

302935

3



ÉPÍTŐANYAG

**A Szilikátipari
Tudományos Egyesület
folyóirata**

6

**XLI. ÉVFOLYAM
BUDAPEST, 1989
ÉPÍTŐANYAG, 41 (6), 201—236 (1989)**

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

Trefil István

Dr. Träger Tamás

Wilwerger Ferenc

TARTALOM

Bácskai György - Pethő Szilveszter - Szarka Zoltán - Verdes Sándor: Rosin- Rammler-típusú függvényeknek a legkisebb négyzetek módszerével való közelítése és gyakorlati alkalmazása	201
Ujhelyi János: A beton nyomószilárdságának előbecslése és összetételének tervezése III. rész	207
Amrich László - Tamás Ferenc: Az beszthulladékok hasznosítása a szilikátiparban	213
Wojnárovits Ilona - Fodor Márta: A portlandcementmátrixban alkalmazandó szilikátszálak lúgossági vizsgálatának módszerei	219
Fülöp István: Az előégetés hatása a báriumtitanát-bizmuttitanát alapú kerámiai kondenzátorok dielektromos és morfológiai tulajdonságaira	227
Liptay András: A póruseloszlás hatása a beton tulajdonságaira	230
Beke Béla 80 éves	235
A világ szilikátiparából	236
Az Építőanyag folyóirat 1989 évi tartalomjegyzéke	1-4

CONTENTS

Bácskai, György - Pethő, Szilveszter - Szarka, Zoltán - Verdes, Sándor: Approximation of Rosin-Rammler Type Function by the Method of Least Squares, and their Practical Application	201
Ujhelyi, János: Prediction and Design of the Compressive Strength of Concrete, Part III.	207
Amrich, László - Tamás, Ferenc: Utilisation of Asbestos Waste in Some Ceramic Industries	213
Wojnárovits-Hrapka, Ilona - Fodor, Márta: Methods for Alkali Resistance Determination of Silicate Fibers to be Used in Portland Cement Matrix	219
Fülöp, István: Effect of Prefiring on the Dielectric and Morphological Properties of Barium Titanate - Bismuth Titanate Ceramic Capacitors	227
Liptay, András: Effect of Pore Size Distribution on the Properties of Concrete	230

INHALT

Bácskai, György - Pethő, Szilveszter - Szarka, Zoltán - Verdes, Sándor: Approximation von Rosin-Rammlerschen Funktionen mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate und deren praktische Anwendung	201
Ujhelyi, János: Vorausbestimmung der Druckfestigkeit von Beton und Projektierung der Zusammensetzung, Teil III.	207
Amrich, László - Tamás, Ferenc: Die Verwertung von Asbestabfällen in der Silikatindustrie	213
Wojnarovits, Ilona - Fodor, Márta: Methoden zur Prüfung der Laugebeständigkeit von Silikatfasern in Portlandzementmatrizen	219
Fülöp, István: Der Einfluss des Vorbrennens auf die dielektrischen und morphologischen Eigenschaften der Keramik Kondensatoren auf Bariumtitanat - Wismuttitanat-Basis	227
Liptay, András: Wirkung der Porenverteilung auf die Eigenschaften des Betons	230

СОДЕРЖАНИЕ

Бачкай, Дь. - Петё, С. - Сарка, З. - Вердеш, Ш.: Расчёт уравнения типа Розин-Раммлер методом наименьших квадратов и практическое применение этого метода расчета	201
Уйхеи, Я.: Предсказывание прочности бетона при сжатии и проектирование его состава. Часть III	207
Амрих, Л. - Тамаш, Ф.: Утилизация асбестовых отходов в силикатной промышленности	214
Войнаровитч, И. - Фодор, М.: Методы испытания щелочестойкости силикатных волокон, применяемых в цементной матрице	219
Фюлеп, И.: Влияние предварительного обжига на диэлектрические и морфологические свойства керамических конденсаторов на основе барий-титанат-висмут титанат	227
Липтай, А.: Влияние распределения пор на свойства бетона	230

Rosin-Rammler típusú függvényeknek a legkisebb négyzetek módszerével való közelítése és gyakorlati alkalmazása

Bácskai György - Pethő Szilveszter - Szarka Zoltán - Verdes Sándor
Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc

1. A Rosin-Rammler függvények és néhány tulajdonságuk

Az aprításkor és őrléskor keletkező szemcsék méretét valószínűségi változónak tekinthetjük. Ez a valószínűségi változó gyakran a Rosin-Rammler eloszlást követi. A gyakorlatban eddig a kétparaméteres eloszlást alkalmazták. Újabban azonban a Rosin-Rammler eloszlásnak az a típusa van elterjedőben, amely a két paraméter mellett még egy állandót is tartalmaz. Ez a két eloszlás, amelyeket vázlatosan az 1. és 2. ábrán tüntettünk fel, a következő [3]:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{ha } x \leq x_{\min}, \\ 1 - e^{-ax^b}, & \text{ha } x > x_{\min}, a > 0, b > 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{ha } x \leq x_{\min}, \\ 1 - e^{-a \frac{x}{x_L - x}}^b, & \text{ha } x_{\min} < x < x_L, a > 0, b > 0, \\ 1, & \text{ha } x \geq x_L \end{cases} \quad (2)$$

Itt x_{\min} jelenti a legkisebb szemcseméretet. x_L az aprítóberendezésre jellemző paraméter, amely a töret legnagyobb szemcseméretét határozza meg. Ennél nagyobb szemcse a szemcsehalmazban gyakorlatilag biztos szinten nincsen. Ha olyan berendezéssel történik az aprítás, vagy őrlés (pl. golyósmalommal), amelyről az x_L paraméter nem állapítható meg, úgy x_L a legnagyobb szemcsemé-

ret ($x_L = x_{\max}$). x_L így minden esetben előre felvett állandó. Az a és b paraméterek közelítő értékét a jól ismert Rosin-Rammler diagramháló segítségével határozzák meg.

Mivel az (1) függvényt az $x > x_{\min}$ tartományban, a (2) függvényt pedig az $x_{\min} < x < x_L$ tartományban használják, ezért a két eloszlásfüggvény:

$$F(x) = 1 - e^{-(ax)^b}, \quad a > 0, \quad b > 0; \quad (3)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(a \frac{x}{x_L - x}\right)^b}, \quad a > 0, \quad b > 0, \quad (4)$$

Mindkét függvény korlátos, ugyanis $|F(x)| < 1$; görbéjüknek van inflexiós pontja, ha $b > 1$. A (3) görbe inflexiós pontjának abszcisszája:

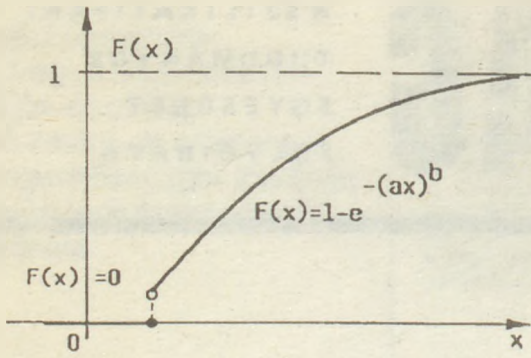
$$x^* = \left(\frac{b-1}{ba}\right)^{1/b}. \quad (5)$$

Innen látható, hogy valóban létezik inflexiós pont és ez az $x > 0$ tartományra esik, ha $b > 1$.

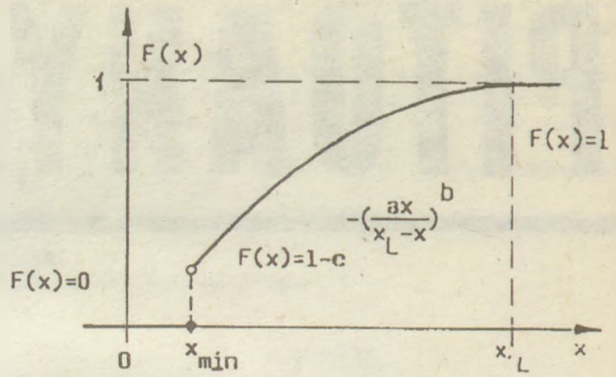
A 3. ábrán két Rosin-Rammler-függvényt rajzoltunk meg. Az egyik függvényénél $b \leq 1$, a másikonál $b > 1$. Ez utóbbi függvény görbéjének inflexiós pontja az $x > x_{\min}$ tartományra esik.

A (4) függvény vizsgálata kissé nehezkesebb. A görbe inflexiós pontjának meghatározásához, a második derivált kiszámítása után, az

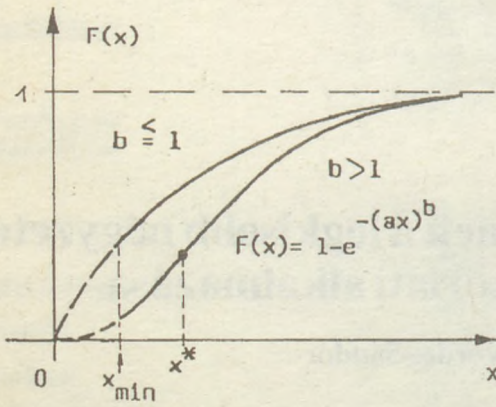
$$Abx_L \left(\frac{x}{x_L - x}\right)^b = (b-1)x_L + 2x, \quad A = a^b \quad (6)$$



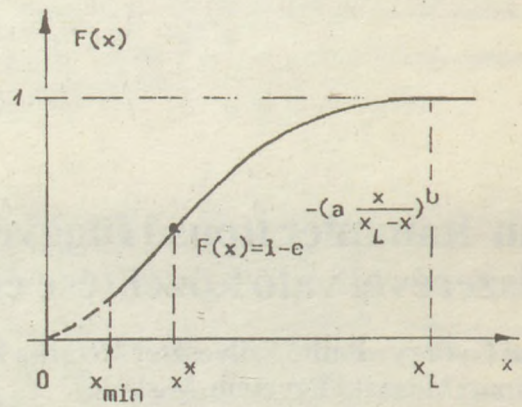
1. ábra



2. ábra



3. ábra



4. ábra

1. – 4. ábra. Különböző típusú Rosin-Rommler függvények

egyenlet kellene x -re megoldani. Ez zárt alakban általában nem oldható meg. Ennek ellenére megállapítható, hogy az egyenletek $b > 1$ mellett a $0 < x < x_L$ intervallumban van megoldása, így tehát van inflexiós pont. Jelölje ugyanis az egyenlet bal oldalát $f(x)$, jobb oldalát $g(x)$. Ekkor az $f(x) = g(x)$ egyenletet kell vizsgálni. Mivel $f(0) = 0$ és $g(0) = (b-1)x_L > 0$, ezért $f(0) < g(0)$. Ha pedig $x \rightarrow x_L$, akkor $f(x) \rightarrow +\infty$, $g(x) \rightarrow (b+1)x_L$, vagyis x_L közelében $f(x) > g(x)$. A függvények folytonossága miatt 0 és x_L között van olyan x^* hely, ahol $f(x^*) = g(x^*)$, tehát itt inflexió van.

Ha $b = 1$, akkor az inflexiós pont abszcisszája $(1 - \frac{a}{2})x_L$,

amely negatív érték is lehet. A 4. ábrán vázolt függvény inflexiós pontja az $x_{\min} < x < x_L$ tartományon van.

2. Az eloszlásfüggvények közelítése

Általános gyakorlat az a és b paramétereknek a már említett diagramháló segítségével való megszerkesztése. Az ismert szerkesztési eljárásnak a nyilvánvaló szubjektív hiba mellett szisztematikus hibája is van. Erre a szisztematikus hibára a következő részben mutatunk rá.

Az adott szemcsehalmazra vonatkozó (3) és (4) eloszlásfüggvények közelítésére több lehetőség van. Ezen empirikus adatokra tömörítő közelítések közül kettőt, a linearizálással és egy iterációs módszerrel való becslést mutatunk be.

Mindkét esetben felosztjuk az $x_{\min} \leq x \leq x_L$ intervallumot $n+1$ részre. Legyenek az osztópontok (szemcseméret) x_1, x_2, \dots, x_n , a hozzájuk tartozó mérési eredmények (tömeghányadok) pedig y_1, y_2, \dots, y_n ; továbbá $x_{\min} < x_1 < x_2 < \dots < x_n < x_L$. Az (x_i, y_i) számpár például azt jelenti, hogy az x_1 -nél kisebb méretű szemcsék tömegének aránya a vizsgálatba bevont részalmoz tömegéhez viszonyítva y_i .

Mivel x_L értékét az előzetes ismeretek birtokában felvesszük, ezért a becslés mindkét függvényénél az a és b paraméterek számszerű értékének meghatározására irányul.

2.1 Az eloszlásfüggvények paramétereinek becslése linearizálással

Feladatuk meghatározni a (3) és (4) függvényekben szereplő a és b paraméterek legvalószínűbb értékét a legkisebb négyzetek elvét felhasználva, ha ismerjük az x_i he-

lyeken mért, mérési hibákkal terhelt y_i függvényértékeket ($i = 1, 2, \dots, n; n > 2$). Ezek a paraméterek az eloszlásfüggvényekben nem lineárisan szerepelnek, így a négyzetösszeg-minimum elv közvetlen alkalmazásánál számítástechnikai nehézségek lépnek fel, ezért alkalmas átalakításokkal a függvényeket addig transzformáljuk, amíg a paraméterekben lineárisak nem lesznek. A (3) függvény jól ismert, kétszeri logaritmálással átalakított alakja:

$$b \ln a + b \ln x = \ln \ln \frac{1}{1-F(x)}. \quad (7)$$

Ha bevezetjük a $b \ln a = \beta$ jelölést, akkor a fenti összefüggés a β és a b paraméterekre nézve már lineáris. A feladat formailag még tovább egyszerűsödik az $\ln x = X$ és $\ln \ln \frac{1}{1-F(x)} = Y$ jelölésekkel:

$$Y = bX + \beta. \quad (8)$$

Ez utóbbi összefüggés már X -ben és Y -ban is lineáris. Ekkor tehát (X_i, Y_i) pontokhoz ($i = 1, 2, \dots, n$) egy egyenest kell illeszteni, ahol $X_i = \ln x_i$, $Y_i = \ln \ln \frac{1}{1-Y_i}$.

A β és b paraméterek becslését a legkisebb négyzetek módszerével végezzük el. A feladat egy kétismeretlenes normálegyenletrendszer megoldását teszi szükségessé. Ha b és β már ismert, akkor a értékét az

$$a = e^{\beta/b} \quad (9)$$

összefüggéssel kapjuk.

A (4) függvénynt hasonló módon alakítjuk át. Ekkor

$$b \ln a + b \ln \frac{x}{x_L - x} = \ln \ln \frac{1}{1-F(x)}. \quad (10)$$

Bevezetve a

$$b \ln a = \beta, \ln \ln \frac{1}{x_L - x} = Y \text{ és } \ln \frac{x}{x_L - x} = X$$

jelöléseket, a (8) lineáris összefüggéshez jutunk.

A β és b paraméterek becslését ismét a legkisebb négyzetek módszerével végezzük el.

Az ismertett eljárás a grafikus módszer számítástechnikai változata. Alkalmazásával nem az y_i mérési eredmények hibáinak, hanem a kétszeres logaritmizálással transzformált Y_i értékek "hibáinak" négyzetösszegét minimalizáljuk. Így a grafikus eljárás szubjektív hibái ugyan kiküszöbölhetők, de a kiszámított paraméterek értékei torzítottak, szisztematikus hibával terhelték.

A következőkben a mérési hibák négyzetösszegét egy iterációs módszer segítségével minimalizáljuk.

2. 2 Az eloszlásfüggvények paramétereinek becslése iterációval

Írjuk fel a (3) függvénynt $F(x) = 1 - e^{-ax^b}$ alakban. Az $a^b = A$ jelöléssel

$$F(x) = e^{-Ax^b} = F(x, A, b). \quad (11)$$

Legyen most az A és b értékek egy közelítése A_0 és b_0 . Ezek értékét célszerű az előző, 2. 1 pontban ismertett eljárással kiszámítani. Ekkor $A = A_0 + \Delta A$, $b = b_0 + \Delta b$, ahol ΔA és Δb az A és b paraméterek ismeretlen javításai. Feladatunk ezen javítások meghatározása. Ennek érdekében a (11) függvénynt elsőfokú Taylor-polinomjával közelítjük úgy, hogy az A és b paramétereket tekintjük változóknak. Az (A_0, b_0) helyen vett Taylor-polinomhoz ki kell számítani a (11) függvény A és b szerinti parciális deriváltját az (A_0, b_0) helyen:

$$\frac{\partial F}{\partial A} = e^{-A_0 x^{b_0}} \cdot x^{b_0} = F_1,$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = e^{-A_0 x^{b_0}} \cdot A_0 x^{b_0} \ln x = F_2.$$

Ekkor a Taylor-polinom:

$$F_0(x) + F_1(x)\Delta A + F_2(x)\Delta b = G(x, \Delta A, \Delta b), \quad (12)$$

ahol $F_0(x) = F(x)$, $A_0, b_0 = 1 - e^{-A_0 x^{b_0}}$. A (12) elsőfokú polinom annál jobban közelíti az $F(x)$ függvénynt az (A_0, b_0) hely környezetében, minél kisebb $|\Delta A|$ és $|\Delta b|$. Tételezzük fel, hogy a közelítés elég jó, azaz $F(x) \approx G(x, \Delta A, \Delta b)$. A G közelítő polinom a ΔA és Δb paraméterekre nézve már lineáris. Ezt a két paramétert határozzuk meg a legkisebb négyzetek módszere szerint.

Ha az x_i helyen a mérési eredmény y_i , akkor itt a mérési javítás

$$v_i = G(x_i, \Delta A, \Delta b) - y_i.$$

E mérési javítások négyzetösszegét kell minimalizálni. Írjuk fel ezt a négyzetösszeget

$$\Omega(\Delta A, \Delta b) = \sum_{i=1}^n [F_0(x_i) + F_1(x_i)\Delta A + F_2(x_i)\Delta b - y_i]^2 \quad (13)$$

alakban. Ezen függvénynek ott van minimuma, ahol az első parciális deriváltak egyenlők nullával:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \Delta A} = 2 \sum [F_0(x_i) + F_1(x_i)\Delta A + F_2(x_i)\Delta b - y_i] F_1(x_i) = 0,$$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \Delta b} = 2 \sum [F_0(x_i) + F_1(x_i)\Delta A + F_2(x_i)\Delta b - y_i] F_2(x_i) = 0.$$

Rendezés után a következő normálegyenletrendszert kapjuk:

$$\left. \begin{aligned} \Delta A \sum F_1^2(x_i) + \Delta b \sum F_1(x_i) F_2(x_i) &= \\ &= \sum y_i F_1(x_i) - \sum F_0(x_i) F_1(x_i), \\ \Delta A \sum F_1(x_i) F_2(x_i) + \Delta b \sum F_2^2(x_i) &= \\ &= \sum y_i F_2(x_i) - \sum F_0(x_i) F_2(x_i). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Ez az egyenletrendszer ΔA -ban és Δb -ben lineáris, így megoldható. ΔA és Δb ismeretében az $A_0 + \Delta A = A$, $b_0 + \Delta b = b$ összefüggésekkel az A és b paramétereknek egy jobb közelítését kapjuk, melyet jelöljön A_1 és b_1 . Az eljárást innen megismételjük úgy, hogy A_0 és b_0 helyett a már pontosabb A_1 és b_1 közelítéseket használjuk, így jutunk az A_2 és b_2 újabb közelítésekhez, majd az eljárást még néhányszor megismételjük.

Ha a k-adik iteráció eredményét fogadjuk el végeredménynek, azaz $b=b_k$, $A=A_k$, akkor az eredeti a paraméter értéke,

$$a = A_k^{1/b_k} \quad (15)$$

Ezzel az iterációs módszerrel elvileg kifogástalan eredményt kapunk, de a konvergencia vizsgálata igen nehéz. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy a konvergencia igen gyors, néhány ismétlés után az eredmény már alig változik. A számítás menete jól gépesíthető, időigénye kis teljesítményű számítógépen is mindössze néhány perc.

Teljesen hasonló módszerrel kapjuk a (4) függvény a és b paramétereinek becslését. A különbség mindössze annyi, hogy a (14) normálegyenletrendszerbe x_i helyett az $x_i/(x_L-x_i)$ mennyiséget kell írni.

3. Mérőszám az eltérések jellemzésére

Az a és b paraméterek meghatározásával a görbeillesztés feladatát megoldottuk. Mivel a mérési eredmények hibásak, a kapott (3) és (4) görbék nyilván nem mennek át a $P_i(x_i, y_i)$ pontokon, azoktól eltérnek. Ennek az eltérésnek a jellemzésére a

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-2}} \quad (16)$$

mérőszámot célszerű használni. Itt v_i jelenti az i -edik ponthoz tartozó $y_i - F(x_i)$ mérési javítást, a nevezőben lévő $n-2$ pedig a fölös mérések számát. Ha ugyanahhoz a pontrendszerhez úgy a (3), mint a (4) görbe illesztését végrehajtjuk, akkor azt az illesztést tekintjük jobbnak, amelyhez tartozó μ érték kisebb.

4. Az aprítási függvény felvétele és gyakorlati alkalmazása

Az egyes szemcsék aprításával, a szisztematikusan elvégzett kísérletek eredményeinek értékelésével először Rumpf foglalkozott [1]. Az aprítási függvény bevezetése is tőle származik. A függvény felvételéhez változtatják az aprítandó szemcse méretét, az igénybevétel milyenségét (pl. nyomás, ütés, nyírás) és nagyságát. Minden egyes kísérletnél a töret szemcseméret eloszlását felveszik, az energiaszükségletet mérik. Az aprítási függvény ezen adatok és eredmények összefüggését tartalmazza. Segítségével egy adott aprítási feladathoz a berendezés működési paraméterei megbízhatóan megállapíthatók.

4.1 A függvény felvétele

A következőkben kalapácsos törővel aprított gyönyösvisontai lignit $F(x, X, v)$ aprítási függvényének felvételét mutatjuk be. A kalapácsvető típusa: Jászberényi Aprítógépgyár UKM 40/25, fordulatszáma 2000/min. Az előbbi jelölés azt jelenti, hogy a függvény felvétele érdekében változtatjuk a feladás X szemcseméretét és a törő rotorjának v kerületi sebességét. Az ütési igénybevétel ezzel a v kerületi sebességgel arányos, mivel a törőtérbe függőlegesen érkező szemcséket a kalapácsok vízszintes irányban ütik meg. Mindegyik kísérletnél a töret szemcseméret eloszlását is felvettük.

Az aprítási függvényt a (4) típusú eloszlásfüggvénnyel közelítjük, így az $x_L = X_{\max}$ szemcseméretet előre felvesszük, az a és b paramétereket meghatározzuk.

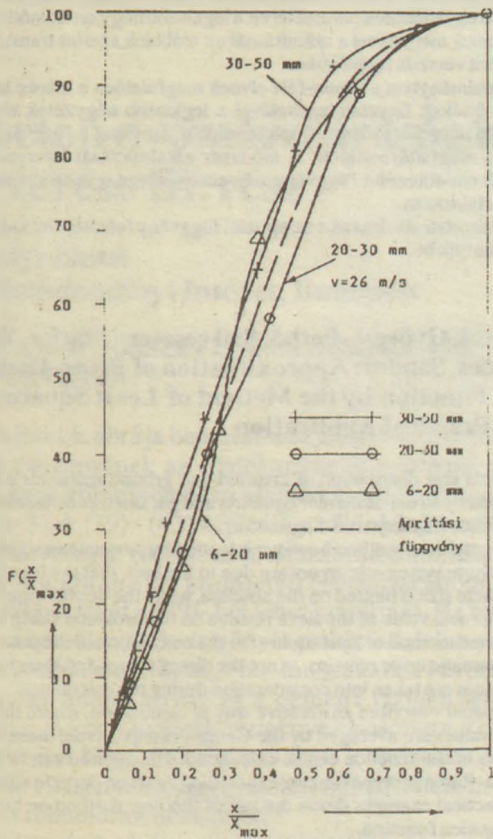
Az 1. táblázatban $v = 26$ m/s rotor kerületi sebesség mellett a 30-50 mm és 20-30 mm-es szemcsefrakciók töretének Σm_i kumulatív szemcseméret eloszlási adatait találjuk meg. A táblázat első oszlopában azon szitalyukbőségeket tüntettük fel, amelyeknél a szemcseméret

1. táblázat

Kalapácsos törő töretének x/X_{\max} szerinti normált szemcseméret eloszlásai

Szemcseméret x_i, mm	A kalapácsos törő feladása és a legnagyobb szemcseméreték					
	30-50 mm;	$X_{\max}=50\text{mm};$	20-30mm;	$X_{\max}=30\text{mm};$	6-20mm;	$X_{\max}=20\text{mm}$
	$\Sigma \Delta m_i$	$x_i/50$	$\Sigma \Delta m_i$	$x_i/30$	$\Sigma \Delta m_i$	$x_i/20$
1	2	3	4	5	6	7
<1	0,0341	0,02	0,0498	0,033	0,0641	0,05
<2	0,0682	0,04	0,0900	0,067	0,1176	0,10
<4	0,1360	0,08	0,1748	0,133	0,2496	0,20
<6	0,2157	0,12	0,2675	0,200	0,4329	0,30
<8	0,3093	0,16	0,3987	0,267	0,6872	0,40
<13	0,4468	0,26	0,5792	0,433	0,8945	0,65
<20	0,6443	0,40	0,8869	0,667	1,-	1,-
<25	0,8092	0,50	0,9787	0,833		
<30	0,9280	0,60	1,-	1,-		
>30	1,-	1,-				

elemzést elvégeztük. Mivel a táblázat adataival az x_i függvényében megrajzolt három szemcseeloszlási görbe hasonlóságot mutat (ezeket a függvényeket nem közöljük), ezért egyetlen görbével való ábrázolásuk érdekében a szemcsehatárokat a legnagyobb szemcse nagyságokra vonatkoztatjuk [2], [3]. Az X_{max} szemcseméret gyakorlatilag biztos szinten a feladás felső szemcseméretével egyenlő, tehát X_{max} , egyúttal a (4)-ben szereplő x_L értéke az egyes kísérleteknél 50, 30 és 20 mm.



5. ábra. A kalapácsostördő töretelnek szemcseméreteloszlása az x/X_{max} relatív szemcseméret függvényében és az aprítási függvény

Az 5. ábrán az 1. táblázat adatainak felhasználásával x/X_{max} függvényében a három eloszlásfüggvényt ábrázoltuk. Innen látható, hogy a három eloszlásfüggvény lefutása az említett hasonlóság következtében csaknem azonos. Ezért az így ábrázolt normalizált eloszlásfüggvények egy közös függvénnyel, a $v = 26$ m/s kerületi sebesség mellett érvényes aprítási függvénnyel helyettesíthetők. Ezt a speciális aprítási függvényt $F(x/X_{max}, v = 26 \text{ m/s})$ szerint jelöljük.

A 2. táblázatban a 2.2 alatt ismertetett iterációs módszer segítségével mindhárom eloszlásfüggvényre és az aprítási függvényre vonatkozóan megtaláljuk az a és b paraméterek, valamint a közelítés jóságát kifejező μ mérőszám értékeit. A $F(x/X_{max}, v = 26 \text{ m/s})$ aprítási függvényben x_L értéke 1. Az összehasonlítás érdekében ugyanebben a táblázatban találjuk még a (3) szerinti hagyományos Rosin-Rammler függvény paramétereinek számszerű értékét is.

A 2. táblázatban található m paraméter értékét a (4) típusú Rosin-Rammler függvénynél a-nak $(x_L - x)/x$ -szel való egyenlővé tételével lehet kiszámítani. Ezt az x -et m-mel jelölve:

$$m = \frac{x_L}{a + 1} \quad (17)$$

A (3) típusú függvénynél $m = 1/a$. Mindkét m szemcseméretnél $F(m) = 1 - 1/e = 0,632$.

A 2. táblázat paramétereinek értékeit összehasonlítva, a következők állapíthatók meg. Az új típusú függvénynél az m paraméter értéke nagyobb, az eloszlás egyenletességét kifejező b paraméter értéke pedig kisebb, mint a hagyományos függvény ugyanezen paramétereinek értéke. Ezek az eltérések a két függvény felépítéséből törvényzerűen következnek: az új típusú függvényben a tényleges legnagyobb szemcseméret szerepel, a hagyományos Rosin-Rammler függvényben viszont $X_{max} \rightarrow \infty$.

4.2 Az aprítási függvény gyakorlati alkalmazásáról

Az 5. ábrával valamint a 2. táblázat adataival az aprítási függvénynek csak egy részét mutattuk be: a $F(x/X_{max}, v = 26 \text{ m/s})$ valamint az $x_L = 1$ felvétellel kiszámított a, m és b paraméterek értékei 6–50 mm-es feladás és

2. táblázat

Kalapácsostörővel aprított ilgnitek szemcseméreteloszlása és az aprítási függvény paramétere

Paraméterek Feladás, mm	$x_L = 50 \text{ mm}$	$x_L = 30 \text{ mm}$	$x_L = 20 \text{ mm}$	$x_L = 1$ Aprítási függvény	$x_{max} \rightarrow \infty$		
	30-50	20-30	6-20		30-50	20-30	6-20
l	2	3	4	5	6	7	8
a	1,6664	1,1613	1,4911	1,4477	0,05639	0,07801	0,1274
m	18,75	13,88	8,03	0,4086	17,73	12,82	7,85
b	0,9606	0,9138	1,1374	0,9947	1,3574	1,5091	1,7154
μ	0,01609	0,01722	0,04663	0,04250	0,03417	0,03778	0,03736

$v = 26$ m/s rotor kerületi sebesség mellett érvényesek. A teljes aprítási függvény felvételéhez az aprítási kísérleteknek az összes szóbajöhethető szemcsefrakciókkal és kerületi sebességgel való elvégzésére és a szemcseméret eloszlások felvételére van szükség.

A tapasztalat szerint az aprítási függvénnyel kapcsolatban egy kisebb extrapoláció különösen nagyobb szemcseméretet irányában, megengedhető ([2], [3]).

A bemutatott aprítási függvény segítségével a 6-50 mm-es, a lehetséges extrapolálás figyelembevételével az 5-60 mm-es feladás, ill. ezeken belül bármely intervallumú (pl. 10-40 mm-es) feladás mellett az adott típusú kalapácstörő töretének szemcseméret eloszlása előre meghatározható. Ha az aprítási függvényt más kerületi sebességeknél is felvesszük, úgy egy előre rögzített szemcseméret eloszláshoz a rotor szükséges kerületi sebessége megválasztható.

Pl. 10-40 mm-es feladásnál a töret szemcseméret eloszlására vonatkozó paraméterek a következők lesznek. A 2. táblázat szerint ($x_L = 1$ -nél) a b egyenletességi tényező 0,9947, az a paraméter értéke 1,4477, az m szemcseméret 0,4086.40=16,34 mm.

Összefoglalás

A Rosin-Rammler függvényt követő töretek és őrlmények szemcseméret eloszlása paramétereinek meghatározása az általánosan ismert diagramháló segítségével grafikusán történik.

A grafikus eljárást a nyilvánvaló szubjektív hiba mellett szisztematikus hiba is terheli, mivel a diagramháló abszcisszáján a szemcseméret logaritmus, ordinátáján a reciprok szitamaradvány értékek kétszeres logaritmus szerepel. A szisztematikus hiba akkor is megmarad, ha a diagramháló egyenesének paramétereit a legkisebb négyzetek módszerével határozzuk meg, mivel a számításnál az előbbieket szerint transzformált értékeket vesszük figyelembe.

A tanulmányban a Gauss-féle elvnek megfelelően a mérési hibákkal terhelt értékek figyelembevételével a legkisebb négyzetek elvét felhasználó iterációs módszert dolgoztunk ki, amellyel a függvény paramétereit meghatározhatók. A módszer alkalmazását kiterjesztettük olyan Rosin-Rammler függvényre is, amely a legnagyobb szemcseméretet is tartalmazza.

A gyakorlati alkalmazást az aprítási függvény felvételével kapcsolatban mutatjuk be.

A tanulmány az NME Ásványelőkészítési Tanszéken, az MTA által támogatott Szénelőkészítési kutatások keretén belül készült.

Irodalom

- [1] Rumpf, H.: Die Einzelkornzerkleinerung als Grundlage einer technischen Zerkleinerungswissenschaft. Chemie-Ing. Technik, 37. Jahrg. (1965), Nr. 3. 187-202.
- [2] Gehrke, B.: Übertragungsgleichungen für die Zerkleinerungskenngrößen bei Vermahlung von Mais in Siebhammelmöhlen verschiedener Größe. Dissertation an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 1971.
- [3] Kerlin, H. P.: Zerkleinerung von Kohle als Einzelkorn und im Kollektiv. Dissertation an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 1979.

Bácskai György - Pethő Szilveszter - Szarka Zoltán - Verdes Sándor: Rosin-Rammler típusú függvényeknek a legkisebb négyzetek módszerével való közelítése és gyakorlati alkalmazása

A Rosin-Rammler függvényt követő töretek és őrlmények szemcseméret eloszlása paramétereinek meghatározása az általánosan ismert diagramháló segítségével grafikusán történik.

A grafikus eljárást a nyilvánvaló szubjektív hiba mellett szisztematikus hiba is terheli, mivel a diagramháló abszcisszáján a szemcseméret logaritmus, ordinátáján a reciprok szitamaradvány értékek kétszeres logaritmus szerepel. A szisztematikus hiba akkor is megmarad, ha a diagramháló egyenesének paramétereit a legkisebb négyzetek módszerével határozzuk meg, mivel a számításnál az előbbieket szerint transzformált értékeket vesszük figyelembe.

A tanulmányban a Gauss-féle elvnek megfelelően a mérési hibákkal terhelt értékek figyelembevételével a legkisebb négyzetek elvét felhasználó iterációs módszert dolgoztunk ki, amellyel a függvény paramétereit meghatározhatók. A módszer alkalmazását kiterjesztettük olyan Rosin-Rammler függvényre is, amely a legnagyobb szemcseméretet tartalmazza.

A gyakorlati alkalmazást az aprítási függvény felvételével kapcsolatban mutatjuk be.

Bácskai, György - Pethő, Szilveszter - Szarka, Zoltán - Verdes, Sándor: Approximation of Rosin-Rammler Type Function by the Method of Least Squares, and their Practical Application

Particle size distribution of crushed and ground materials is usually described by Rosin-Rammler equation and parameters of the distribution calculated by a special diagram.

This graphical method however is loaded by subjective and objective errors; these systematic errors are due to the fact, that the logarithm of the particle size is plotted on the abscissa, while the double logarithm of the reciprocal value of the sieve residue on the ordinate. Using the well established method of least square for the calculation of the parameters, the systematic error remains, as not the direct values, but their transformed values are taken into consideration during the calculation.

The paper describes an iterative way of calculation, where the error-loaded values are averaged by the Gauss-principle; from these, the parameters of the function can be calculated. The method can be applied to Rosin-Rammler type functions including coarsest particle sizes too.

A practical example shows the use of the new method on hand of a comminution function.

Bácskai, György - Pethő, Szilveszter - Szarka, Zoltán - Verdes, Sándor: Approximation von Rosin-Rammlerschen Funktionen mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate und deren praktische Anwendung

Die Bestimmung der Korngrößenkennwerte von Zerkleinerungsgut und Mahlgut, das der Rosin-Rammlerschen Funktion entspricht, erfolgt graphisch mit Hilfe des allgemein bekannten Diagrammnetzes.

Das graphische Verfahren ist neben dem offensichtlich subjektiven Fehler auch mit einem systematischen Fehler behaftet, da auf der Abszisse des Diagrammnetzes der Logarithmus der Korngröße, auf der Ordinate der doppelte Logarithmus der reziproken Siebrückstandwerte erscheint. Der systematische Fehler bleibt auch dann, wenn die Kennwerte der Geraden des Diagrammnetzes mit der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt werden, da laut vorangehenden Feststellungen bei der Berechnung die transformierten Werte berücksichtigt werden.

In unserer Studie wurde dem Gaußschen Prinzip entsprechend unter Berücksichtigung der mit Messfehlern behafteten Werte eine Prinzip der kleinsten Quadrate nutzende Iterationsmethode erarbeitet, mit deren Hilfe die Funktionsparameter bestimmt werden können. Die Anwendung der Methode wurde auch auf die Rosin-Rammlersche Funktion dargestellt.

**Бачкаи, Дь. – Петё, С. – Сарка, З. – Вердеш, Ш.:
Расчёт уравнений типа Розин-Раммлер методом
наименьших квадратов и практическое
применение этого метода расчета**

Определение параметров уравнения Розин-Раммлера, служащего для характеристики распределения зернового состава продуктов дробления и измельчения, производится графическим методом, с помощью общезвестной диаграммы. Однако графический метод наряду с субъективной ошибкой содержит также и систематическую ошибку, так как на абсциссе диаграммной сетки содержится логарифм размера зерна, а

на ординате – двойной логарифм ситовых остатков. Систематическая ошибка сохраняется и тогда, когда параметры кривых, изображенных на диаграмме, определяются методом наименьших квадратов, так как при расчете принимаются трансформированные согласно вышеизложенному значения. Авторами был разработан итерационный метод расчета параметров уравнения, использующий принцип наименьших квадратов с учетом – соответственно принципу Гаусса – значений, отягченных ошибками измерения. Разработанный метод применялся и для уравнения Розин-Раммлера, содержащего наибольший размер зерна. Практическое применение разработанного метода расчета показано на примере снятия зависимости продукта измельчения.

A beton nyomószilárdságának előbecslése és összetételének tervezése III. rész

Ujhelyi János
Építéstudományi Intézet, Budapest

9. AZ $x - R'_o$ ÖSSZEFÜGGÉS KORLÁTAINAK INDOKOLTSÁGA.

A 6. fejezet 6. ábrája bemutatta az adott konzisztenciájú beton vízigényének az adalékanyag és a cement vízigényén, ezek kölcsönhatásán alapuló meghatározását (bővebben 3). A (39) - (43) képletek a különböző cementtartalmú keverékek összetételének számításához alkalmazhatók. A 6. ábrán a két kitüntetett cementtartalom: m_{cl} és m_{c2} , ezek értékét a (39)-ből lehet számítani. Ha $m_c < m_{cl}$, akkor a betonkeverék vízigényét csak az adalékanyag vízigénye szabja meg. Ha $m_{cl} < m_c < m_{c2}$, akkor a keverék vízigénye az adalékanyag és a cement vízigényétől, ha $m_c < m_{c2}$, akkor a keverék vízigénye elsősorban a cement vízigényétől függ. A 6. ábráról az is leolvasható, hogy a keverék vízigénye $m_c < m_{c2}$ mellett mérsékelten, $m_c < m_{c2}$ mellett rohamosan növekszik.

A teljesség kedvéért meg kell jegyezni, hogy a 6. ábra nem teljesen szabatos, mert az $m_c - m_w$ összefüggés $m_c < m_{cl}$ szakasza folytonos görbe (töréspont nélkül), de az ábra szerinti egyenesekkel helyettesíthető. Az 5. táblázatban az $m = 5,596$ finomsági modulusú adalékanyagra kiszámított ama jellemzők találhatóak, amelyek az m_{cl} és m_{c2} meghatározásához szükségesek. A táblázat a számítási képletek sorszámát is tartalmazza. Ezekből az alapadatokból lehet megállapítani az m_{c2} cementtartalmú be-

tonok összetételét és víz-cement tényezőjét a 6. táblázatnak megfelelően.

6. táblázat

Az m_{c2} cementtartalmú keverékek számított összetétele és a számítási alapadatok

k_s	m_{cp} (38)	m_{wp} (38)	Δm_c (40)	Δm_w (40)	m_c	m_w (42)	x
30	1831	410	1617	266	642	179	0,279
10	1747	437	1525	271	655	205	0,308
2	1658	465	1435	277	670	231	0,345
0,5	1605	482	1382	281	670	246	0,367

A 6. táblázat szerint az m_{c2} cementtartalmú betonkeverékek víz-cement tényezője nagyjából a 16. ábráról leolvasható értékeknek felel meg. Ennek alapján feltételezhető, hogy m_{c2} az a cementtartalom, amelyre még — adott konzisztencia mellett — érvényesnek tekinthető a \sqrt{x} -re meghatározott ABRAMS-függvény, míg $m_c < m_{c2}$ cementtartalom mellett a nyomószilárdság az x^2 -re meghatározott, a cementpépre érvényes függvényből számítható.

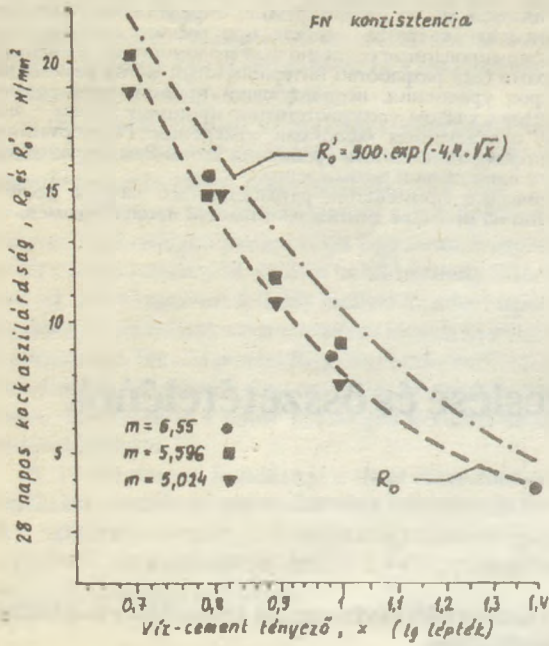
Ahogy azt a 4. fejezetben említettük, a (29) - (30) egyenletekkel az elméletileg elérhető, a (31) - (32) egyenletekkel a gyakorlati nyomószilárdság számítható. Ha a beton telített vagy túltelített, akkor $V_{1B} = V_1$ s így $R_o = R'_o$, ha azonban telítetlen, akkor $V_{1B} = 0$ mellett $V_1 = -\Delta V_p$, tehát $R_o' > R_o$. A telítetlen, földnedves betonok R_o nyomószilárdságát a 16. ábrán tüntettük fel a víz-cement tényező függvényében, ahol megadtuk a FN betonokra a 8. fejezetben meghatározott $R'_o = 900 \cdot \exp.(-4,4 \cdot \sqrt{x})$ függvény görbét is. A $V_1 > 0$ levegőtartalom miatt telítetlen betonokra törvényszerűen fennáll, hogy $R_o < R'_o$.

Az elmondottakból következik, hogy a cementkötésű keverékek teljes tartományában — a minimális cementtartalmú betonkeveréktől a cementpépig bezáróan — a víz-cement tényező és a nyomószilárdság összefüggését nem lehet egyetlen függvénykapcsolattal leírni, hanem a következő három esetet kell megkülönböztetni:

5. táblázat

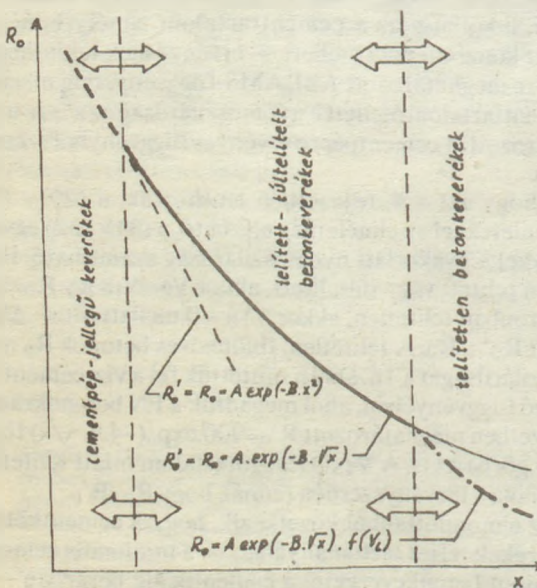
Az $m = 5,596$; $U = 19,9$ jellemzőjű homokos kavicsos és $S = 295$ m^2/kg fajlagos felületű cementtel készített keverékek alapjellemezőinek számított értékei

k_s	w_a (33)	w_c (34)	V_{po} (35) - (36)	m_{ao} (37)	m_{wo} (37)	m_{c2} (39)	m_{cl} (39)
30	0,0692	0,2237	213,3	2077	144	642	214
10	0,0815	0,25	227,6	2039	166	655	222
2	0,0947	0,2806	247,9	1986	188	670	223
0,5	0,1022	0,3005	253,9	1970	201	670	223



16. ábra. Telítetlen betonok nyomószilárdsága az x függvényében

- a/ Telítetlen betonkeverékek, ahol $V_{1b}=0$, de $V_1 > 0$, ezért $R_0 < R_0'$; ebben a tartományban a nyomószilárdság \sqrt{x} -től és V_p -tól — ill. $V_1 = -\Delta V_p$ -tól — függ.
- b/ Telített és legfeljebb m_{c2} cementtartalmú túltelített betonkeverékek, amelyek nyomószilárdsága csak a víz-cement tényezőtől függ és értéke a \sqrt{x} -re meghatározott ABRAMS-függvényből számítható.
- c/ Az $m_c > m_{c2}$ cementtartalmú, pépjellegű keverékek, amelyek nyomószilárdságát az x -re meghatározott ABRAMS-függvényből lehet meghatározni.



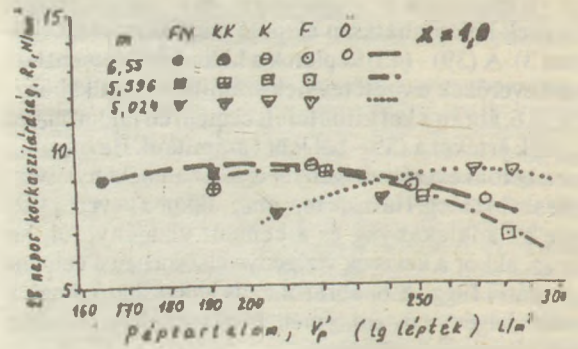
17. ábra. Az x/R_0 összefüggés három tartománya

Az $x-R_0$ összefüggés fenti három tartományának a vázlatát a 17. ábra mutatja be. Az ábra szerint e három tartomány választóvonalait a keverékek vízigény-változásától függően lehet kijelölni. További információkhoz jutunk, ha e tartományok elkülönülését a péptartalom függvényében is megállapítjuk. A következő fejezetben ezzel foglalkozunk.

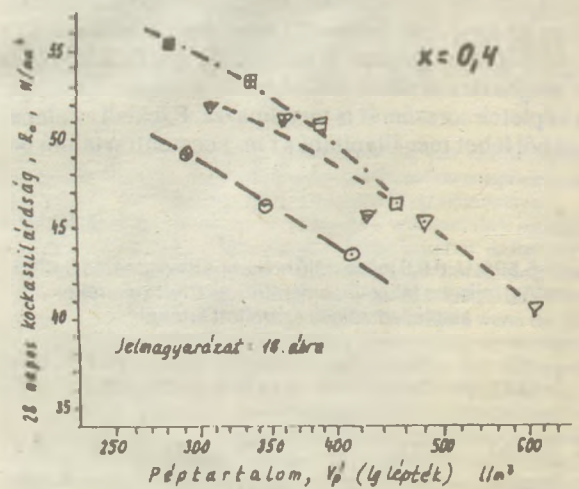
10. A PÉPTARTALOM ÉS A PÉPIGÉNY VISZONYÁNAK A HATÁSA

Már korábbi vizsgálataink [18]-[19] eredményei alapján megállapítottuk, hogy változatlan víz-cement tényező mellett a cementpéptartalom fokozatos növelése kezdetben növeli, bizonyos cementpéptartalom elérése után csökkenti a beton nyomószilárdságát. ERNTROY és SHACKLOCK nagyszilárdságú betonok vizsgálata során [20] már 1954-ben kimutatták adott kis víz-cement tényező mellett a csökkenő cementtartalom szilárdságnövelő hatását.

Részben ezek az adatok irányították rá figyelmünket az adalékanyagok pépigényének vizsgálatára (bővebben [2]), ill. a péptartalom-pépigény viszonyának az ellenőrzésére.



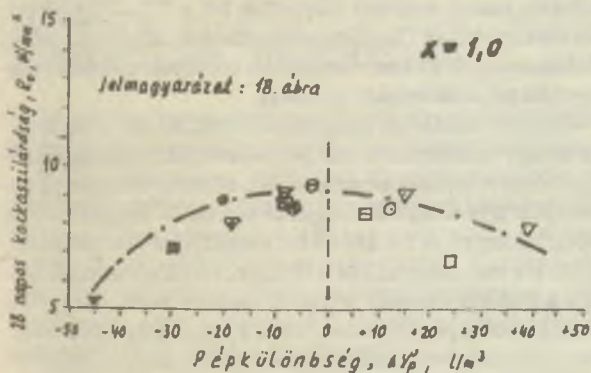
18. ábra. Különböző péptartalmú keverékek nyomószilárdsága, $x=1$



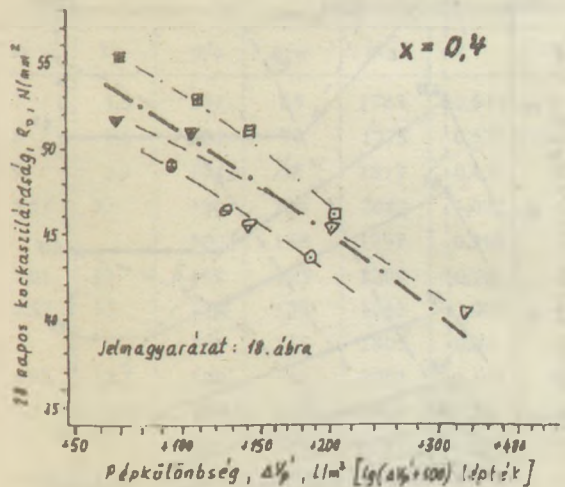
19. ábra. Különböző péptartalmú keverékek nyomószilárdsága, $x=0,4$

A péptartalom hatását $x=1$ és $x=0,4$ víz-cement tényezők mellett a 18.-19. ábrákon mutatjuk be 1988 évi vizsgálataink alapján (adatait kivonatolva a 4. táblázat tartalmazza). Ezek az ábrák is bizonyítják korábbi megállapításunkat [21]: változatlan víz-cement tényező mellett a túltelített betonok tartományában a péptartalom növelése csökkenti a nyomószilárdságot.

A 18.-19. ábrákon az $x-R_0$ görbék az adalékanyagok finomsági modulusa szerint elkülönülnek. Ha a vízszintes tengelyen a pép tartalom helyett a $\Delta V'_p = V'_p - V_{p0}$ pépkülönbséget tüntetjük fel, akkor a 20.-21. ábrákhoz jutunk.



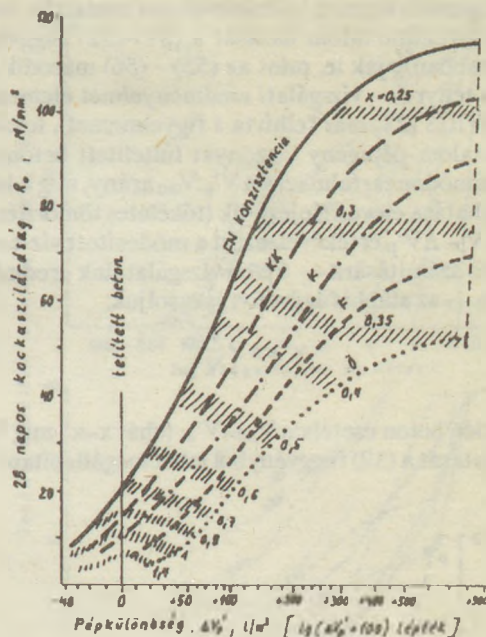
20. ábra. A nyomószilárdság a pépkülönbség függvényében, $x=1$



21. ábra. A nyomószilárdság a pépkülönbség függvényében, $x=0,4$

A 20. ábrán az $x=1$ mellett nyert nyomószilárdságokban nem lehet elkülöníteni a különböző finomsági modulusú adalékanyagokat, a 21. ábrán is kisebb a terjedelem, mint a 19. ábrán.

Az 1988 évi vizsgálataink valamennyi kiértékelt adatát a 22. ábra foglalja össze (az áttekinthetőség érdekében a vizsgálatok egyes eredményeit nem tüntettük fel, csak az általuk lefedett területet). A V'_p-R_0 összefüggést jelző görbe helyzete elsősorban a konzisztenciától függ, az adott szemeloszlású adalékanyagok felhasználásakor



22. ábra. A nyomószilárdság a pépkülönbség, a konzisztencia és a víz-cement tényező függvényében

($D=16$ mm, A-B-C görbék, folyamatos szemeloszlás) a finomsági modulus csak kevésbé befolyásolja (jelentősen eltérő alakú szemeloszlás — pl lépcsős, homokszegény — mellett azonban igen, lásd 11. fejezet).

Korábbi vizsgálataink során is hasonló összefüggéseket kaptunk [21] s ezek alapján határoztuk meg az ún. módosított víz-cement tényezőt, amelynek értelmezése a következő: adott víz-cement tényező mellett a telített ($V'_p=V_{p0}$) és $V_{lb}=V_l=0$ levegőtartalmú betonnal lehet elérni a legnagyobb nyomószilárdságot (ezt bizonyítja pl a 20. ábra). Ha a beton telítetlen vagy túltelített, akkor változatlan víz-cement tényező mellett nyomószilárdsága csökken. Ha $V_{lb}>0$, akkor ugyancsak csökken a változatlan keverési arányú beton nyomószilárdsága. A $0 > \Delta V'_p > -o$ és a $V_{lb}>0$ hatása tehát olyan, mintha a beton eredeti x víz-cement tényezője valamely $x' > x$ értékre növekedett volna.

A módosított víz-cement tényező számítására az alábbi képleteket ajánlottuk:

$$V'_p \leq V_{p0} \text{ mellett: } x' = x \cdot \left(1 + \frac{V_{p0} - V'_p}{V_{p0}} + \frac{V_{lb}}{xV_p} \right) \quad (55)$$

$$V'_p \geq V_{p0} \text{ mellett: } x' = x \cdot \left(1 + \frac{V'_p - V_{p0}}{V'_p} + \frac{V_{lb}}{xV_p} \right) \quad (56)$$

Megjegyezzük, hogy a beton nyomószilárdságát befolyásoló tényezők hatásának a víz-cement tényező módosításával való figyelembevételét először NEWMAN és TEYCHENNÉ javasolták [22], akik a keverék S cm^2/g fajlagos felülete és az n adalékanyag: cement arány hatását

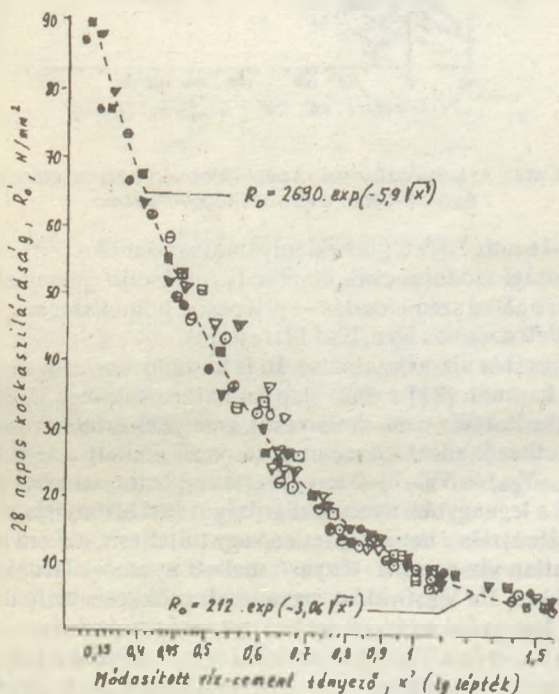
$$y = x - A \cdot n + B \cdot S \quad (57)$$

összefüggésből számították (ahol $A \approx 0,02$ és $B \approx 0,0005$, az adalékanyagtól függően). Könnyen belátható, hogy S a pépigénnyel és n a péptartalommal arányos, elveiben tehát az (57) függvény hasonló az (55) - (56)-hoz.

A legutóbb végzett kísérleteink azt mutatták, hogy a $V_{1b} > 0$ levegőtartalom hatását a (31)-(32) függvények pontosabban írják le, mint az (55) - (56) második tagja (erre a tényre — vizsgálati eredményeimet elemezve — POPOVICs [23] már felhívta a figyelmemet), továbbá a péptartalom-pépigény viszonyát túltelített betonokban azonos módon tartalmazza a $V'_a:V_{a0}$ arány, míg a telítetlenség hatása eleve kifejeződik (tökéletes tömörítés mellett) a $V_l = \Delta V'_p$ értékével, ezért a módosított víz-cement tényező számítására — újabb vizsgálataink eredményeképpen — az alábbi függvényt javasoljuk:

$$x' = x \cdot \frac{V_{a0}}{V'_a} \quad (58)$$

Telítetlen beton esetében $V_{a0} = V'_a$, tehát $x = x'$, míg V_{1b} ill. $V_{1 > 0}$ hatását a (32) függvényből lehet megállapítani.



23. ábra. 1988 évi vizsgálatok eredményei a módosított víz-cement tényezőtől függően

Az (58) összefüggésből kiszámítottuk az $m_c \leq m_{c2}$ cementtartalmú, 1988 évben készített betonkeverékek x' és R'_0 értékeit, az adatokat 23. ábrán dolgoztuk fel. Az ábra szerinti pontthalmazra

$$x' \leq 0,8 \text{ mellett: } R'_0 = 2690 \cdot \exp(-5,9 \sqrt{x'}) \quad (59)$$

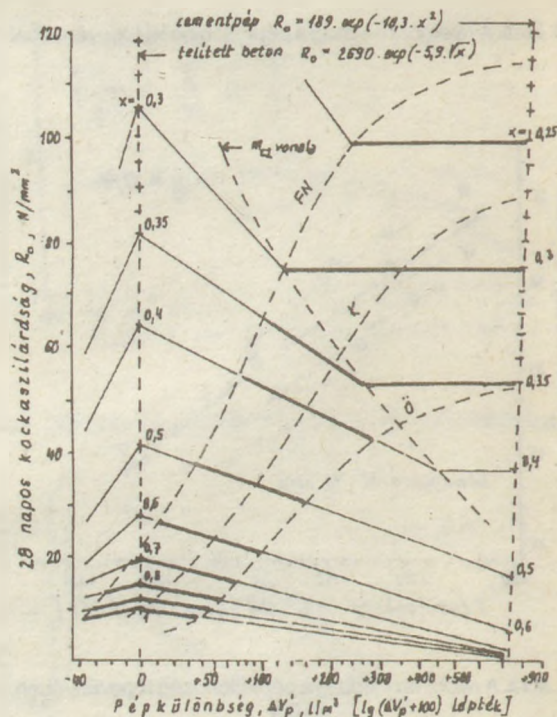
$$x' \geq 0,8 \text{ mellett: } R'_0 = 212 \cdot \exp(-3,06 \sqrt{x'}) \quad (60)$$

függvények illeszkednek. Az ezekből számítható R'_0 nyomószilárdságok a telített betonra jellemzőek, mert a telített beton esetében $x = x'$. Az (59) egyenletet tehát úgy tekinthetjük, mint az adott adalékanyaggal és cementtel elérhető legnagyobb nyomószilárdságok $x-R_0$ függvényét. Megjegyezzük, hogy ismertett vizsgálataink során az $x \approx 0,8$ körüli víz-cement tényezővel készített keverékek váltak telítetté, valószínűleg ezért különül el a pont környezetében az $x-R_0$ összefüggés.

Ezekből az eredményekből szerkesztettük meg a 24. ábrát, amely az 1988 évi vizsgálati adatokra illetve adja meg a beton nyomószilárdságának a változását váci 350 kspc 20 ($R_c = 42,3 \text{ N/mm}^2$) cementtel és $D = 16 \text{ mm}$, folyamatos szemeloszlású adalékanyagokkal készített betonokra. A 24. ábrát a következő megfontolásokkal lehet kialakítani:

A $V'_p = 0$, telített beton nyomószilárdsága az (59) - (60) függvényekből számítható. Ennek értékeit tüntettük fel a $V'_p = V'_{p0}$ függőlegesén. Az adott cementtel ezek az elérhető legnagyobb nyomószilárdságok. A tiszta cementpép nyomószilárdsága a 8. fejezetben megadott (46)-ból számítható, ennek értékeit tüntettük fel a $V'_p = 1000 - V_{p0}$ -hoz tartozó közel függőleges egyenesen, amely az adott adalékanyagok és konzisztenciák esetében elérhető legnagyobb péptöbbleteket jellemzi.

Ahogy korábban megállapítottuk, ha $m_c > m_{c2}$, akkor a nagy cementtartalmú betonkeverék nyomószilárdsága adott x mellett az azonos víz-cement tényezőjű cementpép nyomószilárdságával egyenlő, függetlenül a péptartalomtól. A 24. ábrán ezt mutatják a vízszintes vonalak. Ha $m_c < m_{c2}$, akkor a betonkeverék nyomószilárdsága adott víz-cement tényező mellett annál nagyobb, minél kisebb a péptartalom, tehát a szilárdság a péptartalom csökkenésével lineárisan növekszik, amíg a beton te-



24. ábra. A cementkötésű keverékek nyomószilárdságának teljes tartománya

lítetté nem válik. Ezt mutatják a 24. ábrán az m_{c2} -pépszilárdság vonalak metszéspontjából a $\Delta V'_p = 0$ függőlegesség húzott ferde egyenesek, adott víz-cement tényezők mellett. Ha változatlan x mellett $V'_p < V_{p0}$, akkor a szilárdság rohamosan csökken.

Adott x mellett a legszárazabb, még bedolgozható túltelített keverékkel (vagy, ha ez lehetséges, akkor a telített

keverékkel lehet elérni a legnagyobb nyomószilárdságot. A 24. ábráról az is megállapítható, hogy a konzisztencia lágyulása változatlan víz-cement tényező mellett is a nyomószilárdság csökkenésével jár, mert növekszik a péptöbbség.

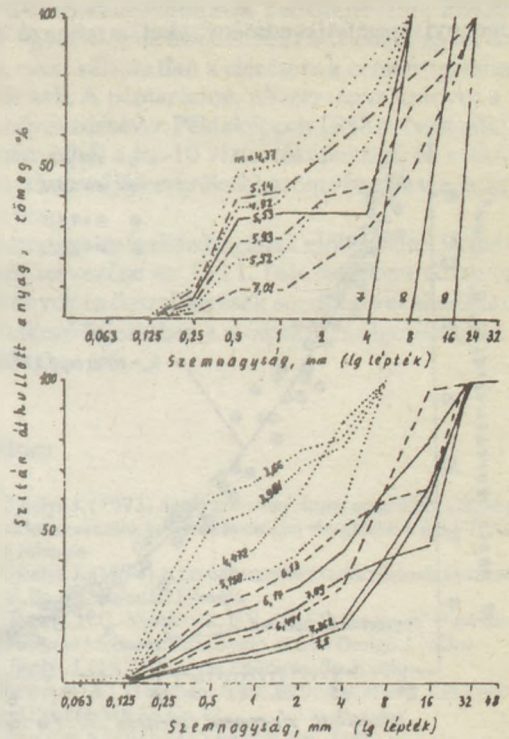
A 24. ábrán a konkrét vizsgálati eredményekből meghatározott összefüggéseket vastag vonallal jelöltük (vö. 22. ábra), míg vékony vonallal a feltételezhetőeket. A feltételezés jogosságát azonban korábbi vizsgálataink adataival lehet alátámasztani. Erre térünk ki a következő fejezetben.

11. VIZSGÁLATOK AZ $x - V_{po} - \Delta V_p - R_o$ -KONZISZTENCIA KÖLCSÖNHATÁSÁRA

A 24. ábrával kapcsolatban tett feltételezéseinket korábbi vizsgálati adataink újraértékelésével lehet bizonyítani.

A 22.-24. ábrákon kiértékelt vizsgálataink során egy szállítmányból való cementet és homokos kavicsot használtunk, a beton levegőtartalmát a próbatestek tényleges térfogatának ellenőrzésével számítottuk. Korábbi vizsgálataink jelentős részénél a névleges térfogatot vettük figyelembe, ezért a vizsgálatok szórása nagyobb, de a 24. ábra tendenciái alapján értékelhető.

1985 évben több, nagymértékben eltérő szemeloszlású homokos kavicsal — ebből néhányat példaképpen a 25. ábra mutat be — jelentős mértékben telítetlen keve-



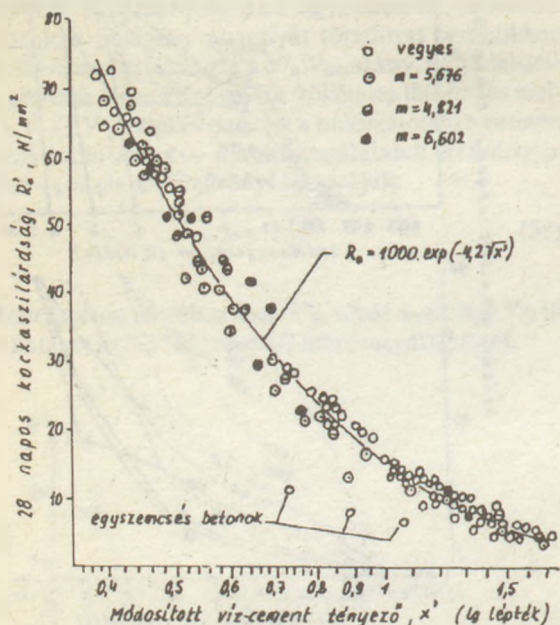
25. ábra. 1985 évi vizsgálatok szemeloszlási görbéi

7. táblázat

1985 évi betonvizsgálatok eredményei (váci 450 pc, $R_c=54,7 \text{ N/mm}^2$)

m	U	m'c	m'w	m'a	x	k_s	V_p	V_{po}	ΔV_p	V_{lb}	V_l	R	R_o	R'_o
7	1,5	131	85	1783	0,649	45	127	324	-197	25	222	6,3	7,1	45,2
8	1,5	131	70	1775	0,537	40	112	327	-215	10	225	7,8	8,1	57,7
9	1,3	134	58	1813	0,431	40	100	313	-213	24	237	10,5	11,7	89,7
5,53	22	130	134	2082	1,032	45	175	211	-36	0	36	10,2	10,2	12,3
		500	158	1797	0,316	40	319	211	+108	0	=	65,8	=	=
7,01	13	139	105	2209	0,76	40	150	173	-23	0	23	22,2	=	24,6
5,52	15	132	133	1061	1,009	40	178	219	-41	0	41	12,1	=	15
		500	155	1805	0,31	40	316	219	+97	0	=	72,5	=	=
4,82	12,7	130	149	2001	1,195	45	190	242	-52	0	52	6,8	=	9,1
4,37	9,9	129	158	1953	1,23	40	200	260	-60	18	78	4	4,3	6,6
		500	183	1731	0,366	40	344	260	+84	0	=	63,7	=	=
6,236	17,3	353	132	1991	0,374	40	245	194	+51	9	=	58,8	60,6	=
		500	156	1804	0,311	35	317	196	+121	10	=	67	69,3	=
7,09	71	131	106	2249	0,806	42	148	148	0	9	=	23,9	24,6	=
6,13	83	127	123	2166	0,973	45	164	180	-16	26	42	12,2	13,8	15,2
		209	122	2141	0,585	50	189	180	+9	17	=	35,1	37,7	=
6,441	24	261	116	2112	0,444	55	200	182	+18	10	=	53,5	55,4	=
6,981	10	137	103	2143	0,749	40	147	188	-41	29	70	17,3	19,9	27
6,8	37	131	110	2208	0,843	40	152	164	-12	10	22	19,9	20,6	21,9
7,362	21	131	105	2240	0,8	35	147	152	-5	0	5	21,2	=	21,5
7,5	16	138	97	2249	0,705	40	142	148	-6	0	6	28,3	=	28,8
7,544	56	131	98	2271	0,745	40	140	133	+7	0	=	25,7	=	=
4,472	15	131	158	1991	1,204	45	199	249	-50	14	64	8,6	9,1	12,7
4,2	8	130	161	1927	1,237	45	203	270	-67	0	67	6,5	=	9,8

réceket is készítettünk. Ezek néhány adatát — a terjedelm miatt kivonatossan — a 7. táblázat tartalmazza. A valamennyi vizsgálati eredményünket tartalmazó 26. ábrán

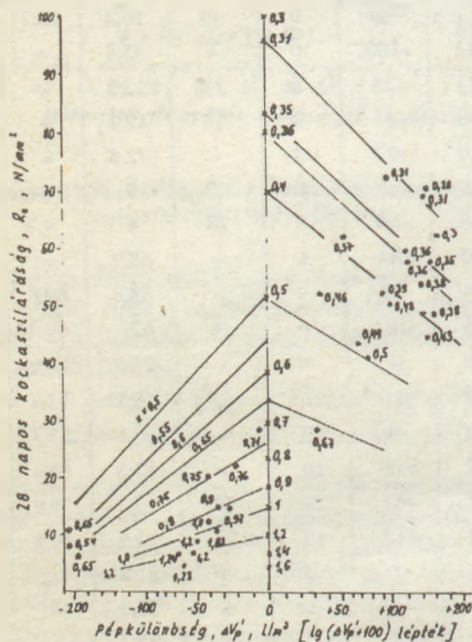


26. ábra. 1985 évi vizsgálatok eredményei a módosított víz-cement tényezőtől függően

az $x'-R_0$ összefüggés látható (x' -t az (57)-(58)-ból számítottuk). Az ábra adataira az

$$R_0 = 1000 \cdot \exp(-4,2 \cdot \sqrt{x'}) \quad (61)$$

függvény illeszthető, amelyből — a 10. fejezet szerint — a telített betonkeverékekre jellemző nyomószilárdság számítható.



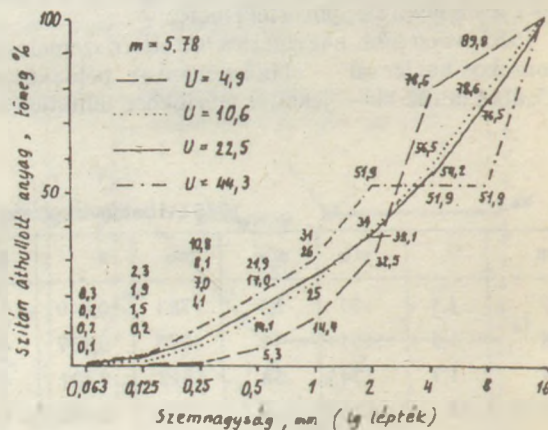
27. ábra. $\Delta x - k - R_0$ összefüggés az 1985 évi vizsgálatok alapján

A 27. ábrán $\Delta V_p - R_0$ függőlegesen a (61)-ből meghatározott R_0 -hoz tartozó $x-x'$ értékek vannak feltüntetve. Néhány vizsgálati eredményt tartalmaz a 27. ábra, de a $\Delta V_p - x - R_0$ összefüggést jellemző egyeneseket valamennyi vizsgálati eredmény figyelembevételével szerkesztettük meg.

Ezek az eredmények megegyeznek a 10. fejezetben összefoglalt következtetésünkkel: a módosított víz-cement tényező csak a telített, ill. a legfeljebb m_{c2} cement-tartalmú túltelített betonok tartományára értelmezhető, míg a telítetlen betonok esetében a várható nyomószilárdságot a tényleges x -ből, de az $x'-R_0$ összefüggésből számított nyomószilárdságnak a (31) függvény szerint a levegőtartalommal csökkentett értéke adja. Tehát, ha $V_p < V_{p0}$, akkor a 26.-27. ábra szerinti keverékekre:

$$R_0 = 1000 \cdot \exp(-4,2 \cdot \sqrt{x}) \cdot \exp[-0,035 \cdot (0,1 \cdot V_1)^{1,3}] \quad (62)$$

A $\Delta V_p - x - R_0$ konzisztencia - R_0 (továbbiakban röviden: $\Delta x - k - R_0$) összefüggés alkalmas arra, hogy a különböző szemeloszlású adalékanyagból készített betonkeverékek tulajdonságait — akár számítással — becsülni lehessen.

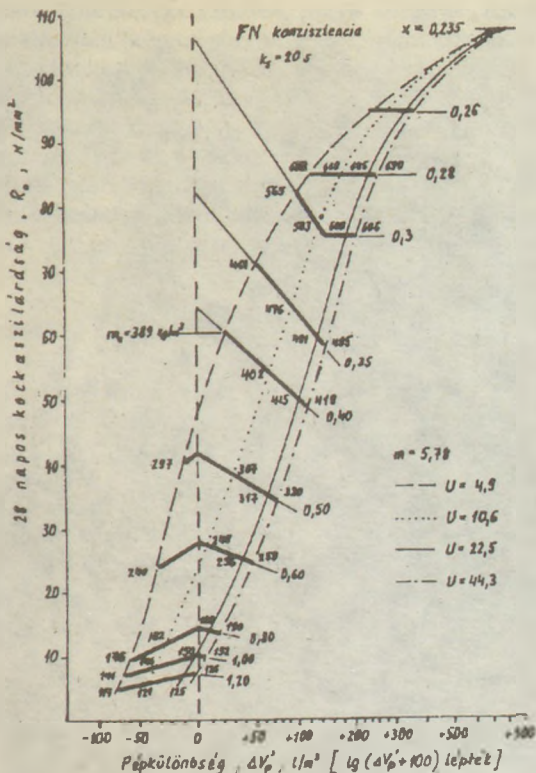


28. ábra. Azonos finomsági modulusú, de különböző graduáltságú szemeloszlások

1988 évben a 28. ábrán megadott változatlan szemmagyságú és finomsági modulusú, de eltérő egyenlőtlen-ségi együtthatójú homokos kavicsokból 350 kspc 20 cementtel azonos FN konzisztenciájú betonkeverékeket készítettünk ($k_0=20$). A vizsgálati eredményekből a $\Delta x - k - R_0$ összefüggést a 29. ábrán szerkesztettük meg. Az ábrából megállapítható, hogy

- $x < 0,5$ mellett a legkisebb homoktartalmú, legnagyobb pépigényű ($U=4,9$)
- $x \approx 0,6$ mellett a valamivel kisebb pépigényű ($U=10,6$),
- $x \approx 1,0 - 1,2$ mellett a legnagyobb homoktartalmú, legkisebb pépigényű, lépcsős szemeloszlású adalékanyaggal lehet elérni a legnagyobb nyomószilárdságot.

Ennek oka az adalékanyag graduáltságának és a cementtartalomnak a kölcsönhatása, ahogyan erre PALOTÁS [24] már korábban rámutatott, amikor tervezési el-



29. ábra. A 28. ábra szerinti szemeloszlású homokos kavicsokkal készített FN keverékek $\Delta - x - k - R_0$ összefüggése

járásában módszert adott a változó cementtartalmú keverékekre illeszkedő változó optimális finomsági moduluszámítására.

Az U egyenlőtlenégi együttható a szemcsés halmaz szemeloszlási görbéjének alakját, azaz graduáltságát fejezi ki. Ha azonos graduáltságú, de eltérő finomsági modulusú adalékanyaggal készített azonos konzisztenciájú betonkeverékek $\Delta - x - k - R_0$ összefüggését vizsgáljuk, azt találjuk, hogy azonos víz-cement tényezőjű betonok nyomószilárdsága gyakorlatilag változatlan, mert ΔV_p

értéke is gyakorlatilag állandó. Ennek az a magyarázata, hogy a finomsági modulus csökkenésével növekszik ugyan V_{p0} értéke, de növekszik az adalékanyag w_a vízigénye is, ezért változatlan x elérésére a cementtartalmat is növelni kell. A péptartalom növekménye arányos a pépigény növekedésével. Példaképpen 1988 évi vizsgálataink eredményeiből a $k_2=10$ víztartóképeségű és $x=0,4$ víz-cement tényezőjű keverékek három vizsgálati adatát mutatjuk be:

A beton nyomószilárdságának előbecslése, ill. összetételének tervezése az 1.-11. fejezetekben részletezett eredmények és összefüggések segítségével alakítható ki. A következő fejezetben a módszert és algoritmusait foglalkoztatjuk össze.

Irodalom

[18] Ujhelyi, J. (1973) Az új szabványoknak megfelelő minőségű kísérleti cementek betontechnológiai vizsgálata. I. Bp. ÉTI Kutatási Jelentés
 [19] Ujhelyi, J. (1974) A betonösszetétel tervezésének új szempontjai. Bp. ÉTI Kutatási Jelentés
 [20] Erntroy, H.C.-Shacklock, B.V. (1954) Design of High Strength Concrete Mixtures. Proc. Symp. of Mix Design. London
 [21] Ujhelyi, J. (1977) Magyar Építőipar. Bp. 8.szám
 [22] Newman, A.J.-Teychenné, D.C. (1954) Cement, Lime and Gravel London. Vol.28.No.12.
 [23] Popovics, S. (1986) ACI Journal. Jan.-Febr.
 [24] Palotás, L. (1952) Minőségi beton. Bp. Közlekedési Kiadó.

Ujhelyi, János: Prediction and Design of the Compressive Strength of Concrete, Part III.

Ujhelyi, János: Vorausbestimmung der Druckfestigkeit von Beton und Projektierung der Zusammensetzung. Teil III.

Уйхен, Я.: Предсказывание прочности бетона при сжатии и проектирование его состава. Часть III.

Aszbeszthulladékok hasznosítása a szilikátiparban

Amrich László - Tamás Ferenc

Veszprémi Vegyipari Egyetem, Szilikátkémiai és - Technológiai Intézet, Veszprém

Bevezetés

Az aszbeszt szervesetlen szálasanyag, melyet széleskörűen alkalmaznak a legkülönbözőbb műszaki területeken: hő-álló-hőszigetelő anyagként, aszbesztcement-termékek alapanyagaként, stb. Egyik legfontosabb alkalmazási területe a közlekedési eszközök fékberendezése: a közúti és sínhez kötött forgalomban résztvevő gépjárművek fékbetétei szinte kivétel nélkül tartalmaznak aszbesztzálakat, valamilyen műanyag mátrixban megkötve. A közúti járművek esetében a fékbetéteket "ferodo"-nak szokták nevezni (bár ez tulajdonképpen csak egy márkanév).

Minden fékezéskor parányi aszbesztzálak ezrei jutnak a légkörbe a ferodo kopása következtében. Az elhasznált fékbetét kicserélésre kerül, a megmaradt foszlányok hulladéknak számítanak. Ezeket korábban egyszerűen elföldelték.

Az aszbeszt egészségkárosító hatására kb. negyedszázaddal korábban figyeltek fel. Veszélyessége nem kémiai összetételében, hanem morfológiájában keresendő: a finom aszbesztzálak belélegezve eljutnak a hörgőkbe és a tödőbe és ott beékelődve, a szöveteket izgatva hozzájárulnak az "aszbesztózis" jellegzetes tüneteinek.

Hasonló a helyzet, mint a már régóta ismert szilikózis esetében: itt sem a szilícium-dioxid egésze, hanem annak kvarctartalma a veszélyes: a cement pl. sok szilícium-dioxidot tartalmaz, ennek ellenére még a nagy cementpor-terhelésnek kitett dolgozókat sem fenyegeti a szilikózis veszélye, mert itt a SiO_2 nem kvarc-, hanem kötött állapotban van.

A fentiekből következik, hogy az azbeszt egészségkárosító hatását kétféleképpen lehet kivédeni: vagy úgy, hogy az azbesztartalmú hulladékokat megbízhatóan elszigeteljük az emberi környezettől, vagy olyan körülményeket teremtünk, melyek közt az azbeszt elveszti szálak morfológiáját és egészségre veszélytelen állapotúvá válik. Mindkét eljárásra találunk példát a nemzetközi szakirodalomban.

Ebben a cikkben olyan megoldást ismertettünk, melynek lényege a szálak morfológiájának termikus elroncsolása szilikátipari égetőberendezésekben, olyan módon, hogy a szervetlen komponensek egyúttal nyersanyagként szolgálnak.

Az ilyen megoldás előnye, hogy nem szükséges külön ártalmatlanító berendezés (pl. hulladéktemető vagy incinerátor) létesítése, hanem a hasznosításra meglévő technológiai egységek alkalmasak. Meg kell jegyezni, hogy a termikus roncsolás során nemcsak az a lényeg, hogy az azbeszt elveszítse veszélyes morfológiáját, hanem a ferdőben lévő többi anyag (pl. műanyag) roncsolódása sem járhat veszélyes termékek keletkezésével.

Ilyen lehet pl. a műanyag aromástartalmából eredő, rendkívül mérgező dioxin, stb. Ezek azonban csak tökéletlen megbontás során (rövid ideig, alacsony hőmérsékleten, vagy nem kellően oxidáló atmoszférában) keletkeznek.

Anyagok

A munka során a Volán V. veszprémi és budapesti telephelyén összegyűlt ferodo hulladékokat vizsgáltuk. A hul-

1. táblázat

A veszprémi (Vp) és budapesti (Bp) ferodo hulladék és ásványi összetétele

ásványok	Vp	Bp
krizotil ($\text{Mg}_6[(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}]$)	33,10	24,86
dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)	7,95	MgCO_3 10,90
mészszó (CaCO_3)	11,65	5,40
barit (BaSO_4)	15,21	34,46
réz: Cu	2,50	0,14
cink: Zn	0,90	-
vas: Fe	2,20	0,20
alk. + TiO_2 + SO_3	0,60	1,58
Al_2O_3	1,63	1,07
Fe_2O_3	3,46	3,63
bakelit	19,00	16,50
Összeg	98,20 %	98,74 %



1. ábra. A Vp ferodohulladék elektronmikroszkópi képe

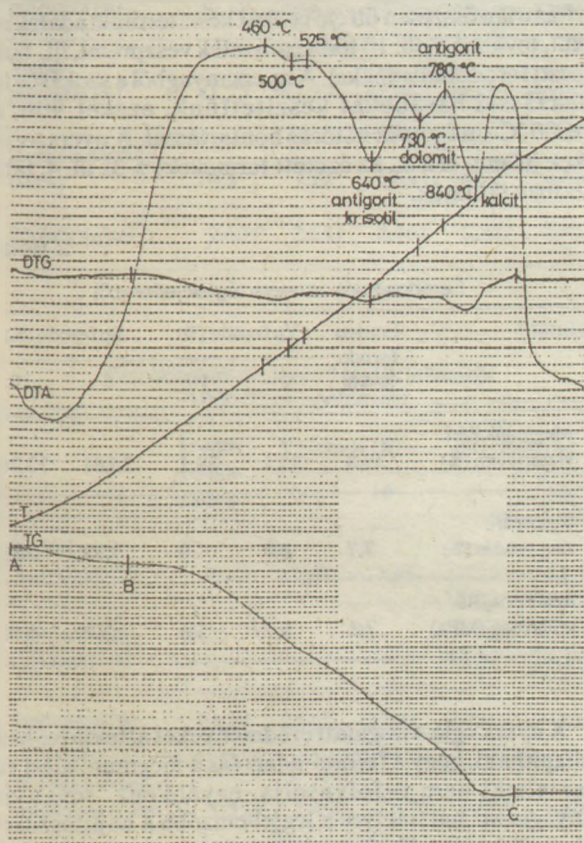


2. ábra. A Bp ferodo hulladék elektronmikroszkópi képe

ladékok sötétszürke színűek, poros állagúak. Ásványi összetételüket (kémiai- és röntgenvizsgálat alapján) az 1. táblázatban mutatjuk be. Látható, hogy a fő alkotók: azbesztásványok, alkáliföldfém-karbonátok, barit, továbbá a kötőanyagul szolgáló műgyanta. Az 1. és 2. ábrán a veszprémi (Vp) ill. budapesti (Bp) ferodopor elektronmikroszkópi felvételét mutatjuk be. Jól láthatók a finomszálazas azbesztásványok, továbbá a töltőanyag (barit) kötegei.

A minták termikus bontása

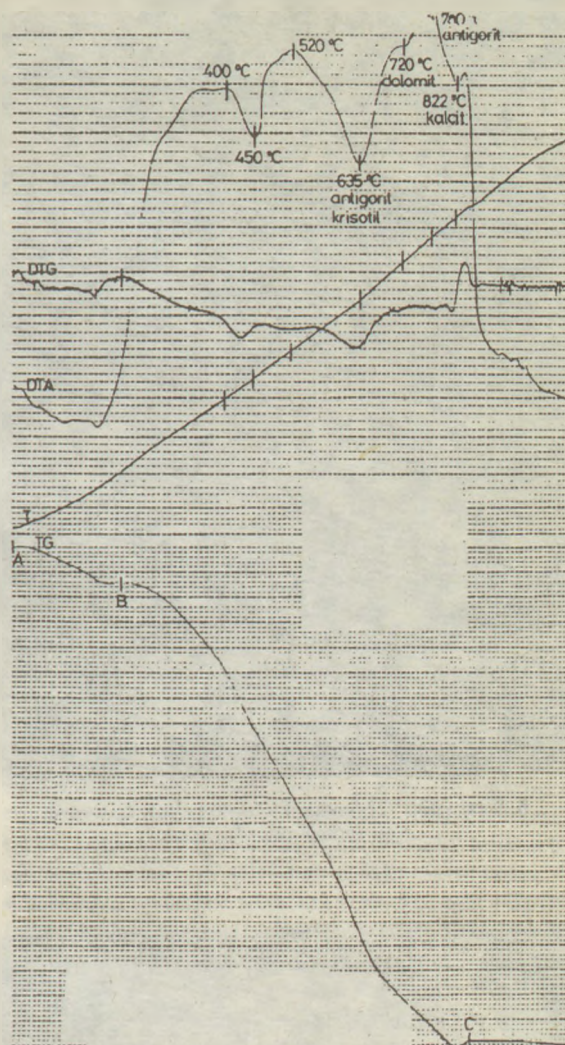
A hőhatásra történő elbomlás tanulmányozása érdekében derivatográfus felvételek készültek. A két jellemző minta derivatogramjának DTA-görbéit a 3. és 4. ábrán mutatjuk be. Mindketőn feltűnik 400-500 °C közt lejátszódó, igen intenzív kétlépéses exoterm csúcs: ennek oka a kötőanyag (fenol- formaldehid-gyanta) kiégése.



3. ábra. A Vp ferodohulladék derivatogramja

A számunkra érdekes mineralógiai változás 635-640 °C közt játszódik le: a krizotil ill. antigorit bomlása forsterit-réteggé az alábbi egyenlet szerint:

$Mg_6(OH)_8Si_4O_{10} \rightarrow 3Mg_2SiO_4 + 4H_2O + SiO_2$
 Természetesen a szabad SiO_2 tovább reagál a mészkő, ill. dolomit dekarbonizációja során keletkező aktív CaO- ill. MgO-dal. Az 1000 °C hőmérsékleten izzított minták röntgendiffrakciós felvételén azbesztásványok (krizotil, antigorit) egyáltalán nem mutatható ki: az anyag fő tömegében forsteritből, a szabad SiO_2 -ből és a dolomit föl-



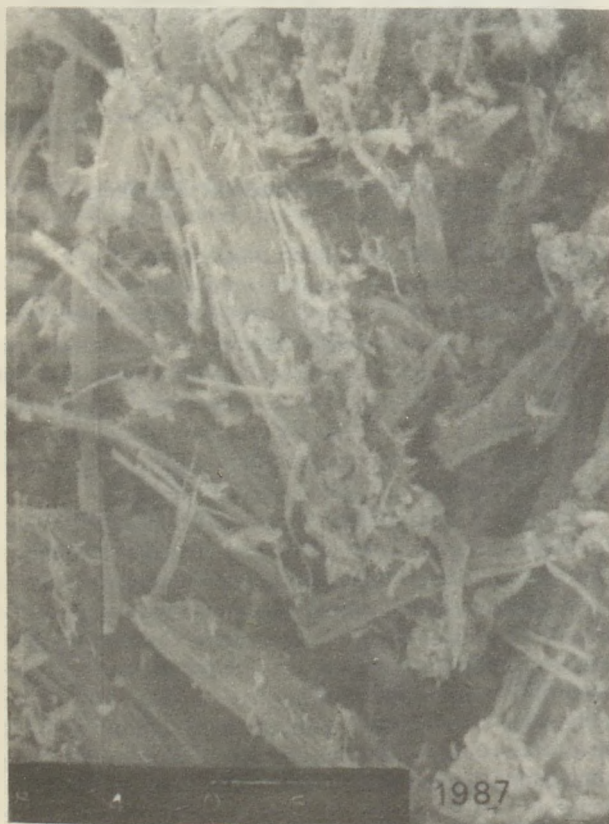
4. ábra. A Bp ferodohulladék derivatogramja

dalkáli-oxidjaiból keletkező diopszidból ($CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$), kis mennyiségű egyéb szennyezőből (pl. magnézium-ferritből és a ferodo réztartalmából eredő réz-oxidból áll). Ezek mind egészségre ártalmatlan ásványok. Ugyanakkor az elektronmikroszkópi felvételek tanúsága szerint a forsterit megőrzi az azbesztásványok szálazas szerkezetét (5. és 6. ábra). Ez azonban azbesztózis-veszélyt nem jelent, mert ezek a szálak simák, nincs az a tüdőt ingerlő pikkelyességük, mint az azbesztnek.

Gazdasági szempontból, meg környezetvédelmi megfontolások alapján is azonban nem elegendő az azbeszt (ferodo) hulladékot hőkezeléssel ártalmatlanítani, mert ezzel csak a hulladék mennyisége és veszélyessége csökken, de az izzítási maradék elhelyezése újabb költségekkel és területfelhasználással jár. Célszerűbb ennél a ferodo termikus ártalmatlanítása olyan módon, hogy valamely nagy hőmérsékletű szilikátipari folyamat során a ferodót nyersanyagként hasznosítsuk. Előfeltételek: 1. a hőmérséklet legyen olyan magas (min. 1000 °C) és a hőtartás olyan hosszú, mely az azbeszt átalakulását és a kötőanyag kiégését tökéletesen lehetővé teszi, és 2. a hulladék szervesanyag-tartalma a termék tulajdonságait ne rontsa, sőt lehetőleg hasznos adalékként minősüljön. Az



5. ábra. 1000 °C hőmérsékleten klizzított Vp ferodo elektronmikroszkópi képe



6. ábra. 1000 °C hőmérsékleten klizzított Bp ferodo elektronmikroszkópi képe

ilyen irányú hulladékfeldolgozás tehát nem (engedélyhez kötött) hulladékartatlanításnak, hanem (engedélymentes) hulladékhasznosításnak tekinthető.

Tekintettel a fent említett 2. pontra, nagyon kényes termék (pl. üveg, finomkerámia) esetében a ferodo valószínűleg nem alkalmas nyersanyagkomponensként. Mód van azonban a téglagyártási és cementgyártási hasznosításra. Az első esetben a hőmérséklet ugyan nem nagyon magas (kb. 950-1100 °C), de a tartózkodási idő hosszú; a második esetben az anyag hőmérséklete a zsugorító szakaszban eléri az 1450 °C-ot, de viszonylag rövid ideig tartózkodik e hőmérsékleten.

E megfontolások értelmében két irányú technológiai kísérletet folytattunk le.

Téglagyártási kísérletek

A téglagyártási kísérletekhez a Devecseri Téglagyárból származó szénadalékos nyerskeveréket használtuk: szárítás után összesen ötféle próbát készítettünk: adalék nélkül, továbbá 5, ill. 10 tömegszázalék veszprémi, ill. budapesti ferodohulladékkal. A nyersanyagból a szokásos formázással hasábokat készítettünk, ezeket 900, ill. 1000 °C-on égettük kétórás hőtartással. A nyers termékek jellemzői a 2., az égetett termékeké a 3., ill. 4. táblázatban láthatók.

2. táblázat

Ferodoadalékos nyers téglák jellemzői

	Eredeti ferodo nélkül	Vp ferodo (%)		Bp ferodo (%)	
		5	10	5	10
Megmunkálási víztartalom (%)	33,8	35,1	34,1	35,61	32,26
Száradási zsugorodás (%)	7,7	8,0	7,0	7,92	6,83
Száraz hajlítószilárdság (MPa)	7,2	6,77	5,6	4,40	4,10

A nyerstégla-vizsgálati eredményeket áttekintve megállapítható, hogy a ferodo-adagolás a megmunkálási víztartalmat nem befolyásolja, egyébként "soványító anyagként" hat, melyre a legjellemzőbb a hajlítószilárdság csökkenése. Hatása tehát azonos a szokásos szénbekeveréssel.

Az égetési vizsgálat alapján a ferodo adagolása bizonyos mértékben javítja a minőséget: csökken az égetési zsugorodás és nő a porozitás (azaz a hőszigetelőképeség). A szilárdság ezzel szemben csökken; e szempontból a Bp ferodo kedvezőbb, mint a Vp. A szilárdságcsökkenés ellenére az 1000 °C-on égetett termékek szilárdsága eléri az I. vagy a II. osztályú tömör vagy üreges téglá minőségét.

Az égetett téglákon végzett röntgendiffrakciós és elektronmikroszkópi vizsgálatok alapján semmiféle azbesztásvány vagy szálas jellegű termék nem mutatható ki.

3. táblázat

Ferodoadalékos égetett téglák jellemzői
900 °C-os égetés után

	Eredeti ferodo nélkül	Vp ferodo (%)		Bp ferodo (%)	
		5	10	5	10
Égetési zsugorodás (%)	1,04	0,20	0,32	0,09	0,07
Égetési tömeg-csökkenés (%)	19,10	20,10	20,82	18,97	19,28
Vízfelvétel (%)	24,24	25,93	27,34	22,35	26,47
Térfogati tömeg V_p testsűrűség (g/cm ³)	1,518	1,490	1,464	1,492	1,491
Látszólagos porozitás (%)	36,75	38,63	40,02	33,35	39,47
Valódi porozitás (%)	41,73	43,79	41,54	45,28	46,62
Hajlítózsilárdság (MPa)	10,5	7,22	6,65	8,63	8,29
Sűrűség (g/cm ³)	2,605	2,651	2,504	2,727	2,793

4. táblázat

Ferodoadalékos égetett téglák jellemzői
1000 °C-os égetés után

	Eredeti ferodo nélkül	Vp ferodo (%)		Bp ferodo (%)	
		5	10	5	10
Égetési zsugorodás (%)	0,87	0,49	0,48	0,26	0,18
Égetési tömeg-csökkenés (%)	-	-	-	23,37	24,36
Vízfelvétel (%)	24,21	25,68	27,28	26,30	27,22
Térfogati tömeg V_p testsűrűség (g/cm ³)	1,535	1,499	1,470	1,488	1,492
Látszólagos porozitás (%)	37,16	38,49	40,10	39,13	40,61
Valódi porozitás (%)	43,67	46,06	45,75	48,24	48,51
Hajlítózsilárdság (MPa)	16,5	12,2	8,35	11,6	9,93
Sűrűség (g/cm ³)	2,725	2,779	2,712	2,875	2,898

A téglagyártási kísérletek alapján megállapítható, hogy a ferodo hulladéknak a téglá nyersanyagába való adagolása minden tekintetben a szénadagolás hatásával

hasonlítható össze. Ugyanazon kedvező, ill. kedvezőtlen hatások jelennek meg a termék tulajdonságaiban. Üzemben a szénrel együtt mind a felszárász, mind a nedves téglagyártási eljárásnál, a Koller járatba (szekrényes- vagy köradagolóval) közvetlenül bejuttatható.

Azonkívül a ferodo dara mint értékes energiahordozó hasznosítható, anélkül, hogy a környezetet szennyezze, vagy értékes területet elfoglalva felhalmozódna, esetleg szeméttelenen a kommunális hulladékkal együtt füstölve, oxigénszegény környezetben, alacsony hőfokon elégne.

Cementgyártási kísérletek

A cementgyártás magas hőmérséklete és az erősen oxidáló atmoszféra szinte ideálissá teszi ezt a technológiát a fékbetétek hasznosítással egybekötött ártalmatlanítására. A betétek szervesanyag-tartalma nyersanyagként, a kötőanyag pedig energiahordozóként hasznosul. Azt természetesen figyelembe kell venni, hogy a ferodóban kevés a kalcium; a klinkertervezésnél ezt figyelembe kell venni és a kalciumhiányt mészkővel pótolni.

Kísérleteink során a BÉlapátfalvai cementgyárból származó nyerslisztet használtuk fel. A ferodo telítésszűző-csökkentő hatásának ellensúlyozására tatabányai eocén mészkövet használtunk. 1, 3 és 5% budapesti, ill. veszprémi ferodoport, ill. darát kevertünk a nyersliszt-höz, ez a mennyiség az eredeti 0,955 értékű telítési tényezőt 0,937, 0,925, ill. 0,910-re csökkentette volna. (Ezek az adatok a Vp ferodoadaléokra vonatkoznak; a Bp ferodo, nagyobb CaO-tartalma következtében kisebb mértékben csökkenti a telítési tényezőt). E hatást mészkőadagolással különböző mértékben kompenzáltuk.

Összesen 18 féle klinkert állítottunk elő 1430 ± 10 °C hőmérsékleten történő másfél órás hőntartással. A mintákat gyorsan hűtöttük a szokásos technológiának megfelelően.

Meghatároztuk a minták szabadmész-tartalmát, továbbá röntgen-diffrakciós vizsgálatokat is végeztünk, és kiszámítottuk a potenciális ásványi összetételt.

A számítás során természetesen figyelembe kell venni a ferodo bárium-szulfát-tartalmát. Ez a klinkerégetés során megbomlik, a keletkező BaO — a helyettesítési határig — beépül a klinker alitfázisába, ha pedig a mennyiség a helyettesítési határnál több, akkor nagy valószínűséggel az alit báriumtartalmú analogonja, a tribárium-szilikát keletkezik. Bár ez a vegyület is hidraulikus jellegű, de szilárdulási viselkedését nem ismerjük kellő mértékben, ezért a ferodo adagolást csak addig tartjuk megengedhetőnek, míg a tribárium-szilikát keletkezése elkerülhető. A termikus bomlás másik terméke, a kén-trioxid ugyanolyan módon viselkedik, mint a más forrásokból (pl. a tüzelőanyag vagy nyersanyag kéntartalmából) eredő egyéb SO₃. Ennek nagyrésze a tapasztalat szerint a klinkerben kötődik meg, más része pedig a füstgázokkal távozik. A javasolt adagolási szint mellett azonban nem kell számolni a SO₃-emisszió túlzott megnövekedésével.

Valamennyi vizsgálat arra utal, hogy a nyersanyagba történő mintegy 3% ferodo bekeverés nem befolyásolja a keletkezett klinker minőségét.

Természetesen a klinkertervezés során a ferodo okozta kémiai hatásokat figyelembe kell venni és megfelelő el-

lenintézkedésekkel kompenzálni (pl. a TT csökkenését mészkőadagolással kell ellensúlyozni).

A ferodo adagolása a cementipari nyersanyagáramba technológiai nehézséget okozhat, elsősorban a szívós, nehezen őrlhető jelleg miatt. Ezért a száraz technológiájú cementgyártás során a ferodo adagolása nem ajánlható. A nedves technológia során azonban a nyersiszapőrlo malom ezt az anyagot is fogadni tudja. Ezen a módon szinte teljes bizonyossággal kellő finomságúra és porzasi veszteség nélkül leőrölhető. Itt a homogenizálás nem sílókban, hanem iszap keverő medencékben, mind pneumatikus, mind mechanikus keverőkkel, a szokott módon végezhető.

Nedves eljárásnál vizsgálandó szempont az iszap-stabilitás kérdése, mely sokban függ az összetevő komponensek sűrűségétől. Ha ülepedésre, szétfajtázódásra hajlamos a nyersiszap, gyakrabban kell megkeverni a medencék tartalmát, mely energiátöbbletet jelent és forrása lehet klinker minőségi ingadozásoknak. Ezért érdemes megvizsgálni, hogyan illeszkedik a nyersliszt alkotók sűrűségi sorába, a ferodo sűrűsége. A cementgyári mészkövek sűrűsége: 2,65 - 2,70 g/cm³, az agyagoké: 2,55 - 2,65 g/cm³, a lösz- és homokliszté: 2,73 - 2,70 g/cm³ közé tehető. Az általunk használt két ferodo por sűrűsége: 2,33 - 2,34 g/cm³, tehát nincs lényeges eltérés a többi nyersliszt-komponenstől. A ferodo por nyersiszapba való beőrlése tehát nem okozhat iszap stabilitási gondokat annál is inkább, mert a vizes extraktumnak sincs lényeges alkáli tartalma.

Méréseink szerint 1,0 - 2,1 g össz alkáli oldható ki 1 kg ferodo porból:

3 %-os adagolást feltételezve ebből kb. 50 liter nyersiszap képződik, melynek reológiai tulajdonságait 1-2 g alkáli nem befolyásolja.

Másik bejuttatási lehetőség, ha a forodoport a szénőrlo malomba adagoljuk és a porszéntüzelés során a lángcsóvában juttatjuk be a forgókemencébe. Természetesen figyelembe kell venni a ferodo por kisebb fűtőértékét, valamint magasabb hamutartalmát és ebből adódó lánghőmérséklet-csökkentő hatását. Ezért a szénpor - ferodo por keverékének minimálisan a 18 - 19 MJ/kg fűtőértéket el kell érni. Hazánkban csupán egyetlen cementgyárban van nedves eljárású porszéntüzelésű klinker égetés, mégpedig Lábatlanon. Tehát mind a nyerslisztbe, mind a szénporba történő beőrléses immobilizációt — üzemi méretekben — csak itt lehetne kipróbálni és a tapasztalatok birtokában a két lehetőség közül választani.

Amrich László - Tamás Ferenc: Azbeszthulladékok hasznosítása a szilikátiparban

A gépjárművek fékbetét-hulladékai, azbeszttartalmuk következtében veszélyes hulladéknak minősülnek. A szerzők megállapították, hogy hőkezeléssel az azbesztásványok tökéletesen elbomlanak, veszélytelen forsterit alakulnak.

A fékbetétekben lévő kötőanyag megfelelően magas hőmérsékleten elég, környezetre káros anyagok keletkezése nélkül, a fékbetétek további szervesanyagai (kalcit, dolomit, barit) pedig nem veszélyesek. A termikus ártalmatlanítást a legcélszerűbb szilikátipari hőkezelő be-

rendezésekben (tégla-kemence, cementkemence) végrehajtani, a fékbetéthulladékokat a nyersanyaghoz keverve: ilyenkor a kötőanyag energiahordozóként, a szervesetlen alkotók nyersanyagkomponensként hasznosulnak.

Technológiai kísérletek bizonyítják, hogy kb. 10 % ill. 3 % fékbetét-hulladék bekeverése az ennek figyelembevételével tervezett téglá, ill. cement minőségét nem befolyásolja.

Amrich, László - Tamás, Ferenc: Utilisation of Asbestos Waste In Some Ceramic Industries

Brake linings usually contain asbestos minerals, consequently their wastes are considered hazardous. Authors studied the thermal behaviour of these wastes and determined that by adequate heat treatment asbestos minerals are completely decomposed and converted into non-hazardous forsterite.

During this heat treatment the binder matrix of brake linings is burnt away and the inorganic compounds of the brake linings (calcite, dolomite, barite) are environmentally safe. Thermal disposal can be done in existing ceramic kilns (brick or cement kilns), by mixing lining wastes to the raw material; in this way the matrix yields energy, inorganic components partially replace the raw material. Technological tests showed that the quality of the brick or of cement remains unchanged up to 10 % or 3 % addition of brake lining waste, resp., if the raw material composition is designed adequately.

Amrich, László - Tamás, Ferenc: Die Verwertung von Asbestabfällen in der Silikatindustrie

Die Bremsfutterabfälle von Kraftfahrzeugen werden anhand ihres Asbestgehaltes in die Kategorie der gefährlichen Abfälle eingestuft. Die Autoren konnten feststellen, dass sich die Asbestminerale durch Wärmebehandlung zur Gänze zersetzen und zu ungefährlichen Forsterit werden.

Die in den Bremsfutter befindlichen Bindemittel verbrennen bei Anwendung entsprechend hoher Temperaturen ohne, dass dabei gefährliche Stoffe entstehen. Die weiteren anorganischen Stoffe der Bremsbeläge /Kalcit, Dolomit, Baryt/ sind ungefährlich. Die Durchführung der thermischen Entschädigung sollte am zweckmäßigsten in Wärmebehandlungsanlagen der Silikatindustrie /Ziegelöfen, Zementöfen/ erfolgen, indem man die Bremsfutterabfälle mit den Rohstoffen vermischt. Dabei erfüllt das Bindemittel die Rolle des Energieträgers, und die anorganischen Komponenten können als Rohstoffbestandteile verwertet werden. Die technologischen Versuche bewiesen, dass durch etwa 10%, bzw. 3% Bremsfutterzugabe die Qualität des Ziegel, bzw. des Zementes nicht beeinträchtigt wird.

Амрих, Л. - Тамаш, Ф.: Утилизация асбестовых отходов в силикатной промышленности

Отходы тормозов автомашин, содержание асбест, относятся к категории вредных отходов. Авторы установили, что при температурной обработке асбестовые минералы полностью разрушаются, переходят в форстерит, который уже не является вредным минералом.

Вязущее вещество тормозов при соответствующей высокой температуре выгорает, без образования вредных для окружающей среды материалов, остальные неорганические материалы тормозов, такие как кальцит, доломит, барит также не являются вредными. Термическую обработку наиболее целесообразно проводить в тепловом оборудовании силикатной промышленности (кирпичные печи, цементные печи), смешивая тормозные отходы с сырьевым материалом: в таком случае вязущее вещество является энергоносителем, неорганические составляющие при этом играют роль сырьевых компонентов.

Технологические эксперименты показали, что 10% или же 3% тормозных отходов не оказывает влияние на качество кирпича или же цемента, при условии, если эта добавка была учтена при расчете сырьевой муки.

A portlandcementmátrixban alkalmazandó szilikátszálak lúgállósági vizsgálatának módszerei

Wojnárovits Ilona - Fodor Márta

Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet, Budapest.

BEVEZETÉS

A cementkötésű termékek kialakításánál a mesterséges szálak jó technológiai bedolgozhatósága, felületi és mechanikai tulajdonsága mellett fontos jó lúgállósága. A megfelelő minőségű szálanyag kiválasztása feltételezi a korrózió során lejátszódó kémiai és fizikai változások beható ismeretét. A szilikátszálak cementmátrixban való alkalmazhatóságával kapcsolatos szabványos vizsgálati módszer nincs, a szakirodalmi adatok különböző korrodeáló közegekre és kezelési körülményekre vonatkoznak. Ezzel magyarázható, hogy az azonos típusú szálanyagokra közölt eredmények is sok esetben ellentmondások.

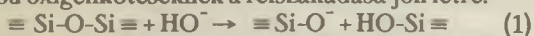
Kísérleti munkánkban bazalt- és üvegyapot modellanyagokon tanulmányoztuk a lúgállósági vizsgálatok optimális körülményét.

SZAKIRODALOM

Szilikátszálak lúgos korróziója

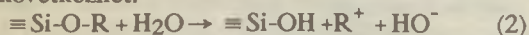
A portlandcement hidratációs termékei jelenlétében lejátszódó szálkorrózió, a nagymennyiségben keletkező $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mellett, a kismennyiségű alkálifém-hidroxidok is szerepet játszhatnak. Ez utóbbiak a cementgyártáshoz felhasznált nyersanyagok különböző alkáli-szilikát szennyeződéseiből erednek. A cementpépek kémiai összetételét tekintve mennyiségileg a $\text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{NaOH} > \text{KOH} > \text{LiOH}$; az üveggörrozió erőssége szempontjából pedig a $\text{NaOH} > \text{KOH} > \text{LiOH} > \text{Ca}(\text{OH})_2$ sorrend állítható fel (1).

Bázikus közeg hatására az üveg szilikátvázáának, azaz a hidállású oxigénkötéseknek a felszakadása jön létre:



Az oldat /üveg határfelületen lévő üres kationpozíciókat ($\equiv \text{Si}-\text{O}^-$) az oldatban lévő alkálifém- és alkáliföldfémionok foglalják el. A hidratált szilikátcsoportok, illetve a különböző bázikus ortoszilikátok leválása révén, az üvegfelület fokozatosan oldódik /2-3/.

Lúgos korrózióánál az (1) egyenletben jelölt folyamaton kívül, bizonyos körülmények mellett ún. rosthidrolízis is bekövetkezhet:



Ennek során az üvegfelületi alkálifémionok ($\text{R} = \text{Na}, \text{K}, \text{Li}$) az oldatban lévő hidrogénionokkal helyettesítődnek, ez a folyamat akkor játszódik le, ha a szálban lévő alkálikoncentráció nagyobb, mint a korrodeáló közegben (4).

A korrózió időbeli változását jelentősen befolyásolhatja a szálfelületen kialakuló reakciótermékreteg jellege (összetétele, porozitása stb.), mely mind a szál, mind pedig a korrodeáló közeg összetételének is függvénye.

Szilikátszálak lúgállósági vizsgálatának módszerei

A szálanyagok lúgállósági meghatározására szabványos módszer nincs, ennek kiválasztását nagymértékben befolyásolja a vizsgálat célja. A szálak portlandcementmátrixban való alkalmazhatóságával kapcsolatos lúgállósági adatok is különböző körülményű kezelésekre és korrodeáló közegekre vonatkoznak, mely utóbbiak lehetnek pl. (1, 5-10):

- NaOH;
- 1 n NaOH és 1 n Na_2CO_3 1:1 keveréke/TGL 14802, DIN 52322, CSN 700533/;
- telített mésvíz;
- cementoldat;
- 0,88g/l NaOH, 3,45 g/l KOH és 0,48 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tartalmú oldat, melynek pH értéke kb. 12,5;
- 8g/l NaOH, 42g/l KOH és telített $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oldatok 1 n keveréke, mely összetétele a cementpórus vízéhez hasonló.

Adott körülményű kezelése után általában vizsgálják a szálmérő, a kioldott anyagmennyiség, a szál tömegének, a szálméchanikai és morfológiai jellemzők stb. változását (1, 7, 11-13).

A szálból kioldott komponensek analízisével is foglalkozó munkák általában $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vagy NaOH-os kezelést alkalmaznak, mivel többkomponensű korrodeáló közeg esetén ez csak nehezen, vagy egyáltalán nem tanulmányozható.

Telített mésvízes kezelés

A szilikátszálak azbesztcementipari felhasználásával kapcsolatos lúgállósági meghatározásra igen elterjedt a telített mésvízes eluálás, mivel a cementpéppel érintkező vizes fázis pH-ja potenciálisan a telített kalcium-hidroxid oldaténak ($\text{pH} \approx 12$) felel meg (14, 15).

Mach és Machova (1) a különböző összetételű szilikátszálakat telített mésvízben, 20 °C-on 1 évi tárolás során vizsgálta. A polietilén edénybe helyezett 20 g ásványgyapthoz 600 ml, 1060-1100 mg/l CaO-tartalmú oldatot öntöttek. A tárolás első hónapjában a palackokat hetenként 2x1 min, majd ezután csak 1x1 min ideig rázógéppel rázták. A szálkorrózió mértékére a morfológiai változásokból és az oldatban lévő kalciumionok fogyásából következtettek. A szerzők felhívták a figyelmet a kezelés utáni azonnali kémiai analízis fontosságára, mivel az oldat elkarbonátosodása mérési hibát okoz.

NaOH oldatban végzett vizsgálatok

A szálanyagok és ennek alapanyagául szolgáló üvegek lúgállósági minősítésére a NaOH korróziós közeget is

gyakran alkalmazzák. A szakirodalomban közölt, ezzel kapcsolatos vizsgálati módszerek rendkívül eltérőek.

Mazo és munkatársai (11) a különböző összetételű, de azonos átmérőjű üvegszálak lúgállóságát 96 °C-on 2n NaOH oldatban, 1–12 órás kezelés során a szálmérő és súlyváltozás alapján vizsgálták.

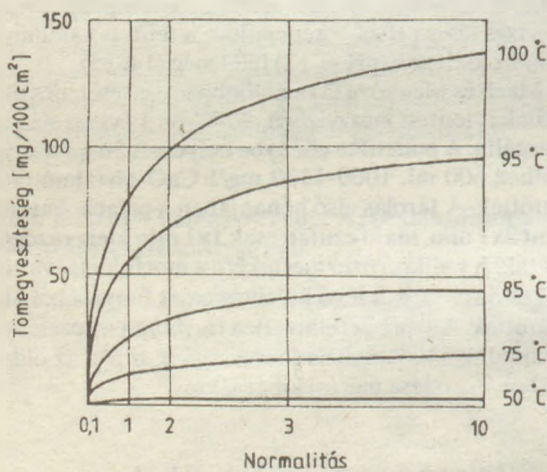
A szálanyagok kémiai stabilitását összetételén kívül szálmérőeloszlása is befolyásolja (1), amit az előző módszerrel nem lehet figyelembe venni. Ezért Majumdar és Ryder (12) a lúgállóságot az előzetesen keretre feszített, ~ 100 °C -on (azaz vízfürdőn melegített) 1 n NaOH oldatban 1,5 órát kezelt szálakon közvetlenül mérte. A szálmérőstabilitást a szálmérőváltozás eredetire vonatkoztatott értéke adta.

Más kutatók (13) a portlandcement erősítésre alkalmazható üvegszál alapüvegének a vizsgálatára a következő módszert javasolják: 4g porítással előállított < 0,315 mm szemcseméretű üvegdarabot perforált polietilén edénybe helyeznek, melyet 200 cm³ 100 °C-os 5 n NaOH oldatba merítenek. 4 órás kezelés után meghatározzák a minta tömegcsökkenésének eredetire vonatkoztatott értékét.

Ipari üvegek alkáliakkal szembeni ellenállóképességét az erre vonatkozó szabványok (ČSN 700533, DIN 52322, TGL 14802 stb.) szerint határozzák meg: adott felületű (15–20 cm²) üveget 1n NaOH és 1n Na₂CO₃ (1:1) keverékében 3 órát forralják és az anyag tömegváltozását mintafelületre vonatkoztatva (mg/100cm²) adják meg.

A különböző módszerekkel kapott eredmények összehasonlításánál figyelembe kell venni, hogy a lúgállóságot nagymértékben befolyásolja a vizsgálati körülmény, így: a korrodeáló közeg koncentrációja, mennyisége, a kezelési idő és hőmérséklet.

Az alkáli-boroszilikát üvegeknél kimutatták, hogy a 0,1–1n NaOH koncentrációtartományban a korrózió erősen növekszik, míg 2–10n között a változás csak kismértékű (1. ábra). A kvarcüveg különböző hőfokú kezelésénél viszont, a 0,5–3n tartományban, a kioldott anyag tömege és az oldatkonzentráció között lineáris összefüggést állapítottak meg (4). Egyes kutatók (16) 0,1–5n NaOH koncentrációnál vizsgálták a különböző üvegek kor-



1. ábra. Alkáli-boroszilikát üveg különböző hőfokú 3 órás lúgos korróziójánál a kioldott anyag tömegének változása a NaOH koncentráció függvényében (4).

rózióját. A Li-, Na- és K-szilikát üvegekhez a többértékű oxidok meghatározott mennyiségét adagolták. A kioldott anyag tömege és az oldatkonzentráció között lineáris összefüggést csak néhány háromalkotós rendszerrel tapasztaltak. A MnO, Fe₂O₃, PbO, CoO bevittele korróziós maximum kialakulásához vezetett. Hasonlót állapított meg Lipinski és Saniewska (13) is a cementerősítésre szolgáló üvegszál alapüvegének a vizsgálatánál.

A kezelési idő lúgos korrózióra gyakorolt befolyása szoros kapcsolatban van a korrodeáló oldat mennyiségével. Ha az üveget nagymennyiségű, vagy állandóan cserélt lúgoldat éri, akkor az üvegekorrózió időben lineárisan nő (4,17). Adott korróziós közegben végzett folyamatos kezelésnél a szervesetlen szálanyagok szálmérő, illetve tömegváltozása bizonyos idő után csökken, azaz a lineáristól eltér (11,17), melynek magyarázata a szakirodalomban nem egyértelmű.

A hőmérséklet korrózióra gyakorolt hatása az Arrhenius összefüggéssel írható le. Gyakorlati szabályként adódik, hogy a szobahőmérséklet (20 °C) 100 °C-ra emelésével a korróziós hatás kb. 10³ faktossal növekszik (4).

VIZSGÁLATI MÓDSZER

A lúgállósági vizsgálatok megfelelő körülményének behatárolására két különböző típusú szálanyagot (1. táblázat) telített mézvízben (pH=12,8) 105, 70, 40 és 20 °C-on, illetve 1n NaOH oldatban 70 °C-on folyamatosan eluáltuk.

1. táblázat

Vizsgált szálanyagok jellemzői

Komponensek	bazaltgyapot	üvegyapot
	tömeg %	
SiO ₂	41,50	63,45
Al ₂ O ₃	14,66	3,45
TiO ₂	1,62	0,05
FeO	5,63	0,22
Fe ₂ O ₃	1,23	<0,01
CaO	20,51	7,39
MgO	10,23	3,25
K ₂ O	1,51	1,66
Na ₂ O	2,54	12,69
SO ₃	0,21	0,33
átl. szálmérő (μm)	5,8	7,0
átl. szálhossz (mm)	21	9
fajlagos felület (m ² /g)	0,18	0,16

105 °C-on (nyomás alatt) általában 1, 4, 24, 50, 100 és 200 órás, míg 70, 40 és 20 °C-on 1, 4, 10, 20, 30, 50, 60, 80, 100 napos folyamatos kezelést végeztünk. Kísérleteinknél 1:40 anyag-lúg tömegarányt (5g anyag+200 ml lúgos közeg) alkalmaztunk. Ez biztosította a szálak tökéletes elfedését és közelítően megfelelt az üvegszálak pH vizs-

gálatára vonatkozó DIN 54275 és DIN 54776 szabványok előírásának.

A korrózió során bekövetkező változásokat egyrészt a szálak morfológiai, mikroszkópi és röntgendiffrakciós vizsgálatával, másrészt a kioldott komponensek kémiai analízisével és az oldat konduktivitásának mérésével tanulmányoztuk.

Következőben részletesen csak az oldat kémiai analízisével foglalkozunk.

Esetenként két párhuzamos kezelés után, az oldatot fekete-szalagos szűrőpapíron melegen átszűrjük (azaz a mintától elkülönítettük) és a kezelt szálanyag mosófolyadékkal kiegészítve 250 ml-re hígítottuk. A kísérleteinkhez felhasznált telített mészvíz CaO-tartalmát és a szervesetlen szennyeződések (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O) mennyiségét minden esetben meghatároztuk és az analitikai vizsgálatok eredményét ennek megfelelően korrigáltuk. Az egyes ábrákon feltüntetett kioldott anyagmennyiség 5g mintára vonatkozik.

Egyes kezeléseket után az oldatot (a karbonátosodás és az SiO_2 kiválás elkerülésére) azonnal analizáltuk, melyre a következő módszereket alkalmaztuk.

Szilícium-dioxid tartalom spektrofotometriás meghatározása: A módszer a szilícium-molibdenát heteropolisav sárga komplexének képződésén alapszik, mely az ortokovaszavnak ammónium-molibdenáttal, savas közegben ($\text{pH}=1-1,5$) lejátszódó reakciójának eredménye. A meghatározást zavarják azok az ionok, melyek az ammónium-molibdenáttal savas közegben színes vegyületet képeznek. E zavaró hatások kiküszöbölésére és az érzékenység növelésére, a sárga színű szilícium-molibdenátot redukció útján kék színű komplexé alakítottuk. A mérés 800 nm hullámhosszon történt.

Alkáli-fém-oxid tartalom lángfotometriás meghatározása: A nátrium és káliumtartalmat a kalciumionok ammónium-oxaláttal történő leválasztása után, a szűrletből határoztuk meg. A nátriumnál 589 nm, a káliumnál 766 nm hullámhosszon végeztünk méréseket acetilén-levegő lángban.

Alkáli-földfém-oxidok atomabszorpciós spektrofotometriás meghatározása: A kalcium- és magnéziumtartalom közvetlenül, leválasztás nélkül mérhető. Levegő-acetilén lángban végzett méréseknél, a kémiai zavaró hatásokat lantan sók adagolásával küszöböltük ki. A kalciumot 422,7 nm, magnéziumot 285,2nm hullámhosszon mértük.

Bór-oxid tartalom potenciometriás meghatározása: Az oldatban lévő zavaró kationok (aluminium, vas, kalcium, magnézium stb.) lekötésére citromsavat alkalmaztunk. Az oldatot semlegesít és mannit hozzáadása után, nátrium-hidroxiddal titráltuk. A végpontjelzés potenciometriás úton történt.

Alumínium-oxid tartalom spektrofotometriás meghatározása: Az alumínium solochrom-cyanin-R reagenssel, ammónium-acetátot tartalmazó oldatban ($\text{pH}=5,5-6$) színes komplexet képez, mely 540 nm-nél fotometrálnak. A zavaró fémionok (Fe, Mn) maszkírozása tioglikolsavval történt.

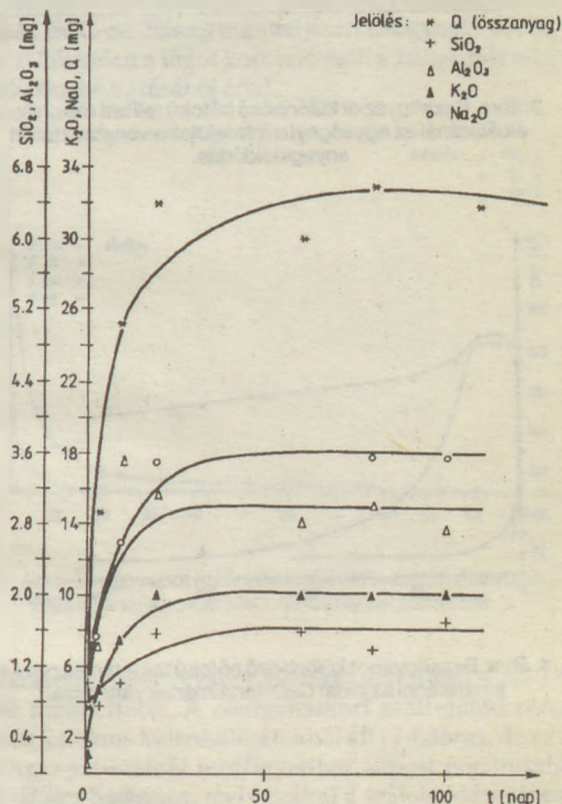
Vas /III/-oxid tartalom spektrofotometriás meghatározása: A szulfo-szalicilsavval, az ammónium-hidroxidos közegben előállított, sárga színű komplex vegyület fényelnyelését 410 nm hullámhosszon mértük.

KISÉRLETI EREDMÉNYEK

Telített mészvizes eluálás

Bazaltgyapot

A bazaltgyapot telített mészvizes kezelése során jellemző, hogy az eredeti anyagban jelentős mennyiségű vas egyáltalán nem, a magnézium pedig csak 10^{-2} mg nagyságrendű mennyiségben oldódott ki (2.ábra). A szálban



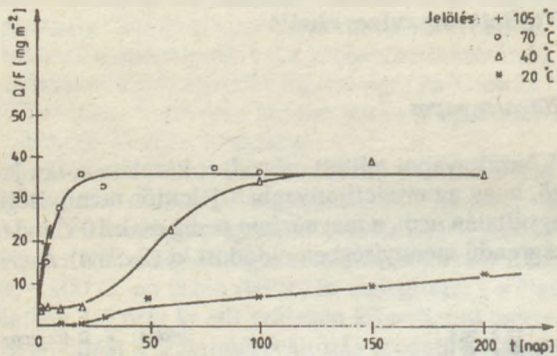
2. ábra. Telített mészvízben 70°C-on eluált bazaltgyapottól kioldott komponensek tömege.

lévő titán, illetve kén az oldatban nem mutatható ki. Az összkiváltott anyag tömegén (Q) belül, a hálózataalkotó-oxidok (SiO_2 , Al_2O_3) aránya majdnem egy nagyságrenddel kisebb a módosító-oxidokéhoz (K_2O , Na_2O) képest.

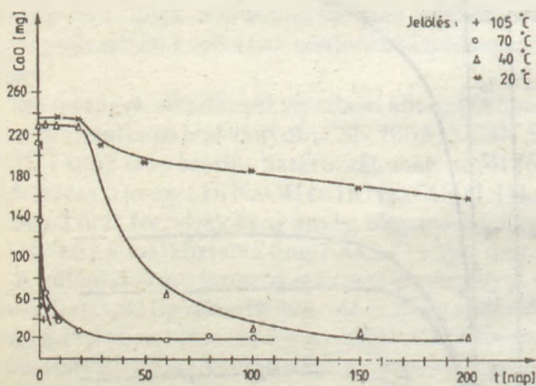
Alacsonyabb hőfokú eluálásnál egy bizonyos idő elteltével (40°C-on 20 nap, 20°C-on 40 nap) kialakuló közel lineáris száloldódás fokozatosan csökken, majd 70 és 40°C-on hasonló mértékű anyagkioldódás után teljesen leáll (3. ábra). A folyamat időbeli változását jól tükrözi az oldat CaO-fogyása (4. ábra). Ez alapján a korrózió teljes lefékezéséhez hasonló CaO-tartalomnál jön létre.

A 4-5. ábrák összehasonlításából arra következtethetünk, hogy az oldat konduktivitása elsősorban CaO-tartalmának függvénye.

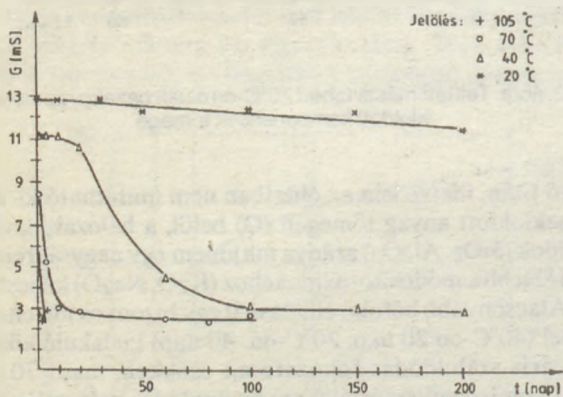
Az előzőekből megállapítható tehát, hogy a korrózió kezdeti szakaszában a kismértékű szilikátvázoldódás mellett, a kálium-, és nátriumionok jelentős kilúgozódása jön létre. A hídállású oxigénkötések felszakadása során keletkező üres kationpozíciókat főként az oldatban



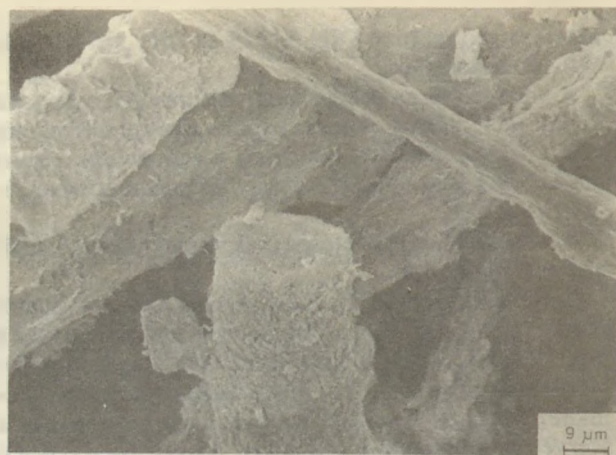
3. ábra. Bazaltgyapot különböző hőfokú telített mészvizes eluálásánál az egységnyi mintafelületre vonatkoztatott anyagoldódás.



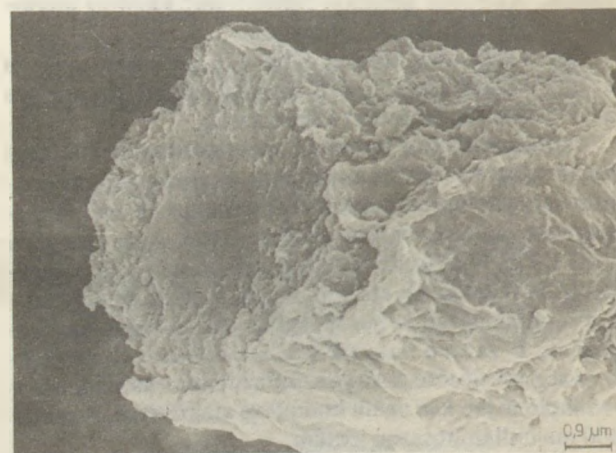
4. ábra. Bazaltgyapot különböző hőfokú telített mészvizes eluálásánál az oldat CaO-tartalmának változása.



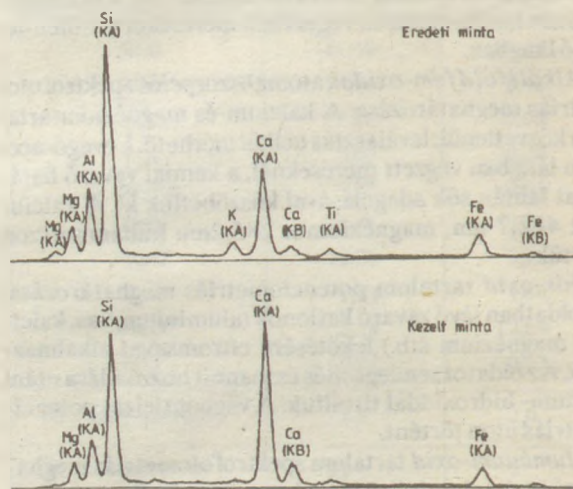
5. ábra. Bazaltgyapot különböző hőfokú telített mészvizes eluálásánál az oldat konduktivitásának változása



6. ábra. Bazaltgyapot 70°C-on 60 nap telített mészvizes kezelés után.



7. ábra. Bazaltgyapot 70°C-on 100 nap telített mészvizes kezelés után.



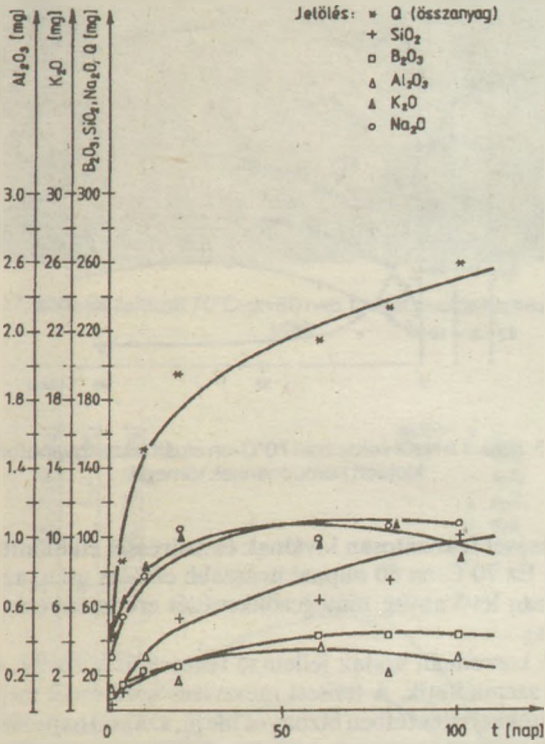
8. ábra. Eredeti és telített mészvízben 70°C-on 60 napot kezelt bazaltszál röntgenspektruma.

lévő kalciumionok foglalják el. A röntgenamorf szálfelületi réteg jellegzetes morfológiáját a 6-7. ábrák szemléltetik, mely a mikroszondával felvett röntgenspektrumok összehasonlítása alapján (8. ábra), főként kalcium-hidroszilikátokból áll.

Elektronmikroszkópi vizsgálattal megállapítottuk, hogy alacsonyabb kezelési hőfokon egyre hosszabb idő után figyelhető meg, a bizonyos vastagság eléréseivel a száloldódást csökkentő "védőbevonat" kialakulása.

Üveggyapot

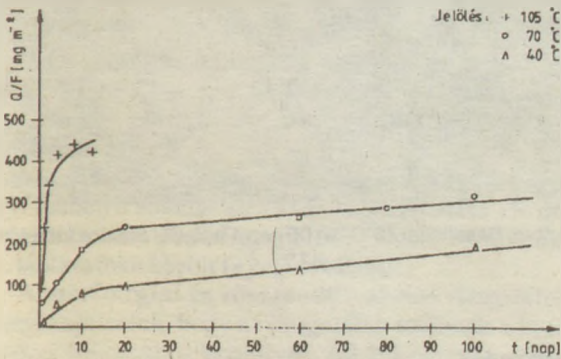
Az üveggyapot telített mészvizes kezelése során, a kioldott anyag tömege szempontjából az Na_2O , SiO_2 és B_2O_3 a meghatározó (9. ábra). A bazaltgyapothoz képest igen



9. ábra. Telített mészvízben 70°C-on eluált üveggyapotból kioldott komponensek tömege.

erős üvegvázoldódás ($\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3$) az üvegszál nagy alkálifém-oxid tartalmával, illetve a rosthidrolízis következtében oldatba jutó nátriumionok vázbontó szerepével magyarázható. Az üveggyapot mészvizes eluálásánál tehát, a $\text{Ca}/\text{OH}/2$ hatásával párhuzamosan NaOH -os korrózió is lejátszódik.

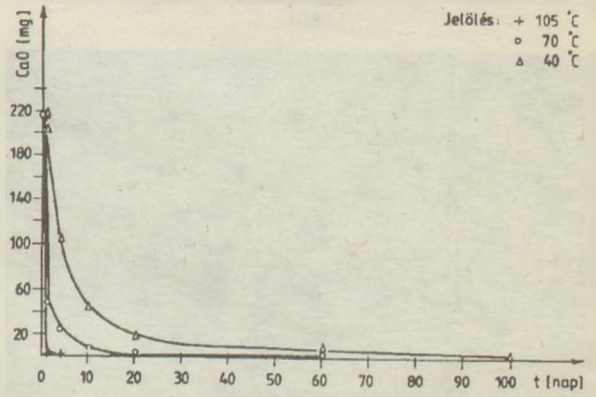
Alacsonyabb kezelési hőfokon a kisebb kezdeti anyagkioldódás bizonyos idő után csökkenő sebességgel folyta-



10. ábra. Üveggyapot különböző hőfokú telített mészvizes eluálásánál az egységnyi mintafelületre vonatkoztatott anyagkioldódás.

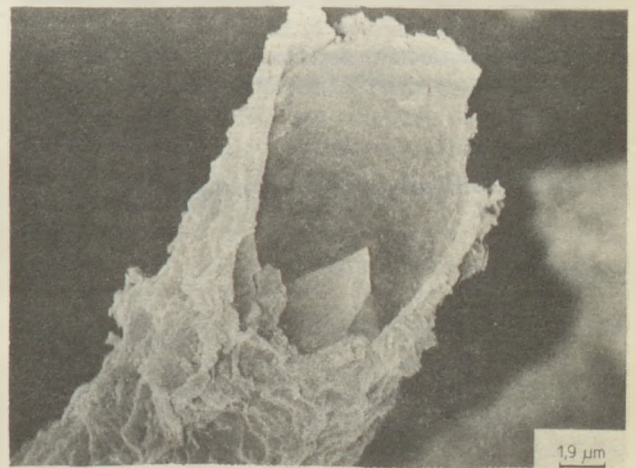
tódik (10. ábra). A bazaltgyapotnál megfigyeltekkel ellentétben, a korrózió leállása nem tapasztalható, magasabb hőmérsékleten erősebb száloldódás jellemző. A kioldott anyag egységnyi szálfelületre vonatkoztatott tömege alapján, a bazaltgyapot lúgállósága kb. egy nagyságrenddel jobb, mint az üvegszálé. Ez a bazaltszálak viszonylag magas vas-, magnézium- és alacsony alkálifém-tartalmával magyarázható.

A telített mészvíz CaO -fogyása (és tendenciájában analóg változó konduktivitása) az oldódási sebesség változásáról csak közelítő információt ad, mivel az oldatban lévő kalciumionok szálfelületi beépülésük folytán 105°C-on 24 h, 70°C-on 20 nap után teljesen elfognak (11. ábra). Ezt követően a lúgos korrózió csak a kilúgozott alkálifémkationok hatásából ered.

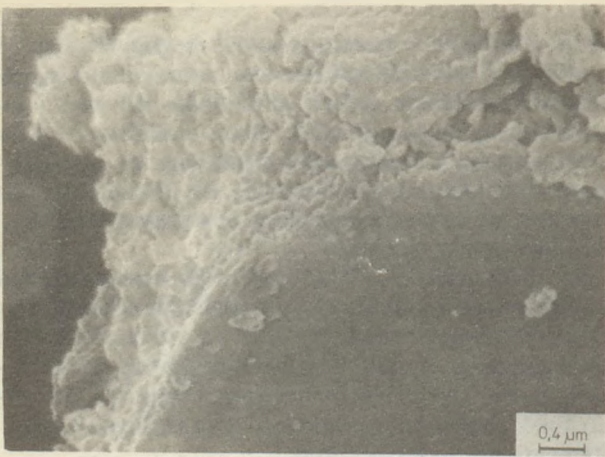


11. ábra. Üveggyapot különböző hőfokú telített mészvizes eluálásánál az oldat CaO -tartalmának változása.

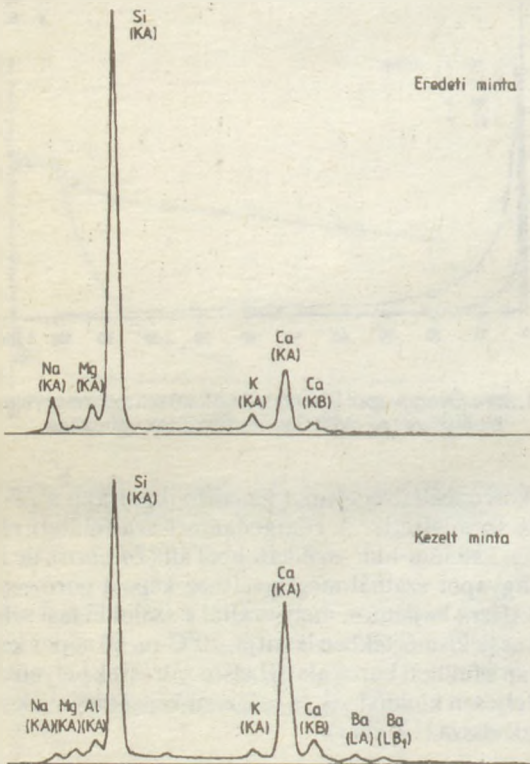
A korrodált üveggyapot jellemző texturáját a 12-13. ábrák szemléltetik. A röntgenamorf szálfelületi réteg szintén kalcium-hidroszilikátokból áll (14. ábra), de ez a bazaltgyapot-szálnál megfigyelthez képest porózusabb és leválásra hajlamos, mely ezáltal a száloldódási sebességet csak kismértékben lassítja, 70°C-on 60 napos kezelés után a felületi burok alatti belső szálrészek helyenként már teljesen kioldódnak és csőszerű képződmények maradnak vissza (12. ábra).



12. ábra. Üveggyapot 70°C-on 60 nap telített mészvizes kezelés után.



13. ábra. Üvegyapot 70°C-on 100 nap teltett mészvizes kezelés után.

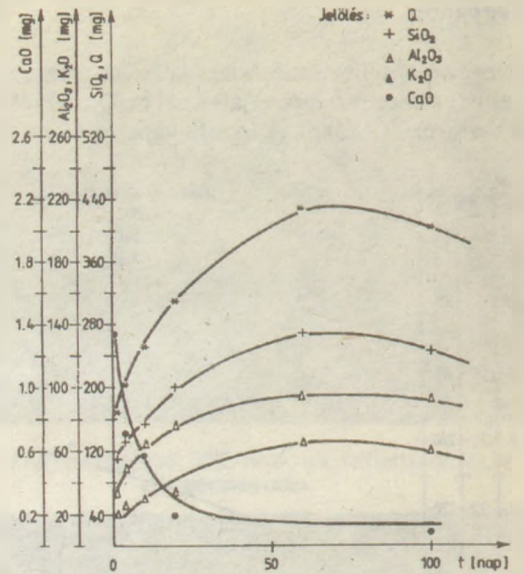


14. ábra. Eredeti és teltett mészvízben 70°C-on 60 napot kezelt üvegszál röntgenspektruma.

1 n NaOH oldatban végzett vizsgálatok

Bazaltgyapot

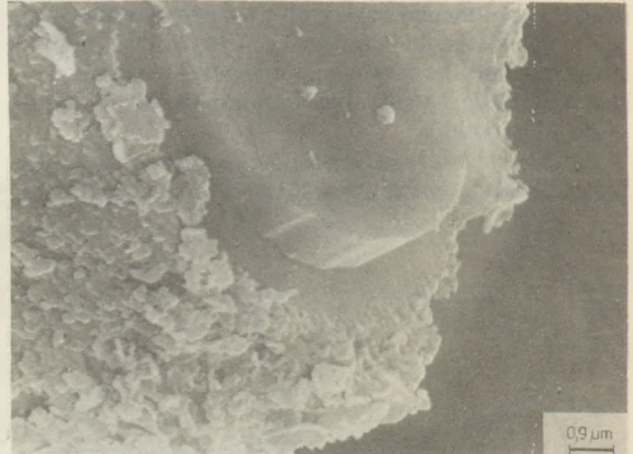
A bazaltszálak NaOH-os eluálásánál, a hasonló körülményű teltett mészvizes kezeléshez képest az SiO₂ kb. két nagyságrenddel, az Al₂O₃ egy nagyságrenddel, a K₂O hat-szor erősebben oldódik ki (2. és 15. ábrák összehasonlítása). A korrozio kezdetén az oldatban kimutatott nagyobb mennyiségű kalcium idővel teljesen eltűnik (ami részben szárfelületi visszaépülésével függhet össze). Az oldatban lévő bázikus ortoszilikátok oldható mennyiségük át-



15. ábra. 1 n NaOH oldatban 70°C-on eluált bazaltgyapottól kioldott komponensek tömege.

lépésével fokozatosan kiválnak és szűréssel elkülöníthetők. Ez 70°C-on 60 napnál hosszabb eluálás után, az oldatban lévő anyag tömegcsökkenését eredményezi (15. ábra).

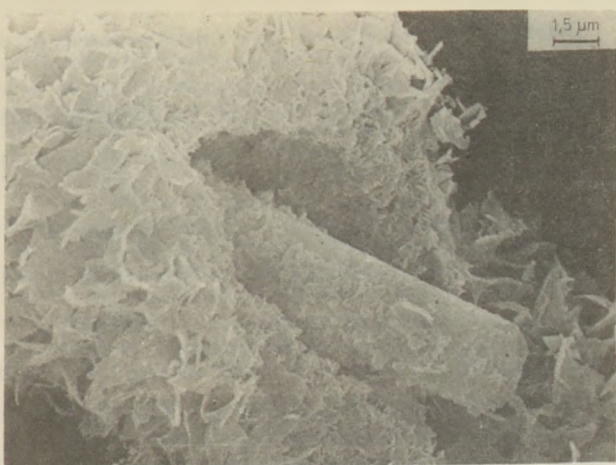
A korrodált szálak jellemző texturáját a 16-17. ábrák szemléltetik. A teltett mészvizes kezelésnél megfigyeltekkel ellentétben bizonyos idejű, azaz 60 nap eluálás után teljesen kristályos, a röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján főként Al-tobermoritból álló [Ca₅Si₅Al/ OH/ O_n · 5 H₂O] felületi réteg alakul ki, mely alatti szárszálak erős oldódása jellemző. A kalciumban dús reakciótermék a bazaltszál kalciumtartalmának nagymértékű kioldódására utal.



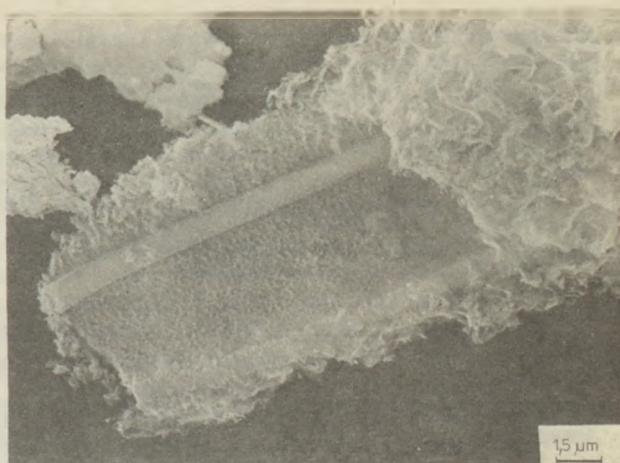
16. ábra. Bazaltszál 70°C-on 20 nap 1 n NaOH oldatos kezelés után.

Üvegyapot

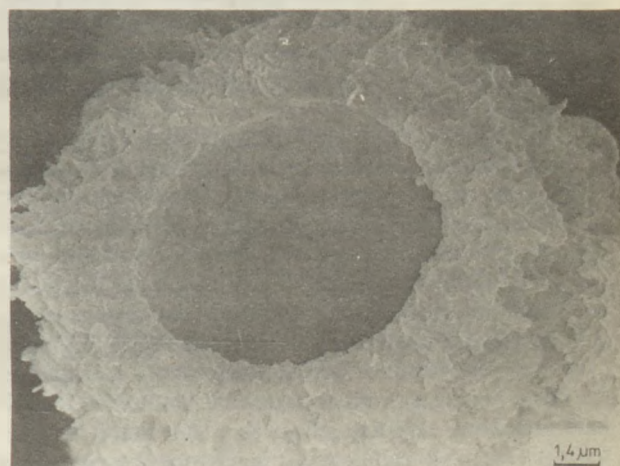
Az üvegszálak NaOH-os kezelése során (18. ábra), a hasonló körülményű mészvizes eluáláshoz viszonyítva az SiO₂, B₂O₃ és K₂O kb. egy nagyságrenddel erősebb oldó-



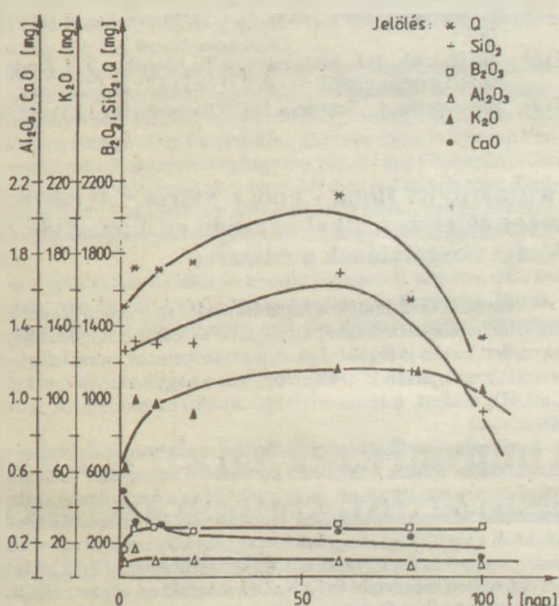
17. ábra. Bazaltszál 70°C-on 60 nap 1 n NaOH oldatos kezelés után.



19. ábra. Üvegszál 70°C-on 20 nap 1 n NaOH oldatos kezelés után.



20. ábra. Üvegszál 70°C-on 60 nap 1 n NaOH oldatos kezelés után.



18. ábra. 1 n NaOH oldatban 70°C-on eluált üveggapotból kioldott komponensek tömege.

dása jellemző. Kezdetben az oldatban kimutatható CaO (bazaltgyaptnál megfigyeltékhez hasonlóan) hosszabb idő után szinte teljesen eltűnik. Az oldatban lévő bázikus ortoszilikátok fokozatos szálfelületi kiválásával, kémiai analízissel meghatározott tömegük 70°C-on 60 nap után csökken.

NaOH-os közeg alkalmazásánál, az üveggapot egységnyi felületre vonatkoztatott anyagkioldódása kb. ötször nagyobb, mint a bazaltgyapoté (9., illetve 18. ábrák és az 1. táblázatban közölt fajlagos felület).

A morfológiai és röntgendiffrakciós vizsgálatokból megállapítottuk, hogy az üvegszálak felületén a kezelési idővel fokozottan kristályos, főként nátrium-alumínium-hidroszilikátból és kisebb mértékben kalcium-hidroszilikátból álló reakciótermékreteg alakul ki. Az ez alatti szálrészek 70°C-on kb. 20 nap után már részben eltűnnek (19-20. ábrák).

ÖSSZEFOGLALÁS

1/ A portlandcementkötésű termékek előállításánál, a megfelelő minőségű szilikátszálak kiválasztása feltételezi a lejátszódó korróziós folyamatok és a szálanyag jellemzői (kémiai összetétel, átl. szálméret stb.) közötti összefüggések ismeretét. A kémiai összetétel száloldásra gyakorolt hatásának beható tanulmányozása szükségessé teszi a korrózió során kioldódó főbb komponensek (SiO₂, Al₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O stb.) kémiai analízissel történő mennyiségi meghatározását. Az ezt célzó modellkísérleteket ezért általában nem keverékoldatokban, hanem egykomponensű korrodeáló közegekben végzik. Kísérleteink során a lúgállósági vizsgálatok optimális körülményének a behatárolására, bazalt- és üveggapot modellanyagokon vizsgáltuk a különböző hőfokú telített mézsvizes és 1 n NaOH oldatokban végzett eluálás során bekövetkező változásokat.

2/ Kísérleti munkánk eredménye alapján a szálanyagok lúgállóságát a minta minőségén kívül nagymértékben befolyásolja a vizsgálati módszer, így a korrodeáló közeg minősége:

— A NaOH-os kezelés a szálanyagok szilikátváznak megbontása folytán extrém erős igénybevételt

jelent. Telített mészvizes eluálásnál, a kis alkálifém-tartalmú bazaltszálak üvegázoldódása csekély. Ez nagyobb mértékben csak a jelentős nátrium-oxid tartalmú üvegszálnál jelentkezik, melynek kilúgozódása folytán a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hatásával párhuzamosan NaOH-os korrózió is lejátszódik. In NaOH közegben (hasonló kezelési feltételeknél) az üvegszál kilencszer, a bazaltgyapot tizennégyszer erősebben oldódik, mint telített mészvízben.

- A különböző korródeáló közegek alkalmazásánál a szálfelületen kialakuló, a további korrózió sebességét nagymértékben befolyásoló reakciótermékreteg összetétele, szerkezete és morfológiája is eltérő.
- Telített mészvizes eluálásnál mindkét anyagnál az oldatban lévő kalciumionok szálfelületi beépülésével rossz oldhatóságú és száltípusonként eltérő porozitású röntgenamorf kalcium-hidroszilikátok képződnek. A bazaltszálakra jellemző a további korróziót lefékező tömör felületi védőréteg kialakulása; míg az üvegszálak esetén ez porózus és leválásra hajlamos, ami a további száloldódást lényegesen nem gátolja.
- Hosszabb idejű NaOH-os kezelésnél a nagy CaO-tartalmú bazaltszálak felületén főként Al-tobermoritból, míg az üvegszálaknál nátrium-aluminium-hidroszilikátokból álló kristályos reakciótermékreteg alakul ki, mely alatti szálrészek korróziója időben folytatódik. A NaOH-os eluálásnál a kristályos reakciótermék kialakulásához hozzájárul az oldatban lévő bázikus ortoszilikátok szálfelületi kiválása.

3/ Az előzőekből megállapítható, hogy a NaOH és $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -os közegek alkalmazásánál különböző a szilikátszálak korróziójának jellege és a szál kémiai összetételének erre gyakorolt hatása. Figyelembevéve egyrészt a portlandcementek csekély alkálifém-oxid tartalmát (pld. bélapátfalvi portlandcementben $\text{Na}_2\text{O} = 0,19\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0,68\%$), másrészt a cementben lévő alkálikomponensek eltérő oldhatóságát is tükröző cementporúsvíz kémiai összetételét, az In nátrium-hidroxidos (40 g/l NaOH) kezelés a valósághoz képest extrém erős korróziós hatást jelent. Így a szálanyagok cementmátrixban való alkalmazhatóságával kapcsolatos lúgállósági modellvizsgálatokat célszerűbb a telített mészvizes kezelésre alapozni. Ennek során kedvezőnek bizonyult az 1:40 anyag-lúg tömegarány mellett végzett 70°C -os aluálás. Alacsonyabb hőfok választása a hosszú kísérleti idő miatt nem célszerű.

A korrózió során végbemenő változások kémiai analízissel, morfológiai, mikroszondás és röntgendiffrakciós módszerekkel jól tanulmányozhatók. A száloldódási folyamatok jellemzésére az oldat konduktivitásának és CaO-tartalmának mérése mellett (mely különösen a nagyobb alkálifém-tartalmú szálaknál csak tájékoztató jellegű), szükséges a kioldott komponensek mennyiségi meghatározása. A szakirodalomban ismertett tömeg- és szálátmérőváltozás mérése az oldatban lévő kalciumionok tömegnövekedéssel járó szálfelületi beépülése, illetve a kalciumhidroszilikát reakciótermékburok képződése folytán rendkívül pontatlan módszer.

IRODALOM

- [1] Mach, L.; Machova, H.: Stavivo, 12 (1969) 427-430.
- [2] Budnikov, P. P.; Pascenko, A. A.; Serbin, V. A.: Stroit, mater. i silikat-na promysl. 9 (1968) 5-6.
- [3] Cerkinskij, Ja. S.; Kuznecova, L. G.: Izv. Akad. Nauk. SSSR. Neorg. mat., 8 (1972) 1511-1513.
- [4] Wessel, H.: Silikatechnik, 19 (1968) 6-8.
- [5] Ramachandran, B. E.; Velpari, N.; Balasubramanian, N.: J. Mater. Sci., 16 (1981) 3393-3397.
- [6] Majumdar, A. J.: Cement and Concrete Research, 4 (1974) 247-266.
- [7] Kühne, G.; Thiele, K.: Holztechnologie, 27 (1968) 5-7.
- [8] Majumdar, A. J.; Ryder, J. F.: Sci. Ceramics, 5 (1970) 539-564.
- [9] Majumdar, A. J.; Nurse, R. W.: Mater. Sci. Eng. 15 (1974) 107-127.
- [10] Weiser, P.; Bönisch, E.; Masthoff, R. usw.: Oberflächenschutz von Glasfasern zur Zementverstärkung, "10. ibausil" 1988 Weimar.
- [11] Mazo, E. E.; Kaminszkaja, B. C.; Szahnovics, C. A.: Glass and Ceram., 27 (1970) 338-341.
- [12] Majumdar, A. J.; Ryder, J. F.: Glass Technology, 3 (1968) 78-84.
- [13] Kipinski, M.: Saniewska, T.: Szklo i Ceramika, 28 (1977) 169-173.
- [14] Majumdar, A. J.: Cement and Concrete Research, 4 (1974) 247-266.
- [15] Majumdar, A. J.; de Vekey, R. C.: J. Mater. Sci., 5 (1970) 183-185.
- [16] Zitkjavicjak, J. J.; Molcanow, S. V.; Alejuikov F. K. Trudy Akad. nauk. Litovskoy SSSR Ser. B. 2 (1965) 137-147.
- [17] Schumacher, L.; Schwiete, H. E.: Glastechn. Ber., 33 (1960) 1-7.

Wojnárovits Ilona - Fodor Márta.; A portlandcementmátrixban alkalmazandó szilikátszálak lúgállósági vizsgálatának módszerei

A cementkötésű termékek kialakításánál a szerveszintetikus szálak jó technológiai bedolgozhatósága, felületi és mechnaikai tulajdonsága mellett fontos jó lúgállósága. A portlandcement hidratációs termékei jelenlétében lejátszódó szálkorrózió a nagymennyiségben keletkező $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mellett, a kismennyiségű alkálifém-hidroxidok is szerepet játszhatnak.

A szilikátszálak lúgállósági minősítésére szabványos módszer nincs, a szakirodalmi adatok különböző korródeáló közegekre és kezelési körülményekre vonatkoznak, mely gyakran az azonos típusú szálanyagokra közölt eredmények ellentmondásosságát okozza. Kísérleti munkánkban a lúgállósági vizsgálatok optimális körülményének a behatárolására, bazalt- és üveggyapot modellanyagokon vizsgáltuk a különböző hőfokú telített mészvizes és In NaOH oldatokban végzett eluálás során bekövetkező változásokat.

A kapott eredményekből megállapítottuk, hogy NaOH és $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -os közegek alkalmazásánál különböző a szilikátszálak korróziójának jellege és a szál kémiai összetételének erre gyakorolt hatása. A szálanyagok cementmátrixban való alkalmazhatóságával kapcsolatos vizsgálatokat célszerűbb a telített mészvizes eluálásra alapozni. E szempontból kedvezőnek bizonyult az 1:40 anyag-lúg tömegarány mellett végzett 70°C -os kezelés. A korrózió során lejátszódó változások kémiai analízissel, morfológiai, mikroszondás és röntgendiffrakciós módszerekkel jól tanulmányozhatók. A száloldódási folyamatok jellemzésére az oldat konduktivitásának és CaO-tartalmának mérése mellett, szükséges a kioldott komponensek mennyiségi meghatározása.

Wojnárovits-Hrapka, Ilona - Fodor, Márta: Methods for Alkali Resistance Determination of Silicate Fibers to be Used in Portland Cement Matrix

The manufacture of fiberboards, made of synthetic inorganic fibres in a cement matrix, requires the knowledge — besides workability, surface and mechanical properties — also the knowledge of alkali resistance of fibres. The corrosion of the fibres in the cement matrix is due to the calcium hydroxide content of the hydration products, but low amounts of alkali hydroxides play a considerable role too. Unfortunately no standard method exists for the determination of the alkali resistance of silicate fibres; published data refer to various experimental conditions, thus

contradictions occur even in case of fibres of identical type. In the experiments described in this paper the corroding agent was saturated calcium hydroxide or 1 n sodium hydroxide at different temperatures, and basalt- and glass wool were used as model substances. Results show that the characteristics of corrosion and the effect of chemical composition on these characteristics is different for the two agents. For cement matrices, the following parameters are suggested: calcium hydroxide at 70°C, with a 1:40 fibre: agent ratio.

Changes during this treatment can be well followed by chemical analysis, morphology, microprobe and XRD method. For a proper characterisation of fibre dissolution the conductivity and CaO- content of the solution, as well as the quantitative determination of dissolved components is essential.

Wojnarovits, Ilona - Fodor, Márta: Methoden zur Prüfung der Laugebeständigkeit von Silikatfasern in Portlandzement-matrizen

Bei der Gestaltung von zementgebundenen Produkten ist neben der guten technologischen Verarbeitbarkeit, der mechanischen und oberflächigen Eigenschaften auch die gute Laugebeständigkeit der Silikatfasern wichtig. Neben dem, bei der in Anwesenheit der Hydratationsprodukte des Portlandzementes ablaufenden Faserkorrosion in grossen Mengen entstehenden $\text{Ca}(\text{OH})_2$ spielen auch die in kleineren Mengen anwesenden Alkalihydroxide eine Rolle.

Zur Beurteilung der Laugebeständigkeit von Silikatfasern gibt es keine genormte Methode, die Literaturangaben beziehen sich auf unterschiedliche korrosive Medien und Behandlungsbedingungen. Dies führt oft zu Widersprüchen bei Faserstoffen gleichen Typs. In unseren Versuchen wurden die Korrosionsvorgänge der Basalt- und Glaswolle in den 1 n NaOH- und gesättigten Kalkwasser-Medien bei verschiedenen Temperaturen geprüft. Das Ziel der Arbeit bildet die Bestimmung der optimalen Untersuchungsbedingungen der Laugebeständigkeit der Faserstoffe.

Aus den erhaltenen Resultaten konnte festgestellt werden, dass bei Anwendung von NaOH und $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Medien der Korrosionscharakter unterschiedlicher Silikatfasern und die Wirkung der chemischen

Zusammensetzung dieser Fasern auf die Korrosion unterschiedlich ist. Es scheint zweckmässiger die Tests in Beziehung der Anwendbarkeit von Faserstoffen in Zementmatrikalkwasser- auf das Eluieren in Medien zu basieren. Von diesem Gesichtspunkt schien die Behandlung mit 1:40 Stoff/Lauge Masseverhältnis bei 70°C Temperatur günstig zu sein. Die während der Korrosion ablaufenden Änderungen können mit chemischer Analyse, Morphologischen-, Mikrosonden- und Röntgendiffraktionsmethoden gut verfolgt werden. Zur Charakterisierung der Faserlösungprozesse ist neben der Messung der Leitfähigkeit, sowie des CaO-Gehaltes der Lösung auch die quantitative Bestimmung der ausgelösten Komponenten wichtig.

Войнаровитч, И. – Фодор, М.: Методы испытания щелочестойкости силикатных волокон, применяемых в цементной матрице

В целях установления оптимальных условий проведения испытания щелочестойкости были испытаны изменения, претерпеваемые базальтовыми и стеклянными волокнами – использованными в качестве модельных материалов – в ходе элюации в растворах насыщенной извести и 1n NaOH при различных температурах. Было установлено, что характер коррозии силикатных волокон в растворах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и NaOH является различным, а также различно влияние химического состава волокон на их коррозию. Испытания, направленные на исследование применимости волокнистых материалов в цементной матрице, целесообразно проводить в насыщенном известью растворе. С этой точки зрения наиболее благоприятным является испытание в растворе с соотношением материал-щелочь 1:40 при температуре 70°C. Изменения волокон при коррозии могут успешно изучаться различными методами: химическим анализом, с помощью микроанализатора и рентгенодиффрактометрии, исследованиями морфологии. Для характеристики процессов растворения волокон – наряду с измерением проводимости раствора и содержания CaO – необходимо также определять количество растворившихся компонентов.

Az előégetés hatása a bárium titanát-bizmut-titanát alapú kerámiai kondenzátorok dielektromos és morfológiai tulajdonságaira

Fülöp István
Veszprémi Vegyipari Egyetem

BEVEZETÉS

A nagy relatív permittivitású kerámiai kondenzátorok többsége a seignette- elektromos bárium-titanát alapon épül fel. A kondenzátorok permittivitása a hőmérséklet függvényében erősen változik, különösen a Curie-pont közelében [Déri (1962)].

A bárium-titanát hátrányos tulajdonságai kiküszöbölhetők, illetve lényegesen csökkenthetők a *mikroszerkezet, a kémiai összetétel és a gyártástechnológiai paraméterek* célszerű összehangolásával. A mikrokrisztályos BaTiO_3 kerámiák előállításához egyrészt finomszemcsés kiindulási alapanyagok szükségesek, másrészt olyan adalékanyagokat célszerű alkalmazni, amelyek a tömörre égetés folyamán gátolják a durvakristályok képződését [Görlich (1976)].

A fenti problémák megoldására az utóbbi években különböző bizmuttartalmú adalékanyagokat használnak Rawal és szerzőtársai (1981).

Mi a bizmut-vegyületek közül, ugyancsak seignette-elektromos $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ adalék hatását vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a legjobb dielektromos tulajdonságokkal az 1150°C hőmérsékleten tömörre égetett 15% (m/m) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ tartalmú kondenzátorok rendelkeznek ($\epsilon_r = 2150$, $\text{tg } \delta = 15 \cdot 10^{-3}$, $\rho = 3 \cdot 10^{11} \Omega\text{m}$). Ezen kondenzátorok kapacitása +20°C és +100°C hőmérséklet intervallumban kismértékben és csaknem lineárisan változik a hőmérséklet függvényében ($\Delta C/C_{20^\circ\text{C}} \times 100\% = -2 \dots -5\%$), azonban -40°C hőmérséklet között e változás 40-45%-ot is eléri, ami nem felel meg a hőmérsékletstabil nagy relatív permittivitású kerámiai kondenzátorokkal szemben támasztott követelményeknek [Fülöp (1987)].

Munkánk célja az, hogy az előégetés körülményeinek változtatásával - a 85% (m/m) BaTiO_3 - 15% (m/m) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ összetételnek megfelelő dielektrikumot állítsunk elő, amelynek kapacitása -40 és +100°C hőmérséklet tartományban $\pm 20\%$ alatt változzék.

A kerámi dielektikumok előállításához nagy tisztaságú BaTiO₃ (LOT), TiO₂ (Bayer), BaCO₃ (Merck) és α-Bi₂O₃ (Reanal) alapanyagokat használtunk. Az alapanyagokból az előégetési körülmények változtatásával négyféle porkeveréket állítottunk elő. A porkeverékek előállítási paramétereit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

Porkeverékek előállítási paramétereit

Jele	Összetétele %(m/m)	Előégetési hőmérséklet, °C	Hőntartási idő, h
15% Bi ₄	85 % BaTiO ₃ + 15 % Bi ₄ Ti ₃ O ₁₂	1050	1
	(Bi ₄ Ti ₃ O ₁₂)		
BC-15 % Bi ₄	~(BaCO ₃ +TiO ₂)+15 % Bi ₄ Ti ₃ O ₁₂	1050	1
	(Bi ₄ Ti ₃ O ₁₂)		
BT-15 % Bi ₄	85 % BaTiO ₃ + ~(2Bi ₂ O ₃ +3TiO ₂)	1300	4
	(BaTiO ₃)		
Fr-15 % Bi ₄	~(BaCO ₃ +TiO ₂) + ~(2Bi ₂ O ₃ +3TiO ₂)	1000	2

Az azonos kémiai összetételű porkeverékeket ezek után műanyagbélésű golyósmalmokban nedvesen achát örlőtestekkel 4 órán át őröltük. Szárítás után a porkeverékekhez — sajtolási segédanyagot — polivinil-alkohol 5 %-os vizes oldatát adagoltuk 5 tömegszázalék mennyiségben. Pihentetés után hidraulikus présgépen 12 mm átmérőjű 1 mm vastagságú tárcsákat sajtoltunk 200 MPa nyomással. Sajtolás után a mintákat 1150-1250 °C hőmérséklet között 2-4 órás hőntartással elektromos fűtésű kemencében kiégettük. A tárcsák geometriai méreteinek meghatározása után, felületüket ezüstpasztával vontuk be, amelyet 800 °C hőmérsékleten ráégettük.

A minták kapacitását és veszteségi tényezőjét Rhod-Schwarz típusú mérőhíddal (f = 1 kHz, t = 20 °C), szigetelési ellenállását pedig MV 40 DC - Millipicometer Típusú készüléken (50 V egyenfeszültségen) mértük meg.

A dielektikumok fázisösszetételét röntgendiffraktométeres módszerrel határoztuk meg. A röntgendiffraktométeres felvételek DRON 3 típusú röntgendiffraktométerrel készültek (CuKα/Ni).

A dielektikumok morfológiáját JSM 50 A JEOL pásztázó elektronmikroszkóppal tanulmányoztuk.

Vizsgálati eredmények

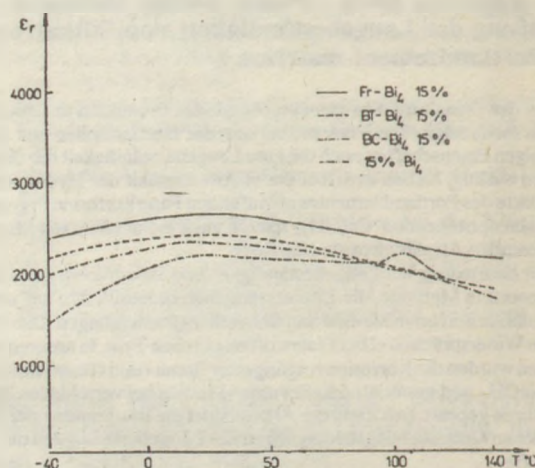
A legjobb dielektromos tulajdonságokat az 1150 °C hőmérsékleten 4 órás hőntartással égetett minták esetében kaptuk. Ezen minták dielektromos adatait a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A 2. táblázat adatai alapján látható, hogy az előégetési körülményeinek változtatásával a dielektromos tulajdonságok javíthatók. Ezen minták relatív permittivitásának hőmérséklet függését az 1. ábrán foglaltuk össze.

Az 1. ábra alapján megállapítottuk, hogy nem hagyományos módon előégetett minták esetében nem találunk Curie-pontra utaló maximumot. Erősen ellaposodott a hőmérséklettől kevésbé függő karakterisztikákat láthat-

Kondenzátorok dielektromos adatai

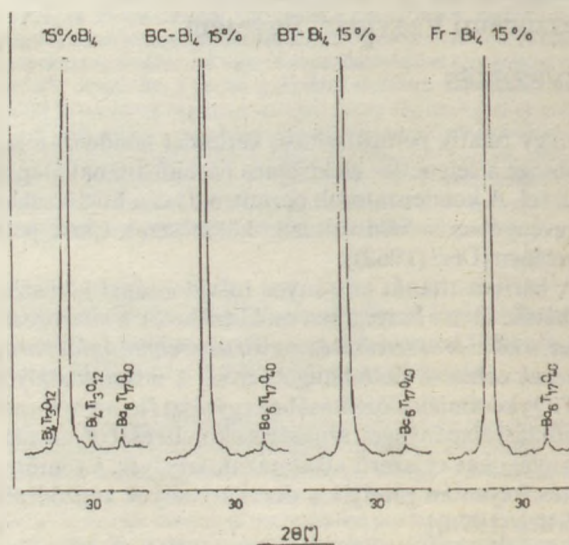
Minta jele	ε _r	tg δ · 10 ³	ρ Ω·m	Δε _r / ε _r · 100%	
				-40 °C	+100 °C
15% Bi ₄	2150	15	3.10 ¹¹	-45	2
BC-Bi ₄ 15 %	2200	18	3.10 ¹¹	-12	-14
BT-Bi ₄ 15 %	2370	14	6.10 ¹¹	-8	-14
Fr-Bi ₄ 15 %	2650	12	2.10 ¹²	-4	-6



1. ábra. Minták relatív permittivitásának változása a hőmérséklet függvényében

tunk. A relatív permittivitás változása a hőmérséklet függvényében mindhárom minta esetében, az általunk kitűzött érték (±20 %) alatt változik.

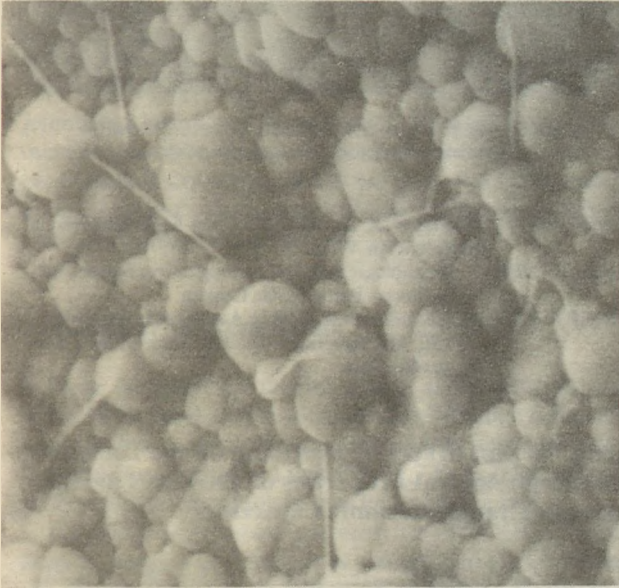
A dielektromos tulajdonságok birtokában a mintákról röntgendiffrakciós felvételeket készítettünk. A röntgendiffrakciós felvételek alapján megállapítottuk, hogy adalékolás hatására sem a 15 % Bi₄Ti₃O₁₂ adalékot tartalmazó mintánál, sem az előbb említett mintáknál a Ba-



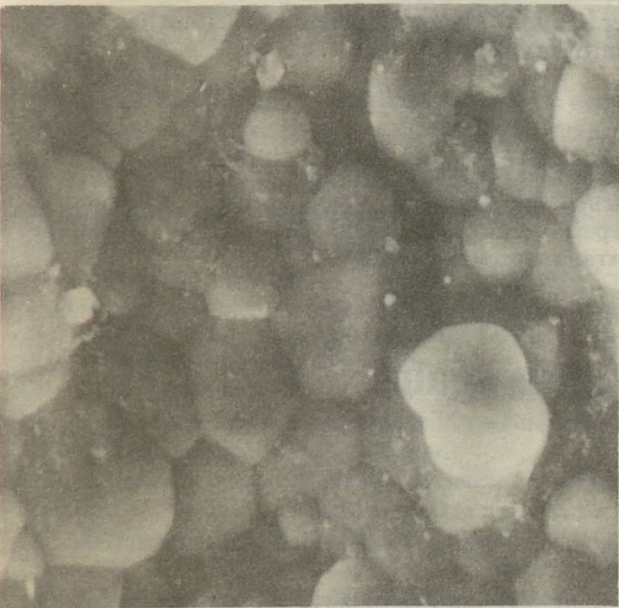
2. ábra. Minták röntgen-diffraktogramjainak egy részlete

TiO₃-ot jellemző röntgendiffrakciós vonalak nem tolódnak el.

A BaTiO₃-ot jellemző rácstávolságok és a hkl indeksek alapján köbös kristályszerkezetű BaTiO₃ keletkezik. Azonban a 15 % Bi₄ mintánál a köbös fázis mellett tetragonális fázisnak is jelen kell lennie, hiszen a minta Curie-ponttal jellemezhető (lásd 1. ábra). Valószínű, hogy mennyisége kisebb mint 20 %. Irodalmi adatokból tudjuk, hogy a köbös fázis röntgendiffrakciós csúcsai 20 %-ig képesek a tetragonális fázis röntgendiffrakciós csúcsainak átfedésére [Raval és társai (1981)] a BaTiO₃ vonalai mellett - kis intenzitással jelentkező Ba₆Ti₁₇O₄₀ vegyület jelenléte mutatható ki az összes mintában. A 15 % Bi₄ jelű minta esetében kis intenzitással a Bi₄Ti₃O₁₂ adalék két legerősebb vonala is megtalálható a felvételen. A mintákat legjobban jellemző röntgendiffrakciós vonalakat a 2. ábrán foglaltuk össze.



3. ábra. 15 % Bi₄ minta felületéről készült elektronmikroszkópi felvétel, N=3000 x

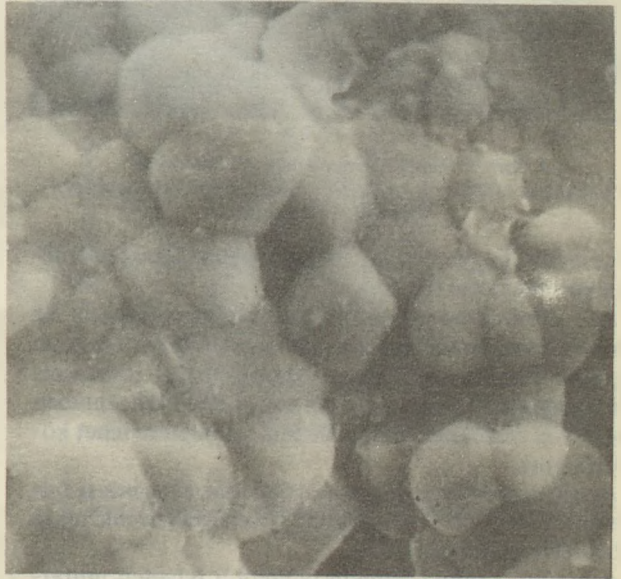


4. ábra. BC-Bi₄ 15% minta felületéről készült elektronmikroszkópi felvétel, N = 3000 x

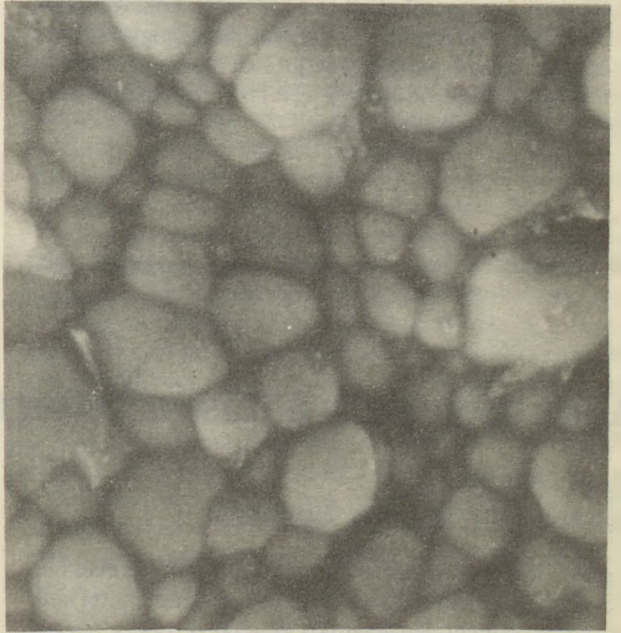
A dielektromos tulajdonságok és a fázisösszetételek ismerete után a minták felületéről pásztázó elektronmikroszkópi felvételeket készítettünk. A mintákról készült felvételek láthatók a következő ábrákon (3 - 6). ábra.

Az ábrákon szorosan illeszkedő, legömbölyödött ékekkel jellemezhető szemcsealakzatok figyelhetők meg. A szemcsék mérete ~1-5 μm között változik. A 3. ábrán ezenkívül tizedmikron vastagságú 4-5 /um-os "lemez" formájú kristályok is felfedezhetők. A röntgenmikroanalitikai vizsgálat alapján — a röntgendiffrakciós vizsgálattal összhangban — ezen kristályokat Bi₄Ti₃O₁₂-nak azonosítottuk.

A legkedvezőbb dielektromos tulajdonsággal rendelkező mintáról (Fr-Bi₄ 15 %) visszaszórt-elektronos módban is készítettünk pásztázó elektronmikroszkópos felvé-



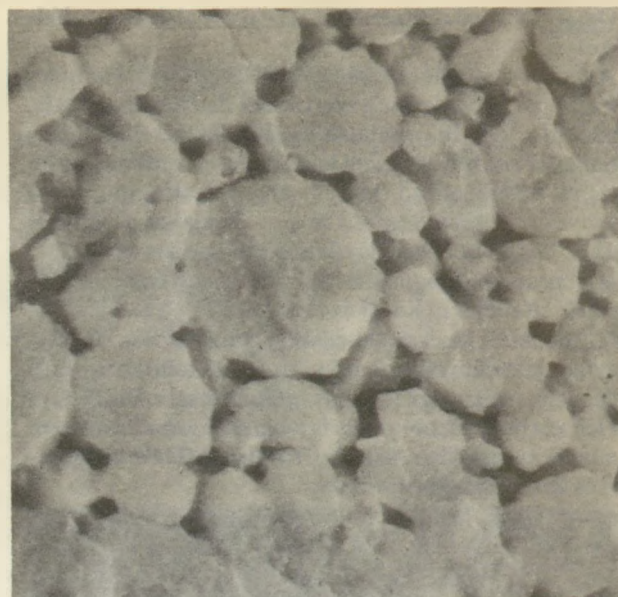
5. ábra. BT-Bi₄ 15 % minta felületéről készült elektronmikroszkópi felvétel, n = 3000 x



6. ábra. Fr-Bi₄ 15% minta felületéről készült elektronmikroszkópi felvétel, n = 3000 x



7. ábra. Fr-Bi₄ 15% minta csiszolt felületéről visszaszórt-elektromos módban felvett elektronmikroszkópi felvétel, n=3000x



8. ábra. Fr-Bi₄ 15% minta maratott felületéről készült elektronmikroszkópi felvétel, n = 3000 x

telt a célból, hogy a bizmutban gazdagabb fázisok jelenlétére következtetni tudjunk.

A 7. ábrán ezen mintáról készült felvétel látható. Az ábrán határozottan világos és sötét részek láthatók. A világosabb részek a nagyobb rendszámú elem — jelen esetben a bizmutnak — nagyobb mennyiségére utal, szemben a sötétebb részekkel, ahol a bárium jelenlétére lehet következtetni.

Az elektronmikroszkópos felvétel után ezen minta felületét 5% (m/m) HCl-es oldattal 8 percig maratjuk, majd újból felvételt készítettünk.

A maratott minta felületéről készült felvételt mutatjuk be a 8. ábrán.

A felvételeken jól megfigyelhető, hogy a maratószer elsősorban a szemcsehatárt és a szemcsék közötti helyeket támadja meg. Ennek az a magyarázata, hogy a savban a bizmutban gazdagabb részek jobban oldódnak. Tehát a bizmutban gazdagabb fázisok a BaTiO₃ szemcsék között, illetve határán helyezkednek el.

Irodalom

Déri, M. (1963): Seignette-elektromos kerámiai anyagok, 16, Akadémiai Kiadó, Budapest

Fülöp I. (1987): Előadás a IX. Nemzetközi Üveg és Finomkerámiai konferencián, Várna

Görlich, P. (1976): Technologie und Anwendungen von Ferroelektrika, Geest-Portig K.-G., Leipzig

Rawal, B.S., Kahn, M., Buessem, W.R. (1981): Advances In Ceramics 1, 172, The American Ceramic Society, Inc., Westerville, Ohio

Fülöp, István: Effect of Prefiring on the Dielectric and Morphological Properties of Barium Titanate - Bismuth Titanate Ceramic Capacitors

Fülöp, István: Der Einfluss des Vorbrennens auf die dielektrischen und morphologischen Eigenschaften der Keramik Kondensatoren auf Bariumtitanat - Bismuttitanat-Basis

Фюлеп, И.: Влияние предварительного обжига на диэлектрические и морфологические свойства керамических конденсаторов на основе барий-титанат-висмут титанат

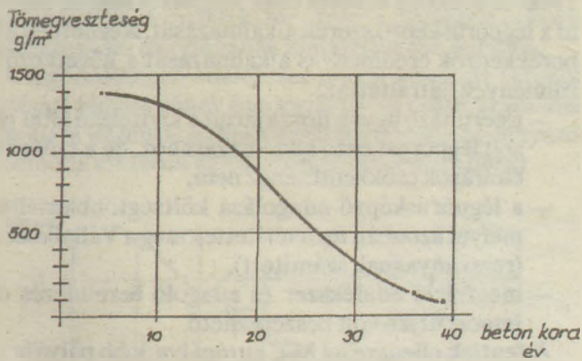
A póruseloszlás hatása a beton tulajdonságaira

Liptay András
Betonútépítő Vállalat, Budapest

A magyarországi betonburkolatok a 60-as 70-es években viszonylag gyorsan tönkrementek. A tönkremenetel nem a teherbírási elégtelenség miatt következett be, a burkolatok felülete hámlott le az ebben az időszakban bevezetett téli hóolvasztó sózás következtében. A betonok annál

gyorsabban mentek tönkre minél fiatalabb korúak voltak.

Különböző korú betonburkolatból kifúrt próbatesten végzett fagyasztásos sóolvasztásos vizsgálat szerint (1. ábra) a betonban 35-40 év alatt alakul ki olyan pórus-



1. ábra. A beton kortól függő tömegvesztése 60 fagyasztási-sóolvasztási ciklus után

rendszer, mely elegendő védelmet ad ilyen drasztikus igénybevétellel szemben.

A beton tulajdonságait, tartósságát a pórusrendszer jelentősen befolyásolja. Már az 1930-as években felismerték a keverés közben bevitt légbuborékok jelentőségét és ezek tartósságot növelő hatását, de a hatásmechanizmussal kapcsolatos elméleti megfontolások egyes részei a mai napig vitatottak.

2. Elméleti megfontolások

A korai elképzelések szerint a fagy akkor okoz károsodást a betonban ha a pórusok olyan mértékben telítettek, hogy víz 9%-os térfogatnövekedését nem teszik lehetővé. E szerint ha a pórusok a kritikus 91,7%-os telítettségénél jobban telítettek, a fagy hatása károsodást okoz.

Az 1940-es években mutatott rá POWERS (1945), hogy a pórusok nem zártak és a megfagyó víz közelében mindig van elegendő levegőt tartalmazó üreg. Kimutatta, hogy a jég térfogatnövekedése miatt bizonyos telítettségénél hidraulikus nyomás jön létre a betonban.

Ez a nyomás sérülést okoz, ha nincs elég közel levegővel töltött üreg és a nyomás nem tud a sérülést okozó értékek alá csökkenni.

A hidraulikus nyomás kialakulását a kísérletek ugyan bizonyították, de ez az elmélet a légpórusképző nélküli, tehát buborékok nélküli cementkő térfogatnövekedésére és a légbuborékos próbatest zsugorodására, amikor a fagyasztás hőmérséklete nem változik nem adott megfelelő magyarázatot (Powers, Helmuht 1953).

A pórusokban nem tiszta víz, hanem oldat van jelen, melynek koncentrációja a fagyási folyamat alatt növekedik. A nagyobb koncentrációjú oldat miatt ozmózisnyomás is kialakul, és hatására megindul a víz áramlása a jéggel részben kitöltött üreg felé. (Powers 1975). Ez egyébként tiszta víz esetében is bekövetkezik, a termodinamikai egyensúly helyreállítása érdekében.

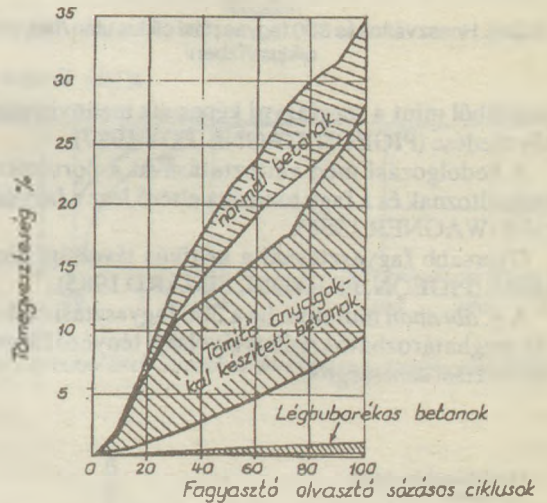
A cementkőbe bevitt légbuborékok esetében a buborékok nagy mérete miatt a buborék víze fagy meg először.

A környező üregekből a meg nem fagyott víz a buborékba diffundál. A diffúzió hatására a cementkő zsugorodik. Ha a buborékok elég közel vannak egymáshoz az ozmózis jellegű nyomás lépül. Powers (1975) és mások kísérletei szerint ahhoz, hogy az ozmózisnyomás egyál-

talán ne tudjon kialakulni a távolsági tényező legfeljebb 0,15 mm lehet.

Sokáig úgy gondolták, hogy a faggal és különösen a hóolvasztó sózással szembeni ellenállóképességet tömör betonnal lehet a legjobban és legkönnyebben elérni. A károk megelőzése érdekében tömítő adalékszerek használatával is kísérleteztek.

A tömítő adalékszerekkel készített betonok ugyan jobb ellenállóképességgel rendelkeznek, mint a normál betonok, de fagyasztó-sóolvasztó igénybevételnek csak a légbuborékos betonok állnak ellen. (2. ábra. BONZEL, SIEBEL 1977).



2. ábra. Tömegvesztés fagyasztási és olvasztó-sózási ciklusok alatt

BONZEL és SIEBEL (1977) szerint az olvasztó sózással ellenálló betonokban a távolsági tényező legfeljebb 0,2 mm lehet.

A beton tulajdonságait a pórusrendszer erősen befolyásolja.

A fagy által okozott károsodás a megfagyni képes vízmennyiségen és az anyagi tulajdonságon, szilárdságon kívül a beton vízáteresztőképességétől, a pórusok eloszlásától, azok egymástól távolságától (a távolsági tényezőtől) és a fagyasztási igénybevétel módjától is függ.

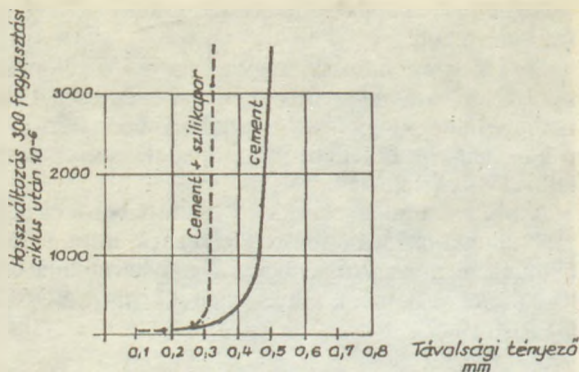
A fagyasztási vizsgálatokkal meghatározható az a kritikus távolsági tényező, melynél nagyobb esetben a fagyasztási ciklusok alatt károsodás keletkezik a betonban.

A fagyasztás alatti maradó hosszváltozással a betonban létrejövő sérülések jól jellemezhetők (FOY, PIGEON, BANTHIA, 1988.) és 200×10^{-6} hosszváltozás már károsodást jelez.

A 3. ábra mutatja a hosszváltozást 300 fagyasztási ciklus után 0,3 víz- kötőanyag arányú betonban.

Az ábrában a cement és a cement + szilika por kötőanyagú betonok hosszváltozása szerepel. A kisebb átteresztőképességű cement + szilika por kötőanyag esetében a kritikus távolsági tényező 0,3 mm, míg cementnél ez 0,4 mm.

A vízáteresztő képesség csökkenése sokkal nagyobb jelentőséggel bír a faggal szembeni viselkedés szem-



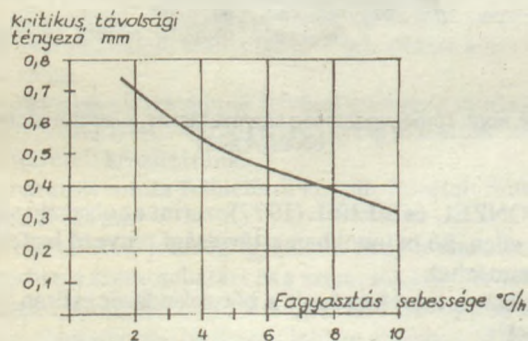
3. ábra. Hosszváltozás 300 fagyasztási ciklus után /fagyasztási ciklus vízben/

pontjából mint a megfagyni képes víz mennyiségének a növekedése (PIGEON, GAGNÉ, FOY 1987).

A bedolgozási mód változtatásával a pórusméretek megváltoznak és a fagy hatására eltérő lesz a fagydílatáció is (WAGNER 1988).

Gyorsabb fagyasztásnál a kritikus távolsági tényező kisebb (PIGEON, PRÉVOST, SIMARD 1985).

A 4. ábrában mutatom be a 300 fagyasztási ciklus során meghatározható kritikus távolsági tényező függését a fagyasztási sebességtől.



4. ábra. Kritikus távolsági tényező függése a fagyasztás sebességétől 0,5 víz-cementtényezős betonban /fagyasztási ciklus légtérben/

A jégolvasztásos sózásnál a fagyasztás sebessége lényegesen nagyobb, mint normál fagyasztásnál, mert 1-3 perc alatt 4-8 °C hőmérséklet csökkenés következik be, ez 100 °C/h-nál nagyobb hő csökkenést jelent.

Az elméleti megfontolásokból levonható legfontosabb következtetés, hogy a cementkő — elfogadható normális vízcement tényezővel — a fagy hatására nem megy tönk-re ha a bevitt légbuborékok elosztása megfelelő. Másrészt légbuborékok nélküli cementkő ha az telített a fagyasztás -olvasztó sózás hatására sérülni fog.

3. Tapasztalatok

A hóolvasztó sózás bevezetésével a betonburkolatokon különösen a fiatal korú betonokon károk keletkeztek. Az

1960-as években kezdték csak Magyarországon bevezetni a légpórusképző szerek alkalmazását. Kezdetben a buborékképzők eredményes alkalmazását a következő körülmények hátráltatták:

- a beruházó ugyan hozzá járult a kivitelező által javasolt légpórusképző alkalmazásához, de a szilárdsági előírások csökkentéséhez nem,
- a légpórusképző adagolása költségtöbblettel járt, melyet azonban nem térítettek meg a Vállalkozónak (rezi anyagnak számított),
- megfelelő adalékszer és adagoló berendezés csak import útján volt beszerezhető.

A fentiek ellenére az M7. autópálya jobb pályája már légpórusképző adalékszerrel készült, igaz ugyan hogy a légtartalom alacsonyabb és, ennek következményeként a távolsági tényező nagyobb a kívánatosnál a magas szilárdsági követelmények kielégítése érdekében. A légtartalmat a szilárd betonban mérve, a buborékok fajlagos felületét és a távolsági tényezőt az 1. táblázatban adom meg (BALÁZS GY. ÉS TÁRSAI 1976).

1. táblázat

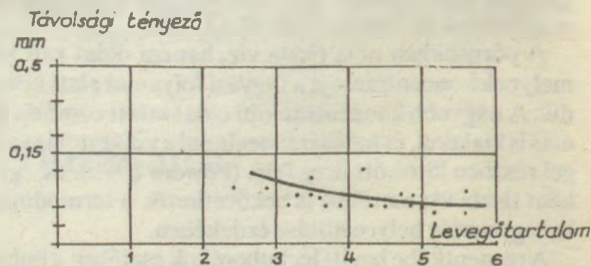
Megnevezés	Átlag	Szórás	Mért szélső értékek
Összes légtartalom %	2,53	0,48	1,5-3,6
Buborékok fajlagos felülete cm^2/cm^3	354	138	184-505
Távolsági tényező mm	0,27	0,05	0,19-0,33

A beton tartóssága a korábbi légpórusképző adalékszer nélküli betonokhoz képest (M7 bal pálya) lényegesen javult.

Néhány helyen azonban a 17 éves burkolaton már felület javítást kellett végezni.

A további betonburkolatok tartósságának javítása érdekében a keveréskor bevitt légtartalmat, a buborékok fajlagos felületét növelni, a távolsági tényezőt csökkenteni kellett.

A távolsági tényezőt a bevitt levegő mennyiségének, vagy még inkább a buborékok számának, fajlagos felületének növelésével lehet csökkenteni. A légtartalom és a távolsági tényező közötti összefüggést mutatja az 5. ábra.

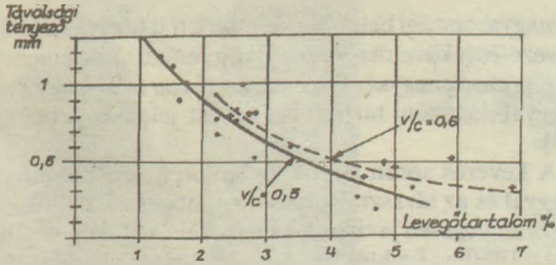


5. ábra. A távolsági tényező függése a légtartalomtól

Az adatok különböző adalékszerrel készített különböző összetételű betonok vizsgálatából származnak (POWERS 1968).

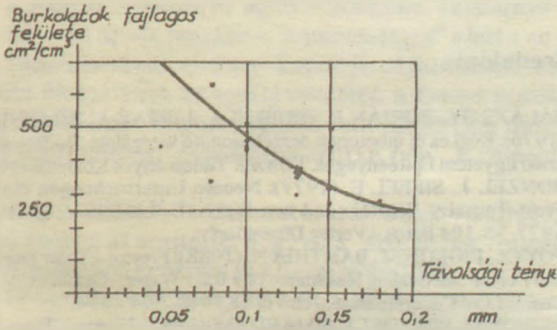
A távolsági tényező még kisebb légtartalmaknál is megfelelő volt. Az adalékszer szerepe ugyanis a buborékok számának, nagyságának kialakításában jelentős.

A légpórusképző adalékszer nélkül készített betonok távolsági tényezőjének és a légtartalom összefüggésének vizsgálata jól mutatja, hogy az eltérő vízcement-tényezőjű betonok esetében az összefüggés eltérő. (6. ábra)



6. ábra. Légpórusképző adalékszer nélküli betonok távolsági tényezője a légtartalomtól függően

Éppen ezért nem meglepő, hogy a különböző összetételű betonok esetében a légtartalom és a távolsági tényező között általában szoros összefüggés nem határozható meg. Jobb a buborékok fajlagos felülete és a távolsági tényező közötti összefüggés, melyet különböző betonokban mért adatok alapján a 7. ábra mutat.



7. ábra. A buborékok fajlagos felülete a távolsági tényező függvényében

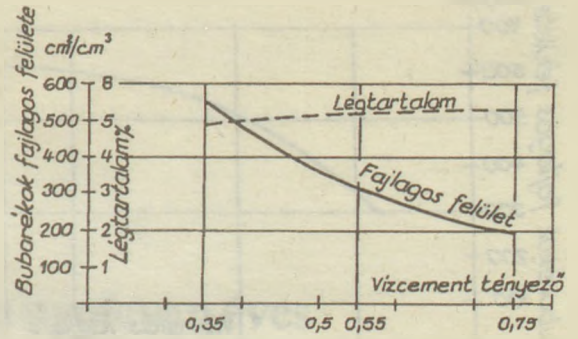
A buborékok nagyságát és elosztását a beton konzisztenciája, a vízcement-tényező jelentősen befolyásolja.

Nagyobb vízcement tényezőnél ugyan a bevitt légtartalom növekszik, de a hígabb keverékekben a buborékok mérete is nagyobb lesz és így a fajlagos felület és ezzel együtt a távolsági tényező csökken.

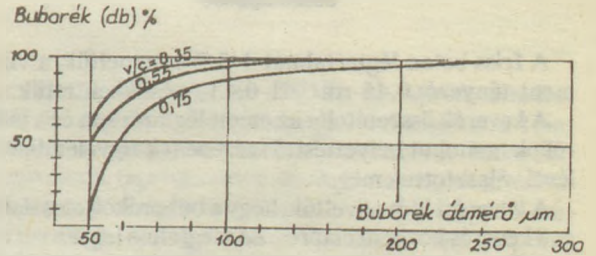
A 8. ábra tünteti fel a fajlagos felület csökkenését közel azonos légtartalmú de növekvő vízcement tényező mellett és a 9. ábra a buborékok átmérő szerinti darabszázalékos eloszlását a 0,35, 0,55 és 0,75 vízcementtényezők esetében.

A keverési és a vibrálási idő szintén jelentős a bevitt légtartalom és a buborékok eloszlása szempontjából. A 10. ábra mutatja a keverési, a 11. ábra a vibrálási idő hatását.

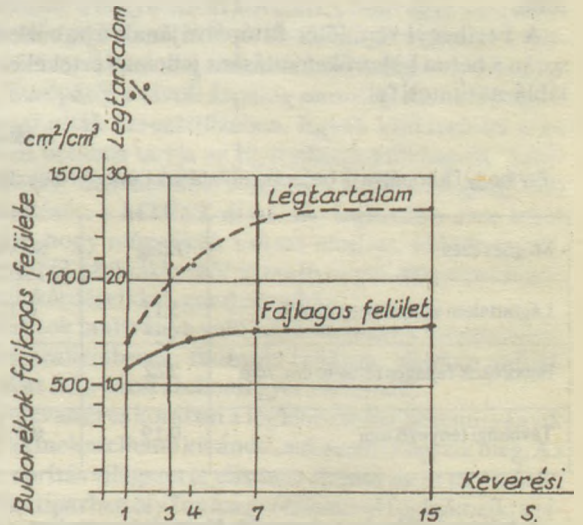
A beton keverési idejét a korábbi keverési időhöz képest növelni kellett annak érdekében, hogy keverés közben a buborékok eloszlása, továbbá a keverés közbeni nyíróhatással a buborékok méretének csökkentése és ezzel a fajlagos felületük növelése elérhető legyen.



8. ábra. A buborékok fajlagos felülete a víz-cementtényezőtől függően



9. ábra. A buborékok átmérő szerinti darabszázalékos eloszlása

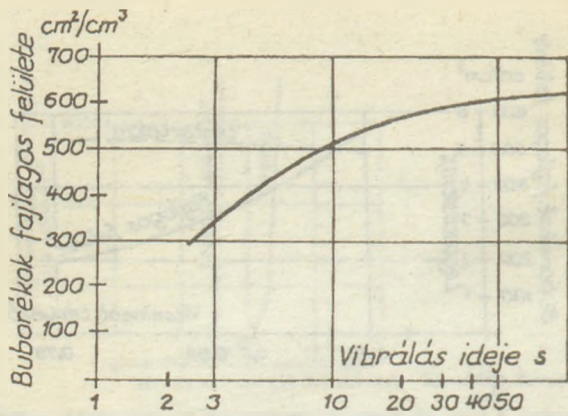


10. ábra. A keverési idő hatása a bekevert levegőtartalomra és a buborékok fajlagos felületére cementpékek esetében

A beton vibrálása közben a légtartalom csökken a 11. ábrában feltüntetett adatok esetében 6,7 %-ról 1,2 %-ra, de a buborékok fajlagos felülete még ilyen nagy légtartalom csökkenés mellett is növekszik.

4. Intézkedések

Az 1980-as években épített pályaburkolatok korábbiaknál jobb minősége érdekében a betonok összetételét, építési technológiáját változtattuk.



11. ábra. A vibrálási idő és a buborékok fajlagos felületének összefüggése

A friss beton légtartalmát 4-5 %-ra emeltük, a vízce-ment-tényezőt 0,45-ről 0,41-0,43-ra csökkentettük.

A keverék összetételét az emelt légtartalom és a buborékok homokot helyettesítő szerepének figyelembevételével választottuk meg.

A keverési időt növeltük, hogy a buborékok eloszlása és a keverés közbeni elaprózása megfelelő legyen.

A finiser haladási sebességét úgy szabályoztuk, hogy a beépítési munkasebesség korábbi hullámzó (gyors beépítés, után állás) munkaütem helyett egyenletes és folyamatos legyen. Így a vibrálás ideje hosszabb és egyenle- sebb.

A Ferihegyi repülőtér futópályájának újraburkolása során a beton buborékeloszlására jellemző értékeket a 2. táblázat tünteti fel.

2. táblázat

Ferihegy I futópálya új betonburkolatának buborék eloszlása

Megnevezés	Átlag	Szórás
Légtartalom szilárd betonban %	3,11	0,31
Buborékok fajlagos felülete cm^2/cm^3	322	16
Távolsági tényező mm	0,19	0,012

A beton felületét a nagyobb légtartalom miatt nehe- zebben lehetett kialakítani. A finiser simítólemezei alatt összenyomott légbuborékok a gép elhaladása után vissza- nyerték eredeti térfogatukat, vagyis a beton kiterjedt. A 40 cm vastag betonburkolatnál a duzzadás már jelentős, 10 mm körüli érték volt.

A szintbeállításoknál ezt a látszólagos duzzadását figyelembe kellett venni. Kezdetben a beton lesimítása után a felületen buborékok jelentek meg, melyek szétpat- tanva kráter szerű nyitott üreget képeztek.

A finiser 18 db merülővibrátorát a beton végleges szintje alatt közel vízszintesre állították, és csak hosszas vizsgálat mutatta ki, hogy a nagy frekvenciájú vibrátorok a levegő nagy részét kiűzik ugyan, de a vibrátor mögött örvénylő habarcsdús betonsávban nagyobb légbuboré- kok maradnak.

Ezek egy része a felszínre úszik és elpattan.

A vibrátorokat a végleges betonszínttel azonos, vagy annál magasabb síkba helyezve, ilyen buborékok a bedol- gozott betonrétegben nem maradnak.

5. Összefoglalás

A magyarországi betonburkolatok a téli hóolvasztó sózás bevezetését követően viszonylag gyorsan tönkrementek.

A pórusok nagysága eloszlása a beton tulajdonságait, a faggyal szembeni tartós viselkedést jelentősen befolyá- solja.

A keverés során bevitt légbuborékok a betonnak a faggyal és az olvasztó sózással szembeni ellenállóképese- ségét lényegesen javítja, ha a buborékok eloszlása sűrű.

Az 1960-as évektől épültek a burkolatok légpóruskép- ző adalékszerrel, de az első időszakban a légtartalom ke- vés, a távolsági tényező nagy volt, a magas szilárdsági kö- vetelmény teljesíthetősége érdekében. A buborékrend- szer és buborékképzés vizsgálata és elemzése alapján a későbbi burkolatok betonját nagyobb légtartalommal változtatott szemmegoszlású adalékanyagkeverékkel nö- velt keverési idővel készítették.

A nagyobb légtartalom miatt a felületképzés nehezebb lett, de a bedolgozási technológia változtatásával megfele- lő felületet lehetett kialakítani.

Irodalom

- BALÁZS GY., BORJÁN J., ERDÉLYI A., LIPTAY A., ZIMONYI GY. (1976): Régi és új útbetonok összehasonlító vizsgálata. Budapesti Mű- szaki Egyetem Építőanyagok Tanszék Tudományos Közlemények 16.
- BONZEL J., SIEBEL E. (1977): Neuere Untersuchungen über den Frost-Tausalz- Widerstand von Beton. Betontechnische Berichte 1977, 55-104 Beton - Verlag Düsseldorf
- FOY Ch., PIGEON M., BANTHIA N. (1988): Freeze - Thaw Durability and Deicer Salt Scaling Resistance of a 0,25 Water - Cement Concrete. Cement and Concrete Research Vol 18 1988. 604 - 614
- PIGEON M., PREVOST J., SIMARD J.M. (1985): Freeze - Thaw Dura- bility Versus Freezing Rate. ACI Journal Szept. -Oct. 1985. 684-692.
- PIGEON M., GAGNÉ R., FOY C. (1987): Critical Air - Void Spacing Factors For Low Water - Cement Ratio Concretes With and without Condensed Silica Fume. Cement and Concrete Research Vol 17, No. 6, 1987, 896 - 906.
- POWERS T.C. (1945): A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete ACI Journal V. 41, No. 3, 1945, 245 - 272.
- POWERS T.C., HELMUTH R.A. (1953): Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Paste During Freezing. Proceedings Highway Research Board V.32, 1953, 285 - 297.
- POWERS T.C. (1968): The Properties of Fresh Concrete. John Wiley and Sons, Inc.
- POWERS T.C. (1975): Freezing Effects in Concrete. ACI Publication SP-47.1.
- WAGNER Zs.: Szilikátalapú építőanyagok fagyállósága. Kandidátusi értekezés 1988.

Liptay, András: Effect of Pore Size Distribution on the Properties of Concrete

Liptay, András: Wirkung der Porenverteilung auf die Eigenschaften des Betons

Липтай, А.: Влияние распределения пор на свойства бетона



Dr. Beke Béla nyolcvan éves

1989. november 23.-án ünnepli dr. Beke Béla professzor, mindnyájunk szeretett "Béla-bácsija" nyolcvanadik születésnapját. Ebből az alkalomból illő kissé megállnunk, hogy felidézzük egy nagyívű életpálya néhány állomását. Mert ez a pálya, csaknem hatvan év a szilikátipar szolgálatában, valamennyiünk számára sok példával és tanulsággal szolgál.

A Műegyetem elvégzése után, fiatal gépészmérnök-ként, a magyar cementipar egyik bölcsőjébe, Tatabányára kerül — itt szívta magába a "cementszagot" s lett a cement tudományának elismert kutatója, oktatója. S noha későbbi életpályája az aprításelmélet, a finom porok technológiájának elismert tudósa lett, mindvégig megőrizte szeretetét a "csodálatos szürke por", a cement iránt.

S mint a SZIKKTI Cementosztályának vezetője, hosszú éveken át segítette, hogy ez a "szürke por" minél jobb minőségben kerüljön ki a hazai gyárakból.

1949-ben Beke Béla egyike volt a Szilikátipari Tudományos Egyesület alapító tagjainak. Az Egyesületben sok különböző vezetői funkciót töltött be: hosszú időn keresztül elnöke volt az Egyesület konferenciabizottságának, cementszakosztályának, tagja folyóiratunk szerkesztőbizottságának — de legszívesebben egyszerű egyesületi tagnak érezte magát, aki résztvesz a szakmai vitákban, előadásokkal, tapasztalatainak és tudásának átadásával segíti a szilikátos közösséget.

A szilikátipar szinte valamennyi területén alapvető fontosságú az aprítás, a finom porok előállítása. Beke Béla e szakterületnek volt nemcsak hazánkban, hanem külföldön is elismert tudósa.

Sok-sok cikket írt, részben folyóiratunkban, részben a legkülönbözőbb hazai és külföldi szaklapokba; egyes munkái angolul, németül, franciául, oroszul és más nyelven is megjelentek.

A részletes felsorolástól már csak terjedelmi okokból is el kell tekinteni — de, különben is, Beke professzor ma is aktív szellemi alkotóereje teljében van, tehát a tudományos életmű korántisincs befejezve. Néhány fontos könyve azonban nem maradhat említés nélkül:

az Aprítás és Fajtázás (1954), az Aprításelmélet (1963) (ez angolul is megjelent egy évvel később), a Talabér-féle Cementipari Kézikönyvbe írt kitűnő "Mechanikai műveletek (aprítás-örlés elmélete, mechanikai műveletek gépei, portalanítás) c. fejezet, s utolsó nagyobb szabású munkája, az angol nyelvű Process of Fine Grinding (1981) a hazai és külföldi szakemberek könyvespolcának sokat forgatott kincsei közé tartoznak.

Sok megbecsülést kapott munkás élete során: viszonylag fiatalon szerezte meg a kandidátusi fokozatot, melyet hamarosan a nagydoktori követett, s mint egyetemi előadó, viseli a professzori címet. Hazai és külföldi nemzetközi konferenciák mindig érdeklődéssel hallgatott előadója volt, Európától a távoli Japánig mosolygósan állt helyt a szakmai viták kereszttüzeiben. Egyéb kitüntetései közt különös becsben tartja az Egyesületünktől kapott "Szilikátiparért" emlékérmét, továbbá a MTESZ legnagyobb kitüntetését, a MTESZ-díjat. De leginkább arra lehet büszke, hogy mérnökök százai okultak előadásából, könyveiből, szakkikkeiből és tanítványai még most is felkeresik kérdéseikkel, gondolataikkal.

Mert sok tanítványa volt: közülük maguk is nemzetközi hírű szakemberek, tudósok, tanárok: büszkén vallják magukat Béla bácsi szellemi gyermekeinek.

Nyolcvan éves korában a legtöbb ember pihenni vágyik — de akinek szelleme kíváncsi, sohasem öregszik meg. Az őrlés-aprítás világszerte elismert tudósa most egy másik, a szilikátiparban oly fontos problémával foglalkozik: a sílókban lezajló por anyagmozgással. A porok előállításának elméletével már beírta a nevét a gépészmérnöki tudományok nagykönyvébe, kívánjuk Béla bácsinak, hogy a porok tárolásának és mozgásának tanulmányozásában is érjen el olyan sikereket, mint a porok előállításának elméletében.

Sok sikert, hosszú, boldog és munkás éveket kívánnak tanítványai, akik remélik, hogy még hosszú ideig tanulhatnak Tőle.

Dr. T. F.

A világ szilikátiparából

Üvegszálfrek az USA-tól az NDK-ig

Üzembehelyezték Európa és az USA között az első digitális üveg-szálkábel, amely egyszerre 30.000 távbeszélgetés, adattovábbítás és videokonferencia egyidejű átvitelére képes kifogástalan minőségben. A 6000 km kábel az európai parttól 300 km-re elágazik. Az egyik ág Angliába, a másik Franciaországba vezet.

Az NKD-ban a Kombinat Technisches Glas Ilmenau 0,2 µm átmérőjű, szupervékony üvegszálat fejlesztett ki, amit U 30 és U 40 jelzéssel kívánna piacra dobni. Az Ilmenau kombináthoz tartozó Trisola, Steinach cég egy USA-beli vállalatot kívül az egyetlen, amely ilyen üvegszálat gyártani tud.

Handelsblatt, 1989. jan. 9. p. 10.

Kerámiapari nyersanyagokat kínál a VAW és a Feldmühle AG

Mint arról korábban hírt adtunk, a VAW az NSZK-ban visszafogta és szinte teljesen leállította a kohászati célú timföld gyártását. Ezzel szemben egyre több egyéb célú timföldet kínál a piacon a nyugatnémet cég. A különleges kerámiai a Nabwerk termeléséből Al₂O₃ alapú kerámia alkatrészeket és építőelemeket kínál acél-, üveg- és vegyipari keménckezhez.

Feldmühle AG, korábban az NSZK élenjáró elektrokorund előállítója hegesztőrobotok távtartó rúdjaiként ajánl nagykeménységű, anti-mágneses, szívós kerámiákat.

Metall, 1983, 1983.3.sz.p.198.

Alakítható kerámiákat gyártanak az NSZK-ban

NSZK kutatások eredménye alapján közelebb kerül a megvalósításhoz az olyan kerámiák előállítása, amelyek nem teljesen ridegek és mérsekelt hőmérsékletnél alakíthatóságot mutatnak. Az előállítás a nanométer nagyságrendű ultrafinom prekursor por létrehozásán alapszik.

A. Krach információja szerint kerámiaanyagot előzőlötgetnek, majd összegyűjtik 77 K fokos hűtött gyűjtőfelületen. A képződött kristályokat megszilárdítják, majd szintereléssel tömörítik.

A kivételesen finom szemcseméret következtében az anyag diffundálóképessége valószínűleg ezerszerese lesz a jelenlegi mikrométeres szemcsenagyságú kerámiáknak. Ez a tény magyarázhatja a kerámia deformálhatóságát 180 °C-nál, aminek következményeként préselhetővé és hengerelhetővé válik.

Arról nincs adat, hogy milyen módot találtak e tulajdonságok bizonyítására.

Advanced Ceramics Report 4/1989/4 p. 6.

Növekszik a szilíciumkarbid piaca

A szilíciumkarbid piaca gyorsan változik és növekszik. Mint új anyagnak, újszerű felhasználási területek nyílnak meg. Termeléséről, forgalmáról, felhasználásáról mintegy 600 vállalat és szervezet 30 országban folytatott tevékenységéről ad áttekintést egy tanulmány.

A tradicionális Acheson-eljárással gyártott szilíciumkarbid — melyet csiszoló- és tűzállóanyagként, kohászati adalékként, valamint az elektromosiparban alkalmaznak — 90 %-át teszi ki a termelésnek, de értékben csak 40 %-ot képvisel. A többi a porok, komponensek alkatrészeként, valamint a szilárdításra felhasznált szál- és whiskeranyagok teszik ki. Megnövekedett a szilíciumkarbid nedvesség-, hő- és korrózióálló anyagként való felhasználása. Az USA piacán évi 10 százalékos növekedést jelent a szilíciumkarbid mechanikai tömítések terjedése. A timföldszilíciumkarbid whisker kompozitok iránt a kereslet jelenleg évente 20 millió dollár, amely erősen növekszik. A legnagyobb sikernek ígérkező erősített szilíciumkarbid fémátrix kompozit gyártására 1989-ben induló 11.000 t/év kapacitású üzem hoznak létre.

Metals and Materials 5/1989/4 p.190. 89.04.

Alumíniumnitrid kerámiaanyag

A New Metals and Chemicals Ltd. tömeggyártásban állít elő alumíniumnitrid kerámiaanyagot és fémezett Alnitrid szubsztrátumot. A stabil, jó elektromos szigetelő és jó hővezető, a szilíciumnak megfelelő, jó táp-egülési együtthatóval bíró alumíniumnitrid kerámiaanyagból préseléssel és szintereléssel sok területen felhasználható termék állítható elő, mint pl. olvasztótégely, mikro-elektronikai alkatrészek, motoros járművek. Felhasználása helyettesíti az erősen mérgező berilliumoxidot.

Metals and Materials 5/1989/4 p.245. 89. 04

Korszerű fejlett kerámia anyagok alkotórészt gyártó vállalat létesült az USA-ban

Az USA-ban vállalatot hoztak létre olyan fejlett anyagok fejlesztésére és gyártására, melyek az ipar sok területén felhasználhatók. A vállalat rendelkezik analitikai és tesztlaboratóriummal, porszerű anyagok előállítását, kezelését, keverését szolgáló berendezésekkel, izosztatikus préseléssel, és egy vákuumszinterelő kemencével.

A vállalat anyagfejlesztésének speciális területei: fejlett kerámiák és szupravezetők, whiskerrel erősített kompozitok, fémátrix kompozitok és korszerű fémek, beleértve az alumínium-lítium ötvözeteket is.

Advanced Ceramics Report 4/1989/1 p.10.

Szuperplasztikus kerámia az USA-ban

Az USA kutatói kifejlesztettek egy ittriumoxid stabilizált tetragonális cirkóniumoxid polikristályos szuperplasztikus kerámiát (Y-TZP). Maximális nyúlása 1550 Celsius foknál 350 százalék. Az új anyag deformációja szinte teljesen egyenes, a mechanizmus valószínűleg a szemcséhatár-elcsúszáson alapszik.

Japán kutatók 1985-ben jelentették egy ilyen anyag felfedezését, aminek tágulása 1450 Celsius foknál 100 százalékos volt. Azóta már szabadalmaztatták is. Nem tudni, hogy az amerikaiak a szabadalom által leírt úton, vagy teljesen új módon jutottak-e az eredményhez.

Advanced Ceramics Report 4/1989/4 p.2

Dél-Korea támogatja a kerámiagyártást

A dél-koreai Kereskedelmi és Ipari Minisztérium az 1989-ben induló első öt éves tervében előnyben részesíti, finanszírozza és erősíti hét kulcságazat, közöttük a kerámia és más fejlett anyagok gyártását. Az ágazatok között szerepel: a számítógép- és telekommunikációs ipar, gépipar, félvezetőgyártás és elektronikai anyagok, új anyagok előállítása beleértve a kerámiákat, fémeket és ötvözeteket, fejlett polimereket, szálanyagokat és kompozitokat. A támogatás elhatározásának háttere a hét szektor piacának globális analízise, melynek hatására a jelenlegi 30 százalékos részesedésüket 60 százalékra akarják növelni. Az ipar szerkezetváltása érdekében megkezdik a fejlettebb termékek gyártását.

Advanced Ceramics Report 4/1989/1 p 4

Egyszerűbb módszer kerámia-száanyag előállításához

Japán kutatók a kerámia-száanyagok előállításának egyszerűbb módját fejlesztették ki, melyek alkalmasak kerámia, fém- és polimerátrixok erősítésére.

A jelenlegi, sok lépésből álló, szerves oldatokat stb. igénylő eljárás helyett ultrafinomságú szuszpendált kerámiaport használnak víz és polivinil-alkohol keverékében. A vékony fuvókán átnyomott szuszpenzióból képződik a nyersszál, amiből szintereléssel kapják a kerámia-száanyagot. Az eljárás részleteit még nem közölték.

Advanced Ceramics Report 4/1989/1 p 4

AZ "ALKOTÓ IFJUSÁG" ÉPÍTÉSÜGYI PÁLYÁZAT

1988/89. évi értékelése

Dr. Baráth Etele közlekedési-, hírközlési és építésügyi államtitkár 1989. szeptember 28-án adta át az Alkotó Ifjúság építésügyi pályázat díjait, melyek között a szilikátipar területéről az alábbiak szerepeltek:

Kollektív II. díjban részesül: (oklevél és 15.000 Ft.)
Cseréphordó kocsirendszer és betoló szerkezet c. pályamunka

készítették: Eördegh László
Fekete József
Miklós Tamás
Jávor Attila
ÜM Miskolci Üveggyár

az *ÉFÉDOSZ* különdíját kapta:

(oklevél és 6.000 Ft pénzdíjazalom)

A Környezetvédelmi vizes porleválasztó berendezés c. pályamunka

készítették: Pindzsulya Béla
Fekete Mihály
ÜM Vásárosnaményi Üveggyár

A *Szilikátipari Tudományos Egyesület* különdíját kapta

(oklevél és 5.000 Ft pénzdíjazalom)

az Élelmiszeripari szűrő-derítő és kovaföld gyártásának kutatása és fejlesztése c. pályamunka

készítették: Papp János
Kruchina Sándor
Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet

az *Üvegipari Művek* különdíját kapta

(oklevél és 6.000 Ft pénzdíjazalom)

az Asztali készlet c. pályamunka

készítették: Bognár Béla
Budaveszel Gyula
Salgótarjáni Öblösüveggyár

az *Üvegipari Művek* különdíját kapta

(oklevél és 4.000 Ft pénzdíjazalom)

a Virágzó tulipán c. pályamunka

készítette: Bányai Sándor
ÜM Vásárosnaményi Üveggyár

A szerkesztésért felel: Dr. Székely Ádám

Szerkesztőség: Budapest I., Anker köz 1-3. 1368

Telefon: 1226-497

Felelős kiadó: Budai Ferenc főigazgató

Kiadja:

Delta Szaklapíró és Műszaki Szolgáltató Leányvállalat

Budapest Kossuth L. u. 17. 1053

Telefon: 1174-793

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

INDEX 25250

HU ISSN 0013-970 X

ÚJ!!!

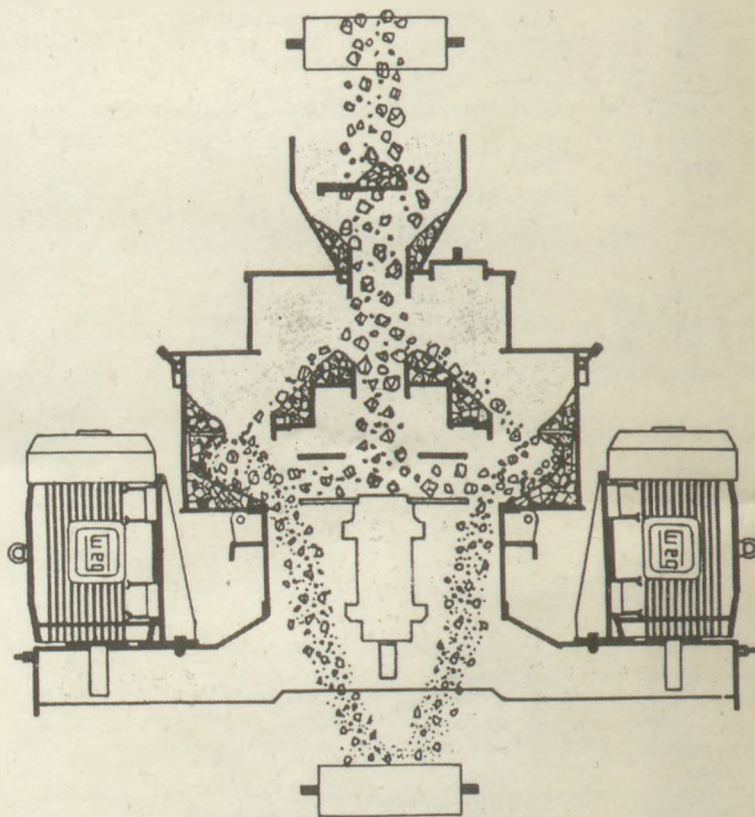
AUTOGÉN TÖRÉSI-APRÍTÁSI ELVEN MŰKÖDŐ BERENDEZÉS A

BARMAC DUOPACTOR

A világon széleskörűen használt gépcsalád az angol–magyar vegyesvállalat révén Magyarországon is forradalmasítja a törési, aprítási technológiát. Alkalmazása gazdaságossá teszi a törést, az aprítást és az őrlést.

Felhasználható:

- a kő- és kavicsiparban,
- az ércbányászatban,
- az ásványbányászatban,
- az építőanyagiparban,
- a kohászatban,
- a fémhulladékok, meddők feldolgozására és
- minden olyan helyen, ahol nem képlékeny anyagok méretcsökkentésére van szükség.



Előnyei:

- alacsony energiafelhasználás mellett 35–450 t/h teljesítmény,
- alacsony beruházási költség,
- egyszerű felállítás és üzemeltetés,
- minimális a karbantartási és kopási költség,
- üzemi paramétereit széles skálán változtathatók,
- mobilizálható,
- forintért vásárolható,
- biztosított a szervíz és az alkatrészellátás.

Forgalmazza és előállítja a

TIDCO ANIX KFT

Érdeklődjön! Szakembereink rendelkezésére állnak!

Címünk: 1016 Budapest, Mészáros utca 48–54.
Telefon: 155–9884 — Telex: 22–4971 (nikexh) — Telefax: 175–5131