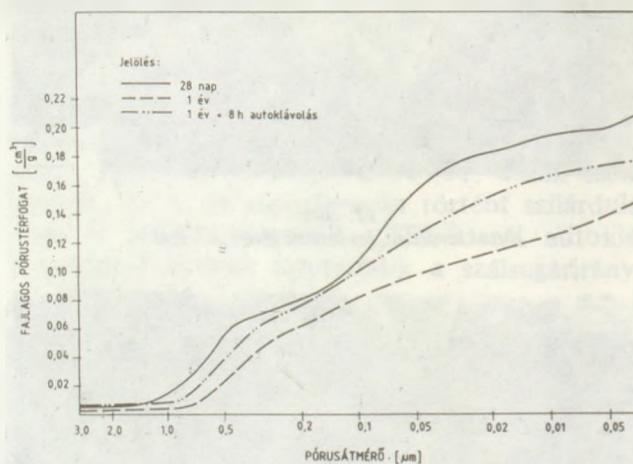
16. ábra  
„A” adalékú ac. lemezek kummulatív porozitásgörbéje



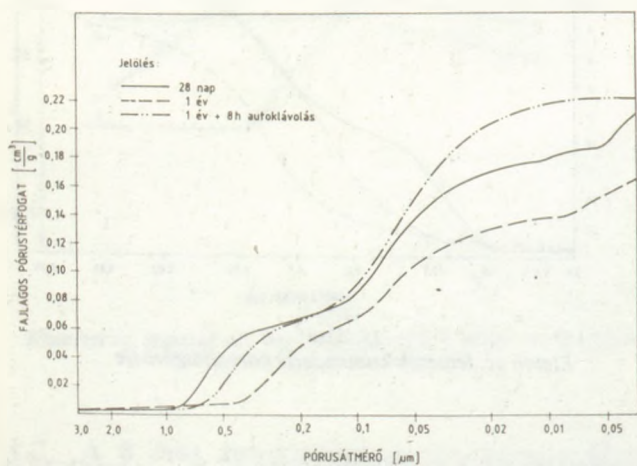
19. ábra  
„B” adalékú ac. lemezek kummulatív porozitásgörbéje



17. ábra  
„TEL” adalékú ac. lemezek kummulatív porozitásgörbéje



20. ábra  
„Cem-fil” adalékú ac. lemezek kummulatív porozitásgörbéje



18. ábra  
„Sibrál” adalékú ac. lemezek kummulatív porozitásgörbéje

után a makropórusok mezopórusokhoz viszonyított legnagyobb térfogataránya továbbra is a „Sibrál” adalékú, míg a legkisebb, az etalon ac. lemeznél állapítható meg.

3. Az 1 évig szobalevegőn szilárdult kísérleti lemezek röntgendiffrakciós vizsgálatával krizotil-ásvány, lereagátatlan klinkerásványok, portlandit és kalcit főbb kristályfázisok voltak azonosíthatók. Autokláválás hatására a lereagátatlan klinkerásványok mennyisége lényegesen nem változott (azaz a cementhidratáció gyakorlatilag befejeződött), a portlandit mennyisége általában csökkent, a kalcité pedig nőtt.

4. Abból a célból, hogy az autokláválásnál kapott kísérleti eredményekből az ipari alkalmazásnál, azaz alacsonyabb hőfokokon (~20 °C) lejátszódó korróziós változásokra nagyságrendileg következtethessünk, a „TEL” és „A” szálasanyagokra egyszerűsítő feltételezések mellett számítottuk a relatív korróziós sebesség hőmérséklet-függését.

Az üveggörrozió sebességének hőmérsékleti változása számítható az Arrhenius összefüggés-

ből, mely két különböző hőmérsékletre a következők szerint fejezhető ki:

$$\log \frac{v_1}{v_2} = \frac{-E}{2,303 \cdot R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2} \quad [1]$$

ahol:

$v$  = a korrózió, illetve a száloldódás sebessége adott hőfokon;

$E$  = aktiválási energia;

$R$  = gázállandó;

$T$  = abszolút hőmérséklet.

A számításokhoz először meghatároztuk a korrózió aktiválási energiáját (azaz az Arrhenius összefüggés alapján a  $\log v - \frac{1}{T}$  egyenes meredekségét), illetve ehhez a folyamatos modellkísérleti eredményekből [1] az adott hőmérsékletre jellemző száloldódási sebességet ( $Q/t$ ). Ez utóbbit az esetleges indukciós periódust követő, lineáris  $Q-t$  változásából számítottuk („ $Q$ ” a szálból kioldott komponensek tömegét, „ $t$ ” a kezelési időt jelenti).

Az „ $A$ ” bazaltgyapot folyamatos lúgos korróziójára  $66 \frac{\text{kJ}}{\text{mól}}$ , a „ $TEL$ ” üvegyapotéra  $49 \frac{\text{kJ}}{\text{mól}}$  aktiválási energia adódott. Az 1. egyenlet alapján számolva, a  $100^\circ\text{C}$ -ra jellemző száloldódási sebességet 100-nak véve, relatív mérőszámmal jellemezhető a hőmérséklet változásának hatása.

A 2. táblázat adataiból megállapítható, hogy az autokláv kezelés extrém erős igénybevételt jelent, mely hatására a korrózió (folyamatos lúgos behatást és egyenletes száloldódást feltételezve)

#### A relatív száloldódási sebesség hőmérsékletfüggése

2. táblázat

Hőfok [°C]	relatív korróziós sebesség	
	„ $A$ ” bazaltgyapot	„ $TEL$ ” üvegyapot
170	3050	1300
100	100	100
70	15	24
50	3,5	2,4
20	0,3	1,2

a bazaltgyapotnál  $20^\circ\text{C}$ -hoz képest kb. 4, az üvegyapotnál kb. 3 nagyságrenddel gyorsabban játszódik le. Ez alapján pl. a bazaltszál  $170^\circ\text{C}$ -on végzett 8 órás autoklávóváása  $20^\circ\text{C}$ -on, természetes körülmények mellett, kb. 10 év alatt lejátszó korrózióknak felel meg.

#### Legfontosabb megállapítások

A cementkötésű kompozitanyagok szálerősítésének elsődleges célja a cementkő húzó-hajlítási szilárdságának növelése. A mesterséges szervesetlen szá-

lak e célra való alkalmazhatósága szempontjából meghatározó tényezők a szálak fizikai-mechanikai és felületi tulajdonságai, valamint a lúgos korrózióval szembeni stabilitás.

A különböző összetételű illetve átmérőjű mesterséges szervesetlen szálak (összesen ötféle) korróziójának komplex módon (telített mézsvízben, cementmátrixban normál szilárdulás és autoklávózás mellett) történő vizsgálata során megállapítottuk, hogy a cementmátrixba beépülő szálak mechanikai hatását a szál–cement kötés kapcsolatban bekövetkező változások és a szálsugárirányú korrózió együttesen határozzák meg.

A szál–cement kapcsolatot, illetve a szálerősítés hatásosságát a szál felületi tulajdonságai és szálátmérőjének nagysága döntően befolyásolják (ez utóbbi szempontból a vastagabb szálak alkalmazása kedvező). A szilárdulás kezdeti szakaszában a cementhidratációs termékek szálakra való tapadása, illetve fokozatos ránövése a szál–cement kontaktust javítja, azaz elősegíti a szál cementmátrixba való beépülését. Ebben az időszakban általában a szálerősítésű anyagok szilárdságnövekedése jellemző. A hidratáció előrehaladtával a felszabaduló  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  hatására megindul a szál felületi korróziója, mely fokozatosan befelé haladva rontja a szál mechanikai tulajdonságait, illetve a szál–cement kötés kapcsolat fellazulásához vezet. A cementkötésű kompozitanyagok szálkorrózió folytán bekövetkező szilárdságcsökkenése a szál kémiai stabilitásának és átmérőjének, vagyis a szálsugárirányú korrózióknak függvénye. A hasonló kémiai stabilitású szálak közül a nagyobb átmérőjűek (kb. 10 mikron) alkalmazása előnyös, mert a korrózió előrehaladtával még mindig jelentős marad az ép szálrés aránya, mely a szálerősítést biztosítja. A vastagabb szálaknál relatíven kisebb felületen játszódhat le a cementtel való kötés kapcsolat fellazulása is.

A vizsgált mesterséges szervesetlen szálak közül a cementkötésű termékekben való alkalmazhatóság, illetve „korrózióállóság” szempontjából az „ $A$ ” (hazai bazaltgyapot) és a „ $Cem-fil$ ” (angol gyártmányú) szálak bizonyultak a legkedvezőbbeknek. E száladalékok kezdetben (28 nap természetes szilárdulás) az etalon ac. lemezhez viszonyítva a (I), később viszont (II) hajlítási szilárdságot növelik jobban.

#### Irodalom

- [1] Wojnárovits, I. – Fodor, M.: *Építőanyag*, 41 (1989) 6, 219–227.
- [2] Wojnárovitsné, Hrapka Ilona: *Építőanyag*, 42 (1990) 1, (Megjelenés alatt)
- [3] Opoczky, L.: Investigation of the „Corrosion” of Asbestos Fibres in Asbestos Cement Sheets Weathered for Long Times. The Constr. Press Ltd., London, 1975. 269–276.

**Vojnárovitsné, Hrapka Ilona – Opoczky Ludmilla:  
Mesterséges szervesen szálas korróziója cementmátrixban**

A cementkötésű kompozitanyagok kialakításánál a mesterséges szálas szemben követelmény megfelelő bedolgozhatósága, mechanikai és felületi tulajdonságai mellett, jó lúgállósága.

Munkánkban öt különböző típusú szervesen szintetikus szál esetén vizsgáltuk cementmátrixba való beépülésüket és a lejátszódó szálkorróziós folyamatokat. Összehasonlító szálasanyagként a lúgállóan tekinthető krizotil-azbesztet alkalmaztunk, illetve modellanyagként azbesztcementet választottunk. A lúgálló azbesztzálak egy részét szervesen szintetikus szálakkal helyettesítettük. A kísérleti lapok természetes érlelése és „mesterséges öregítése” (autoklavozás) során bekövetkező szilárdsági, morfológiai, fázisösszetétel és porozitásváltozást a szintetikus száladalék nélküli azbesztcementével hasonlítottuk össze.

Korábbi munkáink eredményét is figyelembe véve megállapítottuk, hogy a cementmátrixba beépülő szálak mechanikai hatását a szál-cement kötés kapcsolatban bekövetkező változások és a szálsugárirányú korrózió együttesen határozzák meg. A hasonló kémiai stabilitású szálak közül a nagyobb átmérőjűek (kb. 10 mikron) alkalmazása előnyös.

**Frau Vojnárovits, Hrapka Ilona – Frau Opoczky Ludmilla:  
Die Korrosion synthetischer anorganischer Fasern in der Zementmatrix**

Bei der Herstellung von zementgebundenen Kompositen besteht die Forderung der annehmbaren Verarbeitbarkeit der synthetischen Fasern neben der guten mechanischen und Oberflächeneigenschaften auch ihre gute Laugebeständigkeit.

In unserer Arbeit haben wir die Einbettung von fünf verschiedenartiger synthetischer anorganischer Fasern in die Zementmatrix und die ablaufenden Prozesse der Faserkorrosion geprüft. Als Referenzfaser diente die als laugebeständig geltende Krysotilasbestfaser, als Modellstoff wurde Asbestzement gewählt. Ein Teil der leugebeständigen Asbestfasern wurde mit synthetischen anorganischen Fasern ersetzt. Die nach natürlichem Reifen und künstlicher Alterung (Autoklavbehandlung) der Versuchsplatten ablaufenden Änderungen der Festigkeit, Morphologie, Phasenzusammensetzung und Porosität wurde mit den Eigenschaften des Asbestzements ohne Zusatz von synthetischen Fasern verglichen.

Mit Rücksicht auf unsere früheren Arbeiten konnten wir feststellen, dass die mechanische Wirkung der in die Zementmatrix eingebauten Fasern durch die Änderungen der Faser/Zement Bindung und durch die in Radialrichtung der Fasern wirkende Korrosion gemeinsam bestimmt werden. Von den Fasern gleicher chemischer Stabilität ist die Anwendung jener mit grösserem Durchmesser (etwa 10  $\mu\text{m}$ ) vorteilhaft.

**Wojnárovits–Hrapka, Ilona – Opoczky, Ludmilla: Corrosion of Synthetic Inorganic Fibres in Cement Matrix**

In the formulation of cement-bonded composites the demands against the synthetic fibres are: good workability, adequate mechanical and surface properties and last not least a fair corrosion resistance against alkalis. In this study the incorporation and corrosion in cement matrix of five different synthetic fibres were investigated and compared with those of chrysotil asbestos, which can be considered as alkali resistant. Asbestos cement sheet was examined too as a model substance. During the study the asbestos fibres were partly replaced by synthetic inorganic fibres; after normal curing and artificial ageing (autoclave curing) the strength-, morphological-, phase compositional- and porosity changes of conventional and synthetic fibre containing samples were compared. Taking our earlier works in consideration too it can be stated that the mechanical effects of fibres incorporated into cement matrix are controlled both by cement-fibre interfacial bond changes and radial fibre corrosion. In case of fibres of equal chemical stability the use of thicker (approx 10  $\mu\text{m}$  diameter) fibres can be suggested.

**Войнаровитче, Х. Илона-Опоцки, Людмила: Коррозия синтетических неорганических волокон в цементной матрице**

Была исследована коррозия пяти различных видов синтетических неорганических волокон в цементной матрице. В качестве эталонного волокнистого материала использовался щелочестойкий хризотилловый асбест. В качестве модельного композиционного вяжущего применялся асбестоцемент (асбестоцементные плитки), в котором часть асбеста заменялась синтетическими неорганическими волокнами. Исследовались изменения прочности, морфологии, фазового состава и пористости этих материалов при естественном твердении и автоклавной обработке. Было сделано заключение, что отрицательное влияние коррозии на армирующие свойства волокна выражается в изменениях связей на фазовых границах волокно-цемента, а также снижении механической прочности под влиянием коррозии в направлении радиуса волокна. Среди волокон одинаковой химической стабильности преимущество имеют волокна большего диаметра (примерно 10 микрон).



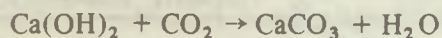
# A beton karbonátosodása

Balázs György – Kovács Károly  
Budapesti Műszaki Egyetem,  
Építőanyagok Tanszék

## 1. A karbonátosodás fogalma és jelentősége

Vasbetonszerkezetek acélbetétei korróziójának fő okozója a beton karbonátosodása.

A levegőnek kb. 0,03 V%-a  $\text{CO}_2$ . Ez a levegővel együtt behatol a beton kapilláris pórusrendszerébe és az ott lévő kalcium-hidroxiddal  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  kalcium-karbonátot alkot.



képlet szerint. Ezt nevezzük karbonátosodásnak. De a  $\text{CO}_2$  reakcióba léphet [1] a szilárdsághordozó kalcium-hidro-szilikáttal (CSH) is:



A cementkő karbonátosodása hatására a beton pH-ja kb. 12,6-ról 8–9-re csökken le. Ha a karbonátosodás zónája elérte a vasalást, akkor az acél felületén a nagy pH miatt kialakult passzív réteg felbomlik és a beton nem nyújtja többé azt a korrózióvédelmet, amit tőle elvárunk. Megindul a rozsdaképződés, ami térfogatnövekedéssel jár. A betonban repedések keletkeznek, amelyek előbb-utóbb a szerkezet tönkremeneteléhez vezetnek. Mindaddig, amíg a karbonátosodási zóna el nem éri a betonacélt, a beton kellő védelmet nyújt és ennek nincs időbeli korlátja.

## 2. A karbonátosodás mélységének a meghatározása

### 2.1. Vizsgálat indikátorral

Bár nem szükségszerű, hogy a betonacél korróziója bekövetkezzék, ha a karbonátosodási zóna elérte a vasalást, mert ahhoz  $\text{O}_2$  és nedvesség is kell, mégis ismerni kell a karbonátosodott réteg vastagságát, mint a korrózió egyik feltételét.

A karbonátosodott zóna helyszíni meghatározása éppen azon az elven lehetséges, amely miatt a karbonátosodást vizsgáljuk, azaz a pH csökkenés elvén.

Közismert, hogy vannak olyan vegyületek, amelyek a közeg hidrogénion koncentrációjától függően, más esetekben más hatásoktól függően változtatják a disszociációs állapotukat, miközben színük is megváltozik. Ezek alkalmasak a

közeg állapotváltozásának jelzésére. Jelen esetben a pH-érték jelzésére a sav–bázis indikátorok alkalmasak.

Köztudott, hogy az acél passzív állapota kb. 9,5 pH érték feletti lúgos közegben biztosított. Ezért ezt a pH érték változást kell indikálni.

Erre a célra általában a *fenolftalein indikátort* (képlete  $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ) használják, mivel ez egy közismert és általánosan használt sav–bázis indikátor, s így hozzáférhető. Hibája az acél passzivitásának meghatározása esetében azonban az, hogy színátcsapása ugyan 9 pH körüli, de a színátcsapási tartomány viszonylag széles 8,2–9,8 pH érték. Ebben és e fölötti pH tartományban lévő betonon a betonfelületre permetezett szintelen fenolftalein piros-lila színűre változik, míg a karbonátosodott rész színe változatlan marad (1. ábra).



1. ábra

A karbonátosodási mélység kimutatása fenolftalein indikátorral: (jobb oldal lila, bal oldal kék), és timolftaleinnel

A friss törési felületet a lazán tapadó részekről – célszerűen egy kemény kefével – meg kell tisztítani. Ugyanis ha a laza részek a fenolftaleines kezelés után válnak le, az eredményt meghamisíthatja. Egyébként a fenolftaleines oldat hatására az elszíneződés mind száraz, mind nedves felületen bekövetkezik. Ezek szerint csak körülbelüli állapotjelzést ad, azaz előfordulhat az, hogy az indikátor még elszíneződik, de a karbonátos zóna már elérte az acélbetétet.

Ezért tértek át egyes vizsgálók a szűkebb színátcsapási tartományú *timolftalein oldatra*. Ez 9,3–10,5 pH érték esetében csap át a körülményektől függően.

### A vizsgálat menete:

A vizsgálat során ügyelni kell arra, hogy csak a teljesen friss törtetű felület ad mértékadó eredményt.

A felület ugyanis igen rövid idő alatt vékony rétegben elkarbonátosodik, s így egy régebben tört felület nem jellemzi a tényleges viszonyokat. A vizsgálendő felületet következőképpen készítjük elő:

a) A beton felületét egészen az acélbetétek zónáig leüthetjük, és a visszamaradó felületre szemcseppentővel rácseppentjük vagy ráfújjuk az indikátoroldatot. Az elszíneződés határa a karbonátosodott réteg határa. A törésfelület a betonfelületre lehetőleg merőleges legyen. Az az elsődleges kérdés, hogy a karbonátosodási mélység eléri-e az acélbetétet.

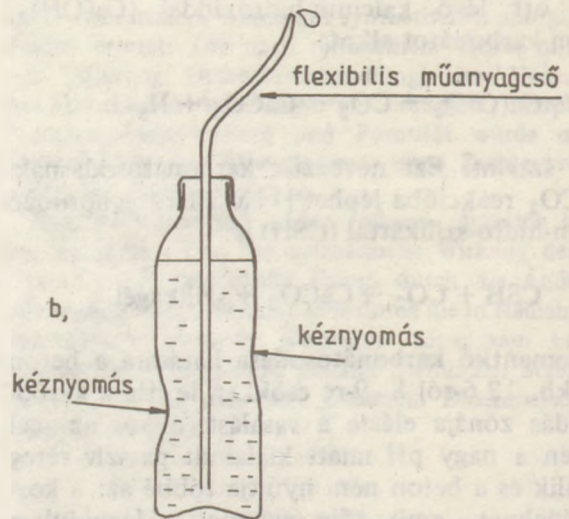
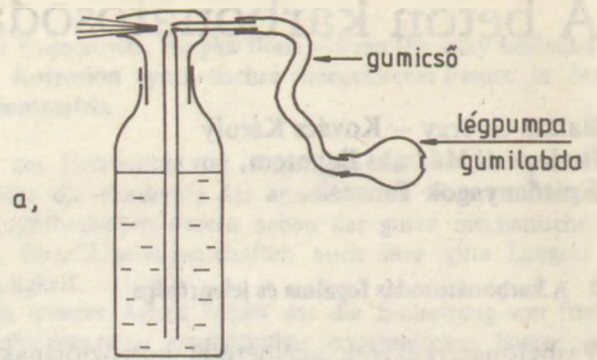
b) Ütvefúróval a betonba fúrunk ( $\phi \geq 10$  mm), majd a port a fúrólyuk felületéről pumpával lefújjuk és a karbonátosodási vizsgálatot a furatfalon végezzük el úgy, hogy vésővel a furatfalat lepatintjuk, s ezen a felületen vizsgálunk. Ez azért szükséges, mert a furatlisztet kifújni, kikéfélni tökéletesen a felületről nem lehet, s így a belső réteg furatlisztje rákenődve a karbonátos részekre, az eredményt meghamisítja. Ezért az ütvefúróval mélyített lyuk mentén csak akkor vizsgálunk, ha azt más vizsgálatok végett amúgy is szükséges kifúrni.

c) Magmintán is meghatározhatjuk a karbonátosodás mélységét. Mivel a fúráskor felhasznált víz a hengerpalást felületén a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ot kioldja és az átvágott, hidratálatlan cementmagok hidratációját elindítja, akkor járunk el helyesen, ha vésővel lepatintunk egy részt a hengerpalást mentén, vagy a hengert elhasítjuk és úgy vizsgáljuk előzőek szerint.

Mindhárom módszernél fontos, hogy a vizsgálatot több helyen végezzük el, mert a nagyobb adalékszemszék a karbonátos réteg vastagságát befolyásolják. Ezeknek általában nincs gőzáteresztő képességük, ezért a levegőnek hosszabb utat kell megtennie, s így a zóna vastagsága ezeken a helyeken az átlagtól eltér.

Az *indikátor*: 70%-os alkoholban oldott 1% fenolftalein, vagy timolftalein.

A vizsgálatot a lepatintás vagy furatkészítés után gyorsan el kell végezni. Az indikátor oldat felvitelére a 2. ábrán feltüntetett eszközöket ajánljuk. Az tekinthető mértékadó elszíneződésnek, ha az elszíneződés 30 másodpercen belül bekövetkezik. Az elszíneződés a száradás után is megmarad. E próba azonban csak tájékoztató jellegű, a bizonytalanságok miatt 1 mm-t hozzá kell számítani az így meghatározott karbonátosodott zónához. Megadandó az el nem színeződő rétegnek a felülettől mért vastagsága mm-ben. Vasbetonhidak esetében ennél a vizsgálatnál nem tudunk jobbat ajánlani és az esetek többségében, az acél korrózió veszélyének megítélése szempontjából mértékadónak is tekinthető.

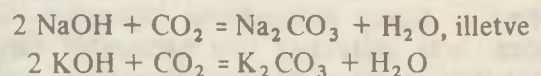


2. ábra  
Az indikátor oldat felhordására javasolt eszközök.  
a) Permetszóró palackot használunk, ha az indikátort nagy felületre kell juttatni. b) műanyag csepegtető palackot használunk, ha az indikátort kis felületre kell juttatni

#### Megjegyzések a vizsgálathoz

a) Nyilvánvalóan van egy átmeneti zóna, amelyben csak részbeni karbonátosodás következett be.

b) Hensel [2] kimutatta, hogy a cement mindig tartalmaz alkáli fénoxidokat ( $\text{Na}_2\text{O}$  és  $\text{K}_2\text{O}$ ), amelyekből 12–13,5 pH-jú nátrium-hidroxid és kálium-hidroxid keletkezik, ami a mért pH-ban szintén szerepel. Továbbá a levegő  $\text{CO}_2$ -ja először az alkáli-hidroxidokkal lép reakcióba és csak azután a kalcium-hidroxiddal. Ezért az 1. fejezetben szereplő reakcióegyenlettel nem jellemezhető a teljes karbonátosodási folyamat, hanem azt a következőkkel ki kell egészíteni:



A karbonátosodás befejeződése után, vagyis amikor a kalcium-hidroxid és az alkáli-hidroxidok teljesen átalakulnak a megfelelő karbonátokká, az alkálifémek jobban oldható karbonátjai 12–13 közötti pH-értékűek.

Speciális kárt okozó (agresszív légköri szennyeződések) anyagok, mint a nitrogén-oxidok és kén-dioxid egyidejű jelenléte esetén először az alkáli-karbonátok ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  és  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) alakulnak át a megfelelő nitrátokká, illetve szulfátokká. A kalcium-hidroxiddal csak ezután következnek a kémiai reakciók.

Ezért Hensel szerint nincs értelme a fenolftaleines vizsgálatnak, mert a színátcsapást az alkáli-karbonátok, illetve alkáli-hidroxidok lényegesen befolyásolják.

Bár ezek a kémiai átalakulások valóban létezhetnek, mégsem valószínű, hogy alapvetően megváltoztatják az eredményt, mivel egyrészt az alkálifémoxidok jelenléte a hidépítéshez használt tiszta portlandcementben kicsi. Másrészt pedig a vizsgálat lényegében nem is az érdeklő, hogy az alkáli-ionok hidroxidos, vagy karbonátos formában vannak-e jelen, mert ha a pH érték megfelelő, az acél semmiképpen sem korrodálódik.

c) Az indikátoros vizsgálatot a nedves kémiai elemzéssel nem lehet közvetlenül összehasonlítani. Ugyanis ehhez a mintát elporítják és nedvesítik, eközben a nem hidratált cementből felszabaduló OH-ionok növelik a pH-t, de közismert a hígítás pH befolyásoló hatása is.

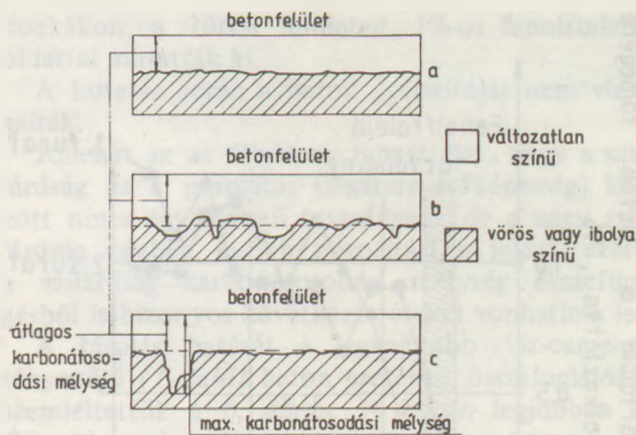
d) Az ismertetett indikátoros vizsgálatnál nem lehet számszerűen kimutatni a vizsgált beton pH-értékét. Azt azonban megmutatja, hogy a levegő  $\text{CO}_2$ -je milyen mélyen hatolt be a betonba és reagált a pórusoldat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -jával és hogy e tartományban az acélbetét korrózióveszélye fennáll. Ez nem jelenti azt, hogy feltétlenül bekövetkezik a korrózió, hiszen ahhoz a másik két feltételnek (víz és  $\text{O}_2$  jelenléte) is teljesülnie kell.

e) Egy vizsgálattal csak azt lehet kimutatni, hogy a vizsgálat helyén milyen mély a karbonátosodási zóna. A beton azonban inhomogén. Ahogy változik a felületi rész porozitása, úgy változik a karbonátosodás mélysége is. Tehát akkor járunk el helyesen, ha az indikátoros vizsgálati helyeket más vizsgálat (szemrevételezés, Schmidt-kalapács, kalapács) segítségével jelöljük ki.

f) Ha a karbonátosodást derékszögű próbatesteken vizsgáljuk, akkor a vastagság függvényében biztonságosan a következő mélységig határozható meg a karbonátosodás:

- ha a próbatestméret 10 cm, akkor 25 mm-ig
- ha a próbatestméret 15 cm, akkor 37,5 mm-ig
- ha a próbatestméret 20 cm, akkor 50 mm-ig

g) A karbonátosodás mélysége meghatározása esetén három esetet különböztethetünk meg (3. ábra) [4]



3. ábra  
A karbonátosodási zóna három esete [4]

- majdnem állandó karbonátosodási zóna (a ábra)
- a karbonátosodási zóna kis mértékben ingadozik az átlagérték körül (b ábra)
- a karbonátosodási zónának szélső értékei vannak (c ábra), pl. mély repedés, fészkes beton helyén.

Ha az egyedi kiugró értékek a becsült átlagos karbonátosodási mélységnél beton esetében 4 mm-nél, habarcs esetében 1,5 mm-nél nem nagyobbak, az egyedi értékeket az átlagértékbe be kell számítani (b ábra). Ha a kiugró értékek az átlagtól ennél jobban eltérnek, akkor azt az átlagszámításból ki kell hagyni, de a vizsgálati jegyzőkönyvben ezek számát és mélységét meg kell adni (c ábra). A középérték a nagy kiugró értékek esetén elveszti jelentőségét.

Az átlagos karbonátosodás mélysége meghatározása során, ha a karbonátosodás zónája nagyszemű tömör adalékanyagot mutat, azt olyannak tekinthetjük, mintha a zóna vonaláig karbonátosodott volna.

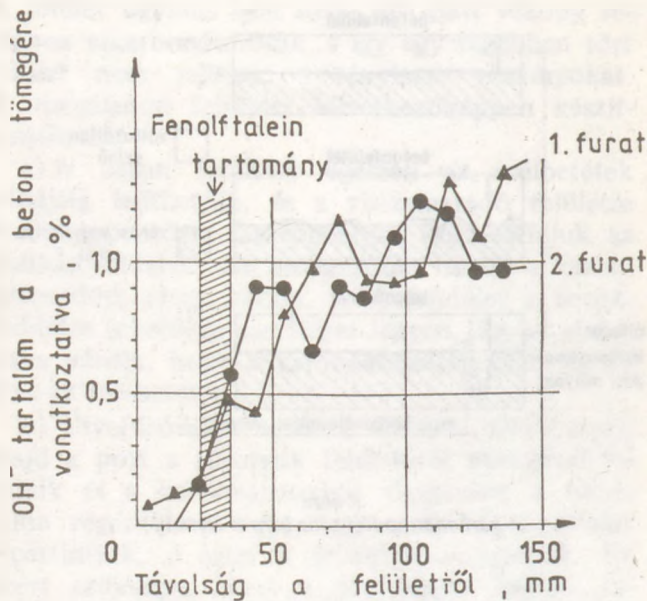
Egyébként a karbonátosodás átlagos mélységét praktikusán átlátszó derékszögű vonalzóval vagy tolmérővel határozhatjuk meg.

## 2.2. A maradék bázikusság vizsgálata

A vizsgálattal a betontérfogatra vonatkoztatott átlagos hidroxidtartalmat mutatjuk ki. Ez egy kiegészítő vizsgálat, amely megmutatja, hogy mennyi a betonban az el nem karbonátosodott kalcium-hidroxid.

### A vizsgálat menete

Az indikátoros módszerrel az oldatba vitt mintában kb. 1 mg hidroxid mutatható ki oldatliterenként. A 4. ábra a karbonátosodott beton hidroxid-



4. ábra  
A beton maradék bázikussága Volkwein szerint [3]

tartalmát a felszíntől való távolság függvényében ábrázolja. Az ábra tartalmazza a fenolftalein indikátor színátacsapási területét is. A fenolftalein indikátorral átlagosan 30 mm karbonátosodási mélységet határoztak meg. A maradék bázikusság mérése alapján azonban látható, hogy részleges karbonátosodás beljebb is létrejött. Ez azonban még nem okozza az acél korrózióját. A maradék bázikussági mérés egy réteginTEGRÁLSI módszer.

### 2.3. Vékonycsiszoltos mikroszkópos vizsgálat

A karbonátosodott réteg pontos kimutatására alkalmas a *vékonycsiszoltos mikroszkópos vizsgálat* is. Ez a módszer a szakember számára egyszerű, de igényes mintapreparátumot igényel, ezért e helyen nem részletezzük.

## 3. A karbonátosodásra ható tényezők

### 3.1. A karbonátosodást leíró függvény

A vasbeton karbonátosodásának kémiai egyenlete [5]:



Az egyenletben azért célszerű szerepeltetni mindkét oldalon a  $\text{H}_2\text{O}$  képletet (bár nem szokás), hogy kifejezzük azt a tényt, miszerint a folyamat csak víz jelenlétében megy végbe. Valószínűleg a  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$  közbenső reakció valósul meg a globális reakció előfeltételeként.

A karbonátosodás mélysége a diffúziós törvényekből vezethető le

$$y = \sqrt{2 D \frac{c_1}{c_2} t}$$

ahol

- $y$  = a karbonátosodás mélysége, mm
- $D$  = a diffúziós tényező,  $\text{mm}^2/\text{év}$
- $c_1$  =  $\text{CO}_2$  koncentrációja a levegőben,  $0,6-0,8 \text{ g/m}^3$
- $c_2$  = az  $1 \text{ m}^3$  beton karbonátosodásához szükséges  $\text{CO}_2$ , kb.  $10\,000-50\,000 \text{ g/m}^3$
- $t$  = a karbonátosodási idő, év

Ha a  $D$ ,  $c_1$  és  $c_2$  tényezőket állandónak tekintjük, akkor az összefüggés egyszerűsödik:

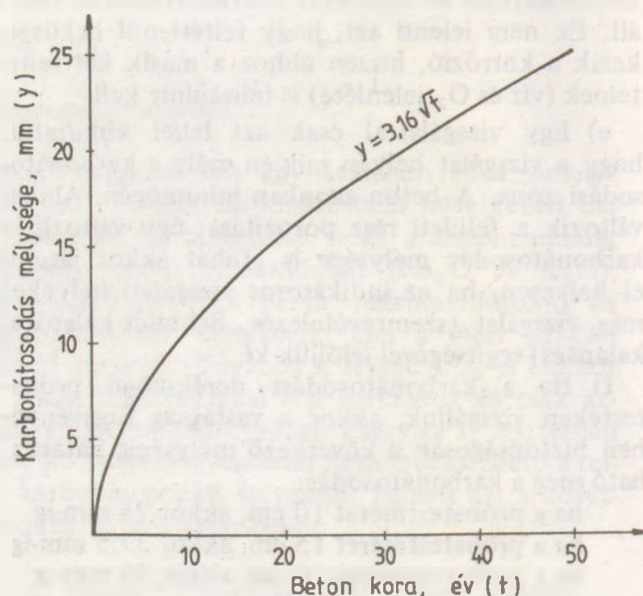
$$y = c \sqrt{t}$$

ahol  $c$  mm dimenziójú.

Ezt a függvényt szokták általában megadni.

Az új  $c$  állandó a beton karbonátosodásával szembeni ellenállását fejezi ki, tehát anyagfüggő, minden betonon külön meg kell állapítani. Közéltően következőképpen határozhatjuk meg [5]: a 10 éves betont megvizsgálták és 10 mm karbonátosodási mélységet állapítottak meg.

A képletből  $c = \frac{10}{\sqrt{10}} = 3,16 \text{ mm}$ . Eszerint  $y = c \sqrt{t}$  képletből a karbonátosodás mélysége 1 év alatt 3,16 mm. Ha viszont  $c$ -t a mérés alapján ismertnek vesszük, akkor megbecsülhető különböző korban a várható karbonátosodás mélysége. Pl. az előbbi esetben szereplő betonra  $y = 3,16 \sqrt{t}$  képletből 50 évig az 5. ábrán feltüntetett függvény adódik.



5. ábra  
A karbonátosodás időbeli lefolyása adott betonban adott környezet feltételezésével

A példában 10 éves betonszerkezetet vizsgáltak meg és lehetővé vált annak előrebecslése, hogy a vasbetonszerkezet (pl. híd) tervezett 50 éves élettartamán adott betonfedés esetén számolni kell-e karbonátosodás okozta acélkorrózióval. Továbbiakban áttekintjük, hogy a karbonátosodás előre haladása milyen tényezőktől függ.

A „c” konstans a cementkő pórusszerkezetétől, a környező levegő nedvességtartalmától és CO<sub>2</sub>-tartalmától függ.

### 3.2. A külső tényezők hatása

A Bécsi Cementkutató Intézetben Nischer [6] részletesen vizsgálta a tárolás hatását az 1. táblázatban feltüntetett betonokon. Az 1. jelű keverék a leggyengébb minőségű vasbetonnak felel meg. A 2 és 3 jelű keverék vizsgálatával a légpórusképzővel és anélkül készített betont hasonlították össze.

Nischer által vizsgált betonok összetétele [6]

1. táblázat

Jele	Cement [kg/m <sup>3</sup> ]	Víz-cement-tényező	d <sub>max</sub> ' [mm]	Légpórusképzővel előállított légtartalom [%]
1	240	0,70	32	–
2	300	0,50	32	6
3	300	0,50	32	–
4	400	0,40	8	–

A 4 jelű keverék a kis víz-cement tényezőjű, nagyszilárdságú betonoknak felelt meg.

Az ÖNORM B 3332 szabvány szerinti cementeket használták. A szilárdság vizsgálatára szánt 15 cm élhosszú betonkockákat 7 napig vízben, majd szobalevegőn tárolták. A nyomószilárdságot 28 napos és 1 éves korban határozták meg.

A karbonátosodás mélységének a vizsgálatára szánt kockákat 3 napos korban zsaluzták ki, addig nedves ruhával letakarták. Azután háromféleképpen tárolták:

- szabadban,
- szabadban, de esőtől védett helyen,
- kizsaluzástól 28 napos korig 20 °C hőmérsékletű, 65% relatív légnedvességtartalmú térben, ezt követően a vizsgálatig 70% relatív légnedvességtartalmú, 0,1–0,3% CO<sub>2</sub>-t tartalmazó térben. A növelt CO<sub>2</sub>-tartalom megválasztása esetén abból indultak ki, hogy garázsokban, közúti alagutakban legfeljebb 0,2% CO<sub>2</sub> koncentrációval kell számolni, munkahelyeken pedig legfeljebb 0,5%-ot engedélyeznek.

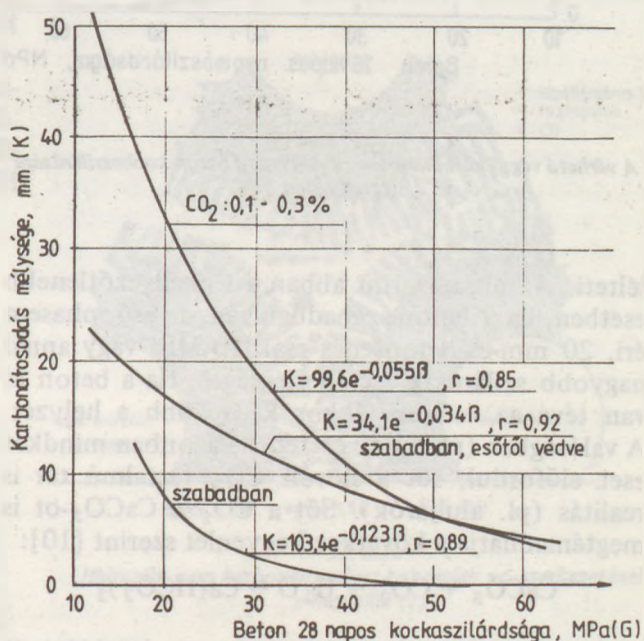
A karbonátosodás átlagos mélységét 1/2, 1, 2 és 3 éves korban a középérték mentén elhasított

kockákon, a törési felületen, 1%-os fenolftalein oldattal mutatták ki.

A kutatás során a beton porozitását nem vizsgálták.

Jóllehet az az általános tapasztalat, hogy a szilárdság és a porozitás (légáteresztőképesség) között nincs egyértelmű összefüggés, de a nagy szilárdság egyben kisebb porozitást is jelent, ezért a szilárdság–karbonátosodási mélység összefüggésből is bizonyos következtetéseket vonhatunk le.

A tárolás hatását a legnagyobb víz-cement tényezőjű (1. jelű) beton esetében összefoglalóan szemléltettük a 6. ábrán. A beton legjobban a CO<sub>2</sub>-dús térben karbonátosodott, ezt követte az esőtől védett beton, végül az esőtől nem védett beton karbonátosodása. (A 6. ábrán a kiegyenlítő függvényeket hasonlítottuk össze, megadva a korrelációs együtthatókat.)



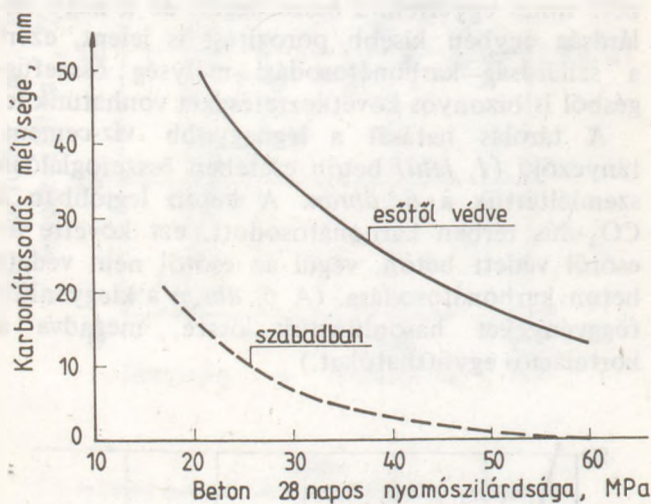
6. ábra

A karbonátosodási mélység a betonszilárdság függvényében. A kockaszilárdság 28 napos, a karbonátosodás mélysége 3 éves betonra vonatkozik. 1 – 0,1–0,3% CO<sub>2</sub> tartalmú térben; 2 – szabadban, esőtől védett térben, – 3 – szabadban [6]

A tárolás hatása különösen erősen megmutatkozott a kisebb szilárdságok esetén. Így 20 MPa kockaszilárdsághoz CO<sub>2</sub>-dús térben 33 mm, esőtől védett helyen szabadban 17,5 mm, esőnek kitett helyen 9 mm karbonátosodási mélység tartozott. A karbonátosodási mélység ugyanebben a sorrendben 30 MPa kockaszilárdság esetére: 18; 12; 2,5 mm. Ebből az is látható, hogy a jó betonnak a kedvezőtlen tárolási körülmények is kevésbé ártanak.

Nischer [7] 3 éves kísérletei alapján megvizsgálta az  $y = c x^\alpha$  függvény hatványkitevőjét. A kitevőre

esőtől védett helyen való tárolás esetére 0,4, 0,1–0,3% CO<sub>2</sub>-tartalmú térben tárolás esetére 0,6 adódott. Az általában javasolt  $\alpha = 0,5$  hatványkitevőnek nem mondtak ellent ezek a kísérletek sem. A 30 évre becsült értékeket a 7. ábra szem-



7. ábra  
A várható végső karbonátosodási mélység a beton kockaszilárdsága függvényében. [6]

lélteti. Az ábra szerint abban a legkedvezőtlenebb esetben, ha a beton szabadban van, de eső sohasem éri, 20 mm-es betonfedés csak 50 MPa vagy annál nagyobb szilárdság esetén elégséges. Ha a beton ki van téve az esőnek, akkor kedvezőbb a helyzet. A valóságban (pl. hidak esetében) azonban mindkét eset előfordul, sőt a növelt CO<sub>2</sub> tartalmú tér is realitás (pl. aluljárók). Sőt a CO<sub>2</sub> a CaCO<sub>3</sub>-ot is megtámadhatja a következő egyenlet szerint [10]:



Ez a folyamat a karsztvidékek mészkőoldásánál jól ismert. Akkor megy végbe, ha a levegőből a betonpórusokba olyan nagymennyiségű CO<sub>2</sub> jut, hogy a pórusvíz pH-ja megsavanyodik és a kémiai lekötődésen túl a folyadékban a CO<sub>2</sub> fizikailag is oldódik. Ezt a CO<sub>2</sub> felesleget az irodalom „agresszív szénsvként” jelöli.

Ez az agresszív szénsv nem hogy elősegítené a beton kapillaris pórusainak a lezárulását, hanem oldóhatása révén még ki is tágítja, és így a karbonátos zóna vastagodása felgyorsul.

Az erre utaló jelek sok műtárgyon fellelhetők, így pl. hidaknál sokszor megfigyelhető az átázott szerkezetek alsó felületének cseppkövesedése. Aból adódik, hogy a nagymennyiségű kioldott CaCO<sub>3</sub> és természetesen az eredetileg jelenlévő kioldott Ca(OH)<sub>2</sub> is a felületre kiszivárogva az előző reakcióegyenlet egyensúlyának balra tolódása következtében visszaalakul és kicsapódik

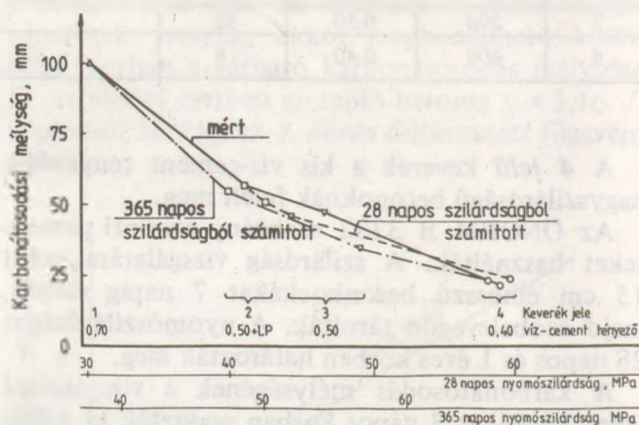
CaCO<sub>3</sub> alakjában. A betonszerkezet ilyen esetben az adott zónában porózusabb lesz, és ami még fontosabb, „átsavanyodik”, s így a betonacél korrodálódik.

Szennyezett légterű környezetben e kioldó és átsavanyodó folyamatot felgyorsítják a jelenlévő kén-dioxid és nitrogén-oxidok (városi és ipari klíma).

### 3.3. A betonösszetétel hatása

A cementkő pórusszerkezete a víz-cement tényezőtől, utókezelés mértékétől, valamint a cementfajtától függ. Ez együtt a cementkő permeabilitásával fejezhető ki.

A karbonátosodás mélysége erősen függ a víz-cement tényezőtől, ami a porozitást juttatja ki-fejezésre. Nischer [6] kísérletei szerint a karbonátosodás mélysége – egyébként azonos feltételekkel – 0,5 víz-cement tényező esetén kb. fele, 0,4 víz-cement tényező esetén kb. negyede a 0,7 víz-cement tényezővel kapott átlagértékeknek (8. ábra). Légpórusképző adalékszerrel készített 2 jelű betonok (1. táblázat) karbonátosodási mélysége annyival volt nagyobb az egyébként azonos összetételű 3 jelű betonénál, amennyivel a beton légtartalmának növekedése csökkentette a szilárdságot.



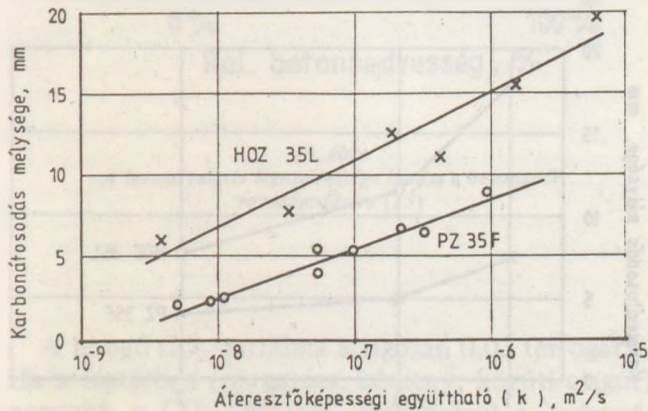
8. ábra  
A betonösszetétel (víz-cement tényező) hatása a karbonátosodás mélységére [6]

A 9. ábra [8] szemlélteti a permeabilitás és a karbonátosodás mélysége közötti összefüggést. A permeabilitás növekedésével arányosan nő a karbonátosodás mélysége.

A beton permeabilitását a cementfajta is befolyásolja. Ugyanis karbonátosodással a pórusszerkezet tömörödése jár együtt. Ez azzal magyarázható, hogy a keletkező CaCO<sub>3</sub> és kovasavgél a kapillarisokat elzárja. Ez tiszta portlandcement

használata esetén a legnagyobb, és ez a beton tartósságát kedvezően befolyásolja. A kohósalak hidratációja során kevesebb  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  keletkezik, és kevesebb lesz a  $\text{CaCO}_3$  is, emiatt a beton permeabilitásabb lesz. Ebből az is következik, hogy a kohósalak pc-ek időállósága, különösen fagy és olvasztósó hatására kedvezőtlenebb, mint a tiszta pc-é [1].

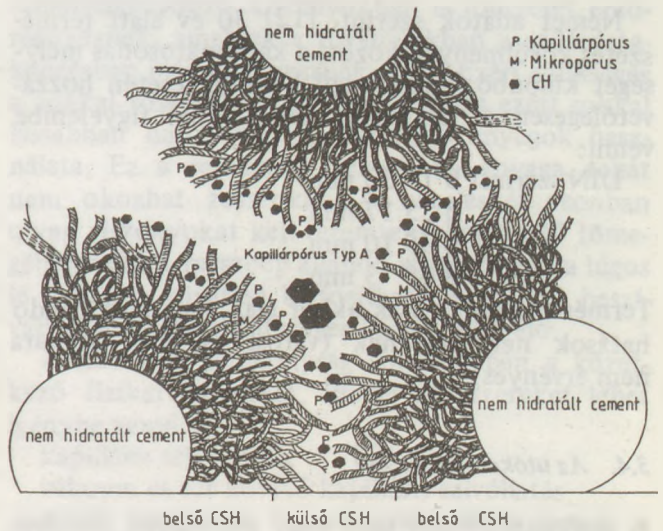
A karbonátosodás folyamatát és a két cement-fajta közötti különbséget a 10–12. ábrák [11] szemléltetik, ahol a cementkő struktúráját a Mindness-Young modell szerint ábrázoljuk. Látható, hogy a tiszta portlandcement esetében az ún. külső CSH kristályok között is jelentős mennyiségű  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  helyezkedik el, amely később karbonátosodik és térfogatnövekedés folytán elzárja a kapillaris pórusokat is. Eközben a külső CSH kristályok és a kovasavgél nyúlványok tovább növekednek és egybefilcelődnek. (Ehhez szükséges a szerkezet nedves állapota.) A kohósalak cementkő külső CSH kristályai ún. tintatartó szerkezetet mutatnak, azaz elágazatlan, rövid egyszálú szerkezetűek, amelyekben  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nincs. Kismennyiségű  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a kapillaris pórusokban található. Karbonátosodás esetén ezek nem képesek a kapillaris pórusokat elzárni, ugyanakkor a külső CSH szálak nem képesek egymásba filcelődni.



9. ábra

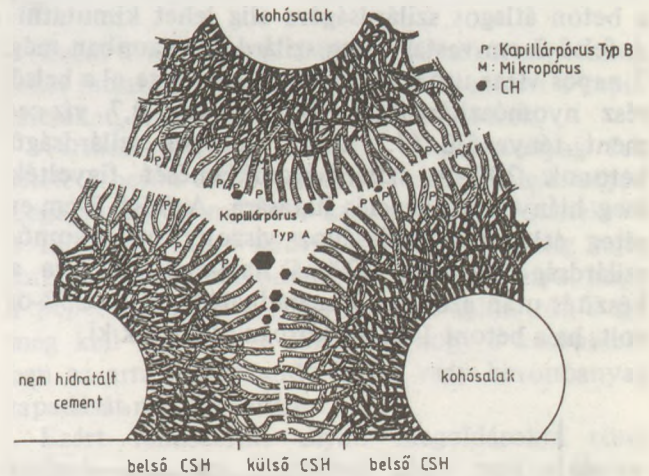
A karbonátosodás mélysége a beton permeabilitása függvényében. 1 éves korban. Tárolás 25 °C-ú térben [8]

Nischer kísérletei szerint [6] 0,70 víz-cement tényezővel és légpórusképző szer adagolásával készíthető fagy- és sózásálló beton, de nem érhető el vele az a betonminőség (pl. 30 MPa), amely 20 mm betonfedés esetén az acélbetét korrózió elleni védelmét biztosítja. Az ÖNORM szerint a szabadban lévő betont max. 0,55 víz-cement tényezővel szabad készíteni. Látszóbeton (pl. panelos lakóépület) esetében a 30 MPa vagy annál nagyobb átlagos betonszilárdságot és a max. 0,55 víz-cement tényezőt nem statikai okok miatt kell előírni, hanem azért, hogy a betonfedést ne kelljen 20 mm fölé növelni. Ezt írja elő az ÖNORM 4200 szabvány is.



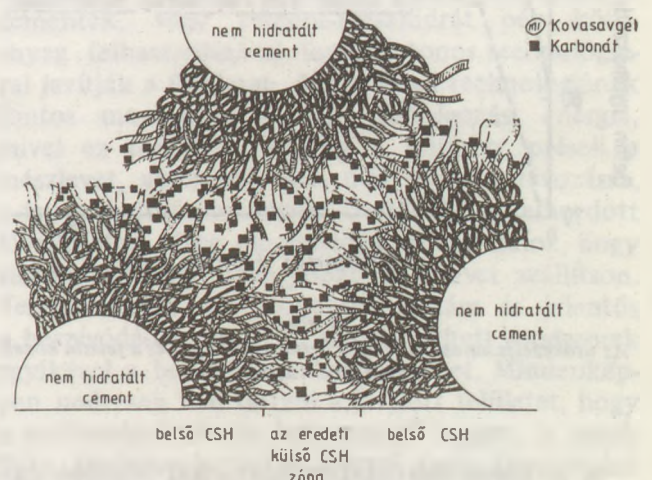
10. ábra

Hidratált, nem karbonátosodott portlandcement szerkezetének a modellje [11]



11. ábra

Hidratált, nem karbonátosodott kohósalak pc. szerkezetének a modellje [11]



12. ábra

Hidratált, karbonátosodott portlandcement szerkezetének a modellje [11]

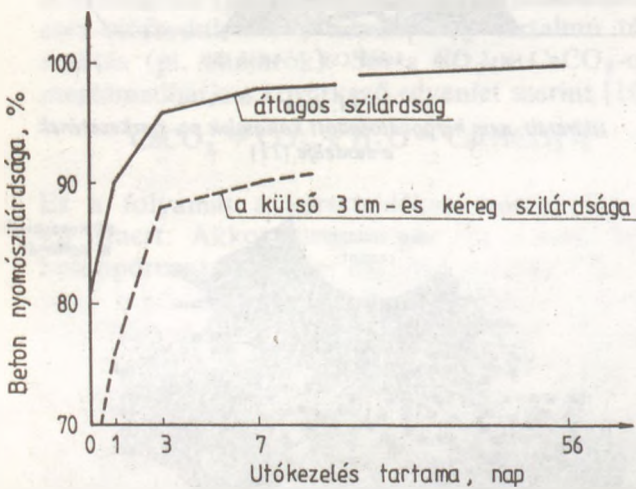
Német adatok szerint [12] 30 év alatt természetes körülmények között a karbonátosodás mélységét különböző minőségű betonok esetén hozzávetőlegesen az alábbiak szerint lehet figyelembe venni:

- DIN szerinti B 15 30 mm
- B 25 17 mm
- B 35 10 mm
- B 45 3 mm

Természetesen ez csak akkor igaz, ha a leírt kioldó hatások nem léteznek (városi és ipari klímára nem érvényes).

### 3.4. Az utókezelés szerepe

A karbonátosodást igen nagy mértékben befolyásolja a beton utókezelése. Nischer [9] 12 cm vastag, felül szabad felületű betonokat vizsgálva azt tapasztalta, hogy a kis víz-cement tényezőjű betonok esetében az utókezelés eltérésének a hatását a beton átlagos szilárdságára alig lehet kimutatni. A felső 3 cm vastag réteg szilárdsága azonban még 7 napos vizes utókezelés esetén sem érte el a belső rész nyomószilárdságát. Ugyanakkor 0,7 víz-cement tényezőjű (13. ábra) közepes szilárdságú betonok 20%-os szilárdságcsökkenését figyelték meg hiányos utókezelés hatására. A felső 3 cm-es réteg átlagos szilárdsághoz viszonyított nyomószilárdság-csökkenés 30%-nál nagyobb volt, ha a készítés után azonnal kiszáradhatott és kb. 25%-os volt, ha a betont 1 napos korban zsaluzták ki.



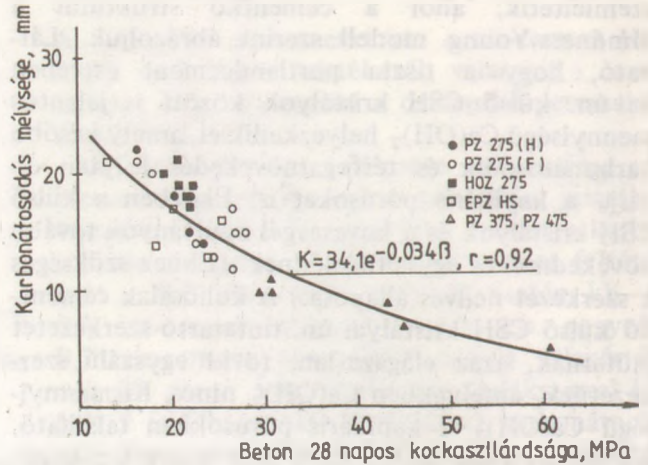
13. ábra

Az utókezelés hatása az átlagos betonszilárdságra és a felszín közeli beton szilárdságára [9]

A 6. ábrán feltüntetett betonokat 3 napos korban zsaluzták ki. Rövidebb zsaluban tartás esetén különösen a felületi réteg porozitása romlik. Hosszabb utókezelés esetén viszont javulás várható.

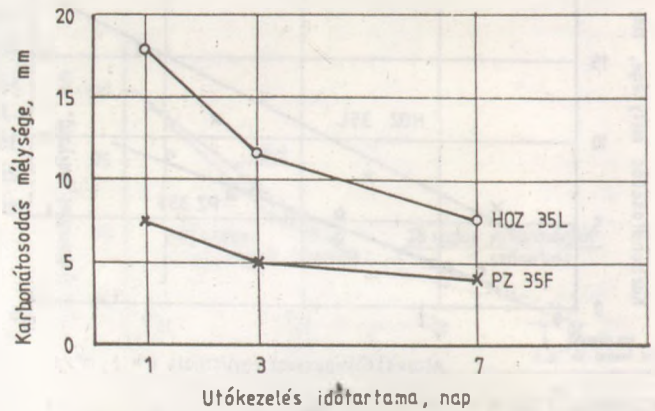
A cementfajta (14. ábra) annyiban hat a karbonátosodás mélységére, hogy gyengébb minőségű cement használatakor, azonos karbonátosodáskor hosszabb utókezelés szükséges [6]. Emiatt a hidépítésben helyes az a törekvés, hogy 450 pc-et, sőt lehetőleg 550 pc-et használjanak fel, illetve a betont legalább 1 hétig nedvesen utókezeljék.

Az utókezelés tartamát és a cementfajta együttes hatását a 15. ábra szemlélteti.



14. ábra

A cementfajta hatása a karbonátosodás mélységére [6]



15. ábra

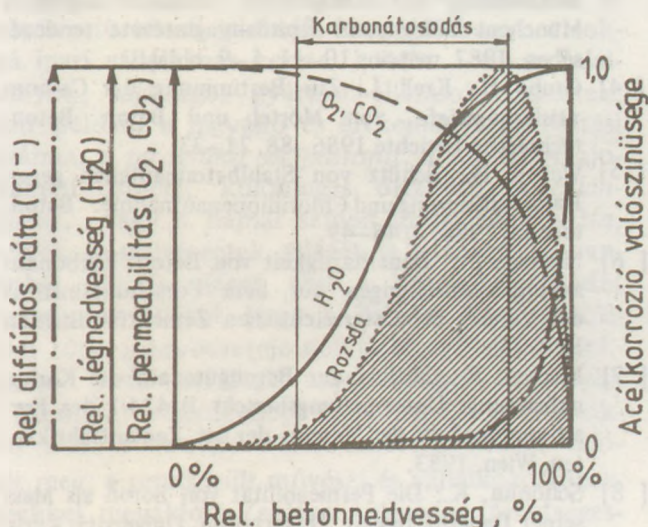
Az utókezelés tartama hatása az 2 éves beton karbonátosodási mélységére 20 °C hőmérsékletű és 65% relatív légnedvességű térben. Víz-cement tényező: 0,6 [1]

### 3.5. A beton nedvességi állapotának hatása

A beton nedvessége egyensúlyban van a környezetével. Mivel a levegő mindig tartalmaz vizet, így a beton is tartalmaz a higroszkóposága révén. A 3.1. fejezetben bemutatott képletből látjuk, hogy a karbonátosodás vizet igényel. A tapasztalat szerint nincs lényeges karbonátosodás vízzel telített, valamint nagyon száraz környezetben lévő betonban. A beton karbonátosodással szembeni



érzékenységét a légnedvességtartalom függvényében a 16. ábra szemlélteti. Mivel pedig egyes vasbetonszerkezeteink (különösen vízfolyás feletti hídjaink) környezetében a relatív légnedvességtartalom 70–90%, a karbonátosodás mélysége, s ezáltal a korróziós veszélyeztetettség szempontjából hídjaink általában a legkedvezőtlenebb helyzetben vannak. Ha azonban a beton átlagos szilárdsága 30 MPa vagy annál nagyobb, és a betonfedés legalább 35 mm, maga a karbonátosodás nem jelent korróziós veszélyt.



16. ábra  
A levegő relatív légnedvessége hatása a betonacél rozsdásodására [13]

A levegő  $\text{CO}_2$ -tartalma átlagosan 0,03 térfogat%. Ha a légtérben (pl. garázs, kémény, közúti alagút) nagyobb a  $\text{CO}_2$ -tartalom, meggyorsul a karbonátosodás. Ezt a körülményt is figyelembe kell venni.

#### 4. Utólagos visszalúgosítás

Újabb a felújítások során a külső karbonátosodott réteg pH-jának a növelését célozzák meg. Ez lúgosító anyagok felhasználásával lehetséges. Legegyszerűbben az alkáli-lúgokkal lehetne megoldani (NaOH és KOH), mert ezek igen jól oldódnak vízben és nagy a kapillár aktivitásuk a betonszerkezetben. Mégsem szabad ezzel visszalúgosítani, mert ezzel felesleges idegen ionokat viszünk a cementkőbe, nevezetesen az alkáli lúgok feltárlják a finom kovasavgéleket és ezzel duzzadásos jellegű korróziót okoznak. Emellett a CSH és CAH

szilárdsághordozó kristályokban is ioncserét eredményeznek, amelyek a továbbiakban a szilárdságképzésben már nem vesznek részt. Ezért szükséges a sokkal rosszabbul oldódó és éppen ezért sokkal lassabban ható  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tartalmú anyagok használata. Ez a cementkő természetes anyaga, tehát nem okozhat zavarokat. A kezelésnél azonban olyan viszonyokat kell teremteni, hogy a fő tömegében szilárd mészpép állandó kilúgozása és a lúgos lé betonba szivtatása biztosítható legyen. A beszívást valamilyen mesterséges úton segítik elő.

A növekvő hatékonyság sorrendjében a következő fizikai hatásokat, illetve módszereket lehet igénybe venni:

- kapillaris szívóhatás,
- vákuum és azt követő kapillaris szívóhatás
- külső légnyomás (minél szárazabb a beton, a hatás annál nagyobb),
- elektromos mező, amelyet a katódként kapcsolt vasalás és a rézből vagy nemesacélból készített anód hoz létre és ez elősegíti az ionok vándorlását.

Ezzel a módszerrel a hidroxilionokat a betonba lehet juttatni, de nem sikerül lezárni azokat a kapillarisokat, amelyeken át a betonba jutottak.

Természetesen a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  lúgosítóanyag felvitele a beton felületére több formában lehetséges. Legegyszerűbb módszer az, mészpépet visznek fel a felületre, s azt nedves állapotban sokáig rajta tartják. Ennek a módszernek az a hátránya, hogy a pépet később el kell távolítani a felületről, s így meg kell tisztítani a felületet, hogy a későbbiekben az arra felhordandó javító vagy bevonóanyag tapadását ne csökkentse.

Ezért rendszerint olyan megoldásokra törekednek, ami egy lépcsőben oldja meg a visszalúgosítási és javítási problémát. Ekkor beton jellegű javítóanyagok felhordásával lehet célt elérni. Két irányban fejlesztették az anyagrendszereket. Az egyik fajtánál nagy mésztartalmú cementek, vagy cement-mészhidrát pép kötőanyag felhasználásával lövelltbetonos technológiával javítják a felületet. A lövelléses technológiának fontos mozzanata a nagy rádolgozási energia, mivel ez magából mintegy a felületre préseli a mészlevet, amelynek más útja nincs a távozásra, s így a beton kapillarisai beszívják. A felhordott lövelltbeton réteg megfelelően vastag ahhoz, hogy viszonylag nagy mennyiségű mészlevet szállítson. Természetesen az utókezelés hatása is jelentős a beszívódásra, ezért az előbb említett módszerek egyikével a beszívódást segíteni lehet. Mindenképpen nedvesen kell tartani a javított felületet, hogy a nedvességvándorlás betonirányú legyen. A másik fajta anyagrendszereket kézzel vagy kisnyomású szívóeszközökkel hordják fel. Ezeknek olyan az összetételük, hogy a lúgosságot sokáig tárolni tudják. Rendszerint műanyag diszperziók, adago-

lásával egy viszonylagos CO<sub>2</sub> gázzáró réteget képez a beton felületén, tehát a javítóanyagként bevitt mészlúg nem karbonátosodik, s iondiffúzió útján lassan beszívódik a betonfelületbe. Ezeket általában az alkália deponáló, azaz lúgosság raktározó anyagokként jelöli a szakirodalom. Bier [11] kísérletei szerint a kohósalak cementtel készült betonok könnyebben lúgosodnak vissza, mert a lúg-beszívásuk gyorsabb.

## 5. Összefoglalás

E tanulmányban összefoglaltuk

- a karbonátosodott réteg vizsgálatát,
- a karbonátosodásra ható betontechnológiai és környezeti tényezőket,
- a karbonátosodott réteg pH-ja növelésének a módját

A karbonátosodásra két technológiai tényezővel tudunk hatni:

- minél tömörebb betont készítünk, annál lassabb és annál kisebb lesz a karbonátosodás. A tiszta portlandcement előnyösebb a heterogén cementeknél.

A karbonátosodás mélységét a beton porozitása, azaz a víz-cement tényező korlátozása által kell csökkenteni:

- az ÖNORM B 225  
betonosztályig max. 0,55
- az ÖNORM B 300  
betonosztályig max. 0,50
- fagy- és sózásálló betonra max. 0,45  
a megengedett.

- A szilárdítás idején a beton nedves utókezelésével vagy kiszáradás elleni védelmével el lehet érni, hogy a betonfelület ne száradjon ki és ne alakuljon ki olyan pórusszerkezet, ami elősegíti a beton karbonátosodási mélységének növekedését. Ugyanis még kis víz-cement tényező esetén is lehet felületi betonréteg porózus, ha a betont nem utókezelik.

A környezeti tényezők közül a karbonátosodásra legnagyobb hatása a CO<sub>2</sub>-koncentrációnak van. Továbbá a karbonátosodás mélysége nagyobb az azonos környezetben lévő, esőtől védett vasbetonszerkezetben.

Újabb törekvés vasbetonszerkezetek helyreállítása során a karbonátosodás során lecsökkent pH-érték megnövelése.

## Irodalmi hivatkozások

- [ 1 ] Hilsdorf, H. K.: Betontechnologie und Bauausführung für dauerhafte Betonkonstruktionen. VDI Berichte 43–72
- [ 2 ] Hensel, W.: Chemische Reaktionen von Atmosphärien mit zementgebundenen Baustoffen. Betonwerk + Festigteil-Technik, 11/1985, 714–721.
- [ 3 ] Dörner, H. W.: Chemischer Angriff auf Stahlbeton-Bestimmung der Schadstoffe. Szakmai napok a Münchener Műegyetem Építőanyagintézetében rendezésében. 1987. március 10–11, 5–9. oldal
- [ 4 ] Grube H., Krell J.: Zur Bestimmung der Carbonatisierungstiefe von Mörtel und Beton. Beton-technische Berichte 1986–88, 21–33
- [ 5 ] Weber, H.: Schutz von Stahlbetonbauteilen gegen Karbonatisierung und Chloridionenaufnahme. Beton-technik 1988. 2, 46–49.
- [ 6 ] Nischer, P.: Dauerhaftigkeit von Beton. Karbonatisierung. Mitteilungen aus dem Forschungsinstitut des Vereins der Österreichischen Zementfabrikanten Heft 37.
- [ 7 ] Nischer, P.: Einfluss der Betongüte auf die Karbonatisierung. Untersuchungsbericht B 424/1 des Forschungsinstituts des Vereins der öst. Zementfabrikanten, Wien, 1983.
- [ 8 ] Schönlin, K.: Die Permeabilität von Beton als Mass seiner Dauerhaftigkeit. Dissertation, Universität Karlsruhe.
- [ 9 ] Nischer, P.: Austrocknen von jungem Beton. Betonwerk + Fertigteil-Technik 1976.
- [ 10 ] Schuricht: Korrosionsschutz von Putz und Beton in Fassadenbereich. Farbe und Raum 80/1 p. 6–7
- [ 11 ] Bier, T. A.: Karbonatisierung und Realkalisierung von Zementstein und Beton. Disszertáció. Universität Fridericana zu Karlsruhe 1988.
- [ 12 ] Deutsche Malerblatt, Stuttgart 1979/6. p. 513–516.
- [ 13 ] Jungwirth, D. Beyer, E., Grübl, P.: Dauerhafte Betonbauwerke Düsseldorf. Beton-Verlag, 1986.

Balázs György – Kovács Károly: Carbonation of Concrete

Balázs György – Kovács Károly: Die Karbonatorierung des Betons

# ZSOLNAY-ék\*

Kápolnai Iván

A kerámiaiparhoz és -művészetéhez oly szorosan kapcsolódik – nemcsak Magyarországon, hanem határainkon túl is – a Zsolnay név, mint amilyen ismert például az acélgyártásban egyebek között Bessemer vagy Martin neve. A Zsolnay nevet viselt üzemekben a legkülönbözőbb kerámia termékek gyártását honosították meg és fejlesztették több nemzedéken át. Az már egészen kivételes ipar- és művészettörténeti jelenség, hogy közben – a sokáig ipari vállalkozás keretei között – olyan találmányok, sajátos gyártási eljárások születtek, mint például a fagyálló és érckeménységű építési kerámia, a *pirogránit* és *plutonit*, a Zsolnay-majolikaként ismert, különleges díszítésű *porcelán-fajansz*, vagy a hajnal színeit idéző pécsi *eozin*, melyek a művészetek világát is gazdagítják napjainkig. Az is eléggé elűt a hazai iparfejlődés szokványos útjától, hogy a Zsolnay üzemek külföldi tőke igénybevétele nélkül létesültek, a banktőkétől nem kerültek szoros függő viszonyba a későbbi, pénzügyileg igen nehéz időszakokban sem. S mindez *családi* keretek között valósult meg: a rendkívüli művészi és vállalkozó képességekkel megáldott Zsolnay Vilmos, s tehetségeszorgalmas leszármazottai tevékenységének eredményeképpen, nem éppen szokványos jelenségként a többenemzedékes vállalkozó nagyipari és kereskedő polgárcsaládokban nem túlságosan bővelkedő magyar földön.

A Szombathelyről Pécsre került szabómester fia, a jómódú kereskedő, *Zsolnay Miklós* telket vásárolt 1951 júniusában a városban, agyagbányával és téглаégető kemencével. Legidősebb fiát, a reformkor iparfejlesztési eszméiért lelkesedő *Ignácot*, a mosonmagyaróvári Mezőgazdasági Akadémia öklelevelével a zsebében a Szigetvár melletti Lukafára küldte, az ottani edénygyártó manufaktúra tanulmányozására. A megvásárolt kis edénygyár berendezéseit a következő nyáron szekereken áttelepítette a pécsi telekre, és az év végén már működött a városban a Zsolnay-féle kerámia üzem, amely háztartási edényeken kívül épületdíszítési terrakottákat, kis átmérőjű csatornázási csöveket is készített.

1854 tavaszán Zsolnay Miklós átadta Ignác fiának az akkor 8 munkással dolgozó kis üzemet, megtoldva a vállalkozás fejlesztését szolgáló

készpénztőkével. Az érdeklődésében sokoldalúan csapongó – az idők folyamán igényes hetilapot is indító! – Ignác keze alatt azonban az üzem (üzleti szellem és kitartó, szívós akarat hiányában) néhány év múlva mindössze 1–2 személyt foglalkoztató műhellyé hanyatlott. Ignác csak Vilmos öccsének a kölcsönével menekült meg az árverezéstől, majd egy évi társas viszony után 1865-ben átadta neki az üzemet. Vilmos, festői hajlamai ellenére, minthogy a művészi pályát a család nem tartotta eléggé biztonságosnak, a bécsi Politechnikum kereskedelmi tagozatát végezte el, majd bécsi és német nagyvárosi cégeknél szerzett gyakorlati ismereteket. Hazatérése után apja rövidáru- és játéküzletét, „bazar”-ját a város, sőt az egész környék legnagyobb boltjává, valóságos áruházzá fejlesztette, a legkülönbözőbb cikkek (üveg- és kerámiatermékek, lakatosáru és szerszámok, hangszerek, templomi kegytárgyak, szőnyeg, bútor stb.) árusításával; mindehhez még nagytrafikjogot is szerzett, volt bérháza és szőlőföldje, üveghutát bérelt, műkertészetet rendezett be, vasútvonalat épített (mely az 1860-as években a tőkének a legnagyobb nyereséget kínálta), a fellendülő cukoriparban felhasználható csontszenet gyártott – egyebek között. Mindez azonban csak a fővállalkozás, a kerámiaüzem támogatására szolgált.

A kiegyezés utáni évben a negyvenéves *Zsolnay Vilmos* „Első Pécsi Cement-, Chamotte- és Tűzálló Agyagáruk Gyára” címen vállalatot alapított, és a városi tanácstól engedélyt kapott gyár építésére a régi fazekasműhely helyén. A cégnévben jelzett cementgyártás azonban hamarosan megszűnt, – az Újvidék melletti Beočinban ugyanis erre kedvezőbb feltételek voltak – nem került sor az edénygyártó műhely tervezett lebontására, és így folytatta a termelést bátyja kisüzemében, azzal az elgondolással, hogy teljesen áttér a majolika gyártására. A saját telkén bányászott és távoli vidékekről vásárolt nyersanyagokból kikísérletezett összetételű massa égetésére angol típusú új kerek kemencét építtetett a legkiválóbb német szakemberek Dressler és Schmidt (a meissenai porcelángyár későbbi igazgatója és berlini egyetemi tanár) közreműködésével. Minthogy a fejlett osztrák–cseh kerámiaipar elsőprő versenye, majd később a vasedények terjedése következtében a hazai edénygyártó agyagipar nehézségekkel küzdött – no meg talán fiatalkori festői hajlamai indíttatásánál fogva is – Zsolnay Vilmos a háztartási edények helyett inkább jó minőségű díszműárak előállítására törekedett mind nagyobb lendü-

\*1989. november 15–16-án „Újabb eredmények a hazai tudomány-technika-örvostörténet köréből” címen megrendezett anketon „A vállalkozás történetétől Magyarországon” témakörben elhangzott előadás bővített változata.

lettel. És arra, hogy elegendő tökeerő hiányában új technikai eljárásokkal növelje versenyképességét. Munkásainak száma az 1871. évi 16–18-ról a következő évben megkétszereződött, és az 1873. évi Bécsi Világkiállításon termékei bronzérmeket kaptak elismerő oklevéllel, ő maga pedig Ferenc József érdemérmét.

Gyermekeit is bevonta a munkába: a kiállítás sikere után megszapordott külföldi megrendelések intézését – alig 16 éves korától – a grazi kereskedelmi iskolában tanult Miklós fiára bízta, művészi érzékű leányai (Teréz és Júlia) népművészeti emlékek (kerámiák, szöttek, hímzések) gyűjtésében szorgoskodtak, másolatokat készítettek híres ötvös, elefántcsont, textil és kerámia tárgyakról. (A családi lakóházban festőműhely, sőt alacsony tűzű égetésre alkalmas kis „mufola”-kemence is rendelkezésre állt.) A legjobb Monarchia-beli szakemberek irányításával a legértékesebb iparművészeti alkotások nyomán tanulták-gyakorolták a tervezés munkáját, és alakították ki a termékek művészi formáját, magyaros és keleties (török, perzsa) stilizált, nem naturalisztikus ornamentikáját. Az 1878. évi Párizsi Világkiállítás aranyéremmel díjazta a Zsolnay család üzemének korábban soha, sehol nem ismert eljárással előállított *porcelán-fajansz* tárgyait, melyek a porcelántól és az ónmázaz vagy modern fehércserepű fajansztól egyaránt különböztek. A gyártulajdonost a kormány a francia becsületrenddel tüntette ki. A megsokasodott külföldi megrendelések következtében meggyorsult a pécsi gyár fejlődése, miközben az országban erős versenytárs támadt Fischer Ignác – festőműhelyből kinőtt – pesti majolikagyárában. Zsolnay Vilmos pécsi „porcellán-, kőedény-, majolika- és terrakotta gyáros” ezek után védjegyzetette termékeit az utánzási próbálkozásokkal szemben. A gyári bélyegen a várost – német neve „Fünfkirchen” nyomán – jelképező öt egymás melletti torony és a kettős keresztet kívül a TJM monogram (Teréz, Júlia és Miklós nevének kezdőbetűivel) a gyermekek alkotó közreműködését ismeri el a vállalat munkájában.

1880-ban Zsolnay Vilmos eladta városi üzletét, és ettől kezdve nemcsak a reggeli és esti órákat, hanem minden idejét a gyárnak szentelhette. (Valójában ezzel fejeződött be a kereskedelmi töke átalakulása ipari termelő tőkévé!) Új gyártási ágakkal bővíti a gyár tevékenységi körét: már az 1870-es években is állítottak elő üzembiztos szigetelőket, és 1882-ben megindult a távíró- és telefonhálózat kiépítéséhez szükséges *porcelán-szigetelők* üzemszerű gyártása, a gyengeáramú mellett hamarosan erősáramú és nagyfeszültségű szigetelőket is gyártottak kezdetben külföldi, majd hazai szakemberek segítségével. A munkások száma 460-ra, a kemencéké az 1871. évi 2-ről 9-re

emelkedett. Az 1884-ben megindult *kőagyag-gyár részlegben* barna sómázaz kőagyagból főleg csöveket, azonkívül saválló kádakat, korsókat, edényeket is készítettek.

A következő évben létesített *kályhagyárban* művészi tervezésű és kivitelezésű cserépkályhákat – közel 250 típust! – állítottak elő, többnyire a módosabb rétegek igényeinek kielégítésére. Voltak köztük „népies” jellegű és egyszerűbb ún. „ónémet” kályhák is, német, olasz és erdélyi reneszánsz kályhákon kívül készítettek igen változatos méretű kandallókat, román és gótikus, keleties, sőt török stílusú kályhákat is. Nemcsak a lakás, hanem olykor az épület stílusához is igazodtak – esetenként országos hírű művészek (pl. Hauszmann Alajos) tervei szerint.

Az *építészeti kerámiák* gyártására az 1880-as évek derekán felállított részleg törekvése a már korábban is előállított, de nem eléggé fagyálló termékek tökéletesítésére irányult. Bevezették a sárga kongó- vagy klinkertéglák, keramitlapok, útburkoló szegélytéglák, a vastagfalú kapualj- és járdaidomlapok, fali- és padlóburkoló lapok, valamint az egészségügyi kerámia áruk gyártását is.

Megszületett a plutonit, majd 1893-ban az újabb találmány, a sómázaz, vagy színes majolikamázazal bevont *pirogránit*, – teljesen kiszorítva az épületdíszítésben a terrakottát. A pirogránitot megtaláljuk a kor legjelentősebb – ma is reprezentatív – épületein: az Országháztól a Múcsarnokon, a Földtani Intézeten és a budapesti Postatakarékpénztáron át az Iparművészeti Múzeumig, főleg a századvégi szecesszió népművészeti motívumokat felhasználó Lechner-féle stílusirányzatának a szolgálatában. A vezető építészek (Lechner, Schulek, Ybl, Steindl, Hauszmann) mellett a legkiválóbb képzőművészek (Székely Bertalan, Benczur, Rippl-Rónai) is rendszeresen hosszabb-rövidebb időt töltenek a Zsolnay-gyárban.

A század utolsó éveiben jutott a csúcra Zsolnay Vilmos művészi kutató-kísérletező és vállalkozói alkotó tevékenysége. A kor legkiválóbb vegyész és keramikus szakembereinek (Petrik Lajos, Wartha Vince) a közreműködésével a legtökéletesebb eredményt ő érte el egy 15. századi különleges vörös rézlüszteres máztechnikának a felújításában, és a pécsi *eozinok* az 1900. évi Párizsi Világkiállításon – Zsolnay Vilmos halála évében – igazi világsikert arattak.

A Zsolnay-gyár a század vége felé nemcsak Magyarország akkori területén, hanem az egész Monarchiában a legnagyobb kerámiaipari üzemnek számított, 700 főt meghaladó létszámával. De Zsolnay Vilmos tovább terjeszkedett: a Magyar Ipari és Kereskedelmi Bank felkérésére vállalkozott az egykori konkurens cég, a tönkrement Fischer-féle kerámiaüzem felszámolására, és az 1895. júniu-

sában létrejött *Budapesti Zsolnay-féle Porcellán-és Fayence Gyár Rt.* megvásárolta a Dob-utcai üzemet teljes felszereléssel együtt. A túlnyomórészt tömegcikkeket: mázas falburkoló (fajansz) lapokat és kevés egészségügyi kerámiát előállító gyár termelése a század végén értékben már mintegy harmadára rugott a pécsi anyavállalat 1 millió korona körüli gyártási értékének. Az Erzsébetvárosból hamarosan Zuglóba kiköltöztetett budapesti üzemet már kezdettől fogva Zsolnay Miklós irányította, aki 1897-től a pécsi gyár ügyeiben is mint bejegyzett cégvezető apjával egyenrangúan intézkedett.

*Zsolnay Miklós* inkább üzletember volt, nagy műveltséggel, nyelvtudással, rendkívüli akaraterevével és munkabírással. Mint ismert és elismert üzleti-gazdasági szakember alapítója-irányítója volt legalább száz gazdasági és kulturális-művészeti intézménynek, díszpolgára Pécsnek, tagja a főrendiháznak is. Hiányzott azonban belőle édesapjának, a „fazekasmester”-nek – ahogy ő magát élete végén is nevezte – és a kutató keramikusnak szenvedélyes kísérletező kedve és sokoldalú művészi alkotó szelleme. A piaci lehetőségek maximális kihasználásával a meglévő termelő kapacitások minél tökéletesebb kiaknázására törekedett, és mindvégig igyekezett megőrizni függetlenségét a bankok befolyásától.

A pécsi gyárban különösen a villamosipari porcelán termelését növelte: az 1895-ben épült porcelánszigetelő gyár teljes üzemmel dolgozott, 1905-ben pedig már egy nagyfeszültségű szigetelő-vizsgáló állomást létesített. Erőteljesen bővült a pirogránit termelése is. A századfordulótól a világháborúig közel megháromszorozódott termelésnek több, mint 2/3-a műszaki porcelán és pirogránit volt, az edény- és díszműáru alig 15%-ra zsugorodott. Az égető kemencék száma 30-ra emelkedett. A nagyarányú fellendülést azonban hosszú időre megszakította az első világháború és ami utána következett: forradalmak, szerb megszállás, gazdasági pangás. Zsolnay Miklós a leánytestvéreivel kötött örökösödési szerződés alapján kizárólagos tulajdonosa volt az atyja nevét viselő gyárnak mint egyéni cégnek és elnökgazdája a budapesti részvénytársaságnak, melynek minden részvénye 1902-től a Zsolnay családtagok kezébe került.

A gyárak vezetésében és ellenőrzésében két sógora – *Sikorski Tádé* műépítész és *Mattyasovszky Jakab*, a magyarországi agyagok felkutatásában nagy érdemeket szerzett geológus – volt segítségére.

De már az 1910-es években ezek gyermekei is fokozódó mértékben vettek részt a Zsolnay-üzemek – főleg a pécsi – munkájában: *Mattyasovszky Tibor* a budapesti Kereskedelmi Akadémia elvégzése után, *Zsolt* vegyészmérnöki oklevél-

vel, *Sikorski Miklós* (Júlia fia) építészmérnöki diplomával, majd sógoruk, a svájci származású, jó üzleti érzékkel rendelkező *Francesco Gilli* (Mattyasovszky Teréz férje) is belépett a gyárba. 1919 tavaszától a pécsi gyár családi közkereseti társaság keretei között működött tovább egyre súlyosbodó nehézségek közepette.

A pesti üzemnek hamarabb sikerült kilábolnia a háború utáni mélypontról olyannyira, hogy forgalma 1927–28-ban már meghaladta a pécsit, és a nyereségből jelentős segítséget tudott nyújtani a csőd szélére jutott anyavállalatnak. Ilyen nehéz körülmények között is, családi összefogással 1928-ban méltó módon – egyebek közt múzeum megnyitásával – megünnepezték Zsolnay Vilmos születésének 100 évfordulóját. A közkereseti társaság tagjai nyereséget éveken át nem vettek fel, mindent beruházásra fordítottak, hogy – akár ingatlanok értékesítése árán is! – fenn tudják tartani az erkölcsi helytállásra is kötelező Zsolnay örökséget. A helytállók sorából korán, alig 50 évesen kidőlt azonban a munkások körében is közkedvelt jó keramikus szakember, Zsolt, majd a művészi kerámiagyártást irányító festőművész László. Ekkor, 1934–35-től az utóbbi özvegye, Zsolnay Vilmos legfiatalabb unokája, *Sikorski Zsolnay Márta* vállalta a részvételt az üzemek vezetésében. Különleges érzéke volt a gyártástechnológiai bajok okainak felismerésére és orvoslására, név szerint ismert szinte minden munkást, s füle volt jogos panaszuk meghallgatására is. Így rövid időn belül mindkét gyárban tekintélyt szerzett magának, hallgattak szavára.

Fő mozgatójává vált annak az erőteljes fellendülésnek, amely a világgazdasági válság és pangás időszaka után, javuló gazdasági körülmények között a termelő berendezések jelentős modernizálását is eredményezte, egyebek közt új, folyamatos üzemelésű alagútkemencék építésével. Hamarosan felügyelnie kellett a harmadik Zsolnay-üzemet is: a bérbe vett *kolozsvári „Irisz” porcelángyárat*, ahol mintegy 260 munkással 4–4 kemencében főleg edényárut és kályhakat, azonkívül szigetelőt és samottárut is gyártottak.

Az 1930-as évektől porondra léptek már *Zsolnay Vilmos dédunokái* is: a negyedik, – sőt az első Zsolnay-üzemet alapító őstől számítva: az ötödik – nemzedék. Zsolt vegyész fia, László a pesti gyár laboratóriumában dolgozott, majd külön utakat keresve, a részvénytársaság által megvásárolt és örökrészként tulajdonába került nógrádverőcei – főleg laboratóriumi porcelánt előállító – kisüzemben fejlesztette a kerámia tudományt és technológiát. (Eredményeit 1948-ban Kossuth-díjjal is elismerték.) *Mattyasovszky Tibor* idősebb fia, (Péter) gazdaságtudományi egyetemi tanulmányai után először a pécsi gyárban *Sikorski Zsolnay Márta* „szárnysegédje”, majd a kolozsvári üzemet

vezette, gépészmérnök fia (Tamás) a budapesti gyár üzemvezetője lett, ugyanitt az ügyvezető igazgatói posztot – 1943-ban elhunyt apja nyomdokaiba lépve – Mattyasovszky Teréz jogi végzettségű fia, Gilli Ferenc töltötte be.

A vezetés bankkölcsonök lehetőség szerinti mellőzésével, általában a nyereség számláról igyekezett fedezni a fejlesztési és egyéb kiadásokat. Céltudatos korszerűsítő és kapacitásbővítő beruházások eredményeképpen a pécsi gyár kora színvonalán álló, a budapesti üzem pedig Európában az egyik legmodernebb kerámiaüzemmé fejlődött az 1940-es években. A második világháborús események által eléggé megkímélt pécsi gyárban már 1944 végén megkezdődött az edénygyártás. Az infláció idején edényben fizették a munkásokat, s annak ellenében jutottak élelmiszerhez, a gyár nyersanyaghoz, az égetéshez szükséges tüzelőt pedig maguk a munkások termelték ki. A budapesti üzem 1944 nyarán ért súlyos légitámadás éppen az új, modern gyárrészleget pusztította el, a termelés akadozva indult meg, folyamatosan csak 1947-től. A Zsolnay hagyományokat követve, 1945-től a budapesti üzem nyújtott otthont rövid időre a kerámia művészetnek: nógrádverőcei műhelyének szétbombázása után az ugyancsak verőcei üzemtulajdonos Zsolnay-származék meghívására ide tette át munkálkodása színhelyét az országos híru keramikus, Gorka Géza. 1948 tavaszán azonban mind a pécsi, mind a budapesti Zsolnay gyárat kártalanítás nélkül államosították, a nógrádverőcei üzemet pedig 1949 őszén. A „nemzeti vállalat”-ok nevéből hamarosan elmaradt az utalás az alapítóra, – a budapesti gyár nevéből még ma is hiányzik. A magyarországi kerámiaipar és -művészet mindmáig legnagyobb hatású, világszerte ismert alakja, Zsolnay Vilmos tucat-

nyi dédunokájának többsége, köztük a nemzetközi híru Kossuth-díjas kerámia szakértő – arra érzett indíttatást, hogy a gyáros család leszármazottait sújtó hátrányos megkülönböztetések elől, külföldön keresse emberi és szakmai kibontakozásának útját. Elenyészett a közel egy évszázadon át sajátos fényvel ragyogó Zsolnay jelenség!

És most négy évtized múltán a Zsolnay márka-nevet és az öttornyú márkajelzést viselő pécsi Zsolnay Porcelángyár eladását tervezik.

#### Irodalom

Grofcsik János – Reichard Emő: A magyar finomkerámiaipar története, 1973.

Hárs Éva: Zsolnay kerámia, 1988.

Katona Imre: Zsolnay Vilmos, 1977.

Kápolnai Iván: A Budapesti Porcelángyár első negyedszázada (1895–1920)

Üzemtörténeti Értesítő, 1986.

Kápolnai Iván: A Budapesti Porcelángyár történetéből (1920–1948)

Üzemtörténeti Értesítő, 1988.

Ruzsás Lajos: A Pécsi Zsolnay-gyár története, 1954.

Zsolnay Teréz – M. Zsolnay Margit: Zsolnay, 1974.

Kápolnai, Iván

The Zsolnay Family

Kápolnai Iván: Die Zsolnay-s

Каполнаи, Иван: "Жольнавчане"

# 100 éve született GROFCSIK JÁNOS

(Pápa, 1980. július 20. — Budapest, 1977. január 6.)

Középiskolai tanulmányait a veszprémi Főgimnáziumban végezte, majd a budapesti József Műegyetem vegyészmérnöki karára iratkozott be. Az egyetemen vegyészmérnöki oklevelet szerzett 1912-ben. Oklevelének megszerzése után egy évig az Országos Kémiai Intézetben dolgozott. A kerámiát már a műegyetemen megkedvelte, ahol tanára a nagynevű Wartha Vince volt.

1913-ban tanárnak nevezték ki az Állami Felsőipariskolához, ahol a kerámia és rokoniparok technológiája volt a szaktárgya. Mielőtt ennek tanítását megkezdte, az illetékes minisztérium fél-éves tanulmányútra küldte Berlin-be, ahol a Laboratorium für Tonindustrie Prof. Seger és Cramer intézetben dolgozott.

A felsőipariskolai tanári állása mellett a Technológia és Anyagvizsgáló Intézetben működött 1926–1940-ig, ahol a kerámiai és üvegipari anyagvizsgálatokat irányította. A téglá és agyagipar állandó szakértője volt a budapesti Törvényeséknél.

1928-ban megbízást kapott a több mint egy évtizede üzemben kívül álló Városlódi Kőedény-gyár üzembe helyezése, majd 1930-ban megtervezte és üzembe állította a gyár Kislőd-i kőagagcső üzemét. A Városlódi Kőedény és Kőagagcsőgyár állandó műszaki tanácsadója volt 1939-ig.

1934 és 1937 között az akkori Kereskedelemügyi Minisztérium megbízásából résztvesz magyarországi finomkerámiai és tűzálló-agyagelőfordulások kutatásában. E munkásságáról részletes jelentés készült.

A Magyar Szabványügyi Intézet megalakulásától kezdve, tevékenyen közreműködött a kerámiai gyártmányok első magyar szabványainak megalkotásában, majd folyamatos korszerűsítésében. A Felsőipariskola vegyészet szakosztályát 1939-ben önálló iskolává szervezték át és megbízták az iskola igazgatásával, melyet 1941-ig látott el.

1939-ben a Kőszénbánya és Téglagyár Társulat (Drasche) központi laboratóriumának lett a vezetője. E tevékenysége során berendezte a vállalat új laboratóriumát, mely akkor az ország legkorszerűbben felszerelt, kutató munkára is alkalmas kerámiai laboratórium lett.

A Drasche laboratóriumában megkezdte és végezte azt a kutatómunkát, melynek célja volt az addig teljesen empirikus és csak receptek alapján dolgozó kerámiai iparba bevinni, alkalmazni a tudomány addig megismert eredményeit. Munkájának eredménye alapján megkezdtek a termelési folyamatoknál a szilikátkémia tudományának alkalmazását.

E tudományos kutatómunkának az is célja volt, hogy a hazai nyersanyagokat minél nagyobb mértékben alkalmazzák a termelésben. E munkáinak eredményeiről sajnos akkor vállalati hozzájárulás hiányában nem jelenhettek meg publikációk. 1945 után az „Építőanyag” c. szakfolyóirat első évfolyamában megjelent két cikke főleg e kutatásai alapján készült.

Eredményes tevékenysége alapján 1941-ben a Drasche gyárak központi műszaki igazgatójának nevezik ki. 1945-től a vállalat vezérigazgatója lett.

Az 1945 előtti időszak publikációi közül külön kiemelendő az Athenaeum kiadóvállalat kiadásában 1924-ben megjelent „Építőipari anyagtan” c. könyve.

1940-ben a Természettudományi Társulat kiadásában megjelent „Kémia vívmányai” c. könyvben a „Kerámia” c. fejezet szerzője. A „Vegyészet Lapok”-ban, az „Agyag és Üveg” szaklapban is számos tanulmányt közölt.

Az ipar átszervezése után 1948-ban az újonnan alakult Téglá és Cserépipari Igazgatóságon mint iparigazgatóhelyettes működött. 1949-ben az Iparügyi Minisztérium Mész-Cement és Üvegipari Főosztályán főosztályvezető-helyettes volt.

Ebben az időszakban résztvett a nagy iparfejlesztési, korszerűsítési programok előkészítésében illetve megvalósításában. 1950-ben a megalakított Nehézvegyipari Kutató Intézet szilikátkémiai osztályának vezetőjévé nevezték ki, majd 1952-ben a Veszprémi Vegyipari Egyetem tanárává nevezte ki a Minisztertanács. Egyetemi tanári tevékenysége mellett továbbra is vezette a NEVIKI szilikátosztályát 1957 végéig.

Nyugállományba vonulása után, egészen haláláig fáradhatatlanul dolgozott tovább, mint a Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet tudományos tanácsadója.

Egyetemi illetve kutatói tevékenysége során módjában volt az ezt megelőző időszakban szerzett hatalmas gyakorlati és tudományos ismeretanyagot felhasználva és továbbfejlesztve, a szilikátkémia tudományának a gyakorlatba való átültetését elősegíteni. Grofcsik János ezt a lehetőséget maximálisan kihasználta. Nagy munkát fejtett ki az egyetemen mint a Szilikátkémiai Tanszék professzora, a kerámiai profil oktatásának megszervezésében. Ezt a feladatot nagy kedvvel és még nagyobb sikerrel oldotta meg. Szakmailag magas színvonalú, hangulatos egyetemi előadásából érződött az elméleti háttérrel kiválóan ismerő és a mindennapi ipari gyakorlatban is jártas mérnök két irányba orientált mégis egy-egy szemlélete.

Egyetemi oktatómunkája mellett tovább folytatta kutatói tevékenységét. Tudományos munkássága főleg a kerámia területére esik. Foglalkozott ismét a hazai nyersanyagok hasznosításával, új módszereket dolgozott ki a kerámiai anyagok vizsgálatára. Kutatásai során részletesebben foglalkozott az agyagásványokkal, és a kerámiai égetés (szinterelés) folyamán az anyagban végbe menő átalakulásokkal. Igen jelentős eredményeket ért el a samottos tűzálló anyagokban és a finomkerámiai termékekben a mullit optimális képződési körülményeinek tisztázásával, mert ennek ismeretében lehet az égetés helyes módszerét a gyártóüzemekben kialakítani.

Nagyon sok publikációja jelent meg a szaklapokban, magyar, német, angol nyelven. Számos szakkönyv szerzője, melyek közül kiemelendő és nemzetközi elismerést is aratott az 1956-ban az Akadémiai Kiadó gondozásában megjelent „A kerámia elméleti alapjai” c. műve.

Szintén az Akadémiai Kiadó gondozásában jelent meg „A mullit képződése, szerkezete és jelentősége” c. munkája, melyet angol nyelvre lefordítva is kiadtak. Jelentős alkotása „A Magyar Finomkerámiaipar Története”.

Grofcsik János egyik alapítója és aktív tagja volt a Szilikátipari Tudományos Egyesületnek. 1975-óta elhunytáig az Egyesület tiszteletbeli elnöke volt.

1951–57-ig a Magyar Tudományos Akadémia Szervetlenkémiai Főbizottságának tagja, a Szilikátkémiai Bizottság elnöke. 1959–1965-ig a Szilikátkohászati Főbizottság alelnöke, azután elhunytáig a Bizottság tagja volt. 1958-ban a Kémiai Tudományok Doktora tudományos fokozatot nyerte el. A budapesti Műszaki Egyetem műszaki doktora. Tudományos munkásságáért több alkalommal kapott kitüntetést.

## Ipari szennyvíztisztítás a Zsolnay Porcelángyárban

Svoboda Vilmos  
Zsolnay Porcelángyár, Pécs

A környezetvédelmi feladatok közül az elmúlt évtizedekben két súlyos feladat terhelte a gyárat, a levegő szennyezés és az élővíz szennyezés. A levegő szennyezés problémája a széntüzelésű kamrás kemencék leállításával az 1970-es évek első felében megoldódott. Az ipari szennyvizek tisztítására tett intézkedések az 1980-as években kezdődtek, azonban a beruházási forrás szűkös volta miatt igen erőtlenekek voltak. A jelenlegi megoldás igazi alternatívát nyújtott, mivel igen kedvező egyszeri ráfordítási költséggel valósulhatott meg.

### A létesítés körülményei

A vízálléscímény rendeltetése a Zsolnay Porcelángyárban keletkező ipari szennyvizek összegyűjtése, az ipari szennyvíz tisztítása és a tisztított ipari szennyvíz kibocsátása.

A vízgazdálkodási tevékenység magába foglalja az ipari jellegű szennyvizek (csapadékvíz és kommunális szennyvíz kivételével) kezelését, gyűjtését, vegyszer bekeverését, flokkulálását, ülepítést-derítést, a keletkező iszap sűrítést, víztelenítést, a tisztított szennyvíz elvezetését. A befogadó a balokányi árok. A víz jellemzőit, a szennyezettség határértékeit a 3/1984 OVH rendelet, III/1. élővízi kategóriában előírt mértékei határozzák meg.

A keletkező ipari szennyvíz mennyisége; 540 m<sup>3</sup>/d.  
Az ipari szennyvíz tervezésénél számításba vett átlagos lebegőanyag tartalma; 2000 mg/l  
A lebegőanyag tartalom 70%-a 0,02 mm alatt van.  
A lebegőanyag fő szerkezeti anyagai; kaolin, agyag, alumíniumoxid és gipsz.

Az elfolyó ipari szennyvíz előírt minősége fő paramétereit tekintve;  
a lebegőanyag tartalom legyen kisebb 200 mg/l-nél,  
a technológiai eredetű sótartalom legyen kisebb 2000 mg/l-nél,  
a pH-érték 5–9 közötti értékű legyen.

A Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság, mint I. fokú Vízügyi hatóság, az Elvi Vízügyi Engedélyét 1987. július 1-én kiadta, egyben meghatározta a műszaki tervek elkészítésének szempontjait.

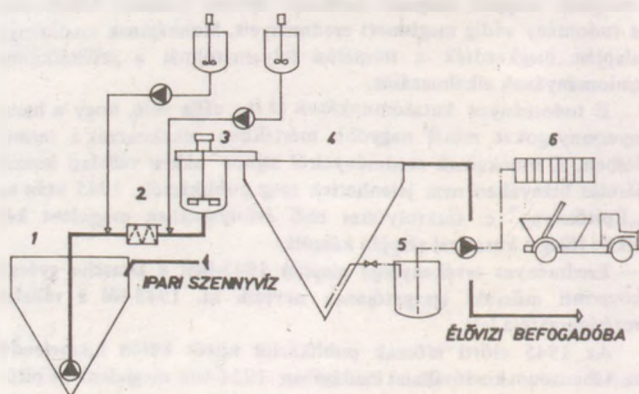
Az Ipari szennyvíztisztítómű a Zsolnay Porcelángyár telephelyén belül egy meglévő épületben került kialakításra. Az épület 208 m<sup>2</sup>-es földszinti és a 73 m<sup>2</sup>-es emeleti részén telepítettük a vízálléscíményt, a földszinten épült fel a 3 db beton műtárgy.

A gyűjtő csatornahálózat megfelelő szétválasztása 1987. évben elkészült. A tisztított szennyvíz a meglévő kibocsátó csatornán keresztül távozik a balokányi árokba. A pénzügyi fedezetet saját forrásból biztosítottuk.

A tervezett beruházási költség: 5500 E Ft,  
a tervezett felújítási költség: 1500 E Ft volt.

A pénzügyi OVH, VA. támogatás érdekében a Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatósághoz pályázatot nyújtottunk be. A tisztított szennyvíz befogadóba történő bevezetéséhez a Pécs m. Város Tanács V. B. ÉKO hozzájárulását megszereztük. A tisztítás során keletkezett víztelenített iszap elhelyezésére vonatkozóan az OKTH állásfoglalását beszereztük.

Az üzemeltetés tervezett módja a szennyvíztisztítómű technológiai folyamatábrája alapján követhető (1. ábra).



1. ábra  
Szennyvíztisztítómű technológiai folyamatábrája

- A technológiai folyamat elkülöníthető szakaszai:
1. gyűjtő-szívótér
  2. vegyszer bekeverés
  3. flokkulálás



4. pelyhesítő, csöves ülepítő-derítő

5. isszapsűrítő

6. iszap víztelenítés

Az ipari szennyvíz összegyűjtése beton gyűjtőtartályba történik, ahol a szivóterbe átemelő szivattyú került beépítésre. Az ipari szennyvíz át-emelése szakaszosan történik, a szivattyúk vezérlését szintérzékelők végzik. Az ipari szennyvíz ülepítése-derítése pelyhesítéssel történik. A felhasználásra kerülő vegyszerek a finom koloid-diszperz agyagásványszemcsék negatív potenciáját lerontják és elősegítik a pelyhesítést. A vegyszer bekeverés vegyszeroldótartályokban történik. Az oldat koncentráció 0,25%, ill. 1% értékű. A granulátum formájú vegyszer oldása speciális diszpergáló készülékkel történik. Vegyszerektől függően 15–30 perc keverési időt kell biztosítanunk. A keverés sűrítettlevegővel történik.

A vegyszerekből létrehozott törzsoldatokat a törzsoldat tartályba ürítjük le, a törzsoldat tartályból adagolószivattyún keresztül adjuk a szennyvízhez. A vegyszer adagolás mennyiségének mérésére rotamétereket alkalmazunk, a beszabályozás a vegyszeradagoló szivattyúk beállításával történik.

A vegyszer megfelelő elkeveredése érdekében, hígító folyadékkal a törzsoldat koncentrációt még a beadagolás előtt az eredeti érték 1/10-ére lecsökkentjük. A hígítás a tisztított ipari szennyvíz visszaforgatásával megy végbe, egy recirkulációs zombpól.

A szennyvíz és a flokkulálószer megfelelő elegyítése céljából gépi keveréssel működő flokkuláló tartályt iktattunk be. A tartózkodási idő 2 perc. A kétlépcsős flokkuláló keverés után folyadékkelosztó gondoskodik az ülepítő kiszolgálásáról. A flokkulálóból a kezelt szennyvíz az ülepítő-derítő műtárgyba ömlik, ahol az ülepedési és derítési folyamatok lejátszódnak.

A derítés után elfolyó tisztított víz minőségi jellemzői, lebegőanyag tartalma, el kell hogy érjék a korábban megadott értékeket.

A csöves ülepítő-derítőből távozó víz csatornába ömlik, amely a balokányi árokba vezet.

Az ülepítő-derítő gyűjtőterében a keletkező iszap szárazanyag tartalma 6–15% között van. A nagy molekulájú polielektrolit jelenléte következtében jelentős sűrűsödés hosszú idő után sem következik be. Az iszapürítés motoros gömbcsapon keresztül az iszapgyűjtő tartályokba történik. 24 óra alatt kb. 15 m<sup>3</sup> iszap keletkezik.

Az iszap víztelenítése kazettás szűrőpresekben megy végbe. A szűrőprelési technológia teljes mértékben megegyezik a finomkerámiaparban kiterjedten alkalmazott szűrési technológiával. A szűrési végnyomás 12 bar. A víztelenítés során naponta kb. 4 t, 30% nedvességtartalmú préslepeny keletkezik.

A préslepenyeket kihordó szállítószalag segítségével gyűjtjük és egy konténerben halmozzuk

fel. A toxikus anyagokat nem tartalmazó préslepenyek a konténerrel könnyen elszállíthatók.

#### A kísérletek – hidraulikai számítások

A szennyvíztisztítómű polielektrolit adagolással működik, fő eleme a „Pelyhesítő, csöves ülepítő-derítő”. A csökötteges ülepítők méretezését több irányból közelítettük meg. Az átfolyási, ill. tartózkodási idő a legfontosabb paraméter, amelyet kísérletekkel kellett meghatározni. Az elméleti számítások, K. M. Yao [8], valamint W. Olszewski [9] módszerei is csak korlátok között használhatók. A számítások hiánytalanul a hidraulikai méretezésre érvényesek.

A Pelyhesítő, csöves ülepítő-derítő méretezéséhez ülepítési-derítési kísérleteket végeztünk. A kísérleti berendezés átfolyási keresztmetszete a végleges műtárgy keresztmetszetének 1/138-ad része, gyakorlatilag a műtárgy két elemi csöve. A kísérletek során 12 kísérletet soros elemi cső kapcsolással, 12 kísérletet párhuzamos elemi cső kapcsolással készítettünk el.

Az alkalmazott vegyszerek voltak:

– Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>) 18 H<sub>2</sub>O – Zetag 57

– Ca(OH)<sub>2</sub>

– Zetag 57

A kísérletek alkalmával 0,665 és 1,33 cm/sec áramlási sebességeket próbáltunk ki.

Az induló lebegőanyag koncentráció 2000 és 4000 mg/l volt. A méshidrátos derítést a megengedettnél nagyobb lúgosság (pH: 12,7) miatt kizártuk a méretezésből.

A tartózkodási idők;

– soros kapcsolásnál; 20, 40 perc,

– párhuzamos kapcsolásnál; 8, 6, 17 perc.

A kísérleteket lebegő anyagra, pH-ra és össz-sótartalomra értékeltük. Az értékelhető tartományban

– lebegőanyag; 52–125 mg/l

– a pH-értéke; 5,7–7,9

– össz-sótartalom; 319–550 mg/l volt.

Az üzemi szennyvíztisztítómű „Pelyhesítő, csöves ülepítő-derítőjét” párhuzamos kapcsolással méreteztük. Az üzemi méretű „Pelyhesítő, csöves ülepítő-derítő”-ben a kísérlet alapján választott elméleti tartózkodási idő 17 perc, amely az üzemállapottól, járulékos keresztmetszettől függően gyakorlatilag nagyobb értékű.

A csököttegben való áramlás választott sebessége;

$$V_k = 0,72 \text{ cm/sec} = 26 \text{ m/h}$$

Az irodalom szerint, Sanks [10] 1,5 cm/sec áramlási sebesség értéknél kisebbet célszerű választani.

Részletszámításokkal nem terhelve az olvasót, a párhuzamos csőkötegek effektív keresztmetszete, ha az átemelő szivattyú folyadékszállítása,  $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ ,

$$F = \frac{Q}{v_k} = 2,32 \text{ m}^2$$

két csőkötegre osztva,  $2 \times 1,16 \text{ m}^2$ .

A számított elemi cső mennyisége egy kötegben;

$$n' = \frac{F/2}{d^2 \pi / 4} = 136 \text{ db,}$$

amely kerekítve ( $6 \times 23$ ) db = 138 db elemi cső. A fentiek alapján lett kialakítva a „Pelyhesítő, csöves ülepítő-derítő” konstrukciója. Az áramlási állapot jellemzésére meghatározott a Reynolds szám:

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = 651$$

Esetünkben  $R_e < 10^3$ , tehát az áramlás gyakorlatilag a lamináris tartományba esik. [4]

Az ülepítés stabilitására jellemző Froude-szám;

$$F_r = \frac{v^2}{R \cdot g} = \frac{v^2 \cdot 4}{g \cdot d} = 20 \cdot 10^{-5}$$

Mivel  $F_r > 0,1 \cdot 10^{-5}$  igaz, dr. Horváth Imre [4] szerint, ezért az ülepítés stabilitása a gyakorlatban elfogadható.

A „Pelyhesítő, csöves ülepítő-derítő” rendelkezik egy  $4,6 \text{ m}^3$  befogadóképességű gyűjtőtérrel, amely  $60^\circ$ -os lejtésszögű. A kísérleti adatok alapján számítható a rendszer hatásfoka, a legkedvezőtlenebb esetre,

$$\eta = \frac{Co - C}{Co} \cdot 100 = \frac{2348 - 125}{2348} \cdot 100$$

$$\eta = 94,7\%$$

A hatásfok a kísérletek alapján a lebegő anyag  $4000 \text{ mg/l}$  értékre való emelésével javult, (98%), valamint az elfolyó víz lebegőanyag tartalma abszolút értékben is csökkent. A tartózkodási-átfolyási idő a konstrukcióból adódó szabad áramlás és a csőben történő áramlás alapján számítható.

Az ülepítő tér térfogata;  $V' = 16,2 \text{ m}^3$

Az elfolyó tér térfogata;  $V'' = 1,7 \text{ m}^3$

A csövekben az átfolyási közepsebesség,

$$v_k = 0,72 \text{ cm/sec} = 0,43 \text{ m/min.}$$

A tartózkodási idő az ülepítő és elfolyó térben;

$$t_{sz}^1 = \frac{V' + V''}{Q} = 17,9 \text{ min}$$

Az átfolyási idő a csőkötegen:

$$t_{sz}^2 = \frac{L}{v_k} = 4,65 \text{ min}$$

A tartózkodási-átfolyási idő;

$$t_{sz} = t_{sz}^1 + t_{sz}^2 = 17,9 + 4,65 = 22,6 \text{ min.}$$

Mivel  $t_{sz} > 17 \text{ min}$ , a kísérleti kiinduló adathoz képest a tartózkodási idő hosszabb, tehát a konstrukció kialakítása megfelelő. A csőkötegben a kiülepedéshez-derítéshez szükséges idő;  $t_{\ddot{u}}$

Mivel a  $t_{\ddot{u}} \leq t_{sz}^2$  teljesül, a csőkötegben az ülepítési sebesség

$$w \geq \frac{d \cdot v_k}{L \cdot \cos \alpha} = 2,6 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 0,07 \text{ cm/sec}$$

A felületi terhelés számítása a csőköteg effektív áramlási keresztmetszetére és a csövek közötti résekre értelmezhető;

Hidraulikus felületi terhelés;

$$T_{hf} = \frac{Q}{F_{val} + F_{rés}} = \frac{60}{2,35 + 0,72} = 19,5 \text{ m/h}$$

A szakirodalomban csöves ülepítőkre fellelhető legnagyobb felületi terhelés  $16-18 \text{ m/h}$ , (Heckel, Korn és Lütznér) [10], ahol a lebegőanyagtartalom a befolyó víznél a  $200 \text{ mg/l}$ -t nem haladta meg, míg az elfolyó víznél  $50 \text{ mg/l}$  alatti lebegőanyag-tartalom volt a jellemző.

A szennyvíztisztító mű méretezését követően kapcsolatba léptünk több külföldi céggel és további 6 féle polielektrolit gyártmány, 17 féle változatot próbáltuk ki a leghatásosabb és a legolcsóbb megoldás, valamint a konvertálhatóság érdekében.

Az Allied Colloids Ltd ajánlása:

Magnafloc 1597

Magnafloc E 10

A Chemische Fabrik Stockhausen GmbH ajánlása:

Prestol 2505

Prestol 185 K

A tervezés során szem előtt tartottuk az esetleges mérgező, ill. szerves anyagok keletkezését, melyek kiválasztását a keletkezés helyén oldjuk meg.

A Zsolnay Porcelángyár ipari szennyvizének tisztítási technológiája az Országos Találmányi Hivatalnál megadott 199.752 Szennyvíztisztító mű tárgyú szabadalomra épül.

## Az üzemeltetési tapasztalatok

Az érkező ipari szennyvíz mennyiségét és minőségét a gyakorlatban meg kellett ismernünk. A mennyiségi mérés eredményeként az óránkénti, a napi és az éves keletkező ipari szennyvízmennyiségeket meghatároztuk. A mennyiségi méréseket egy Metra-Blansko regisztráló műszer alkalmazásával végeztük, amely a pillanatnyi értékek (csúcsok) megfigyelésére is kedvező lehetőséget nyújtott. A kísérleteken kívül, a műszer felhasználása a reprezentatív mérések során ajánlott, állandó felügyeletet nem igényel.

A regisztráló műszer mellett alkalmazott Elektrotax üzemidőmérő számláló használata a mindennapi gyakorlatban ajánlott. Az érkező átlagos vízmennyiség meghatározása a mért adatok felhasználásával, a matematikai statisztika módszereivel történt.

A szennyvíztisztítóművet  $800 \text{ m}^3/\text{d}$  mértékadó hidraulikai kapacitására méreteztük.

Az érkező vízminőség vizsgálatára a mintavételezés és a szennyezőanyagtartalom meghatározása szolgál.

- A mintavételezéskor alkalmazott módszerek;
- szűrőpróba (csúscs mérésre)
  - 8 órás kevert átlagmintavétel (terhelés meghatározás, hatásfok meghatározás stb.)

Az összes lebegőanyagtartalom meghatározás hatósági ellenőrzésénél  $0,6\text{--}1 \mu\text{m}$  porúsátmérőjű membránszűrővel végezték a vizsgálatokat. A szennyvizek vizsgálatának részletes előírásait az MSZ 260 jelű szabványok tartalmazzák.

Az érkező vízminőség átlagos lebegőanyagának meghatározására is alkalmazható statisztikai elemzés, a tisztítás során nyert napi átlagos szárazanyag mennyiség és az érkező napi átlagos vízmennyiség ismeretében az átlagos lebegőanyag koncentrációt meghatároztuk.

A korábbi ajánlások alapján kiválasztottuk a legmegfelelőbb vegyszereket, melyek az Allied Colloids Ltd ill. a Chemische Fabrik Stockhausen GmbH gyártmányai voltak.

Az elfolyó tisztított víz mennyisége, megfelelő tisztítómu méretezést feltételezve, megegyezik az érkező ipari szennyvíz mennyiségével. Az elfolyó víz minőségét ugyancsak az MSZ 260 előírásai szerint határozzuk meg.

A szennyvíztisztítómu mellékterméke a préslepény, amely 69–73%-ban száraz anyagot tartalmaz. A folyamat során keletkező iszap mennyiségének csupán a szűrőkapacitás megválasztásában van szerepe.

A mennyiségi adatok meghatározásának módszerei:

- A présciklusszám számlálása
- Átlagszámítások

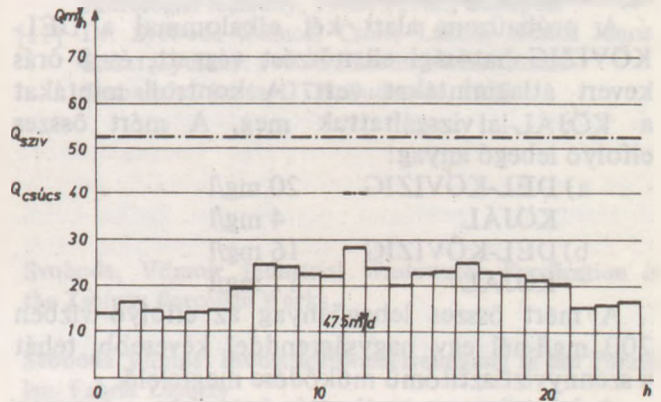
A szűrőprés töltetnagyság és ciklusszám szor-

zata eredményezi a keletkező préslepény mennyiségét.

Amennyiben a préslepény a szeméttelre kerül, igazolni kell, hogy az mérgező anyagot nem tartalmaz, ill. hogy az 56/1981. MT sz. rendelet hatálya alá nem tartozik. A vizsgálatok mindenkor az MSZ 260, MSZ 318, MSZ 21 978 előírásai szerint készülnek.

Az érkező ipari szennyvíz mennyiség meghatározása a regisztrált adatok kiértékelésével történt. A 24 órás kiértékelést óránkénti bontásban végeztük és a vizsgált munkanapokat egyidejűleg a heti munkanapok szerint csoportosítottuk.

A felmérés eredményeként keletkező munkanapi átlagos ipari szennyvízhozamokat a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra  
Átlagos ipari szennyvízhozam

A hét munkanapjai szerint a szennyvíz hozamában lényeges ingadozást nem kellett feltételeznünk. Az Elektrotax üzemidő számláló adatainak felhasználásával ellenőrizhettük a regisztrált adatokat.

Az átlagos bekapcsolási idő és a folyadékszállítás szorzata  $521 \text{ m}^3/\text{d}$ -t eredményezett. A megfigyelt időintervallumban jelentkező csúcsterhelés  $559 \text{ m}^3/\text{d}$  volt.

Az érkező vízminőség átlagos lebegőanyag-talmára nézve statisztikai átlagszámítás adta a legjobb megközelítést. A kísérleti időszak 3 hónapjában az átlagos munkanapi szűrőprés szedés súlyozott átlaga;  $1,66$  présciklus/d volt.

A szűrőprés által kibocsájtott masszamennyiség mérés alapján;  $2000 \text{ kg}/\text{ciklus}$ . A napi masszamennyiség átlagosan;  $3320 \text{ kg}/\text{d}$ . A massa szárazanyag tartalma; 71%. A keletkező napi szárazanyag mennyisége átlagosan;  $2357 \text{ kg}/\text{d}$ .

Az  $521 \text{ m}^3/\text{d}$  mennyiségű érkező ipari szennyvíz átlagos lebegőanyag tartalma a vizsgált 3 hónap átlagadataiból;  $4524 \text{ mg}/\text{l}$ .

Megállapítható, hogy a vizsgált időszakban az érkező átlagos lebegőanyag szennyezettség a fel-

tételezett 2000 mg/l mértéket 2,2-ször meghaladta, a berendezés ennek ellenére jól működött.

A vegyszerfelhasználások három havi súlyozott munkanapi átlaga az Allied Colloids Ltd gyártmányainál:

Magnaflok 1597, 4,54 kg/d

Magnaflok E 10, 1,22 kg/d

A szennyvíztisztítás jó hatásfokát és a lehetséges terhelés növelést annak köszönhetjük, hogy a flokkuláló keverőben a mérsékelt áramlás-keveredés mellett az áramlási útvonalak megtételéhez, a flokkok kialakulásához, elegendő idő állt rendelkezésre. A flokkulálókeverő és az ülepítő közötti kapcsolatot, a folyadékelosztó biztosítja, a folyadék zuhanásmentesen, lamináris áramlással érkezik, így a folyadékfelület kis energiájú szennyvízzel egyenletesen van terhelve.

A próbaüzem alatt két alkalommal a DÉL-KÖVIZIG hatósági ellenőrzést végeztünk, és 8 órás kevert átlagmintákat vett. A kontroll mintákat a KÖJÁL-lal vizsgáltattuk meg. A mért összes elfolyó lebegő anyag:

a) DÉL-KÖVIZIG 20 mg/l

KÖJÁL 4 mg/l

b) DÉL-KÖVIZIG 16 mg/l

KÖJÁL 11 mg/l

A mért összes lebegőanyag az elfolyó vízben 200 mg/l-nél egy nagyságrenddel kevesebb, tehát a szennyvíztisztító mű működése megfelelő.

A lebegőanyag leválasztás hatásfoka a hatósági 8 órás átlagminták adataiból kiszámított.

a) adatokból;

$$\eta = \frac{7190-20}{7190} \cdot 100 = 99,7\%$$

b) adatokból;

$$\eta = \frac{4986-16}{4986} = 99,7\%$$

A leválasztás hatásfoka a tervezett 94,7–98% hatásfok értékénél jobb, tehát megfelel.

A keletkező préslepeny mennyiségi adatait az összefoglaló tartalmazza.

A préslepeny minősége a keletkező préslepeny elhelyezése szempontjából fontos tényező. A préslepeny masszátömege az OKTH 1267–3/1988. állásfoglalásának betartásával szeméttelen elhelyezhető.

A feltételek betartása céljából olajos szennyvíztisztítót és máziszap tisztítókat építettünk és helyeztünk üzembe. A máziszapok üzemi egyedi leválasztási módja nagyon fontos, mivel csak így kerülhető el a teljes szennyvíz mennyiség mérgező anyagokkal való elszennyezése.

Az ipari szennyvíztisztítóra kidolgozott elvek alapján modul rendszerű kisteljesítményű leválasztók készültek, melyek a mérgező anyagokkal szennyezett mosóvízek előleválasztását biztosítják.

Az ipari szennyvíztisztítás során tervezett massziszap szemétteleni elhelyezését az elvégzett DÉL-KÖVIZIG vizsgálatok lehetővé tették.

Zsolnay Porcelángyárban megépített tisztító művek alapján mód van egy modul család felállítására, melyek tájékoztató műszaki adatai a következők:

Hidraulikai kapacitás	m <sup>3</sup> /d	25	100	800	2400
Csúcsterhelés	m <sup>3</sup> /h	2	8	66	200
Izapterhelés	g/m <sup>3</sup>	2000–10000			
Izszap csúcsterhelés	g/m <sup>3</sup>	90000			
Tisztított víz lebegőanyag tartalma	mg/l	kisebb 30			
Leválasztás hatásfoka	%	nagyobb 98,5			
Villamos csatl. teljesítmény	kW	5	10	40	80
Területigény	m <sup>2</sup>	10	20	300	500

### Műszaki-gazdasági jellemzők összefoglalása

A szennyvíztisztító tervezett 5500 E Ft-os beruházási költségét jó egyezéssel lehetett tartani. A felújítási költségként tervezett 1500 E Ft-ot megközelítően elköltöttük. A tervezett szennyvíztisztító mű építése, ÁFA nélkül, összesen 6986 E Ft-ba került.

Az ipari szennyvíztisztító mű fajlagos, napi mértékadó hidraulikai teljesítményegységre eső beruházási költsége, az ismertetett adatok felhasználásával számítva; 8733 Ft/m<sup>3</sup>/d. Az ipari szennyvíztisztítás fajlagos költsége a keletkező szennyvízre; 7,5 Ft/m<sup>3</sup>. A várható üzemeltetési költség; 1000 E Ft/év.

A keletkező ipari szennyvíz mennyisége átl-

gosan 521 m<sup>3</sup>/d, amely jól megközelíti a tervezett 540 m<sup>3</sup>/d-t, a mért csúcs 39,4 m<sup>3</sup>/h.

A szennyvíz iszapterhelése átlagosan 4524 mg/l, amely a feltételezett 2000 mg/l értéknek 2,2-szerese.

A próbaüzem alatt bevezetett flokkulálószeresek Allied Colloids Ltd gyártmányúak. A tisztított szennyvíz összes lebegőanyagtartalma 8 óras átlagminták alapján 11–22 mg/l között van, a 200 mg/l megengedett értéket meg sem közelíti, tehát jól megfelel. A tisztított szennyvíz a befogadóba kerül. A leválasztás hatásfoka 99,7%.

A keletkező préslepleny mennyisége átlagosan 3320 kg/d, 29% nedvességtartalom mellett.

A keletkező száraz anyag éves tömege; 606 t/év. A préslepleny az 56/1981. (XI. 18.) MT sz. rendelet hatálya alá nem tartozik.

A Zsolnay Porcelángyár a szennyvíztisztító kivitelezését és próbaüzemeltetését a Vízjogi Létesítési Engedély által előírt határidőben elvégezte. A Zsolnay Porcelángyár a Vízjogi Üzemeltetési Engedélyt 1989. július 28-án megkapta.

A tervezett berendezések a felhasználási célnak jól megfelelnek.

#### Irodalom

- [ 1 ] Illés I.: Ipari szennyvíztisztítás  
Budapest, Tankönyvkiadó, 1969.
- [ 2 ] Dr. Öllös Géza – dr. Borsos József: Vízellátás és csatornázás I.  
Tankönyvkiadó, Budapest, 1977. (BME)

- [ 3 ] John H. Perry: Vegyész-mérnöki kézikönyv  
MK, Budapest, 1968.
- [ 4 ] Dr. Horváth Imre: Ülepítés a víz és a szennyvíztisztítási technológiában  
BME, MTI, Budapest, 1983.
- [ 5 ] Dr. Menyhárt József: Az épületgépészet kézikönyve,  
MK, Budapest, 1977.
- [ 6 ] Dr. Horváth Imre: Az ipari szennyvizek kezelése  
BME, MTI, Budapest, 1985.
- [ 7 ] Miranda J. G.: Desingning parallel-plates separators,  
Chem. Euqrg., 1 (1977) 105–107.
- [ 8 ] Yao K. M.: Theoretical Study of High-Rate Sedimentation  
IWPCF, 1970.
- [ 9 ] Olszewski W.: Osadniki wielostrumieniowe  
AOS, Warszawa, 1980.
- [ 10 ] Dr. Öllös G. és társai: Derítők teljesítményfokozása  
csőmodulok beépítésével  
Hidrológiai Közöny, 1983. 11. sz., Budapest
- [ 11 ] Dr. Svoboda Vilmos, Csóka László, Musicz János,  
Bálint Gyuláné: 199.752 Szennyvíztisztítómű  
Szabadalmi leírás, OTH, Budapest, 1989.

Svoboda, Vilmos: Industrial Wastewater Purification in the Zsolnay Porcelain Works

Svoboda Vilmos: Industrieabwasserreinigung in der Porzellan-Fabrik Zsolnay

Свобода, Вильмош: Очистка промышленных сточных вод на Фарфоровом Заводе в Жольнаи

## Kislejtésszögű álló perlitduzzasztó csőkemence továbbfejlesztése

Hajnal Lajos

Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet

A duzzasztott perlit prespektivikus sokcélú hőszigetelő anyag, melyet természetes víztartalmú üvegszerű ásványokból (perlit, pumicit) hőökéses hevítéssel (duzzasztással) állítanak elő. Ezt az anyagot ipari és kommunális építkezéseknél, a kohászatban, a vegyiparban és a hűtőiparban, elsősorban hőszigetelési célra használják, de alkalmazása egyre szélesebb körben terjed az emberi tevékenység egyéb területein is, mint a mezőgazdaságban, az élelmiszeriparban (szűrőperlit), élő-

vizek olajszennyeződésektől való megtisztításánál és még számos más területen.

A duzzasztott perlitgyártási technológia legfontosabb egysége a hőkezelő berendezés az ún. duzzasztókemence, amelytől az egész rendszer hatékonysága és a késztermék minősége elsősorban függ. Hőkezelő berendezésként világszerte vagy függőleges aknakemencéket, vagy közel vízszintesen fekvő forgókemencéket alkalmaznak. A Könnyűbeton és Szigetelőipari Vállalat (KÖSZIG) kislejtésszögű (12,5°) álló csőkemencét fejlesztette ki. E rendszer kitűnő versenyképessége egyszerű szerkezetével, a forgószerkezetek

hiányával és alacsony fajlagos duzzasztási energiaigényével magyarázható.

Az első prototípus jellegű álló csökemence kidolgozása óta mintegy 30 év telt el. A kezdeti évek sikeres üzemeltetési eredményei alapján az elmúlt években a rendszer felülvizsgálatát elvégezték, továbbfejlesztették és a még szükséges műszaki-technológiai módosításokat elvégezték. A fejlesztő tevékenység eredményeként a korszerűsített kislejtőszögű álló csökemence szélesebb körű alkalmazásra is kedvezőnek bizonyult és egy méretéhez viszonyítva nagy kapacitású igen jó fajlagos energiafelhasználású, az összehasonlító elemzések szerint világviszonylatban is egyik legjobb műszaki színvonalú perlitduzzasztó rendszer jött létre.

### 1. A korszerű perlitduzzasztás alapjai

A duzzasztott perlittermékek minősége és a duzzasztó berendezés hatékonysága nagymértékben függ egyrészt a duzzasztásra kerülő ásványi nyersanyagok geológiai, petrográfiai, fizikai-kémiai és még egyéb tulajdonságaitól, továbbá attól, hogy az alkalmazott duzzasztási technológia mennyire felel meg a nyersanyag fenti jellemzőitől függő optimális duzzasztási, hőkezelési követelményeknek. [1]

Duzzasztásra azok a 90–98% vulkáni üveget tartalmazó lávafolyásból keletkezett, meghatározott kémiai összetételű és víztartalmú, különleges fizikai körülmények között megszilárdult perlitkőzetek alkalmasak illetve kedvezőek, amelyek hevítés hatására eredeti térfogatuknak 20–30 szorosára duzzadnak.

A jól duzzasztható jellegzetes perlitkő átlagos szilíciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) tartalma 70–75 t%, alumíniumdioxid tartalma ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 12–16 t%, a nátriumoxid ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) és káliumoxid ( $\text{K}_2\text{O}$ ) együttes mennyisége 6–9 t%, egyéb alkotórészei ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MnO, TiO, F, S) elenyésző mennyiségűek.

A perlitben a víz két alakban van jelen: a szilikátrácsokban molekulárisan kötött „szerkezeti víz”, és a szabad „molekuláris víz”, mely a kőzet mikroszkópikus repedéseiben helyezkedik el. A kétféle víz a hőkezelés hatására eltérően viselkedik. A kőzet szövetében kötött víz a perlitásvány legfontosabb alkotórésze, amely szigetelőipari hasznosíthatóságát meghatározza, ez szabja meg ugyanis a kőzet viselkedését a duzzasztás során. A molekuláris víz – amely a víztartalom 80–90%-a is lehet – 400–450 °C hőmérsékletig gyorsan eltávozik, míg a maradó kötött szerkezeti víz csak magasabb hőmérsékleten. A duzzaszthatóság alapfeltétele, hogy a duzzasztandó anyag viszonylag alacsony (900–1000 °C) hőmérsékleten lágyuljon és a vulkáni üvegben oldott víz olyan erősen

kötött legyen, hogy csak akkor változzék gőzzé, amikor az anyag piropasztikus állapotba került. Ha a fenti feltételek a hőkezelés során biztosíthatók, akkor a gőz nyomása a pasztikus szemcséket felhabosítja, felduzzasztja. Ha a felduzzadt szemcséket viszonylag gyorsan hűtik le, akkor azok duzzadt állapotban szilárdulnak meg.

Az optimális duzzadást okozó víztartalom a perlit kémiai összetételéből, makroszerkezetétől, pórusaitól, a szemcsemérettől és a hőkezelés módjától függ, ebből láthatóan az optimális duzzadás egy igen sok feltételtől – az ún. duzzasztási paraméterektől – függő összetett fizikai-kémiai folyamat. Elméletileg a legnagyobb duzzadáshoz (az eredeti térfogat mintegy 30-szorosa) is elegendő volna 0,6–0,8 t% kötött víz. A gyakorlatban azonban az ismert perlitfajták optimális kötött víztartalma 1–1,6 t% között van. Az optimálisnál kevesebb vagy több kötött víz egyaránt csökkenti a duzzasztóképességet. Ha a perlitkő víztartalma nagyobb az optimálisnál, akkor duzzasztás előtt a szemcséket célszerű előzetes hőkezelésnek alávetni a fölös víz eltávolítása céljából. A perlitásvány szemcséinek szövet- és szemszerkezeti sajátosságai szorosan összefüggnek a perlittermékek használati jellemzőivel. Így a duzzasztott perlit pórusainak falvastagságától függ a részecskék mechanikai szilárdsága, a térfogati tömeg szoros összefüggésben áll a hővezetőképességgel, a porozitás pedig a vízelnyelőképességgel. A duzzasztott termék szemszerkezetével függ össze az anyag szóródása, tömörödése, a perlit tartalmú massa reológiai tulajdonságai, a perlitből készült termékek szilárdsága és még néhány más tényező.

Valamennyi perlitpushoz a duzzasztóberendezéstől is függő optimális duzzasztási hőfok tartozik. Ebből, valamint a fentiekből következik, hogy műszaki-fejlesztés során a duzzasztó berendezés műszaki – elsősorban hőtechnikai – paramétereinek kialakítása a duzzasztandó perlitkő-típus nyersanyag jellemzőinek függvényében kell hogy történjen. Tisztán elméleti úton nem lehet megállapítani az optimális paramétereket, hanem csak termikus modellkísérletekkel az adott nyersanyagnak laboratóriumi, vagy vizsgálati kemencében végzett kísérleti duzzasztása alapján.

### 2. A perlitduzzasztó kemencetípusok áttekintése

A perlitipar kialakulása óta – tehát több mint 40 éve – a duzzasztási technológia, ezen belül a kemencetípusok állandóan fejlődnek.

Perlitduzzasztáshoz kezdetben *forgó csökemencéket* alkalmaztak. Az első ipari kemencék 5–10° lejtésű, tűzálló beléssel ellátott fémköpenyű rövid forgókemencék voltak. Ezek egyenáramú elven működnek (a perlit és a füstgáz áramlási iránya azonos), közvetlen tüzeléssel, a nyersper-

lítet közvetlenül a lángtérbe adagolják. Főleg nehezen duzzadó perlitok feldolgozásánál ma is alkalmazzák. Hasonló méretűek de nagyobb lejtőszögűek az ellenáramú forgó csökemencék. A forgókemencék jó szemmegoszlású készperlitet előállító kemencetípusok, ugyanakkor magas fajlagos energia-felhasználása miatt ma már kiszorulnak az alkalmazásból. [2]

A 60-as években terjedt el a kifejezetten perlitduzzasztásra kialakított *függőleges álló csökemence*, mely az elméletben „fluidizációs”, a gyakorlatban „aknakemence” néven ismeretes. Ezeknél az alsó szűkülő hengeres térben van elhelyezve az égőfej, a perlitkő szemcséket az égőfej feletti hengeres részbe vezetik be és azok szabadon esnek a füstgázzal szemben. Esés közben a lángban, illetve a füstgázáramban végbe megy a duzzadás, majd az egyre könnyebbé váló kiduzzadt szemcsék esése megszűnik, mozgásuk ellentétes irányba fordul – egyenáramúvá válik – és a füstgázzal együtt távoznak a kemencéből. E kemencetípusnál szoros kölcsönhatás van a belső téri hőmérséklet, a szemcsék esési, valamint a füstgáz áramlási sebessége között. Nem megfelelő szabályozás esetén jelentős lehet az alul kihulló nagyobb, illetve felül a füstgázzal elszívott finomszemcséjű ki nem duzzadt nyersanyagvesztés, azaz a fajlagos késztermék kihozatal romlik. Az 1. ábra függőleges aknakemence elvi működését ábrázolja.

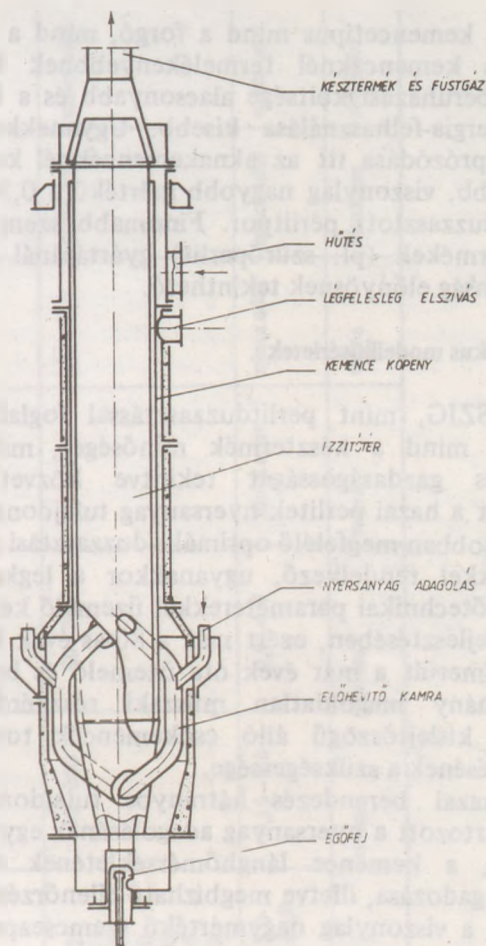
Az aknakemencéket perlitduzzasztásra világszerte igen elterjedten alkalmazzák. Térhódításuk egyszerű szerkezetükkel, üzembiztonságukkal, kis helyszükségletükkel és a folyamat automatizálási lehetőségével magyarázható. [3]

A fluidizációs kemencéknek egy a függőlegetől eltérő ferde elrendezésű típusát az ÉTI-ben fejlesztették ki. Ez a berendezés  $70^\circ$ -os szögben álló aknakemence. Működési elve a függőleges kemencékhez hasonló. Jellemzőit az összehasonlító táblázat tartalmazza.

A fluidizációs kemencékben alkalmazták először a lebegtetéses eljárást, minek révén a duzzasztottperlit kevésbé aprózódik, a durvább szemcsék aránya megnő, következésképpen a durvaszemcsés perlittermékek előállítására ez a kemencetípus kedvező.

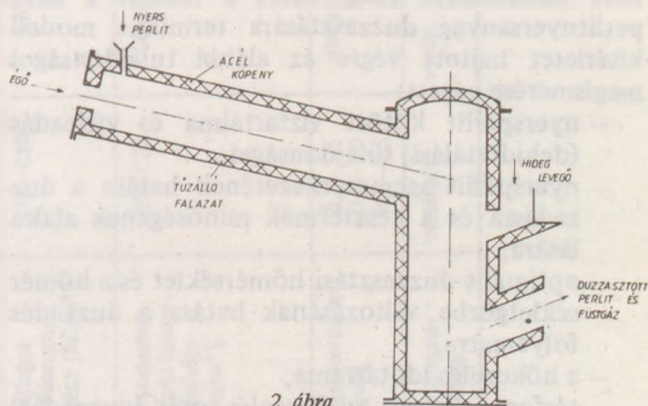
A perlitduzzasztás során – mint arról az 1. fejezetben már említés történt – gyakran a nyers kőzet előmelegítését végző (dehidratáló) berendezést kapcsolnak a kemencéhez. Az előmelegítés révén, a fölös nedvességtartalom csökkentésével elérhető, hogy a duzzasztás során még kevesebb az aprózódás, növekszik a durvaszemcsék mennyisége, és a duzzasztott termékek halmazsűrűsége szabályozhatóvá válik.

A kislejtőszögű álló csökemencetípust Magyarországon a KÖSZIG Vállalatnál fejlesztették ki.



1. ábra  
Függőleges kemence duzzasztott perlit előállítására

Lényegileg tűzálló béléssel kifelé fordított a vízszinteshez közel ( $12,5^\circ$ -os) szögben elhelyezett álló cső, amelynél a nyersperlitet az aknakemencékhez hasonlóan közvetlenül a lángtérbe adagolják és a duzzasztott perlit a füstgázzal együtt hagyja el a kemencét. A kemencében olyan sebességű füstgázáramlás szükséges, hogy a nyersperlit a lángban maradjon, de a duzzadt szemcséket magával ragadja, azaz ülepedési sebessége kisebb legyen a füstgáz sebességénél. A kemence elvi működését a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra  
Kislejtőszögű álló csökemence

Ez a kemencetípus mind a forgó, mind a fluidizációs kemencéknél termelékenyebbnek bizonyult, beruházási költsége alacsonyabb és a fajlagos energia-felhasználása kisebb. Ugyanakkor a perlit aprózódása itt az aknakemencéknél kedvezőtlenebb, viszonylag nagyobb mértékű a 0,3 mm alatti duzzasztott perlitpor. Finomabb szemcséjű perlittermékek (pl. szűrőperlit) gyártásánál ez a tulajdonság előnyösnek tekinthető.

### 3. Termikus modellkísérletek

A KÖSZIG, mint perlitduzzasztással foglalkozó vállalat mind a késztermék minőségét, mind a termelés gazdaságosságát tekintve közvetlenül érdekelt a hazai perlitok nyersanyag tulajdonságainak legjobban megfelelő optimális duzzasztási paraméterekkel rendelkező, ugyanakkor a legkedvezőbb hőtechnikai paraméterekkel üzemelő kemencék kifejlesztésében, ezért már a 80-as évek közepén felmerült a már évek óta üzemelő és bevált, de néhány megoldatlan műszaki részkérdéssel terhelt kislejtőszögű álló csökemencék továbbfejlesztésének a szükségessége.

A hazai berendezés hátrányos tulajdonságai közé tartozott a nyersanyag adagolásának egyenetlensége, a kemence lánghőmérsékletének nagyfokú ingadozása, illetve megbízható ellenőrzésének hiánya, a viszonylag nagymértékű szemcseaprózódás és a kiporzás magas imissziós értéke.

Fenti hátrányos tulajdonságok megszüntetése végett a vállalat az 1988–89-es években egy fejlesztési programot hajtott végre, amely célul tűzte ki az álló csökemence termikus felülvizsgálatát és hőtechnikai optimalizálását, minőségi és gazdasági mutatóinak javítását, a környezetvédelmi igények jobb kielégítését, végső célként automatizálással egybekötött korszerűsítését.

A kitűzött feladat eredményesen csak a nyersperlit szemcséiben a hőkezelés során végbemenő fizikai-kémiai folyamatok ismeretében oldható meg. Ez az adott nyersanyagokra vonatkozóan – mint azt az 1. fejezetben kifejtettük – elméleti úton nem határozható meg, ezért a vállalat a hazai perlitnyersanyag duzzasztására termikus modellkísérletet hajtott végre az alábbi tulajdonságok megismerése végett:

- nyersperlit kötött víztartalma és vízleadási (dehidratálási) tulajdonságai,
- nyersperlit szemszerkezetének hatása a duzzadásra és a késztermék minőségének alakulására,
- optimális duzzasztási hőmérséklet és a hőmérsékletgörbe változásának hatása a duzzadási folyamatra,
- a hőkezelés időtartama,
- térfogatváltozás a hőkezelés során (duzzadás), térfogategység terhelés nyers perlitrel.

A termikus kísérletekkel kapott duzzasztási paraméterek ismeretében – melyet a vállalat minősítő ferde csökemencéjének átalakításával végeztek el – végre lehetett hajtani a kislejtőszögű álló csökemence korszerűsítését.

A modellkísérletek során nyert ismeretek lehetővé teszik a nyersperlit minősítő-vizsgálatának a továbbfejlesztését is. Kialakították és alkalmazták a „duzzadási szám” és az „aprózódási mérőszám” értékét, mint jellemző paramétereket. Ez a minősítési változat közel áll a valós folyamathoz amely az üzemi kemencében játszódik le, de annál ellenőrzöttebb laborszintű módszerét adja, így az egy módosított szabályozás kidolgozásához alapul szolgálhat. [4., 5.]

### 4. A továbbfejlesztett kislejtőszögű álló csökemence jellemzői

Perlitduzzasztó kemencék korszerűségének értékelésénél az alábbi legfontosabb műszaki jellemzőket célszerű figyelembe venni:

- duzzasztási teljesítmény ( $m^3$  duzz. perlit/óra),
- fajlagos kihozatal (duzz. perlit  $m^3$ /nyers perlit  $m^3$ ),
- a duzzasztott perlit minősége,
- fajlagos energia-felhasználás,
- környezetvédelmi igények megoldása.

A modellkísérletek alapján végrehajtott továbbfejlesztés keretében a duzzasztó kemencén alapvető szerkezeti és méretváltoztatás nem vált szükségessé, az a fokozott követelményeknek is megfelelőnek bizonyult.

A kísérletek szerint a duzzasztott perlit minőségének állandóságát jelentős mértékben befolyásolja a nyersanyag fizikai-kémiai jellemzőinek homogenitása, valamint a nyersanyag folyamatos és egyenletes adagolásának biztosítása.

A fizikai-kémiai jellemzőkben bányaművelési és földtani okok miatt minden nyersperlitnek megfelelő bányaművelés mellett is van egy az adott bányára jellemző inhomogenitása, amelyet a duzzasztókemence hőtechnikai tulajdonságainak kialakításánál tekintetbe kell venni. A nyersperlit csak szemszerkezetében lehet homogén, ennek megoldása a szemcsék frakciók szerinti megfelelő élességű szétválasztása. A nyersanyag folyamatos és szabályozott adagolására a Magyarországon gyártott ún. IFE típusú vibrációs szállítócső beépítése megfelelő megoldást adott, ennek teljesítménye tirisztorosan szabályozható és a tapasztalatok alapján tartós üzemelésre alkalmas.

Mind a duzzasztási teljesítmény és a fajlagos kihozatal, mind pedig a fajlagos energia-felhasználás szorosan összefügg a lánghőmérséklet-ingadozás mértékével, illetve a terhelésnek megfelelő fűtőanyagszabályozás lehetőségének a biztosításával.



Perlitduzzasztó kemencék műszaki adatai:

1. táblázat

Típus	KÖSZIG	ÉTI	KERKO	SZMT 177	SZMT 179	–	–	Kettenbauer	VS-450-P	Perlite GmbH	
Gyártó ország	Magyarország	Magyarország	Csehszlovákia	SZU	SZU	Bulgária	Bulgária	NSZK	USA	Ausztria	Ausztria
Kemence felépítése	kislejtésszögű, álló cső-kemence hajlásszög: 12,5	aknakemence, hajlásszög: 70	aknakemence függőleges	aknakemence, függőleges	kislejtésszögű, forgó cső-kemence, hajlásszög: 7 ford.sz.: n = 14–18 perc	aknakemence, függőleges	kislejtésszögű, forgó cső-kemence, hajlásszög: 10, ford. sz.: n = 3–5 perc	aknakemence függőleges	aknakemence, függőleges	aknakemence, kicsi	aknakemence, nagy
Kemence méretei (cm) hossz.	435	870	200	770	800	720	400	900	711	1000	1100 ill. 1200
átmérő	82	54	40–60	60	78	52	70	nincs a.	nincs a.	38	65
Órateljesítmény [m <sup>3</sup> /h]	16–25	7	2–4	12–14	10–12	8–10	12–12	10	20	12–15	14–18
Tüzelőanyag	fűtőolaj	olaj	földg. olaj	földg. mazut	földg. mazut	gázolaj	gázolaj	olaj földg.	olaj földg.	földg.	földg.
Fajlagos hőenergia-igény [MJ/m <sup>3</sup> ]	210–450	550	670	földg. 700–820 mazut 500–800	820	600	nincs adat	400–500	510–690	536	368
Duzzasztott perlit halomsűrűsége [kg/m <sup>3</sup> ]	80–120	60–120	40–100 80–150	75 100 150 300 400 500 600	75 100 150 300 400 500 600	80–200	80–200	100	80–110	nincs adat	nincs adat
Szemcseméret [mm]	0,5–2,5 0,0–1,0 0,0–0,5	nincs adat	0,0–0,3 0,3–3,5	0,15–1,2 1,2–2,5	2,5–5,0 5,0–10,0	0,15–4,0	0,0–4,0	nincs adat	nincs adat	nincs adat	nincs adat
Automatizáltság	részleges	nincs	nincs	részleges	részleges	nincs	nincs	teljes	teljes	részleges	részleges

E téren a meglévő, speciálisan technológiai feladatokat ellátó olajégők automatizálása, biztonságtechnikai eszközökkel történő ellátása részben eredményre vezetett.

A változó lángképű tüztér megbízható ellenőrzését 70%-os terhelés alatti üzemszempontokra UV (ultraibolya sugárzás) technikával oldotta meg a vállalat. A mérések szerint biztonságtechnikailag kielégítően működik. A hullámhossztartomány célszerű megváltoztatásával a feladatot az üzemvitel minden esetére megoldhatónak tartják.

A hőmérsékletmérést infravörös-sugárzás méréssel látja a vállalat megbízhatóan megoldhatónak. Ezen a területen az eddig végzett kísérletek kielégítőek, a végleges megoldáshoz megfelelő hullámhossz-érzékelő eszköz beépítése szükséges.

Környezet- és egészségvédelmi okok miatt egyaránt szükséges és időszerű feladattá vált a duzzasztóüzem porkibocsájtásának a korszerűsítése. Mérésekkel feltérképezték az áramlási viszonyokat, és meghatározták azokat a helyeket, amelyek a berendezés kiporzásának jellemzői voltak.

A kapott eredmények alapján sikeresen oldották meg a duzzasztó üzem (elsősorban a kemence) olyan módosítását, amelynek hatására a kiporzást sikerült megszüntetni, illetve a megengedett határérték alá szorítani.

A végrehajtott üzemi mérések, kísérletek és módosítások eredményeként a KÖSZIG típusú kislejtőszögű álló duzzasztókemence üzemvitel és gazdaságossága lényegesen megjavult. A kialakított rendszer előnyei és műszaki-technikai jellemzői az alábbiak:

- a fajlagos hőfelhasználás csökkentése, 210–450 MJ/m<sup>3</sup> duzzasztott perlit (a nyers perlit minőségétől függően) a KÖSZIG-nél meglévő függőleges rendszerű (amerikai) akna-kemencével teljesíthető 510–690 MJ/m<sup>3</sup> duzzasztott perlit értékkel szemben.
- a kemence teljesítmény 16–25 m<sup>3</sup>/óra (a nyers perlit minőségétől függően) redukált teljesítmény,
- gyártható termékek laza halmazsűrűsége: 80–120 kg/m<sup>3</sup> (redukált halmazsűrűség),
- a duzzasztási modellkísérletek és a tüzelés automatikus ellenőrzése eredményeként lehetővé vált a tervezett minőségű késztermék előállítás,
- a berendezés környezetvédelmi foka kielégíti a hatósági előírásokat,
- a kemence üzemvitel a kezelő dolgozó tehermentesítését eredményezte, nem szükséges állandó figyelme és beavatkozása, más feladatokat is el tud látni,

– gyorsan és könnyen telepíthető, egyszerű kemence és duzzasztórendszer jött létre. Az 1. sz. táblázatban összefoglaltuk néhány hazai, tőkés és KGST gyártmányú perlitduzzasztó kemence műszaki-technikai adatait. A táblázatból láthatóan a KÖSZIG típusú kemence mind a teljesítményt, mind az energia-felhasználást tekintve a legjobb műszaki színvonalú rendszerek között is kiemelkedő értékekkel rendelkezik. [6., 7.]

A kedvező eredmények mellett a vállalat saját kutatófejlesztő-üzemeltető szakembereivel folyamatosan végzi a kislejtőszögű álló perlitduzzasztó csökkenemence továbbfejlesztését miután a számítások szerint még mindig lehetséges hatásfokának javítása. A vállalat egyben felkészült a sajátrendszerű komplett perlitduzzasztó-művek megrendelés alapján történő gyártására, szállítására és üzembe-helyezésére.

#### Irodalomjegyzék

- [1] Újhelyi J. – Tóth K.: A perlit építőipari alkalmazásának fejlődése. ÉTK tanulmány (1976)
- [2] Sz. P. Kameneckij: Perlitek Gosztrojizdat (Moszkva 1963)
- [3] I. L. Majzel – EG. Ovcsarenkó: A perlit és a perlit-alapú hőszigetelő termékek gyártástechnológiájának korszerűsítése. Glavmontazs – Teploprojekt KGST kutatási jelentés (1986)
- [4] Szombati A.: Nyersperlitek minősítő vizsgálata a duzzasztási folyamat tükrében I.–II.–III. Szilikástechnika 1987/6, Építéstechnika 1988/1–2.
- [5] Csillag J.: Új minősítési eljárások a perlitduzzasztásban. Előadás a IV. Perlitkonferencián (1989.)
- [6] Perlitduzzasztó csökkenemencék konstrukcióinak tökéletesítése. SZIKKTI kutatási jelentés (1986.)
- [7] Perlitgyártáshoz alkalmas csőrendszerű kemencék tökéletesítése. KÖSZIG vállalati jelentés (1989.)

Hajnal, Lajos: Development of Stationary, Low-Slope Rotary Kiln for the Manufacture of Expanded Perlite

Hajnal Lajos: Weiterentwicklung eines stehenden Perlitblähofens mit kleinem Neigungswinkel

Хайнал, Лайош: Дальнейшее развитие стоячей печи с маленьким углом наклона для вспучивания перлита

---

*A szerkesztésért felel:* Dr. Székely Ádám

*Szerkesztőség:* Budapest VI., Anker köz 1–3. 1368  
Telefon: 122-6497

INDEX 2 52 50

HU ISSN 00 13-970X

Kiadja az Építésügyi Tájékoztatói Központ.  
Felelős kiadó: dr. Hamvay Péter igazgató.  
Készült az Építésügyi Tájékoztatói Központ  
Nyomdaüzemében (900342).  
Felelős vezető: Dancsó Árpád. Budapest, 1990.  
Kiadói szerkesztő: Keszthelyi Imre.  
Műszaki szerkesztő: Bernhardt Pál.  
Azonosítási szám: 120/90  
Megjelent: A/4 alakban, 5,0 A/5 ív terjedelemben.

Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely hírlapkézbesítő postahivatalnál, a hírlapkézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Hírlapelőfizetési és Lapellátási Irodánál (HELIR) Budapest XIII., Lehel u. 10/a -1900- közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a HELIR 215-96 162 pénzforgalmi jelzőszámra.  
Egy szám ára 26,- Ft.  
Külföldön terjeszti a Kultúra, 1389 Budapest, Pf. 149 és a Magyar Média. 1392 Budapest, Pf. 86–253.

