

302.935

# ÉPÍTŐANYAG

*A SZILIKÁTIPARI  
TUDOMÁNYOS EGYESÜLET  
FOLYÓIRATA*

10

*XXIII. ÉVFOLYAM  
BUDAPEST 1971. OKTÓBER*

2

Főszerkesztő:

Dr. Talabér József

Felelős szerkesztő:

Dr. Hinsenkamp Alfréd

Szerkesztő bizottság:

Dr. Beke Béla  
Bretz Gyula  
Csizi Béla  
Erdély Imre  
Dr. Grofcsik János  
Dr. Kocsis Albert  
Dr. Kovács Róbert  
Lenkei György  
Dr. Lőcsei Béla  
Dr. Soltész Gáspár  
Dr. Szentmártony  
Gusztáv  
Dr. Tamás Ferenc  
Dr. Tóth Kálmán  
Vajda László

Szerkesztőség:

Budapest VI. Anker köz  
1—3.  
Telefon: 226-497

Kiadja:

Lapkiadó Vállalat,  
Budapest VII.,  
Lenin körút 9—11.  
Telefon: 221-285

Felelős kiadó:

Sala Sándor

Megjelenik havonként

Terjeszti a Magyar Posta.  
Előfizethető bármely posta-  
hivatalnál, a kézbesítőknél,  
a Posta hírlapüzletben és  
a Posta Központi Hírlap  
Irodánál (KHI, Budapest V.,  
József nádor tér 1.) közvet-  
lenül vagy postautalványon,  
valamint átutalással a KHI  
215—96 162 pénzforgalmi jel-  
zőszámára. — A folyóirat  
külföldre előfizethető: „Kul-  
túra” P. O. B. 149. Buda-  
pest 62. Előfizetési díj: ne-  
gyedévre 22,50 Ft; félévre  
45,— Ft; egyes szám ára:  
7,50 Ft.  
71.10., 15414 Révai Nyomda,  
Budapest V., Vadász utca 16.  
F. v.: Povárny Jenő.

XXIII. ÉVFOLYAM, 1971. 10. SZÁM OKTÓBER

### TARTALOMJEGYZÉK

<i>Révay Miklós—Szijj Ferenc</i> : Mészminőség és az égetési paraméterek kapcsolata	361
<i>Brunauer, Stephen—Odler, Iván</i> : A fajlagos felület és porozitás jelentősége	363
<i>Szikszay Gerő</i> : A betongyártás és adalékosztályozás problémái	375
Egyesületi élet	383
<i>Vasadi Ferenc—Nyitrai István</i> : Újrendszerű torlógyűrűs forgókemence minőségi mész égetésére	384
Egyesületi élet	383, 388
<i>Palotás László</i> : A beton sajátfeszültségeinek megítélése különböző modellek alapján	389
A világ szilikátiparából	399
Lapszemle	400

### СОДЕРЖАНИЕ

<i>Реваи, М.—Сийй, Ф.</i> : Взаимосвязь между качеством извести и параметрами обжига	361
<i>Брунауер, С.—Одлер, И.</i> : Значение удельной поверхности и пористости	363
<i>Сиксаи, Г.</i> : Проблемы производства бетона и классификации заполнителей	375
<i>Вашади, Ф.—Нитрай, И.</i> : Вращающаяся печь с кольцевым порогом- экономическая известково-обжигательная печь новой системы	384
<i>Палоташ, Л.</i> : Определение свойственных напряжений бетона на основе различных моделей	398

### INHALT

<i>Révay, Miklós—Szijj, Ferenc</i> : Zusammenhang zwischen der Qualität des Kalks und den Parametern beim Brennen	361
<i>Brunauer, St.—Odler, I.</i> : Die Bedeutung der spezifischen Oberfläche und der Porosität	363
<i>Szikszay, Gerő</i> : Probleme der Betonerzeugung und beim Klassieren der Zuschlagstoffe	375
<i>Vasadi, F.—Nyitrai, H.</i> : Der Stauringdrehofen, ein wirtschaftlicher Kalkofen neuen Systems	384
<i>Palotás, L.</i> : Die Beurteilung der Eigenspannungen vom Beton auf Grund verschiedener Modelle	389

### CONTENTS

<i>Révay, Miklós—Szijj, Ferenc</i> : Connexions between Quicklime Quality and Burning Parameters	361
<i>Brunauer, Stephen—Odler, Ivan</i> : The Significance of Surface Area and Porosity	363
<i>Szikszay, Gerő</i> : Problems of Concrete Fabrication and Aggregate Classification	375
<i>Vasadi, F.—Nyitrai, H.</i> : The Obturator Ring Rotary Furnace is the Economic New System Lime Kiln	384
<i>Palotás, L.</i> : Evolution of the inherent stresses in concrete on the basis of different model types	389

## Mészminőség és az égetési paraméterek kapcsolata\*

RÉVAY MIKLÓS—SZIJJ FERENC

Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet, Budapest

A SZIKKTI-ben a mészégetés optimalizálása érdekében kísérleteket végeztünk. Munkánk kezdetén a mészégetés optimális hőmérsékletének meghatározását tűztük ki célul. A kísérletek értékelése során azonban meg kellett állapítanunk, hogy nem beszélhetünk általában optimális égetési hőmérsékletről, mert azt a nyersanyag és a késztermék minőségi paraméterei determinálják.

A Vasadi—Nyitrai előadásban, de a felhasználók részéről is egyre több szó esik az égetett mész reakcióképesség szerinti minősítéséről. Ebben az irányban haladtunk, amikor felvettük a különböző körülmények között laboratóriumban égetett meszek oltódási görbéit ( $T-\tau$ ) és megállapítottuk, hogy azok lefutása legjobban az ún. feled rendű reakciósebességi egyenlettel közelíthető:

$$-2(1-x)^2 = K\tau + \tau_0, \quad (1)$$

ahol  $x$  = az oltatlan mész aránya a kiinduló mész-mennyiséghez,

$\tau$  = idő

$\tau_0$  = állandó (az oltódás kezdete)

Az égetett mész szaporasága és a sebességi állandó ( $K$ ) között az aktív CaO (oltódásra képes CaO)-tartalom egységére jutó szaporaság ( $SZ_A$ ) bevezetésével találtunk kapcsolatot

$$SZ_A = \frac{SZ}{CaO_A}, \quad (2)$$

ahol  $SZ_A$  = akt. m. egységre jutó szap.

$SZ$  = szaporaság

$CaO_A$  = aktív CaO

Az  $SZ_A - T_e$  (a dekarbonizálódó mész stat. átlaghőmérséklete) összefüggés.

$$SZ_A = Sz_{Am} - cT_e, \quad (3)$$

ahol  $Sz_{Am}$  = aktív CaO-egységre jutó max. szap. értéke:

grafikusan: 40 1/10 kg

számítással: 40,26 1/10 kg

$c$  = az egyenes iránytényezője.

$Sz_A - K$  összefüggést is megállapítottunk, de mat. leírását még nem tudtuk megadni.

E két összefüggés szerint tehát, ha megadjuk valamely égetett mész oltódási sebességi állandóját, ezzel meghatároztuk a termék  $SZ_A$  értékét és az égetés hőmérsékletét is. Más szóval: rögzítettük a mész kő kiégett részének égetettségi állapotát, amely alatt az

$$\alpha = \frac{SZ_A}{SZ_{max}} \quad (4)$$

arányt értjük. Ez nem tévesztendő össze a kiégettség mértékével, amelyet a dekarbonizáció fokával

$$\delta = \frac{CO_2 \text{ eltávolított}}{CO_2 \text{ bevitte}} \quad (5)$$

jellemeztük.

\* Hozzászólás Vasadi Ferenc és Nyitrai István a X. Szilikátipari Konferencián elhangzott előadásához. (Lásd a 384. és következő oldalakat).

A termék égetettségi állapotának mérőszáma ( $\alpha$ ) alapján eldönthető, hogy lágyan vagy keményen égetett mésszel van-e dolgunk. Ez  $K$ -val is kapcsolatba hozható:

Tapasztalatunk szerint:

Lágyan égetett

$$0,85 \leq \alpha \leq 1 \quad 28' \leq K \leq +\infty$$

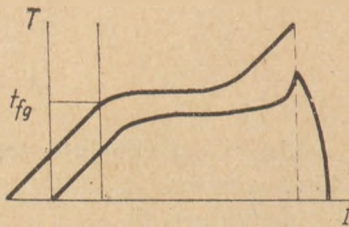
Közepesen égetett

$$0,7 \leq \alpha < 0,85 \quad 8 \leq K < 28 \quad (6)$$

Keményen égetett

$$0,0 \leq \alpha < 0,7 \quad 0 \leq K < 8$$

$K$  és  $T_\delta$  rögzítésétől függetlenül a kiégetettség mértéke ( $\delta$ ) különböző lehet. Ha azonban megadjuk a dekarbonizáció fokát, akkor már kellően körülhatároltuk a rendszert, meghatároztuk az égés idejét, vagy egy adott berendezés kihozatalát.



Ily módon eldönthető, hogy a kívánt minőségű terméket gazdaságos-e gyártani, ill. előállításának várhatóan milyen költségkihatásai lesznek (a kőminőség és szemnagyság állandó értéken tartása mellett).

A következő kérdésünk az volt, hogy az általunk definiált termékminőségi paraméter ( $K$ ) hogyan vihető be a rendszerbe üzemi jellemzőként. Ennek vizsgálatára  $\varnothing 766/916 \text{ mm} \times 9450 \text{ mm}$  méretű hőhasznosító nélküli kísérleti forgókemencén végeztünk kísérleteket.

Mivel  $K$  megadásával  $T_\delta - t$ , mint intenzív, és  $\delta$  megadásával a kemenceteljesítményt mint extenzív tényezőt rögzítettük, legfontosabb feladatunk

ezek folyamatos, lehetőleg a kiégés pillanatában történő rögzítése volt.

Kísérleteink szerint  $T_\delta$  helyettesíthető a dekarbonizációs zóna előtt mért füstgázhőmérséklettel:

A  $\delta$  meghatározásához pedig a füstgázelemzés eredményeinek a szakirodalomból ismert módon való felhasználásával juthatunk.

Eszerint a mészkőből időegység alatt felszabaduló  $\text{CO}_2$  mennyisége:

$$V'_k = V_t \frac{\text{CO}_{2e} - L}{1 - \text{CO}_{2e}} \quad (7)$$

ahol  $V'_k$  = a felsz.  $\text{CO}_2$  ( $\text{Nm}^3/\text{ó}$ )

$V_t$  = a tüzelőanyagból felszabaduló száraz levegőmentes füstgázmennyiség ( $\text{Nm}^3/\text{ó}$ )

$\text{CO}_{2e}$  = a levegőmentes száraz  $fg$   $\text{CO}_2$  tartalma (%)

$L$  = a tüzelőanyag  $fg$ -nak  $\text{CO}_2$  tartalma lev. mentes állapotra (%).

Előírt  $\delta$  esetén a számított bevitt  $\text{CO}_2$

és az eltávolított bevitt  $\text{CO}_2$  között eltérés van:

$$\frac{V'_k}{V_t} = \frac{\text{CO}_{2e} - L}{1 - \text{CO}_{2e}} \quad (8)$$

A korrekcióra kétféle lehetőségünk van: vagy a tüzelőanyag ( $V_t$ ), vagy a nyersanyag ( $V_k$ ) mennyiségének változtatása. A helyes beavatkozás attól függ, hogy  $T_{fg}$  egyidejűleg milyen irányban változott meg.

A gyakorlatban különösen  $T_{fg}$  és  $V_k$  mérése igényel nagyobb körültekintést. Véleményünk szerint azonban a kísérleti modellezés továbbfejlesztésével lényegesen leszűkíthető a szükséges üzemi kísérletek elvégzésének területe. Ezáltal viszont remény van a korszerű termékminőséget és a gazdaságos üzemvitelt egyaránt figyelembe vevő, jól szabályozott égető berendezések létesítésére.

Резаи, М.—Суйű, ф: Взаимосвязь между кагесвом извести и пармеграми обжига

## LAPUNK PÉLDÁNYONKÉNT MEGVÁSÁROLHATÓ:

V., VÁCI UTCA 10.

V., BAJCSY-ZSILINSZKY ÚT 76. SZÁM ALATTI

H Í R L A P B O L T O K B A N

# A fajlagos felület és porozitás jelentősége\*

BRUNAUER, STEPHEN — ODLER, IVAN  
(Clarkson College of Technology, Potsdam, U.S.A.)

## Bevezetés

A tudomány igen aktív és fontos ága az úgynevezett *felületi tudomány*. Ez a név a szilárd vagy folyékony anyag felületével foglalkozó tudományágat jelenti. A felület tulajdonságai a tömeges anyag tulajdonságaitól eltérnek. Ha nem volnának ilyen különbségek, a felületi tudomány fogalma elvesztené jelentőségét.

Abból a célból, hogy megismerjük a felület és a tömeges anyag tulajdonságai közötti különbséget, vegyünk figyelembe egy nátrium-klorid kristályt. Ez a kristály, mint ismeretes lapcentrált, szabályos ráccsal kristályosodik. Ha most kiválasztunk a kristályban egy nátriumatomot, azt tapasztaljuk, hogy azt 6 klóratom veszi körül, mégpedig 4 a síkjában, 1 felette és 1 pedig alatta. A kémikusok azt mondják, hogy a nátriumatom és klóratom között *vegyértékerők* lépnek fel, helyesebb azonban úgy fogalmazni, hogy minden egyes nátriumatom 6 klóratomhoz kötődik, és minden egyes klóratom 6 nátriumatomhoz kötődik.

Ha egy gáz alakú nátriumatom gáz alakú klóratommal reagál, nagy mennyiségű energia szabadul fel. Ezt az energiát *kötési energiának* nevezzük. A nátrium-klorid molekulának tehát kisebb az energiája, mint a nátriumatomnak és a klóratomnak külön-külön. Minél kisebb egy rendszer energiája, annál kevésbé lesz reagálóképes. Így tehát a nátrium-klorid molekula kevésbé reagálóképes, mint a nátriumatom és a klóratom.

A vegyértékkötés keletkezését a kristályban az alábbi módon tehetjük szemléletessé. Ha egy klóratomot egy nátriumatom közelébe helyezünk, a nátrium-klorid kötési energiájának  $\frac{1}{6}$  része szabadul fel és átadódik a környezetnek. Abban az

esetben, ha 6 klóratomot helyezünk el a nátriumatom köré, a teljes kötési energia felszabadul. Természetesen minden egyes klóratom ugyanakkor 5 más nátriumatomhoz is kötődik, úgyhogy a végén ugyanannyi nátrium-klorid kötés keletkezik, hiszen a kristályban nátrium- és klóratomok párvai fordulnak elő.

Most vegyünk figyelembe egy olyan nátriumatomot, mely a nátrium-klorid kristály legtetején van. Ennek azonban már csak 5 szomszédos klóratomja van: 4 az oldalakon, 1 alatta; de felette egy sem. Így tehát az 5 klóratom a nátriumatom kötési energiájának csak  $\frac{5}{6}$  részét fogja lekötve tartani. Ugyanez vonatkozik a felület valamennyi klóratomjára is. Ennek az a következménye, hogy a nátrium- és klóratomok, vagy ha úgy tetszik, a nátrium-klorid molekulák a felületen magasabb energiaszintet képviselnek, mint a kristály belsejében. A magasabb energiaszint azt jelenti, hogy aktívabbak, reakcióképesebbek lesznek, mint a kristályban elhelyezkedő többi atom vagy molekula. Ezt az energiafelesleget *felületi energiának* nevezzük.

A fenti kép természetesen erősen egyszerűsített. A nátriumatomok nemcsak a szomszédos klóratommal vannak kapcsolatban, hanem a klóratomon túli többi atomokkal is. Ennek ellenére a lényeges pont változatlan marad: a felületen elhelyezkedő atomoknak nagyobb az energiája, mint a kristály belsejében levő atomoknak, egyszerűen azért, mert kevesebb a szomszédjuk. A felületi atomoknak természetesen nemcsak az energiataralma, hanem entrópiája és szabad energiája is nagyobb, mint a kristály belsejében levő atomoknak.

A nagy felületnek tehát az a jelentősége, hogy nagy lesz a felületi energia is. Ennek megfelelően az aktivitása (reakcióképessége) nagyobb lesz, mint a kisebb felületé. Ez azonban természetesen

\* A X. Szilikátipari Konferencia anyagából.

nem jelenti megfontolásaink végét. Valamely anyag 1 grammja lehet hogy ugyanakkora felületű, mint egy másik anyag 1 tonnája, de gyakorlati szempontból természetesen az a fontos, hogy az anyagnak kis súlya, kis tömege, kis térfogata képviseljen nagy felületet. Ami a kémikus szempontjából fontos, az a *fajlagos felület*, azaz az egységnyi tömegű vagy egységnyi térfogatú anyag felülete. Ezt a fajlagos felületet  $\text{cm}^2$ -ben,  $\text{m}^2$ -ben fejezhetjük ki, az anyag 1 grammjára vagy  $1 \text{ cm}^3$ -re vonatkoztatva.

Az ammóniaszintézis során alkalmazott legjobb katalizátor a vas. Ha a vas-katalizátor egy kis szemcséjét, mondjuk 1 grammos szemcséjét vesszük, vizuális mérésrel azt tapasztaljuk, hogy a felülete kb.  $1 \text{ cm}^2$ . Ha azonban más elven alapuló mérési módszert választunk (erről később lesz szó), azt tapasztalhatjuk, hogy a fajlagos felület 100 ezer  $\text{cm}^2$ . Mindez a felület a katalizátor pórusaiban helyezkedik el. Vannak olyan anyagok, melyek fajlagos felülete a vas-katalizátor fajlagos felületének százszorosa! Természetesen az ilyen kis rendelkezésre álló térfogatban elhelyezkedő ilyen óriási felület csak úgy képzelhető el, ha a pórusok rendkívül keskenyek, vékonyak, aprók, a molekuláris dimenziókhoz közel állnak. A porozitás elsődleges fontossága tehát abból áll, hogy az anyag kis tömegében vagy kis térfogatával lép fel.

## Adszorpció

Minden anyag a lehető legnagyobb stabilitásra törekszik. Ez más szavakkal kifejezve a lehető legkisebb energiaállapotot jelenti. A szilárd anyag felvétele tehát arra törekszik, hogy az energiafeleslegtől vagy annak legalább egy részétől megszabaduljon. Ez pedig olyan módon jön létre, hogy a környezetéből molekulákat vonz magához és ezekkel kötéseket létesít. Ezt a folyamatot *adszorpciónak* nevezzük. Az adszorpció során, csak úgy mint a kémiai kötések képződése során, energia szabadul fel, és a rendszer alacsonyabb energiaállapotba kerül.

A felület és az adszorbeált anyag között fellépő kötés nem feltétlenül kémiai kötés. Azt az anyagot, melynek felületén az adszorpció történik, *adszorbensnek*; és azt az atomot vagy molekulát, mely a szilárd anyag felületén adszorbeálódik, *adszorbatumnak* nevezzük. Ha az adszorbens és az adszorbatum között vegyi affinitás van, előfordulhat az, hogy valódi kémiai kötések jönnek létre. Egy példa: a már említett vas-katalizátor felületén kémiai kötések keletkeznek akkor, ha szénmonoxiddal vagy oxigénnel kerül érintkezésbe; ez a folyamat még

a cseppfolyós nitrogén hőmérsékletén ( $-196 \text{ }^\circ\text{C}$ -on) is lejátszódik. Az oxigénmolekulák tulajdonképpen atomokká disszociálnak, és ilyen módon jön létre a vas-katalizátor felületén az oxid; a szénmonoxid molekulái nem disszociálnak ugyan, hanem a vas-karbonilhoz hasonló kötéseket létesítenek. A vas-katalizátor felületén  $-78 \text{ }^\circ\text{C}$ -on a hidrogén disszociál és felületi hidrid jön létre. Végül a vas-katalizátor felületén nitrogén is képes disszociálni és felületi vas-nitridet képezni. Ez azonban csak  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ -on jön létre, mint azt Brunauer és Emmett 1940-ben igazolták. Az adszorpciónak ezt a típusát vegyi adszorpciónak vagy más néven *kemisorpciónak* nevezzük.

A nátrium-klorid és a fenti gázok között kemisorpció nem jön létre. Ennek ellenére, mint azt már láttuk, a nátrium-klorid és minden más anyag felülete energiatöbblettel rendelkezik; következésképpen minden anyag felülete környezetének minden atomját vagy molekuláját adszorbeálni fogja. Ezt az általános, nem specifikus adszorpciót *fizikai adszorpciónak* nevezzük. A kemisorpció során a kötés energiája (amelyet más néven *adszorpciós hőnek* is nevezhetünk) hasonló nagyságrendű, mint a vegyületek kötési energiája. A fizikai adszorpció során azonban ez a kötés lényegesen gyengébb. A fizikai adszorpció folyamata a gázok, gőzök kondenzációjához hasonlít; ennek következménye, hogy a fizikai adszorpcióval együttjáró hőfolyamatok a kondenzációs hőhöz hasonló nagyságrendűek. A gyenge kötés következtében a fizikailag adszorbeált molekulák a felületről sokkal könnyebben eltávolíthatók, mint a kemisorpció útján kötött molekulák; a gyakorlatban pl. olyan gázok, mint a nitrogén, a széndioxid vagy az oxigén a felületről már a felületi atomok termikus vibrációja következtében is eltávoznak. Szobahőmérsékleten tehát a fenti permanens gázokból csak nagyon kis mennyiség adszorbeálódik, de alacsony hőmérsékleten, tehát a forráspontjuk közelében, a fenti gázokból is nagy mennyiség képes adszorpcióra. Ez igen lényeges körülmény, mert a gázok vagy gőzök fizikai adszorpciója alkalmas arra, hogy a szilárd anyagok fajlagos felületét megmérhessük és pórusszerkezetét tanulmányozhassuk.

### *A felület és a porozitás szerepe a műszaki gyakorlatban*

Mielőtt a fajlagos felület mérésére és a pórusszerkezet vizsgálatára alkalmas módszerekkel foglalkoznánk, röviden áttekintjük, hogy e tárgy miért fontos a műszaki kémia szempontjából.

Igen sok vegyipari folyamatnál *katalizátorokra* van szükség. A katalizátorok működésében pedig

a kemisorpció alapvetően fontos szerepet játszik. Vegyük pl. az ammóniaszintézist. Az ammóniaszintézis során a vas-katalizátor kemisorpció útján nitrogénmolekulákat köt le. A kötés során a nitrogénmolekulák atomokra disszociálnak. A nitrogénatomok ezek után a felületen jelen levő hidrogénnel reagálnak és ammónia képződik. Az ammónia molekulák ezután a felületről deszorpció útján távoznak, és ilyen módon a katalizátor felülete ismét az eredeti állapotba kerül és alkalmas a katalitikus folyamat folytatására. Deszorpció alatt az adszorpcióval ellentétes folyamatot értjük: tehát azt, hogy az adszorpció során keletkező kötés leszakad a felületről. Az adszorpció folyamata során hő szabadul fel; a deszorpció során tehát hőre van szükség ahhoz, hogy az adszorpciós kötések felszakadjanak.

Régóta ismert tény az, hogy a katalitikus folyamatok legtöbbje (vagy talán valamennyije) során nem a teljes felület aktív a kívánt kémiai reakció lejátszódása szempontjából. Eddig úgy tekintettük a felületet, mintha egyszerű homogén anyag volna. Ez az alapfelképzelés természetesen csak egyszerűsítés, hiszen csak azt vettük figyelembe, hogy az atomok a felületen azért rendelkeznek magasabb energiával az anyag belsejéhez képest, mert kisebb számú szomszédal rendelkeznek. Ha azonban a kristály élén elhelyezkedő atomot vesszük figyelembe, rögtön látjuk, hogy ennek még kevesebb a szomszédja, tehát következésképpen még magasabb az energiaállapota, sőt a kristály csúcsán elhelyezkedő atomra ez még fokozottabb mértékben vonatkozik. A kristály élén egy-egy lépcsőben vagy egy-egy vakanciahelyen elhelyezkedő atom szomszédainak száma mindig más és más, tehát ezek mindig más és más energiaállapotúak. Így tehát a felület energetikai szempontból heterogén, tehát az egyes felületi helyeken más és más lesz az adszorpciós hő. Ha tehát valamely atom vagy molekula nagy energiájú helyeken adszorbeálódik, a felszabaduló adszorpciós hő nagyobb lesz, és a keletkező kötés erősebb, mintha kisebb energiájú részekben történik az adszorpció.

A katalízissal foglalkozó szakemberek előtt ismert, hogy az ún. *aktív centrumok* a teljes felületnek csak kis részét teszik ki. Ha a két reagáló gáz közül az egyik a felülettel olyan erős kötést képez, mely nehezen szabadítható fel, akkor előfordulhat, hogy a másik gáz ezt nem lesz képes feltörni. Ha pedig a kötés túl gyenge, akkor az a veszély fenyeget, hogy a gázmolekula hamarabb deszorbeálódik, mielőtt másik molekula reagálhatna vele. Annak ellenére, hogy az aktív centrumok területe a felület egészéhez képest csak igen kicsi, mégis fontos az,

hogy az anyag nagy fajlagos felülettel rendelkezzen, mert a nagyobb teljes felület egyúttal azt jelenti, hogy az aktív felület is nagyobbá válik. Így pl. a vas-katalizátor felszíne nagymértékben megnövelhető az ún. *promotorok* adagolásával. Ilyen promotor pl. lehet 1% alumínium-oxid. Az eredmény nemcsak az lesz, hogy a felület megnő, de a promotórral kezelt vas-katalizátor hatásossága is nagyobb lesz, mert a katalitikus szempontból aktív felület a katalizátor azonos tömegére vonatkozólag megnövekedett.

Az iparban alkalmazott katalizátorok többsége vagy talán valamennyi katalizátor porózus anyag, azaz a felület legnagyobb részét a pórusok képviselik. A nagy belső felület az, ahol az aktív centrumok elhelyezkednek; e nagy belső felület nélkül a katalizátorok aktivitása és hasznossága igen kicsiny volna. Az azonban nem elég, hogy a belső felület nagy legyen; nagyon fontos a pórusok *mérete* is, melyekben a felület realizálódik. Ez a katalitikus folyamatok további tárgyalása során nyilvánvalóvá válik.

Minden katalitikus folyamat öt lépésre osztható. Az első lépés a reagáló anyagok diffúziója a pórusokba, második a katalizátor felületén történő adszorpció, a harmadik a katalizátor felületével való reakció, a negyedik a reakciótermékek deszorpciója a felületről és az ötödik a reakciótermékek diffúziója a pórusokból. A fenti öt lépés mindegyike időt igényel; s a teljes reakció sebességét a leglassúbb lépés sebessége fogja meghatározni.

A diffúzió sebessége a pórusok méretétől függ. Tág pórusokban a diffúzió gyors, szűk pórusokban a diffúzió lassú. Ha azonban a katalizátor adott térfogata csak tág pórusokat tartalmaz, akkor nem lehet nagy a felület; és csak a nagy felületű anyag alkalmas katalizátornak. A kizárólag széles pórusokból álló katalizátor létrejöttét tehát el kell kerülni. Ha azonban valamennyi pórus rendkívül szűk, akkor a diffúzió sebessége válik túl lassúvá és következtében a teljes reakció is igen lassan fog lejátszódni. Ezért a csak szűk pórusokból álló katalizátor sem felel meg. Látható tehát, hogy a katalizátor gyártása során az a célszerű, ha egy katalizátor elegendő számban tartalmaz tág pórusokat és szűk pórusokat egyaránt. De ez még nem minden. A pórusok mérete befolyásolja a katalitikus reakció aktiválási energiáját és rendűségét, befolyásolja a katalizátormérgeket, valamint a katalitikus rendszer felépítéséhez szükséges hőmérsékleti és nyomásviszonyokat.

A legtöbb szilárd anyag pórusainak vastagsága, szélessége különbözik. Igen fontos tehát, hogy megismerjük a különböző méretű pórusok térfogatát,

illetve felületét. Eddig nem beszéltünk a pórustér-fogat jelentőségéről, de a következőkben ezzel is foglalkozni fogunk, elsősorban olyan adszorbensek esetében, melyek nem katalizátorok. Minden katalizátor adszorbens, mint ahogy azt láttuk, de nem minden adszorbens katalizátor. A szilikagél pl. igen gyakran használják a levegő nedvességtartalmának kivonására. Az aktív szén, így pl. a faszén szokták használni a levegő mérgező gáztartalmának elvonására pl. a gázálcokban. A víz vagy a mérgező gázok adszorpciója jellegzetesen fizikai adszorpció, ellentétben a katalitikus folyamatoknál szerepet játszó kemiszorpcióval. Mivel a fizikai adszorpció a szilikagél vagy a faszén teljes felületét igénybe veszi, itt igen lényeges a nagy összes felület; valóban ezek az adszorbensek rendkívül nagy felülettel rendelkeznek, melyek nagysága két nagyságrenddel meghaladhatja a vas-katalizátor felületét. Az előbbieken már említett, promotort, tartalmazó vas-katalizátor felülete  $10 \text{ m}^2/\text{g}$ ; az aktív szén felülete elérheti az  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  értéket is.

A kemiszorpcióhoz szükséges az, hogy az adszorbens és az adszorbátum közvetlenül érintkezzék. Ennek megfelelően a katalitikus folyamatoknál csak egyetlen adszorbeált réteg keletkezhet a katalizátor felületén. Ezt a fajta adszorpciót *egyrétegű* adszorpciónak nevezzük. A fizikai adszorpció során azonban igen sok adszorbeált réteg épülhet fel a felületen: ez a *többrétegű* adszorpció. Ha a pórusok szélesebbek, tágabbak, több adszorbeált réteg képződésére van lehetőség. A pórusok felületeloszlásának ismeretén kívül tehát a pórusok térfogateloszlását is ismernünk kell.

Sok olyan nagy felületű anyag van, melyek sem nem adszorbensek, sem nem katalizátorok. Ilyen pl. a megszilárdult portlandcementpép, a beton ragasztóanyaga. Az Egyesült Államokban évenként több mint 20 milliárd dollárt költenek betontermelésre, és az Egyesült Államok betontermelése a világtermelésnek mindössze 16%-át teszi ki. Ez is bizonyítja a beton műszaki jelentőségét, és ez igazolja azt a tömérdek erőfeszítést, amely a beton felületének és póruseloszlásának felderítése érdekében az utóbbi években történt.

Vágjunk ki gondolatban  $1 \text{ g}$  súlyú és kocka alakú megszilárdult portlandcementpépet. E kocka felülete kb.  $3 \text{ cm}^2$  lesz. Ha azonban megfelelő eljárással megmérjük a kocka pórusainak belső felületét, azt tapasztaljuk, hogy ez a felület meghaladja a  $2$  millió  $\text{cm}^2$ -t is. Tehát a kocka belső felülete a külső mérhető felület milliószorosa is lehet! Ez a rendkívül nagy felület, vagy pontosabban e nagy felületen levő hatalmas felületi erő okozza a megszilár-

dult pép ragasztó hatását. Ez a ragasztóanyag, melyet néha *cementgélnek* szoktak nevezni, a cement és a víz közötti vegyi reakció során jön létre.

Azt már láttuk a korábbiakban, hogy a felület a környezetéből atomokat, illetve molekulákat vonz magához, a felületen levő telítetlen erők következtében. Ugyanez az oka annak, hogy minden felület a környezetében, helyesebben hatáskörzetében levő felületeket ugyancsak vonzza; ha tehát két felület egymáshoz közel kerül, ezek egymáshoz tapadnak. Ezt a folyamatot *adhézió*nak nevezik; az adhézió során az adszorpcióhoz teljesen hasonló módon energia szabadul fel. Ez az energia jellemzi a két felület között kialakult kötést. A cementgél minden  $\text{cm}^2$ -e bizonyos mennyiségű erőt képvisel. Láthatjuk tehát, hogy a nagy fajlagos felület igen erős ragasztó hatást fog jelenteni. A gélrészecskék egymáshoz vonzzák, egymáshoz adhézió útján tapadnak és ugyancsak adhézió útján tapadnak a megszilárdult cementpépben levő kristályokhoz, valamint a betonban levő homokhoz és durva adalékanyaghoz. Ilyen módon jön létre a beton: finom cioszlású ragasztóanyaggal összekapcsolt erős, tömör és koherens szerkezetű, heterogén anyag.

A sok finom pórus jelenléte tehát nagy felületet jelent; ez a magyarázata az erős ragasztóképességének. Ugyanakkor azonban természetesen a pórusok a szilárdságot csökkentik. Ez érthető, hiszen a szilárdságot a szilárd anyag hordozza, nem pedig a szilárd anyag folytonossági hiánya: a pórus. A mérések azt mutatják, hogy a beton szilárdsága a porozitás növekedésével exponenciálisan csökken.

A fajlagos felület és a porozitás a megszilárdult cementpép és beton szilárdságán kívül a térfogatváltozásokat is befolyásolja. Ha a betont körülvevő levegő nedvességtartalma megnő, a víz a megszilárdult cementpép pórusrendszerében mozogni fog. Ezt a mozgást az okozza, hogy a felületen adszorbeálódott mennyiség az adszorbátum parciális nyomásától függ. Ha tehát a nedvességtartalom megnő, a belső felületen nagyobb mennyiségű víz adszorbeálódik, azaz más szavakkal kifejezve, több víz jut a pórusrendszerbe. Az ilyen módon megnövekedett adszorpció a megszilárdult pép és a beton térfogatának megnövekedésében realizálódik. Ha pedig a külső nedvességtartalom csökken, az előző folyamat megfordul, víz távozik el a pórusrendszerből és a beton zsugorodni fog. Ezek a térfogatváltozások ugyan nem nagy mértékűek, de még ezek is megkárosíthatják a betont.

A fenti hatásoknál sokkal lényegesebb kárt okozhat, ha a víz a pórusrendszerben megfagy. A jég térfogata a vízhez képest kerekén 9%-kal nagyobb;



így tehát a vízzel megtöltött pórusokban bekövetkező térfogatnövekedés igen nagy helyi feszültségeket hozhat létre, és ez a portlandcementpép és beton károsodásához vezethet.

A megszilárdult portlandcementpép és a beton felületéről és porozitásáról részletes tanulmányban számoltunk be a VIII. Szilikátipari Konferencián (Brunauer 1966). Abban a cikkben azt is kifejtettük, hogy a pép és a beton műszaki tulajdonságai szempontjából a különböző méretű pórusok milyen módon viselkednek. A megszilárdult cement pórusméret-eloszlása igen változatos. A pórusok egy része igen keskeny vagy olyan szűk bejárattal rendelkezik, hogy még a nitrogén molekula sem tud beléjük hatolni, mások pedig olyan tágasak, hogy még közönséges optikai mikroszkóp alatt is láthatók. Igen szűk pórusok esetében a cement és a víz közötti vegyi reakció megáll, mert a reakciótermékek nem áll elegendő térfogat a rendelkezésére, hogy kristályokká nőjön. Ugyanez az oka annak, hogy a víz nem fagy meg az igen szűk pórusokban; következőképpen a fagyhatás okozta károsodásért kizárólag csak a nagyobb méretű pórusok felelősek. A különböző méretű pórusok a megszilárdult pép és a beton vízzel szemben mutatott permeabilitását is más és más módon befolyásolják. Végül pedig a kicsiny és nagy pórusok mind a szilárdságot, mind a térfogatváltozásokat különböző módon és különböző mértékben befolyásolják.

A szilárd anyagok pórusméret-eloszlása változó. Vannak olyan szilárd anyagok, melyekben csak tág pórusok fordulnak elő, másokban csak szűk pórusok, és ismét másokban szűk és tág pórusok vegyesen. Dubinin akadémikus a pórusokat három csoportba sorolja, és ezt az osztályozást általában elfogadják világszerte. Az úgynevezett makropórusok vagy tágpórusok nagyobbak, mint 1000 Å. Az átmeneti pórusok vagy más néven mezopórusok mérete 1000 és 16 Å között van, míg a mikropórusok mérete 16 Å-nél kisebb. Persze a makropórus kifejezés nem a szó köznapi értelmében értendő: csak a legnagyobb méretű makropórusok azok, melyek a közönséges optikai mikroszkóppal láthatók, a többségük az optikai mikroszkóp feloldóképessége alatt van. A katalizátorok és az adszorbensek esetében már beszéltünk a porozitás jelentőségéről, ezekben azonban csak a mikropórusok és az átmeneti pórusok jelentősek (mert a makropórusok felülete az összfelületnek csak egészen kis részét teszik ki). Vannak azonban más jelenségek, ahol a makropórusok szerepe egészen fontos: ilyen pl. a beton fagyállósága, vagy a beton szilárdságában viselt szerep.

## A fajlagos felület meghatározása

Az adszorpció jelenségét Scheele 1773-ban fedezte fel. Ezt a dátumot tehát joggal nevezhetjük a felületi tudomány születésnapjának. Érdekes megjegyezni, hogy a felületi tudomány csaknem másfél évszázadon keresztül úgy létezett és fejlődött, hogy a felület méretéről a kutatóknak fogalmuk sem volt. 1922 volt az az esztendő, amikor a fajlagos felület meghatározásának első módszere napvilágot látott. Paneth egyidejűleg két módszert is javasolt a fajlagos felület meghatározására: az egyik a radioaktív nyomjelzők, a másik pedig a festékanyagok adszorpcióján alapult, mind a kettőnél tulajdonképpen a folyadékból történő adszorpciót használta meghatározási alapként (Paneth és Vorwerk 1922). Wolff a felületet az oldás sebessége útján próbálta megmérni (Wolff 1922). A festékadszorpció módszerét még a mai napig is használják.

A Paneth- és a Wolff-féle vizsgálatokat követően számos új módszert dolgoztak ki, de ezek egy része nem volt megbízható, más része pedig megbízható ugyan, de rendkívül aprólékos munkát igényelt. Ez volt az oka annak, hogy a felületi kémikusok igen sok kutatást folytattak anélkül, hogy a fajlagos felületet valóban megmérték volna. Ez a helyzet csak akkor változott meg, amikor bevezették a gázadszorpció felületmérést. Az utóbbi két és fél évtizedben a felületmérésnek ez a módszere az egész világon elterjedt és az elterjedés mértékét legjobban az jellemzi, hogy az adszorbensek és katalizátorok gyártásával és felhasználásával foglalkozó iparágakban naponta több száz fajlagos felületmeghatározást végeznek.

A gázadszorpció módszer kidolgozásában két fő lépést különböztethetünk meg. Először egy empirikus módszert dolgoztak ki Brunauer és Emmett 1935, ill. Emmett és Brunauer 1937-ben. Később pedig egy új módszert dolgoztak ki, mely már szigorú elméleti alapon áll. Ezt Harkins professzor BET elméletnek, ill. BET módszernek nevezi a szerzők nevének kezdőbetűi alapján. (Brunauer, Emmett és Teller 1938.) A két módszer egymáshoz nagyon közeli eredményeket adott. Először az empirikus módszerről beszélünk, mert igen sok kutató még ma is ezt használja, de a BET módszer az iparban igen széles körű elterjedésnek örvend.

Mindkét módszer alapja az ún. *adszorpció izoterma*. Az adszorpció izoterma alatt az 1. ábrán látható görbékértjük, itt tehát az adszorbeált gáz vagy gőz mennyiségét ábrázoljuk különböző nyomásokon, de azonos hőmérsékleten. A gőzök ad-

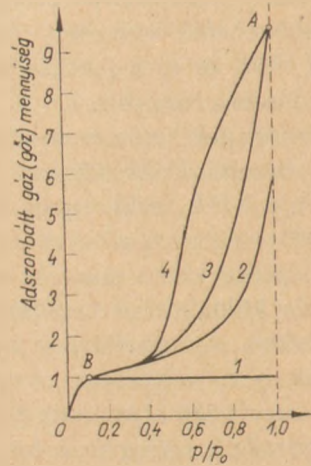
szorpciójánál rendszerint nem az abszolút nyomást vesszük fel a diagramra, hanem az ún. *relatív nyomást* a  $p/p_0$  értékeket, ahol  $p$  az adszorpció valódi nyomását jelenti és a  $p_0$  pedig a gőz telítési nyomását. Mindkét módszer bármely adszorbátumra felhasználható, de a leggyakrabban használt adszorbátum a nitrogén. A fentiek során mindig nitrogén-adszorpciót értünk, kivéve, ha kifejezetten megjegyezzük az adszorbeáló anyag más voltát. Általában a nitrogénadszorpció méréseket a nitrogén forráspontján, azaz  $-196\text{ °C}$ -on és atmoszférayomáson végezzük.

Kb. két évtizeddel az empirikus módszer kidolgozása előtt Langmuir kidolgozta az egyrétegű adszorpció elméletét (Langmuir, 1918). A Langmuir-féle adszorpció izoterma alakja az 1. ábrán található 1 görbéhez hasonlítható. Az adszorpció tehát a nyomás növekedésével nő mindaddig, míg a felület egyetlen adszorbeált réteggel egyenletesen be nem vonódik. Ezután pedig a nyomás növelése már nem okoz további adszorpciót. A gőzök adszorpciójának vizsgálata során azonban igen ritka eset, hogy az izoterma alakja ilyen lenne; általában a 2 vagy 3 görbéhez hasonló alakú izotermákat találunk. Ezek az izotermák kezdetben olyan jellegűek, mint a Langmuir-féle izoterma, azaz kis nyomáson konkáv alakúak, ha a görbét a nyomástengely irányából tekintjük. Bizonyos nyomás elérésekor egyenes vonalú rész következik, és még magasabb nyomáson az izoterma a nyomásoldalról nézve konvexszé válik. Emellett és Brunauer érvelése szerint az  $A$  pont, ahol az izoterma egyenes szakasza kezdődik azt jelenti, hogy innentől kezdve már a második adszorpció réteg felépítése kezdődik. Ez az ún.  $B$  pont (lásd 1. ábra). Ezt az állítást számos további bizonyítékokkal is alátámasztották.

Ezt követte a fizikai adszorpció pontos leírására alkalmas BET-elmélet kidolgozása. Ezzel kapcsolatban igen sok egyenletet dolgoztak ki, de itt csak a legegyszerűbbet írjuk le, melyet általában a fajlagos felület meghatározására szoktak használni és ez

$$\frac{p}{v(p_0 - p)} = \frac{1}{v_m c} + \frac{c-1}{v_m c} \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

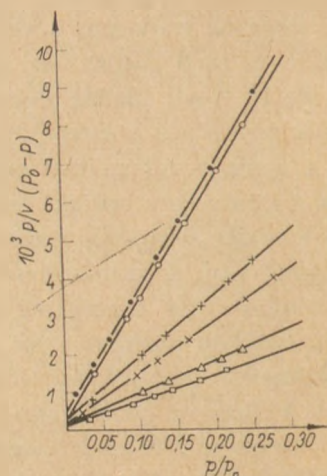
A fenti egyenletben  $v$  az adszorbens anyag egységnyi tömege által adszorbeált gőz vagy gáz mennyiségét jelenti,  $p$  a nyomás,  $p_0$  a telítési nyomás,  $c$  és  $v_m$  pedig állandók. A  $c$  állandó az adszorpció hővel van kapcsolatban, míg  $v_m$  állandó az a gázmenyiség, mely ahhoz szükséges, hogy az adszorbens anyag egységnyi tömegét egyetlen adszorbeált ré-



1. ábra. Adszorpció izotermák. 1 egyrétegű adszorpció, 2 adszorpció és deszorpció pórusmentes anyagon, 3 adszorpció porózus anyagon, 4 deszorpció porózus anyagon

teggel vonja be. Ha az egyenlet bal oldalát a relatív nyomás függvényében ábrázoljuk, egyenes vonalakat kapunk és a két állandót, tehát a  $v_m$  és  $c$ -t az egyenes iránytangenséből és tengelymetszetéből kapjuk meg. A 2. ábrán néhány BET egyenest látunk; ezeken a nitrogén adszorpcióját ábrázoljuk hat különböző adszorbensen. Valamennyi mérést  $-183\text{ °C}$ -on hajtottuk végre.

Mint már említettük, a legtöbb esetben a  $B$  pont és a  $v_m$  érték igen közel áll egymáshoz. Mindkettő azt a molekulaszámot adja meg, mely szükséges ahhoz, hogy az adszorbens felületét egyrétegűen bevonja. Ahhoz azonban, hogy megismerjük az abszolút felület nagyságát, szükséges tudnunk azt, hogy egy nitrogénmolekula vagy más adszorbátumból egy molekula milyen területet fed le. A fi-



2. ábra. BET-egyenest hat különböző adszorbensre. Az adszorbátum nitrogén volt  $-183\text{ °C}$  hőmérsékleten

zikai adszorpció, mint már említettük, a gőzök kondenzációjához hasonlítható; így tehát a számítások során azt tételeztük fel, hogy az adszorbeált réteg tulajdonságai az adszorbátum folyadékállapotához hasonlítanak. A nitrogénmolekula által elfoglalt térfogatot a folyékony nitrogén sűrűségéből lehet kiszámítani; ha a molekulák gömb alakúak és a felületen hexagonális szoros illeszkedéssel helyezkednek el, ki lehet számítani bármely adszorbátum esetén az egy molekula által lefedett területet:

$$A_m = 1,09 \left( \frac{M}{Nd} \right)^{2/3}$$

A fenti képletben  $A_m$  az adszorbátum egy molekula által lefedett terület  $\text{cm}^2$ -ben kifejezve,  $M$  és  $d$  a folyadékállapotú adszorbátum molekula súlya, illetve sűrűsége,  $N$  pedig az Avogadro-szám, azaz  $6,02 \times 10^{23}$ . Nitrogén esetében a fenti számítás szerint  $A_m = 16,2 \text{ \AA}^2$ . Ezt az értéket hamarosan más módon is igazolni lehetett. Számos koromfesték vizsgálata elektronmikroszkóppal bebizonyította azt, hogy a koromrészecskék ezekben pontosan gömb alakúak, az elektronmikroszkópi felvételek értékelése és a BET-féle módszer teljesen azonos eredményekre vezettek. Harkins és Jura 1944-ben ún. *abszolút módszert* dolgoztak ki és ennek segítségével meghatározták egyes anatóz minták felületét. Ez a módszer teljesen független a BET-féle eljárástól, ennek ellenére a nitrogénmolekula által lefedett területre  $16,1 \text{ \AA}^2$ -t adott meg.

Az adszorbens fajlagos felületét tehát az alábbi egyenlettel lehet kiszámítani:

$$S = \frac{v_m}{22,410} N A_m \quad (3)$$

ahol  $S$  a fajlagos felület értékét jelenti és ezt rendszerint  $\text{cm}^2/\text{g}$  vagy  $\text{m}^2/\text{g}$  értékben szokták kifejezni.

Nem ilyen egyszerű a helyzet a poláris molekulák esetében; ilyen pl. a vízgőz is. Különösen sok zavar lép fel akkor, ha a poláris molekulák ionos felületen adszorbeálódnak, márpedig a megszilárdult portlandcementpép felülete ilyen ionos jellegű. Az ionos felület ugyanis a dipólus jellegű adszorbátum molekuláit orientálja, és az orientáció és elhelyezkedés sűrűsége az adszorbátum réteg alatti felülettől is függ. A nitrogén nem dipólus jellegű, ennek adszorpciója során tehát a  $16,2 \text{ \AA}^2$  érték bármilyen adszorbens esetében alkalmazható. Újabban ugyan némi kétely merült fel az irányban, hogy a nitrogén valóban teljesen univerzálisan alkalmazható-e, az eltérések azonban olyan kis mértékűek, hogy ezek tárgyalására nem térünk ki.

Az eredeti BET-féle cikk megjelenése óta 31 év telt el. Azóta igen sok új módszert alkalmaztak fajlagos felület meghatározására, de ezek közül egyetlen egy sem kapott általános elterjedést. Lea és Nurse (1939) új módszert dolgoztak ki, ennek segítségével cementek fajlagos felületét *levegő-permeabilitással* lehetett megmérni. A levegő-permeabilitás módszer más változatát Blaine dolgozta ki, és ezt a módszert számos országban szabványosították. Ezek a módszerek viszonylag kis fajlagos felület mérésére igen alkalmasak. Ilyen pl. maga a portlandcement. Nem használhatók azonban a nagy felületek mérésére, mint amilyen a hidratált portlandcement. A levegő-permeabilitásos módszerrel e cikk keretében nem foglalkozunk, mert a cementkémikusok ezt az eljárást igen jól ismerik.

### Pórusszerkezet-elemzés

A pórusszerkezet-elemzés abból áll, hogy a pórusokat csoportosítjuk méret vagy pórusugár szerint, és megállapítjuk azt, hogy az egyes póruscsoportokban hogyan oszlik meg az anyag térfogata és felülete. 1945-ben két egymástól független módszert írtak le, mely pórusszerkezet-vizsgálatokra alkalmas. Mindkét módszer, kisebb-nagyobb változtatásokkal még ma is használatos. Az egyik módszer a nitrogénadszorpción alapszik (Wheeler 1951), míg a másik módszer a higany pórusokba való behatolása alapján állapítja meg a pórusszerkezetet (Ritter és Drake 1945). A higanyos módszer lényege a Kelvin-egyenlethez hasonló egyenlet, mely megadja azt a nyomást, mely szükséges ahhoz, hogy a higany valamely póruscsoportnak megfelelő átmérőjű pórusokba behatoljon. Ha megmérjük a higany térfogatát, mely az adott nyomáson a pórusokba behatol, ezzel megkapjuk az illető póruscsoport térfogatát. Ha feltételezzük azt, hogy a pórusok henger alakúak, ezzel a pórusok felülete is kiszámítható.

Igen nagy nyomásra van szükség ahhoz, hogy a higanyt az egészen szűk pórusokba besajtoljuk. Ha pedig a nyomás túl nagy, előfordulhat, hogy maguk a pórusok is eltorzulnak vagy tönkremennek. Ennek következtében a higanyos módszer csak a viszonylag nagyobb pórusok térfogatának és felületének meghatározására alkalmas; kb.  $100 \text{ \AA}$  alatt a módszer már nem használható. Igaz ugyan, hogy nagyobb nyomások alkalmazásával a fenti határ alatti pórusokat is meghatározhatjunk, de könnyen lehetséges, hogy ezek az eredmények már nem tükrözik a valóságot. A nitrogénadszorpció ezzel szemben elsősorban a kisebb pórusok vizs-

gálatára alkalmas, ilyenkor a felső határ kb. 500 Å. A 100 és 500 Å közötti területen pedig a kétféle módszer átlapos, azaz egyik a másikkal ellenőrizhető.

Visszatérve az 1. ábrához, figyeljük meg a 2 görbe helyzetét. Ez a görbe a nem porózus adszorbenesen mutatja a nitrogén adszorpciós izotermáját. Az egyrétegű adszorpció elérését a  $B$  pont jelzi az izotermán, és az ordinátán leolvasható a különböző nyomásokon adszorbeálódott rétegek átlagos száma.  $p_0$  nyomáson, mint az ábrán látható, kb. 6 réteg adszorbeálódott. Ezen túli nyomásokon már nem lehet dolgozni, mert ezzel elértük a kondenzációs pontot, azaz a nitrogén cseppfolyósodik és a további adszorpció lehetősége megszűnik.

A  $p_0$  elérése után a folyamatot meg lehet fordítani: csökkentjük a nyomást. Ilyenkor az adszorpció ellentéte: *deszorpció* következik be. Az adszorpciós izotermához hasonló módon a deszorpciós izotermát is meg lehet határozni. A deszorpciós izotermát a fenti esetben teljesen az adszorpciós izotermán mentén halad, azaz más szavakkal kifejezve az izotermát tökéletesen reverzibilis.

Most pedig tekintsük át az 1. ábra 3 görbét. Ez a porózus anyagon mérhető adszorpciós izotermát mutatja, feltételezve azonban azt, hogy a felülete azonos nagyságú a fentiekben tárgyalt, nem porózus anyag teljes felületével. A felületek egyenlőségét az mutatja, hogy a  $B$ -pont mindkét anyag számára azonos. A 2 és 3 görbék kb. 0,4 relatív nyomásig teljesen egyformán haladnak. Ennél nagyobb nyomásokon a porózus adszorbens nagyobb adszorpciót mutat, mint a nem porózus adszorbens. Ezen kívül, ha elérjük a  $p_0$  nyomást és ezután megfordítjuk a folyamatot, azaz meghatározzuk a deszorpciós izotermát, a 4 görbét kapjuk. Ez már nem halad azonos módon, mint az adszorpciós ág, hanem bizonyos *histerézis* lép fel, azaz a deszorpció azonos nyomáson nagyobb adszorpciót mutat, és ez így van 0,4 relatív nyomásig.

A porózus adszorbeáló anyag legnagyobb adszorpcióját az 1. ábrán az  $A$  pont mutatja.  $p_0$  nyomáson, mint említettük, bekövetkezik a cseppfolyósodás, ilyenkor tehát a teljes porózusrendszer adszorbeált nitrogénnel van megtöltve, és ez az adszorbeált nitrogén minden tulajdonságában a cseppfolyós nitrogénhez hasonlít. A  $p_0$  nyomáson adszorbeált nitrogén mennyiségéből és a cseppfolyós nitrogén sűrűségéből kiszámíthatjuk az adszorbens teljes porozitását.

Miből lehet azt eldönteni, hogy a pórus szerkezet-vizsgálat eredményei helyesek voltak? Erre két lehetőség is kínálkozik. Az egyik alapját az  $A$ , a

másik alapját a  $B$  pont szolgáltatja. Ha összegezzük az egyes póruscsoportokra kapott térfogatok összegét, ennek azonosnak kell lenni a teljes pórus-térfogattal, melyek az  $A$  pont alapján számíthatók ki. Ha pedig összeadjuk az egyes póruscsoportok felületét, ennek azonosnak kell lenni az adszorbens teljes felületével, melyet a  $B$  pont alapján számíthatunk ki.

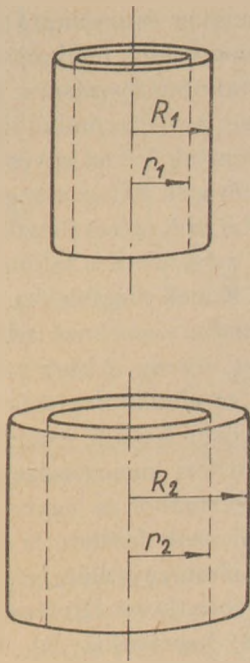
Most pedig térjünk vissza az 1. ábra 2 és 3 görbéjéhez. Annak ellenére, hogy a porózus és nem porózus adszorbens fajlagos felülete azonos, a porózus adszorbens nagyobb mennyiségű nitrogént adszorbeál, mint a nem porózus, feltéve, hogy a relatív nyomás 0,4-nél nagyobb. Ennek az az oka, hogy ilyen esetekben az adszorpció mellett még egy másik jelenség: a *kapilláris kondenzáció* is fellép. A kapilláris kondenzáció mértékét a Kelvin-egyenlet határozza meg:

$$RT \ln \frac{p}{p_0} + \frac{-2\gamma V \cos \theta}{r} \quad (4)$$

Ebben az egyenletben  $R$  a gázállandó, azaz  $8,31 \times 10^7$  erg/°C/mol,  $T$  az abszolút hőmérséklet,  $\gamma$  és  $V$  pedig az adszorbatum felületi feszültsége és mol-térfogata (feltételezzük, hogy ez azonos, mint a folyadékéknál),  $r$  pedig a kapilláris sugara, mely  $p/p_0$  relatív nyomásnál éppen betöltésre kerül. Ez egyenletben szerepel még a nedvesítési szög,  $\theta$ . A legtöbb adszorbatum esetében, így a nitrogén és a víz esetében  $\theta = 0^\circ \text{C}$ , azaz  $\cos \theta = 1$ . Ez azt jelenti, hogy a nedvesítés tökéletes. A Kelvin-egyenlet abban az esetben is érvényes, ha a pórusok falait két párhuzamos falnak tételezzük fel, ebben az esetben  $r$  a párhuzamos falak közötti távolságot jelenti.

A Kelvin-egyenletből elsősorban az a következtetés vonható le, hogy a legapróbb pórusok telítődnek a legkisebb relatív nyomásokon, de az igen kis méretű pórusok, tehát a mikropórusok esetében kapilláris kondenzáció nem lép fel. Ez az oka annak, hogy a 2 és 3 görbék az 1. ábrában 0,4 relatív nyomásig teljesen azonosak.

Most pedig vegyünk egy olyan póruscsoportot, mely 0,4 és 0,45 relatív nyomásértékek között telítődik. Ez a legkisebb póruscsoport, amelyben már kapilláris kondenzáció is fellép. Nem szabad azt feltételezni, hogy 0,4-nél kisebb relatív nyomáson a pórus teljesen üres; ilyenkor is van benne adszorbeált nitrogénréteg, a felület, elsősorban a falak mentén. Ezt mutatja a 3. ábra felső részábrája. A pórus sugara  $R_1$  és a pórusfalon adszorbeált réteg található. Ezen belül pedig belső üres tér található, melyet a továbbiakban pórusmagnak fogunk ne-



3. ábra. Kapilláris kondenzáció különböző méretű, henger alakú pórusokban

vezni. Ez az a tér, melyet a kapilláris kondenzáció betölt, ezek szerint a Kelvin-egyenletben látható érték a belső üres henger sugarát  $r_1$  adja. Abból a célból, hogy  $R_1$  értékét megállapíthassuk, szükséges az adszorbeált réteg vastagságát megismerni. Erre az 1. ábra 2 görbéje adja meg a lehetőséget. A nem pórusos anyagon adszorbeálódott mennyiség ismeretében ki lehet számítani az adszorbeált réteg vastagságát minden relatív nyomás esetében, és feltételezhetjük azt, hogy a pórusokban a réteg vastagsága ugyanaz, mint a nem pórusos szilárd anyagon. Igen sok hasonló görbét találunk meg a szakirodalomban. Ezekben általában az adszorbeált réteg vastagságát a relatív nyomás függvényében ábrázolják. Rendszerint ezeket *t-görbéknek* nevezik. A Kelvin-egyenlet és *t-görbe* értékéből az  $R_1$  értékét ki lehet számítani. Vegyük most azt, hogy  $R_1$  annak a pórusnak a sugara, mely 0,4 relatív nyomáson telítődik. Ha pedig ugyanennek a póruscsoportnak a legnagyobb tagját vizsgáljuk, tehát azt a tagot, mely 0,45 relatív nyomásnál telítődik, akkor a 3. ábra alsó részábráját vehetjük figyelembe. Nagyobb nyomáson az adszorbeált rétegvastagság is nagyobb, de az üres tér  $r_2$  sugara is nagyobb. Az előzőt a *t-görbe* alapján, a másodikat a Kelvin-egyenlet alapján kaphatjuk meg. A kettő összege felel meg az  $R_2$ -nek. A póruscsoport átlagos pórusugara pedig  $(R_1 + R_2)/2$ -vel.

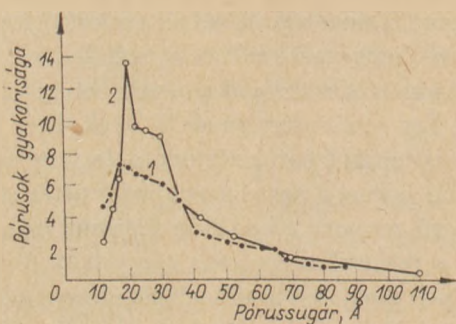
Az adszorbeált nitrogén mennyisége nő akkor, ha a  $p/p_0 = 0,4$ -ről 0,45-re nő az 1. ábra 3 görbéje mentén. Ebből a növekedésből ki lehet számítani a pó-

ruscsoport térfogatát. Mivel feltételeztük azt, hogy a pórusok henger alakúak, a pórusfalak felületét az átlagos sugár és a térfogat ismeretében ki lehet számítani. Így tehát megvan az  $R_1$  és  $R_2$  közé eső sugarú valamennyi pórus térfogata és felülete. Ez a legkisebb póruscsoport; most pedig áttérhetünk a következő csoport adatainak kiszámítására, azaz azokra a pórusokra, melyek  $p/p_0 = 0,45$  és 0,5 között telnek meg. A számítások elvégzése után megkapjuk az  $R_2$  és  $R_3$  közé eső sugarú pórusokra vonatkozó adatokat. A pórusszerkezet-elemzést ilyen módon folytatjuk mindaddig, míg a 0,95 és 1,0 közötti relatív nyomást el nem értük.

Most pedig tekintsük meg az 1. ábra 4 jelű görbéjét. Ez a porózus anyag deszorpciós izotermájának felel meg. Ez az izoterma éppúgy felhasználható a pórusszerkezet elemzéséhez, mint az előző adszorpciós izoterma. Azt fogjuk tapasztalni, hogy az eredmények teljesen mások lesznek, mint az előző esetben. Vegyük pl. a legapróbb pórusok csoportját; azokat, melyek a  $p/p_0 = 0,45$  és 0,40 között ürülnek ki a kapilláris párolgás révén. A pórusugarak erre a két nyomásra azonosak lesznek, mint az előbb, azaz  $R_2$ , ill.  $R_1$ ; ennek megfelelően a póruscsoport átlagos sugara azonos lesz az előző, azaz az adszorpciós izotermából számított értékkel. De a térfogat már nem lesz azonos! Ezt ugyanis a  $p/p_0 = 0,4$  és 0,45 relatív nyomásnál mutatkozó adszorbeált gázmennyiség-különbségből számítjuk ki, ez pedig más a 3 és más a 4 görbe mentén. A deszorpciós görbe (4) mindig nagyobb térfogatot ad, mint az adszorpciós görbe (3). A nagyobb térfogathból és az azonos átlagos sugárból kiszámítható póruscsoport-felület nyilvánvalóan nagyobb lesz, mint volt az előbbi esetben. Az előbbi gondolatmenetet folytatva más és más pórustérfogatok és pórusfelületeket kapunk, ha vizsgálatainkat a deszorpciós izoterma alapján végezzük.

A pórusszerkezet-elemzési eredményeket általában a 4. ábrához hasonló módon szokták ábrázolni. Az ábra 0,5 víz/cement tényezővel készült és teljesen hidratált portlandcementpép pórustérfogatos eloszlását mutatja. Az ábra abszcisszatengelyén a pórusugarat, az ordinátatengelyen (melyet gyakoriság jelzéssel láttunk el) azt adtuk meg, hogy az adott sugarú pórusok a teljes pórustérfogat mekkora részét képviselik. A 4. ábra mindkét görbéje ugyanarra a megszilárdult pépre vonatkozik, de az 1 görbét a nitrogén adszorpciós izotermája, a 2 görbét a deszorpciós izotermája alapján számítottuk.

Nyilvánvaló, hogy a két görbe egyidejűleg nem felelhet meg a valóságnak. Korábban már elmon-



4. ábra. Megszilárdult portlandcementpép pórusszerkezeti görbéi.

Az adszorbatum nitrogén volt  $-196^{\circ}\text{C}$ -on. Az 1 görbe az adszorpciós, a 2 görbe a deszorpciós izotermából számított értékeket mutatja

dottuk, hogy mely kritériumok alkalmasak arra, hogy megállapítsuk a vizsgálat helyességét. Az esetek többségében azt tapasztaljuk, hogy a deszorpciós izoterma alapján számított értékek felelnek meg a fenti kritériumoknak. Ennek az az oka, hogy az adszorpciós izoterma felvétele során kisebb nyomásoktól haladunk a nagyobb nyomások felé; márpedig a pórusok néha csak később töltődnek meg, mint azt az elmélet előírná. E késés okát korábbi cikkünkben részletesen tárgyaltuk (Brunauer és munkatársai 1967, 1). Ezzel szemben a  $p_0$  nyomás elérése után valamennyi pórus telítődött cseppfolyós nitrogénnel; nem kell tehát számítanunk arra a nehézségre, hogy a pórusok egy része üres, noha az elmélet szerint ezen a nyomáson már meg kellett volna töltődnie. Néhány esetben előfordul az is, hogy az adszorpciós izoterma adja a helyesebb eredményeket, legalábbis a fenti kritériumok alkalmazása esetén ennél lesz kisebb az eltérés. Ez azokban az esetekben lép fel, amikor a pórusok bejárata kicsi, térfogata viszonylag nagy („tintás-üvegporusok”). Az eddigi vizsgálatok szerint a megszilárdult portlandcementpép ilyen jellegű anyag, úgyhogy elképzeléseink szerint a 4. ábra 1 görbéje a pórustérfogat-eloszlást jobban jellemzi, mint a 2 görbe.

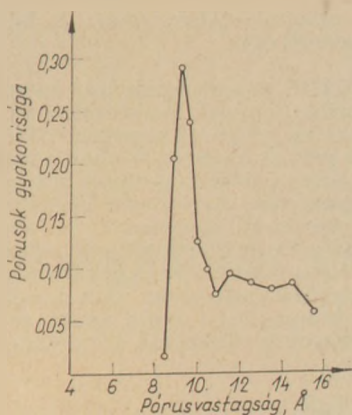
A pórusszerkezet-elemzés fent leírt módszerét — legfeljebb néhány apróbb módosítással — mind a mai napig használják. Egyes szerzők szerint jobban közelíti meg a valóságot, ha a pórusfalakat nem hengereknek, hanem párhuzamos lemezeknek képzeljük. A vizsgálatot ebben az esetben is teljesen azonos módon végezzük, csak az adszorbeált réteg vastagságának számítása lesz más és  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  stb. nem a pórusok sugarát, hanem a párhuzamos falú pórusok vastagságát jelzi. A számítás hasonlósága ellenére a kapott pórusszerkezeti görbék mások lesznek a két esetben.

1967-ben Brunauer és munkatársai (1967, 2) új, az előzőeknél pontosabb módszert vezettek be a pórusszerkezet tanulmányozására. Valamennyi korábbi módszerben az izotermából egyetlen kísérleti mennyiséget vezettek le: az egyes póruscsoportok térfogatát. A pórusok átlagos sugara, ill. vastagsága elméleti adat volt, attól függően, hogy henger alakúnak vagy párhuzamos falúnak tételeztük fel a pórus alakját. Ennek megfelelően az egyes póruscsoportok felszínére vonatkozó adat is csak elméleti értékű lehet, hiszen a kísérletileg meghatározott térfogatot az elméletileg számított sugár, ill. vastagság értékével hozzuk összefüggésbe. Az új módszer az elméleti mennyiségeket kiküszöböli. Ilyenkor az izotermából az egyes póruscsoportok térfogatán kívül azok felülete is kísérletileg kapható meg. A Kelvin-egyenlet helyett a kapilláris kondenzációra vonatkozó általánosabb egyenletet (Kiszelev, 1958) használjuk fel. Ez az egyenlet bármely alakú pórusra alkalmazható. A pórus térfogatát elosztva a felülettel, az ún. „hidraulikus sugarat” kapjuk meg, mely a póruscsoport átlagos vastagságát jellemzi. A póruseloszlási görbéket ennek függvényében kell ábrázolni, nem pedig a hengeres vagy párhuzamos falú pórusokra vonatkozó elméleti érték függvényében. Az új módszer egyes részletkérdéseit az eredeti cikk írja le.

Mind az új, mind a régi módszerek segítségével csak azok a pórusok vizsgálhatók, melyekben a kapilláris kondenzáció jelensége fellép; ezek a 16 és 1000 Å között fekvő, a Dubinin-nevezéktan szerint átmeneti- vagy mezopórusok. A fentiekben leírt pórusszerkezet-elemzés csak akkor vezet célhoz, ha a vizsgált szilárd anyag mikropórusokat nem tartalmaz.

Számos, igen fontos szilárd anyag azonban jelentős mennyiségű mikropórust tartalmaz. Így pl. néhány kovagél, vagy aktívszén, melyek a legfontosabb adszorbensek közé tartoznak, csak mikropórusokból áll. Vannak olyan szilárd anyagok, melyekben mikropórusok és tágabb pórusok egyaránt előfordulnak. Ilyen pl. a megszilárdult portlandcementpép, melynek két lehetséges póruseloszlási görbéjét a 4. ábrán már bemutattuk. Ezek a görbék azonban nem a teljes póruseloszlást jellemzik.

Az első és jelenleg egyetlen módszer, mely a különböző vastagságú mikropórusok térfogat- és felületeloszlására vonatkozik, Mihail és munkatársai (1968) eljárása. Ez a módszer az izoterma kapilláris kondenzációs szakasza alatti részt is figyelembe veszi. Ezt a módszert részleteiben nem ismertetjük, csak az eredeti cikkekre utalunk. A módszerrel nyert egyik eredményt az 5. ábrán mutat-



5. ábra. Csak mikropórusokat tartalmazó kova-gél pórusszerkezet-closzlása

jük be; ez csak mikropórusokat tartalmazó kova-gélre vonatkozik. Látjuk, hogy a pórusok legnagyobb részének mérete 9 Å, míg a legnagyobb pórus mérete is csak 16 Å, azaz ez a kova-gél csak mikropórusokat tartalmaz.

A fenti, mikropórusok vizsgálatára alkalmas módszer a korábban ismertetett, tágabb pórusokra vonatkozó eljárásokkal együtt alkalmas arra, hogy hármely pórusos anyag teljes pórusszerkezet-vizsgálatát elvégezhessük. Az utóbbi években számos ilyen jellegű teljes vizsgálatot végeztünk, igen sok különböző porózus anyagra vonatkozólag. A korábban leírt két kritériumnak igen jól megfelelő eredményeket kaptunk: az egyes póruscsoportok térfogatának összege jól egyezett a teljes pórustérfogattal, és az egyes póruscsoportok felületének összege megegyezett a BET-felülettel.

### Milyen adszorbátumot használjunk?

Annak ellenére, hogy a gáz- vagy gőzadszorpciós felület meghatározás és pórusszerkezet-elemzés elvileg bármely adszorbátummal végrehajtható, igen gyakran ugyanarra az anyagra más és más eredményeket kapunk, ha megváltoztatjuk az adszorbátum minőségét. Ha pl. a szilárd anyag sok különböző méretű, de apró pórust tartalmaz, előfordulhat, hogy a nagyobb molekulájú adszorbátum egyszerűen nem tud a pórusokba behatolni. Ezekre az esetekre jellemző, hogy minél nagyobb a molekula, annál kisebb lesz a BET-felület és a teljes pórustérfogat.

Nyilvánvaló, hogy a teljes felület és térfogat meghatározásához célszerű minél kisebb molekulájú adszorbátumot választani. A vízmolekulák mérete a nitrogénmolekuláknál kisebb; ha azonban a felü-

let részben vagy teljesen hidrofób tulajdonságú, vízgőz nem használható a fajlagos felület meghatározásához, mert a hidrofób helyeken a vízmolekulák nem fognak adszorbeálódni.

Előfordulhat az az eset is, hogy csak az a pórustérfogat, ill. felület az érdekes, mely a nagyobb molekulák számára is hozzáférhető. Így pl. Kiszelev és munkatársai azt tapasztalták, hogy alacsony forráspontú szénhidrogének kromatográfiás elválasztására csak az a kova-gél alkalmas, melynek átlagos pórusugara 20 Å körül van; 100 °C körül forró szénhidrogénekhez már az 50–200 Å közötti pórusokat tartalmazó kova-gél felelt meg a legjobban, míg még magasabb forráspontú szénhidrogénekhez még nagyobb pórusugarú kova-gél alkalmazása célszerű.

Powers és Brownyard (1947) a megszilárdult portlandcementpépek fajlagos felületét és porozitását vízgőzadszorpcióval határozták meg. Ez teljesen logikus, hiszen a betontechnológia szempontjából elsősorban a pórusrendszer vízforgalma érdekes. Az eredmények alapján Powers modellt állított fel a megszilárdult portlandcement-pép és beton szerkezetére vonatkozólag. Ez a modell a fajlagos felület és a porozitás alapján magyarázza a szilárdság, a térfogatváltozások, a permeabilitás és egyéb, műszaki szempontból fontos betontulajdonságokat. A Powers-elmélet eredeti kidolgozása óta mások, pl. Brunauer és munkatársai kiegészítették és bővítették az eredeti Powers-féle modellt, de mindezekre az volt jellemző, hogy a fajlagos felületet és a porozitást vízgőzadszorpció útján határozták meg. Brunauer és munkatársai nitrogénadszorpciós méréseket is végeztek, de azt találták, hogy ez mindig kisebb felület- és porozitás-adatokat ad, mint a vízgőz. Következtetések lényege az volt, hogy a nitrogén a pórusszerkezet egyes részeibe képtelen behatolni, vagy azért, mert a pórusok túl szűkek, vagy a pórusok bejárata túl szűk. (Brunauer előadása a 8. Szilikátipari Konferencián, Budapest, 1965.)

Újabban Feldman és Sereda (1968) vitába szálltak a fenti elképzelésekkel és azt állították, hogy a megszilárdult portlandcementpép fajlagos felületére és térfogatára nézve a nitrogénadszorpcióval kapott adatokat kell irányadónak venni. Ennek alapján új modellt dolgoztak ki, mely újabbban egyes cementkémikusok közt egyre jobban elterjed. Érvelésük lényege abból állt, hogy a cement-gél fő alkatrésze a kalcium-szilikát-hidrát-gél, vagy más néven tobermorit-gél. E gél egyes rézszeckéi a montmorillonit-hoz hasonló réteges kristályokból állnak; Feldman és Sereda felfogása szerint a vizsgálatokhoz használt vízgőz e rétegek

közé hatol és ezért adódik a rendkívül nagy fajlagos felület.

A jelen cikk szerzői Marvin Yudenfreund-del együtt a közelmúltban cikket nyújtottak be a Highway Research Record c. folyóirathoz. E cikkben számos érveléssel bizonyítják, hogy nem a nitrogén, hanem a vízgőz méri helyesen a cementpépek fajlagos felületét és porozitását. Rámutatnak továbbá a Feldman- és Sereda-féle kísérletek és érvelés hibáira. Cikkünk gondolatmenetét itt nem kívánjuk ismertetni, csak arra mutatunk rá, hogy az adszorbátum megfelelő kiválasztása nagy gondot igényel.

A szerzők hálás köszönetet mondanak a Nemzeti Tudományos Alapnak, melynek GP-14312 számú kutatási szerződése alapján vizsgálták a katalizátorok, adszorbensek és egyéb szilárd anyagok pórusszerkezetét.

## IRODALOM

- Brunauer, S.: Előadás a budapesti VIII. Szilikátipari Konferencián. (1965). Megjelent: *Építőanyag* 18, 441 (1966) és 19 10 (1967).
- Brunauer, S. és Emmett, P. H.: *J. Am. Chem. Soc.* 57, 1754. (1935).
- Brunauer, S. és Emmett, P. H.: *J. Am. Chem. Soc.* 62, 1732. (1940).
- Brunauer, S., Emmett, P. H. és Teller, E.: *J. Am. Chem. Soc.* 60, 309. (1938).
- Brunauer, S., Mikhail, R. Sh. és Bodor, E. E.: *J. Colloid and Interface Sci.* 24, 451. (1967, 1).
- Brunauer, S., Mikhail, R. Sh. és Bodor, E. E.: *J. Colloid and Interface Sci.* 25, 353 (1967, 2).
- Emmett, P. H. és Brunauer, S.: *J. Am. Chem. Soc.* 59, 1553. (1937).
- Feldman, R. F. és Sereda, P. J.: *Materiaux et Constructions* 1, 509. (1968).
- Harkins, W. D. és Jura, G.: *J. Am. Chem. Soc.* 66, 1362, 1366. (1944).
- Kiselev, A. V.: *Capillary Condensation Heat Maxima* in D. H. Everett and F. S. Stone, editors, "The Structure and Properties of Porous Materials", p. 189. Academic Press, New York. (1958).
- Kiselev, A. V.: "Gas Chromatography 1962", p. 34. Butterworths, London. (1962).
- Langmuir, I.: *J. Am. Chem. Soc.* 40, 1361. (1918).
- Lea, F. M. és Nurse, R. V.: *J. Soc. Them. Ind.* 58, 277. (1939).
- Mikhail, R. Sh., Brunauer, S. és Bodor, E. E.: *J. Colloid and Interface Sci.* 26, 45. (1968).
- Paneth, F. és Vorwerk, W.: *Z. phys. Chem.* 101, 445, 480. (1922).
- Powers, T. C. és Brownyard, T. L.: *J. Am. Concrete Inst., Proceedings* 43, 101, 250, 469, 549, 699, 845, 865, 933, 971. (1947).
- Ritter, H. L. és Drake, L. C.: *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 17, 782. (1945).
- Wheeler, A.: *Advan. Catalysis* 3, 250. (1951).
- Wolff, H.: *Z. angew. Chem.* 35, 138. (1922).

Brunauer, Stephen—Odler, Ivan: A fajlagos felület és porozitás jelentősége

A fajlagos felület és a porozitás igen jelentős a cement és a beton szilárdságának kialakulásában. A fajlagos felület — olyan nagyfelületű anyagok esetében, mint a megszilárdult portlandcement — csak adszorpciós úton mérhető. Az adszorpcióra vonatkozó alapvető törvényszerűségek ismertetése után a cikk részletesen elemzi a felület-meghatározások módszereit. Az adszorpciós-deszorpciós izotermák értékelése alapján a pórusok méret-, felület- és térfogateloszlása is meghatározható. Cementek esetében a vízgőzadszorpcióval kapott fajlagos felületértéket kell irányadónak venni, mert az általánosan alkalmazott nitrogén túlságosan kis fajlagos felületértéket ad.

Брунауер, С.—Одлер, И.: Значение удельной поверхности и пористости.

Удельная поверхность и пористость имеют важное значение в формировании прочности цемента и бетона. Удельная поверхность — в случае материалов с такой большой поверхностью как затвердевший портландцемент — может быть измерена только адсорбционными методами. После описания основных закономерностей адсорбции статья подробно анализирует методы измерения адсорбции. На основе оценки изотерм адсорбция-десорбция могут быть определены размеры пор, а также их поверхностное и объемное распределение. В случае цементов за основу нужно принять значения удельной поверхности, полученные при адсорбции водяных паров, так как применяемый обычно для измерения азот, дает очень низкие значения удельной поверхности.

Brunauer, St.—Odler, I.: Die Bedeutung der spezifischen Oberfläche und der Porosität

Bei der Gestaltung der Festigkeit des Zements und des Betons haben spezifische Oberfläche und Porosität wichtige Rollen zu spielen. Die spezifische Oberfläche vermag man im Falle von Stoffen mit einer überaus großen Fläche, wie die des Portlandzements, bloß mittelst Absorptions zu messen. Nach Schilderung der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Absorption werden die Oberflächenbestimmungsmethoden eingehend beschrieben. Auf Grund der Adsorptions-Desorptionsisothermen können auch Größen-, Oberflächen- und Volumenverteilung der Poren bestimmt werden. Im Falle der Zemente muß man den durch Wasserdampfdesorption erhaltenen Wert der spezifischen Oberfläche für richtunggebend erachten, denn mit Hilfe des allgemein angewandten Stickstoffes erhält man allzu kleine spezifische Oberflächenwerte. (S. G.)

Brunauer, Stephen—Odler, Ivan: The Significance of Surface Area and Porosity

The role of surface area and porosity are very significant in the development of strength in cement paste and concrete. Surface areas — in case of very high surface areas, as e. g. hardened cement paste — can be determined by adsorption methods only. The paper reviews the basic principles of adsorption and the method of surface area determination. The size-, surface- and volume distribution of pores can be determined by the evaluation of adsorption—desorption isotherms too. In case of hardened portland cement the surface areas should be determined by water vapor adsorption; the (generally used) nitrogen adsorption methods gives too low values.



# A betongyártás és adalékosztályozás problémái

SZIKSZAY GERŐ

Építéstudományi Intézet, Budapest

Építőiparunk több vonatkozásban forradalmi átalakulás alatt áll: a házgyári hálózat kifejlődése az építéskivitelezés egész szemléletét módosítja; néhány év alatt létrehoztuk ömlesztett cementellátó hálózatunkat; gépesített, fokozódóan automatizálódó építőanyagipari üzemek létesültek stb.

A központi betonellátás bevezetése érdekében egyes vállalatok és személyek kezdeményező lépéseket tettek és igyekeztek saját elgondolásaik, vagy lehetőségeik szerint korszerű betonüzemeket létrehozni. Az elem- és házgyárak saját betonigényüket különböző, többé-kevésbé korszerű, jelentős teljesítményű keverőteleppel igyekeztek megoldani. Összehangolt, egységes programról azonban sajnos nem lehet beszélni, az egyes vállalkozók és ezen belül a kezdeményezők és végrehajtók elég sok gyötrelm útján érték el, hogy ma együttesen évi 2 millió m<sup>3</sup> feletti betonmennyiség kerül ki központi telepekről. A kívánatos betonminőséget és annak egyenletességét azonban gyakran alig tudták elérni és ez cementpazarlásra kényszerít mind a tervezőket, mind a keverő üzemek vezetőit.

Az elem- és házgyárak csaknem kivétel nélkül saját osztályozóművel rendelkeznek. A transzportbeton üzemek általában a FOKÁ-tól, ill. Kavicsbánya Vállalattól szerzik be a szükséges adalékanyagot, az osztályozás megoldása sehol sem ki-elégítő. Az adalékanyag-termelők és betonkészítők között érdekazonosság jelenleg nem áll fenn. Az építési tevékenység fokozódásával a homokos kavics hiánycikké vált és a TSZ-eket melléktevékenységként bányanyitásra és homokos kavics eladásra ösztönzi. Az innen kikerülő adalékanyag minősége azonban gyakran aggasztó.

A jelenlegi cement-adalékanyag árarány nem ösztönzi a felhasználókat cementtakarékosagra bonyolult osztályozás útján, különösen mivel a lé-

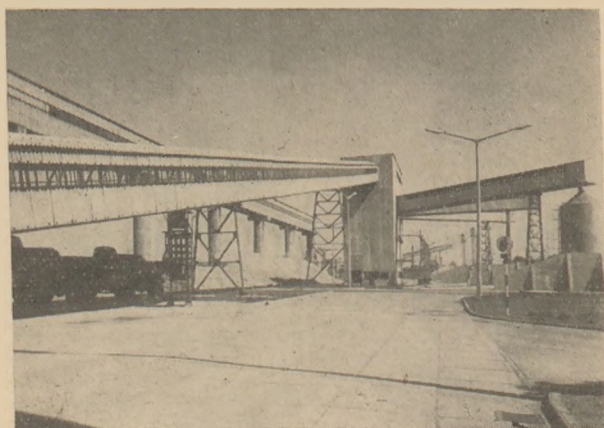
nyegesen drágább, jelentős mennyiségű importcement árát nem terhelik a fogyasztóra.

Jelentős változás várható azonban az új beton-szabályzat megjelenése után. Ennek előírásai értelmében, amennyiben a kivitelező a betont nem tudja 15% szilárdsági szórásértéken belül előállítani, úgy egy minőségi kategóriával magasabbra, 25% esetén két minőségi kategóriával magasabbra kell terveznie az átlag szilárdságot. Ez gyakorlatilag annyit jelent, hogy B 200-as előírás mellett az első esetben B 280, a második esetben B 400 minőséghez szükséges cementmennyiséget kénytelen adagolni.

Az alábbiakban a további fejlődéshez, az osztályozott anyagellátás és betongyártás egységes irányvonalának kialakulásához igyekszünk vizsgálatok és tapasztalatok eredményeinek ismeretével hozzájárulni.

## *A várható igények becslése:*

Úgy gondoljuk, hogy nem túlzunk, ha azt állítjuk, hogy néhány éven belül hazánkban is, egyes északi államokhoz hasonlóan a teljes betonigény 60–90%-át központi telepek fogják biztosítani. A következő 5 év alatt a termelési értékek előreláthatólag 30–40%-kal emelkednek, a betonigény tehát meg kell haladja a 10 millió m<sup>3</sup>-t és ebből központilag 6–8 millió m<sup>3</sup>-t volna kívánatos előállítani. Bár ez az érték is nehezen érhető el, tudjuk, hogy a későbbi időszakban még nagyobb követelményeket kell támasztanunk. Az építőipar termelése ugyanis közel arányos a cementfelhasználással, amely viszont könnyen regisztrálható. Az egy főre vonatkoztatott cementtermelés tekintetében az alábbi statisztikai adatok (1968) szerint elég gyengén állunk.



1. ábra Budapest-Északi Transzportbetongyár

Például:

Ausztria .....	620 kp/fő, év
Belgium .....	479 kp/fő, év
Bulgária .....	402 kp/fő, év
Csehszlovákia .....	479 kp/fő, év
Dánia .....	432 kp/fő, év
Magyarország .....	302 kp/fő, év

Ha pl. néhány éven belül sikerülne elérnünk betonfelhasználásban a mai közepes európai színvonalat (ami cementben kifejezve kb. 450 kp cementet jelent évente egy főre vonatkoztatva 1970-ben), ez kerekén 4,5 millió tonna, úgy visszaszámítva, a betonfelhasználás évi 16 millió m<sup>3</sup> körüli értékű lenne. Persze közben a többi ország is kb. évi 5%-kal fejlődik!

Nézzük most a betonigény kielégítésének nyersanyag oldalát: A cementről már szóltunk, az 1970-es termelés kb. 2,8 millió Mp cement, ami megfelel kb. 280 kp/m<sup>3</sup> átlagos cementarányának, és ez bár kissé túlzott, de a betonfelhasználásról közzölt, alig ellenőrizhető számértékek helyességét látszik igazolni.

A terv-célkitűzések szerint is az építőiparnak fokozottabban kell fejlődni a népgazdasági átlagnál. Ezzel természetesen a betonfelhasználás fokozott növekedése is együtt jár.

Fenti fokozott igények kielégítéséhez jobb, egyenletesebb minőségű és több cementre van szükség (szándékosan használtuk ezt a sorrendet), ami igen komoly feladatot ró a cementiparra.

A becsült betonmennyiséghez szükséges adalékanyag túlnyomó része folyami, vagy bányából származó homokos kavics. Egyes kavicstermelő üzeink termelését vizsgálva azonban az derül ki, hogy jóminőségű kavicsnyersanyagunknak csak mintegy 40%-át használjuk fel osztályozottan, és pedig többnyire korszerűtlen, száraz osztályozással. Miután fenti vizsgálódás célja csak nagyság-

rendek megállapítása, nyugodtan állíthatjuk, hogy a kétes minőségű munkahelyi osztályozás, továbbá a zúzottkő felhasználás figyelembevételével betontermelésünk közel fele osztályozatlan adalékanyagból készül.

Tudjuk, hogy jó és egyenletes, tehát megbízható minőségű beton csak olyan adalékanyagból állítható elő, melyben a finom frakciók előírt aránya biztosított.

Az ÉTI-ÉGSZI idevonatkozó részletes vizsgálatai szerint:

— I. osztályú adalékanyagot alkalmazva II. osztályú helyett köbméterenként 20–50 kg cement,

— I. osztályú adalékanyagot alkalmazva III. osztályú helyett köbméterenként 65–85 kg cement és

— II. osztályú adalékanyagot alkalmazva III. osztályú helyett köbméterenként 45–60 kg cement takarítható meg.

Átlagosan és igen szerényen számolva 50 kp/m<sup>3</sup> cementmegtakarítást jelent a korszerűen osztályozott adalékanyag használata, ami pl. évi 10 millió m<sup>3</sup> beton esetében évi 500 000 Mp cementmegtakarítást jelent. Ez azonban csak egyik oldala az ügynek. A transzportbetonnak fokozottan egyenletesen jó minőségűnek kell lenni. Ha nem ilyen, a statikus túlméretez, karcsú helyett vastosabb, több betont igénylő szerkezeteket tervez és az építésvezető az előírtnál több cementet kevertet.

Ez az 500 000 Mp cement cementgyári beruházási költségben egy milliárd Ft nagyságrendű, tehát ennyibe kerülhetne a korszerű osztályozók hálózata!

Vagy másképpen, 500 000 Mp cement a kb. 18 dollár/Mp nemzetközi áron számolva évi 9 000 000 dollárt jelent!

#### A „Korszerűség” feltételei:

Mikor korszerűségről beszélünk, ne felejtjük el, hogy az „egésznek” kell korszerűnek lenni. Ha a folyamat egyes részei lemaradnak a fejlődésből, az egész költséges értelmetlenséggé válhat.

Automata betongyár például el sem képzelhető egyenletesen jóminőségű osztályozott adalékanyag, vagy a beton felhasználóhoz szállításának megbízható rendszere, szervezete, járműparkja és fogadó berendezései nélkül.

Automatizálunk, hogy létszámot takarítsunk meg (egy fő megtakarítás 1–2 műszakban 3–500 000,— Ft beruházási költségtöbbletig lehet indokolt), hogy az emberi megfontolás, beavatkozás szükségességét csökkentjük, de csak kifejezetten jó minőségű, tartósan megbízható gépek és gépso-

rok üzeme automatizálható, mert ha ez nem áll fenn, vagy ha nem sikerül egyszerű, megbízható, áttekinthető elemekkel harmonikus egységet teremteni, az automatizálás csak zűrzavart kelt, ahelyett, hogy azt minimumra csökkentené. A feltételek legyenek egyszerűek, akkor a folyamat is az és így automatizálható. Bonyolultabb, összefüggő gépsorokkal sajnos tapasztalataink nem kedvezőek. Az egyes gépek megbízhatósága, a kezelők szakképzettsége nem kielégítő, jelentős annak valószínűsége, hogy a géplánc valamely tagja váratlanul meghibásodik. Ez pufferek és tartalékok beépítését igényelné, amitől viszont az egész bonyolulttá, túl költségessé válik. Utóbb kiderül, hogy gazdaságosabb lett volna a nemzetközi piacon beszerezhető, akár legdrágább, de tartósan megbízható berendezéseket alkalmazni.

Az eddig elmondottakat, ill. tapasztalatainkat az alábbiak szerint lehet összefoglalni:

A jövőben arra kell törekednünk, hogy a kavicsbányákból nyert kavics minden esetben mosva, vizes osztályozással készüljön, dunai nyersanyagnál a külön mosás általában elengedhető.

Ezenfelül, számos vizsgálat alapján ki lehet jelenteni, hogy

1. B 400, vagy annál jobb minőségű betonoknál a *finom osztályozás* (leválasztás 1 mm körül és a 0,01 mm alatti iszap eltávolítása) műszaki szükség-szerűség,

2. B 140, vagy annál gyengébb minőségű betonoknál a *finom osztályozás* általában felesleges,

3. A két határeset között vizsgálandó a gazdaságosság,

4. 5–10 éven belül elem-, ház- és transzportbetongyáraink ellátásához kb. 8 millió m<sup>3</sup>/év betonmennyiség előállításához kell korszerű keverőtelepeket és betongyárakat létrehozni (a meglévő néhány korszerű berendezés addigra nyilván szintén elavul),

5. A korszerű betonellátás feltétele a jóminőségű osztályozott adalékanyag. Ennek érdekében fenti időpontig kb. 5–10 millió m<sup>3</sup>/év homokos kavics korszerű osztályozását, tárolását és szállítását is meg kell oldani,

6. osztályozó műveknek és betongyáraknak korszerűnek, de lehetőleg egyszerűnek, nem túlzottan automatizálnak kell lenni.

#### *A keverőtelepek nagysága és típuszámára :*

A betonigények, nyersanyagellátás, és korszerűség néhány elvének tisztázása után a keverőtelepek nagyságával és kihasználhatóságával lehet foglalkozni.

A Szolnoki Elemgyár Uvamix keverőgépekkel ellátott hazai tervezésű automata betongyárat kapott. Az 1000 l-es Uvamix keverőgépekkel lehet percenként 1 m<sup>3</sup> laza betont keverni és kiadni, ezért a két keverőgépes egységet 2 × 60 = 120 m<sup>3</sup>/óra teljesítményűnek nevezték. A gyakorlat sajnos ezt a feltételezést nem igazolta. Az Északi Betongyár és Osztályozó korszerű Intercommerce betongyára 2 db 1500/1250 l-es keverőgéppel van ellátva, ezek *garantált* óraterjesztménye 100 m<sup>3</sup>/óra és ezért az üzem tervezésénél az volt a kiinduló adat, hogy az 100 m<sup>3</sup>/óra, 1000 m<sup>3</sup>/nap, 200 000 m<sup>3</sup>/év teljesítményű. Ez transzportbetongyár, tehát télen alig, vagy csak kis teljesítménnyel üzemel (1. ábra).

Ezzel szemben üzemi betongyáraknál ehhez a teljesítményhez 4 db 1200 literes keverőgépet is előírhatnak, mivel itt a tartalék elengedhetetlen.

Még az az előírás is, hogy a 100 m<sup>3</sup>/óra teljesítményű transzportbetongyár elvileg két műszakban tartósan napi 1000 m<sup>3</sup> betont adjon le, igen jó szervezést igényel, mivel a transzportbeton-igény csúcsban reggel 6–10 óra között, majd kisebb csúcsban déltájban jelentkezik. Hiába rendelkezünk kapacitással, ha nincs rá délután igénylő.

Fentiekből az is világossá vált, hogy nagyteljesítményű betongyárat 1500 literesnél kisebb keverőgépre nem gazdaságos létesíteni, sőt, hogy ilyenekhez a gazdaságos keverőgépnagyság a jövőben 2–3000 liter lehet. Lényeges természetesen, hogy országosan egyféle típus terjedjen el!

Hány ilyen nagy betongyárra lehet szükség 10 év alatt? Úgy gondoljuk, nem nagyot tévedünk, ha ház- és elemgyárak céljára 10 db-ot, transzportbetongyárak céljára további 10 db-ot, összesen tehát 20 db-ot becsülünk. Ezzel már érdemes volna tervezés-gyártás vonalán (import keverőgéppel) foglalkozni, de csak ha egyformák, és akkor is csak egy-egy tervező-kivitelező cégnek! Ha ezt az egyformaságot tervszerű irányítással nem sikerül biztosítani, úgy az egész megvalósítása, fenntartása akár 50%-kal is többre kerülhet! Még 30–40%-kal kisebb teljesítményigény esetén is olcsóbb a típus berendezés, mint az új tervezés-kivitelezés.

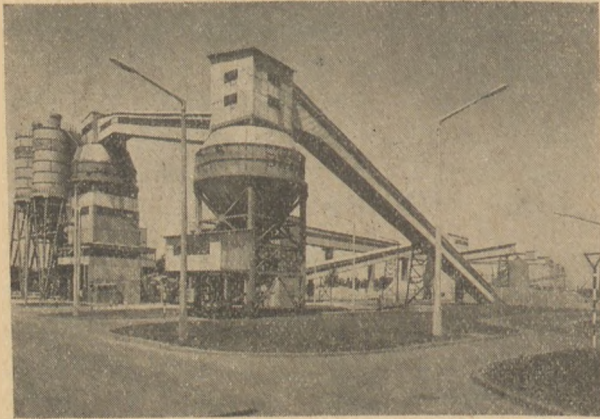
Mindezt azért tartottuk szükségesnek ilyen részletesen elemezni, hogy igyekezzünk elkerülni, hogy a jövőben hasonló feladattal három tervező-kivitelező kollektíva is foglalkozzék és hogy végre tudatossá váljék, hogy egy automata betongyár, vagy hasonló bonyolultsági fokú más komplett termelő gépsor tervezési költsége megközelítheti a kiviteli költségeket és amennyiben a beépített elemek mindegyike nem kipróbált egység, úgy kizártnak tekinthető, hogy az egész első próbákra, vagy akár

egy-két hónapon belül jól működjék. A fenti, 20 db-ban feltételezett egységes nagy betongyár együttes teljesítménye évi 4 millió m<sup>3</sup> laza beton. A 8 milliós becsült igényszámából marad tehát a fele, 4 millió m<sup>3</sup>. A részletes vizsgálatok azt mutatják, hogy a kisebb igények kielégítéséhez két-, legfeljebb háromféle nagyság szükséges. A legkisebb egység, amivel egyáltalán érdemes foglalkozni, kb. 15—

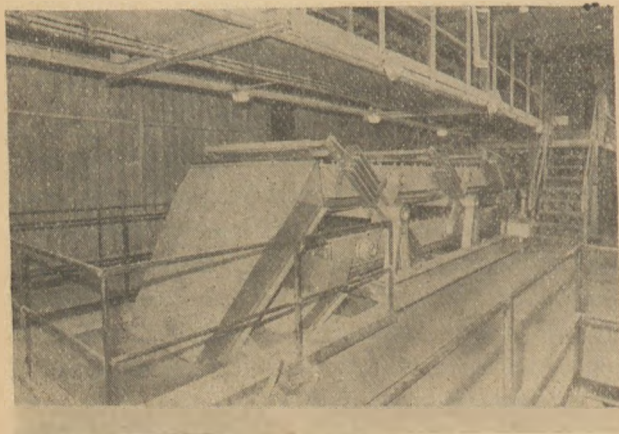
15 m <sup>3</sup> /ó	100 m <sup>3</sup> /nap	15 000 m <sup>3</sup> /év	100 db	1,5 millió m <sup>3</sup>
45 m <sup>3</sup> /ó	300 m <sup>3</sup> /nap	50 000 m <sup>3</sup> /év	50 db	2,5 millió m <sup>3</sup>

Összesen tehát 150 készlet keverőtelepre volna szükség évi kerekén 4 millió m<sup>3</sup> lazabeton előállításához (Munkahelyi betonokhoz, tartalék céljára stb. legalább ugyanennyit becsülnénk!).

A kívánatos tehát az volna, ha a kisebb igények kielégítéséhez fenti két keverőtelep-típuson kívül évekig mást nem alkalmaznának. Nem lehet eléggé hangsúlyozni, hogy milyen nagy előnyei volnának a gazdaságos sorozatgyártás, tartalékalkatrész-ellátás szempontjából, ha sikerülne ezt a tipizálást vég-



2. ábra. A Budapest-Északi osztályozómű, 125 Mp/óra teljesítményre



3. ábra. Binder-rendszerű rezonancia-szita

20 m<sup>3</sup>, a következő 40—50 m<sup>3</sup> teljesítményű, de vannak a 60 m<sup>3</sup>/ó teljesítményűnek is hívei.

Helyesnek tekinthető az a döntés, hogy 15 és 45 m<sup>3</sup>/óra teljesítményű keverőtelepek sorozatgyártására rendezkedünk be.

Hány darab kellhet fenti keverőtelepekből? Egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy teljesítményük

reahajtani. De ha a berendezések tartósak, nem túl drágák, a szállítási határidő elfogadható és a szervizhálózat jól kiépített lesz, a tipizálás magától megoldódik.

Természetesen mindez csak arra az esetre vonatkozik, ha az említett háromféle betongyár első példányai közepesen jól működnek. Közepesen jól. Ne kívánjunk többet. És elégedjünk meg az adalékanyagoknál 5%, a víznél és cementnél 1—2% mérési pontossággal és legfeljebb 20-féle recepttel.

A betonfajtákra és árakra a távolság függvényében jó összeállítást találtunk egy Lipcse-i betongyárban és ezért közöljük (1. táblázai).

#### Osztályozóművek

A 8 millió m<sup>3</sup> betonhoz kerekén 10 millió m<sup>3</sup> adalékanyag szükséges. Tételezzük fel, hogy ebből 8 millió m<sup>3</sup> folyami, vagy bányakavics és a többi zúzottkő — amivel a továbbiakban ezen a helyen nem kívánunk foglalkozni.

Számos vizsgálat alapján az is nyilvánvaló, hogy az osztályozóművet a nyersanyag mellé kell telepíteni és az osztályozott anyagot transzportbetonként, sőt ha lehetséges, ház- és elemgyár termékeként kell hasznosítani. Az osztályozott anyagot 50—100 km távolsáig gépkocsival gazdaságos szállítani és csak azon felül jöhet szóba a vasút, főképpen azért, mivel az irányvonatok fogadó és gyors-kirakó berendezése igen költséges (2. ábra).

Az osztályozómű szempontjából nyilvánvalóan kívánatos, hogy az a lehető legnagyobb teljesítményű legyen.

A teljesítménylépcsőket a kapacitásmeghatározó gépegység, a hazánkban is gyártott Binder-rendszerű rezonancia-szita szabja meg. A legnagyobb típus felhasználásával kialakítottunk egy gépsort, melynek teljesítménye 125 Mp/óra, ha 0—3; 3—8; 8—16; 16—32 mm-re választ és a túlfolyó, majd letört és visszatáplált anyagot is osztályozza. A gépsort továbbfejlesztve a Binder rosta elé 30 mm-es leválasztást iktatunk és ez oldja meg a túlfolyó anyag leválasztását, így a rosta csúcsban

Betonminőség	Konzisztencia	Cement fajta	Saját járműbe rakva	A felhasználónak átadva, ha távolság (km)				
				3	7	11	15	30
<i>I. Vasalítlan</i>								
TGL 117—0825								
B 120	K 1	Z 225	51	56	60	64	68	83
B 120	K 2	Z 225	53	57	61	66	70	85
B 160	K 1	Z 225	54	58	62	67	71	86
B 160	K 2	Z 225	55	60	64	68	72	87
B 160	K 3	Z 225	57	61	65	70	74	89
<i>II. Vasalt</i>								
TGL 117—0825								
B 160	K 2	Z 350	55	60	64	68	72	87
B 160	K 3	Z 350	57	61	65	70	74	89
B 225	K 2	Z 350	61	65	69	74	78	93
B 225	K 3	Z 350	63	68	72	76	80	95
B 225	Pumpbeton	T 350	66	71	75	79	83	98
B 300	K 2	Z 350	68	73	77	81	85	100
B 300	K 3	Z 350	71	75	79	84	88	103
B 300	Pumpbeton	Z 350	74	78	83	87	91	106
B 300	K 2	Z 350	82	87	91	95	99	114
<i>Szemcse</i>								
0—12,5 mm								
B 450	K 2	Z 350	78	83	87	91	95	110
B 450	K 3	Z 350	81	85	89	94	98	113
B 450	Pumpbeton	Z 350	84	88	93	97	101	116
<i>III. Útbeton</i>								
TGL 16237								
B 300	K 2	Z 350	78	82	86	91	95	110
B 400	K 2	Z 350	82	86	90	95	99	114
B 450	K 2	Z 350	87	92	96	100	104	119

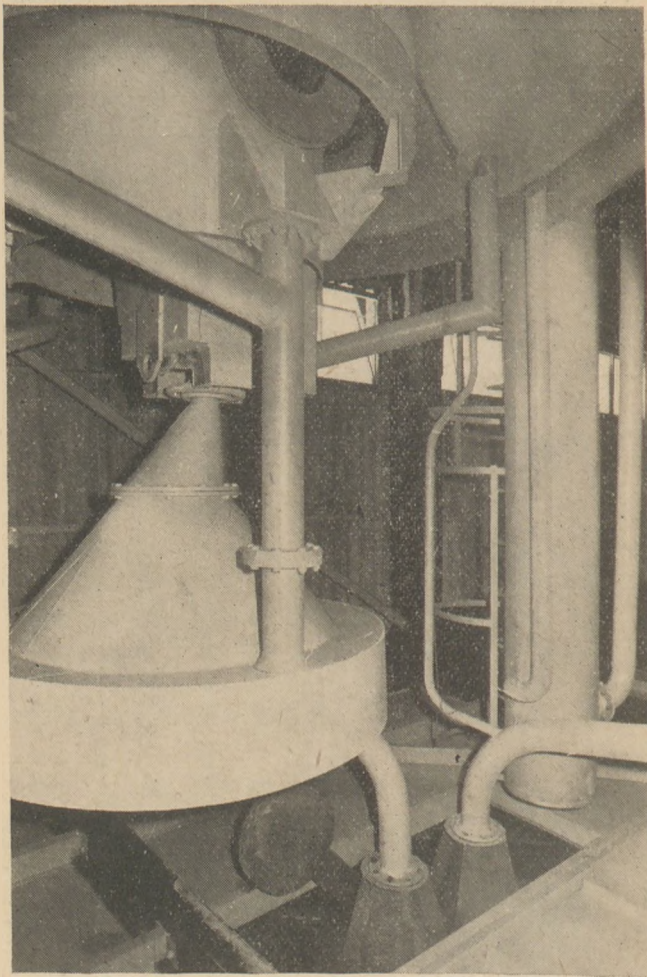
150 Mp/óra teljesítményig terhelhető. A leválasztó rács alatti különleges megoldás biztosítja, hogy a 150 Mp/óra feletti, vagy a rosta üzemzavara esetében akár az egész anyagmennyiség külön 0—32 mm-es előosztályozott, tömegbetonok készítésére alkalmas frakciót képezzen. Így a rendszer teljesítménye 0—3; 3—8; 8—16; 16—32 és 0—32 mm-es frakciók mellett 200 Mp/óra, ami a tervezett zárt rendszer mellett évi 4—500 000 m<sup>3</sup>/év előosztályozott, ill. osztályozott anyag előállítását jelenti (3., 4. ábra).

Voltaképpen ez a teljesítmény tekinthető vizes osztályozásnál a gazdaságos minimumnak. Ennél kisebb teljesítményre újabban külföldön is alig terveznek. Ha egy vállalat ennél kisebb teljesítményt igényel, ez azt jelenti, hogy nem ismerte fel a gazdaságos termelésnek a kooperációban rejlő előnyeit. Kisebb — pl. fele teljesítményű — gépek költsége csak kb. 20%-kal kisebb. Nagyobb teljesítmény viszont fenti gépsor kettőzésével érhető el. És így máris adva van az osztályozóművek tipizálásának egyik feltétele. És ha a tízmilliók irány-

számot elfogadjuk, fenti „egységosztályozóból” 20—25 db szükséges. Ez is olyan szám, amivel már érdemes komolyan foglalkozni. De nem sok felé, egymástól függetlenül!

A 4—500 000 m<sup>3</sup>/év teljesítményű osztályozómű mellé szerencsés esetben a nagy, 100 m<sup>3</sup>/óra teljesítményű betongyár telepíthető. Ha nincs nagyobb fogyasztó a közelben, a két kisebb keverőtelep egyike telepíthető. Kedvezőnek bizonyult az a telepítés, ahol az osztályozómű a szomszédos elem- és házgyárat, továbbá kisebb transzportbetongyárat is ellát. Ha a kavicsbánya télen nem üzemel, a két nagyfogyasztó osztályozott anyagból mintegy 40—40 000 m<sup>3</sup> mennyiséget tárol. Egy-egy ilyen alagútszalagos kivitelű tároló mai költsége 20 millió Ft. nagyságrendű — ha van rá hely.

Egyik transzportbetongyárnál hasonló kedvező gazdasági kapcsolat jön létre: osztályozómű, transzportbetongyár, előregyártó üzem, sőt, a fölös homok értékesítésére habarcsüzem. Osztályozott anyagtároló részére azonban hely nincs, de ha lenne is, a budapesti telekárak mellett költsége jelentős



4. ábra. 40 Mp/óra teljesítményű Rheax-finomosztályozó

lenne. Ezért ide betongyárral kombinált, tömbösített zárt rendszert dolgoztunk ki, melynél a vizes osztályozás télen is folytatható és így az osztályozott anyag tárolása feleslegessé válik (6. ábra).

Ezt a rendszert tekintjük a kialakítandó nagyteljesítményű osztályozómű és betongyár-típus alapjának és alkalmazását más helyre is javasoljuk. (A második típus szabadtéri).

Az osztályozómű elsősorban a betongyárat szolgálja ki, de jó szervezéssel kapacitása osztályozott anyag eladásával jobban kihasználható.

Az osztályozó természetesen vizes rendszerű. Lehetővé teszi a tanulmányunk elején 30–40%-nak becsült alacsony minőségű betonok készítését előosztályozott, tehát olcsó nyersanyagból. A vizes osztályozást 3 mm-ig végzi a Binder-rosta. Ez alá kerül, de nem szükségszerűen a finomosztályozás, mely a 0,1–1, ill. 1–3 mm-es frakciókat szolgáltatva a betongyártás céljára a legkorszerűbb feltételeket biztosítja.

Ma még sokan talán túlzásnak tartják az ilyen bonyolult osztályozást. A szomszédos Ausztriában

például számos vizes osztályozómű működik, finom osztályozással, hasonló, vagy nagyobb teljesítménnyel. Még vizierőművek tömegbetonjánál is, ahol naponta esetleg 4000 m<sup>3</sup> betont dolgoznak be, sokfrakciós, többnyire Rheax-ozott adalékanyagot használnak. Példaképpen és tájékoztatásul bemutatjuk az egyik osztrák osztályozómű választék- és árlistáját. Sok helyen kedvelt cikk a meghatározott és garantált összetételű adalékanyag-keverék szállítása. Ezt általában méretkorlátozott natur anyag (saját meghatározásunk szerint „előosztályozott anyag”) és osztályozott javítóanyag szalagmérleges összemérésével állítják elő és ezért lehet olcsóbb. Az összemérés viszont állandó ellenőrzést igényel.

Az osztályozott betonadalékanyagok fajtái és arányai Ausztriában (Wiener Neustadt 1968.)

I. Mosott homok és kavics		ö. Sch/Mp
Finom homok	0,1–1 mm	68
Homok	0,1–4 mm	63
	1–4 mm	66
Dürva homok	0,1–8 mm	53
	4–8 mm	63
Kavics	8–16 mm	21
	16–32 mm	21
	8–32 mm	21

#### II. Mosott kavicsból nyert zúzalék, kőlisztartalommal

0–5 mm	46
0–8 mm	41

#### III. Nemes zúzalék

Zúzott homok	0,1–2 mm	78
Zúzalék	2–5 mm	75
	5–8 mm	75
	8–12 mm	55

Gyöngykavics 40

#### IV. „Igen jó” betonadalék keverékek

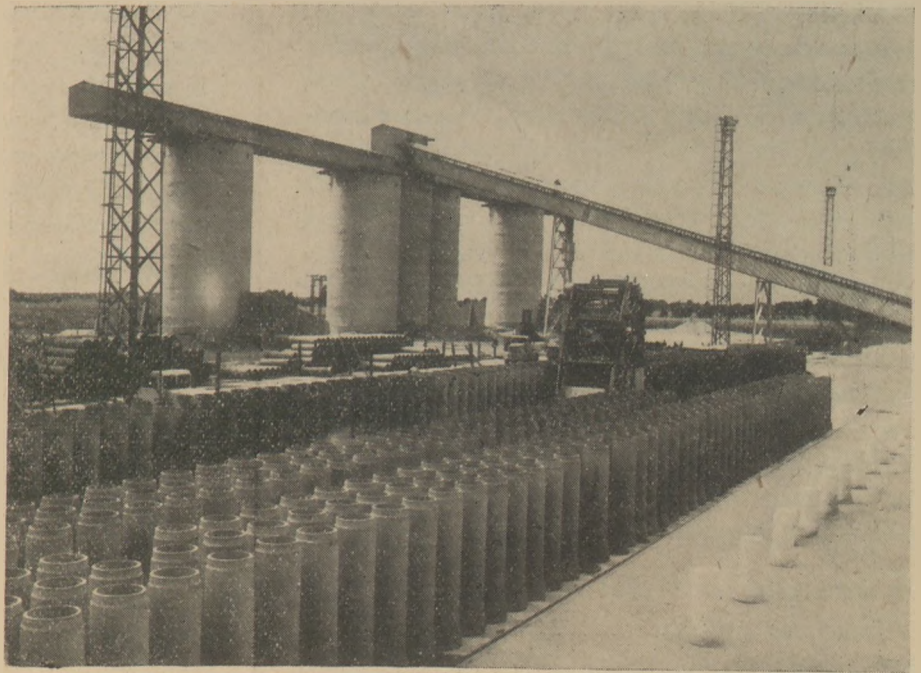
16/3 három: 0,1/4; 4/8; 8/16 mm-es frakcióból	44
16/4 négy: 0,1/1; 1/4; 4/8; 8/16 mm-es frakcióból	46
32/3 három: 0,1/4; 4/8; 8/32 mm-es frakcióból	40
32/5 öt: 0,1/1; 1/4; 4/8; 8/16; 16/32 mm-es frakcióból	41

V. Vagonbarakás 14

#### Betonszállítás

A „korszerűség” feltétele meghatározásunk szerint, hogy az egész géplánc minden tagja korszerű és összehangolt legyen. Kifogástalanul kell tehát

5. ábra. Oszályozott adalék-  
anyag tároló fényképe (előtte  
szabadtéri Henke-csögyártás)

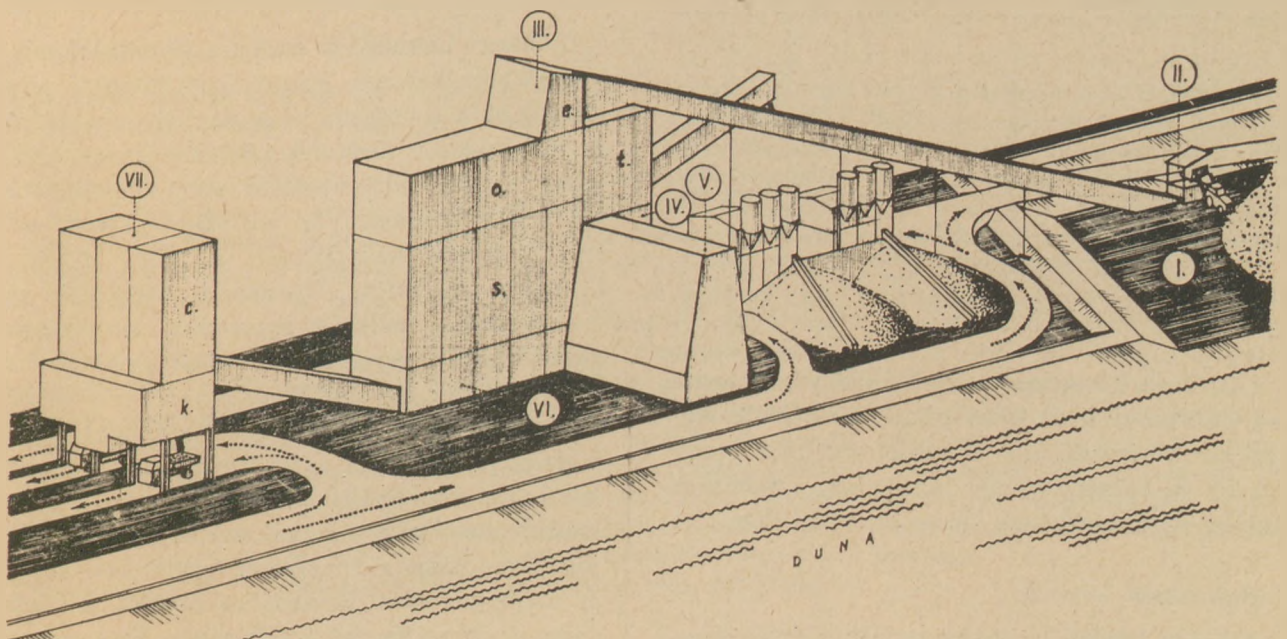


megoldani a beton elszállítását és munkahelyi fo-  
gadását (utóbbival azonban a cikk keretén belül  
nem foglalkozunk).

A betonszállítást hazánkban eddig főként bille-  
nőszekrényes kocsik végezték és még ezek is sajnos  
sokféle típusúak. Ezekkel meghatározott időn belül  
kell a betont a felhasználás helyére juttatni és ter-  
mészetesen biztosítani, hogy haladéktalanul bedol-  
gozzák. A bedolgozásig legfeljebb egy óra telhet el,  
és ez a szállítási távolságot kb. 20 km-ben korlá-

tozza. A szállítás különösen hígabb betonok eseté-  
ben szétesztályozódáshoz vezet, a beton homogeni-  
tása, aminek érdekében az előzőekben annyi bonyo-  
lult technológiai tevékenységet végeztünk, csök-  
ken és ez különösen karcsúbb szerkezetek esetében  
súlyos veszéllyel járhat.

Mai ismereteink szerint a betonszállítás legked-  
vezőbb berendezése a mixerkocsi. Ezzel a beton  
nagyobb távolságra, akár 60 km-re is szállítható,  
ez esetben a vizet csak az érkezés előtt adagolják.



6. ábra. Tömbösített osztályozó 200 Mp/óra és transzportbetongyár 80–120 m<sup>3</sup>/óra teljesítményre. (Tervező: Gerő  
László, ÉTI). Jelölések:

I. Nyerskavics tároló. II. Nyerskavics feladó. III. e. Előosztályozó, o. osztályozó, t. törő, s. siló. IV. Finomosztályozó (Rheax). V. Homok tároló  
rakodó. VI. Adalék mérlegelő. VII. Betongyár, c. cement siló, k. keverő

A mixerkocsi tehát a betongyár hatósugarát kb. megháromszorozza és így jelentősen hozzájárul a gazdaságosabb és jól ellenőrizhető *nagyteljesítményű betongyárak* fokozott fejlődéséhez. A mixerkocsikat most kezdik hazánkban bevezetni: sürgősen irányelvek szükségesek a típuskiválasztásra, mert már most olyan híreink vannak, hogy 20 típus kezd elterjedni és ez a karbantartás, tartalékalkatrész-ellátás és szervizhálózat gazdaságos kialakulását lehetetlenné teszi. Véleményünk szerint kettőnél többféle nagyság, ill. típus alig indokolható.

A transzportbetont télen melegen kell kiadni, hogy hőmérséklete bedolgozás után még jelentősen 0° felett legyen. A 20 °C hőfokú beton hőmérsékletvesztése a szállítás és átrakások következtében -3 °C hőmérséklet esetén a következő:

Hővesztés 10 km távolság esetén . . . . .	2 °C
Hővesztés áttöltéskor . . . . .	1 °C
Hővesztés, belső szállításkor . . . . .	2 °C
Összesen . . . . .	5 °C

Mint látható, nem túl jelentős. A veszélyes lehűlés bedolgozás után következhet be.

A beton fűtésének legegyszerűbb eszköze a meleg keverővíz, kevésbé kellemes a homok fűtése gőz-injektálással. Az alábbi táblázatban megadjuk, hogy különböző külső hőmérséklet mellett meghatározott keverékhőfok eléréséhez a homokot, ill. vizet milyen hőfokra kell felfűteni:

Külső hőmérséklet	A keverék hőmérséklete °C					
+ 4	11	15	17			
0	9	13	15			
- 4		9	13	20	17	
- 8			11	18	15	
- 12				16	13	20
A homok hőmérséklete	0	0	20	40	20	40
Víz hőmérséklet . . . . .	40	60	40	40	60	60

Újabbán a keverőgépre injektálnak gőzt a keverék felfűtése céljából. Ez azonban bizonyos veszéllyel jár, a keverési időt is meghosszabbítja és így inkább az előregyártásnál javasoljuk, a sablonok költséges gőzérlelésének elhagyása érdekében.

#### Szervezés

Műszaki kérdések néhány problémájának elemzése után a betongyártás és osztályozott adalékanyag-ellátás szervezési kérdéseivel kell foglalkoznunk.

Az elmúlt évtizedek folyamán szakosodás és szervezés vonalán is hatalmasat fejlődött a világ.

A gazdaságos tömeggyártás egymással versenyző világégeket készített kooperációra. „x” cégtől rendelünk villanymozdonyt, könnyűbetongyárat, vagy akár betonkeverő gépet és azt esetleg „x” nevében „y” cég szállítja, mert a nagyobb sorozatok érdekében termékeiket így profilírozták.

Nagy-London például több betont használ hazánknál és a transzportbeton-arány igen magas. Számos közepes, vagy nagyteljesítményű transzportbetongyár üzemel, ezeket konkurens vállalatok tartják fenn. Ennek ellenére igénybe vesznek egy közös diszpécserirodát és ide fut be az összes transzportbeton-igény. A rendelést komputerbe táplálják, mely kiszámítja, hogy a kért időpontban melyik legközelebbi transzportbetongyár tudja az igényt a leg gazdaságosabban kielégíteni és mindjárt ki is adja a rendelést. Az egységesített szállítójármű-park természetesen az egyes transzportbeton-üzemekhez tartozik és a komputer, hogy így mondjuk, ezek felett is rendelkezik.

Igen nagy jelentőségűnek tartjuk, hogy az üzem vezetője minél függetlenebb legyen, így rendelkezék a gépkocsiparkkal is. A betonigények kielégítését ugyanis két fő tényező korlátozza: az egyik a betongyár, a másik a járműpark kapacitása. A járműparkot a csúcsteljesítményre kell méretezni, csökkent igények esetén azonban a betongyár is kevesebb anyagot igényel az osztályozótól, a tárolók megtelnek és az osztályozást le kell állítani — tehát az sem lenne kihasználva.

Csökkent betonigény esetén a járműparknak az időponthoz kevésbé kötött osztályozott anyag elszállítását kell végeznie és ez esetben az osztályozó és járműpark is kedvezően kihasználható. (Ez az igény sajnos mixerkocsival nem elégíthető ki.) Maximális betonigénylés esetében viszont osztályozott anyag csak délután, ill. éjjel adható ki, ill. akkor kell kiadni. Ilyenkor a közlekedési utak is szabadok, a szállítást gyorsan és ezért gazdaságosan lehet lebonyolítani. A szükséges jó szervezet tehát kétféle: egyrészt az üzemen belül kell a nyersanyagfogadást, termelést, szállítást és értékesítést jól szervezni, másrészt egy-egy körzeten belül van szükség központi szervezetre, mely műszaki-kereskedelmi szempontok szerint a legkedvezőbbben osztja el a körzeten belüli adalékanyag- és betonigényeket. Ez azonban távolról sem korlátozza az egyes üzemek önállóságát. Ez a szervezet volna arra hivatott, hogy az osztályozás-betongyártás egységes fejlesztését hitelekkel stb. elősegitse.



## Szikszy Gerő: A betongyártás és adalékosztályozás problémái

A korszerű központi betongyártás országos bevezetése műszaki szükségszerűséggé vált. Feltételezzük, hogy egy nem túl távoli időpontban évente 8 millió m<sup>3</sup> elem-, ház- és transzportbetongyári betont kell előállítani. Erre a célra 100, 45 és 15 m<sup>3</sup>/óra teljesítményű betongyárok, illetve keverőtelepek bevezetését javasoljuk és igyekeztünk kidomborítani a tipizálás műszaki-gazdasági jelentőségét a gyártás, szerelés, karbantartás és szervíz-hálózat szempontjából.

Fenti betonmennyiség gazdaságos előállításának feltétele mintegy 10 millió m<sup>3</sup>/év homokoskavics osztályozásának átfogó megoldása. Ennek érdekében ismertettük az Építéstudományi Intézetben kidolgozott, 80–120 m<sup>3</sup>/óra teljesítményű betongyárral kombinált, tömbösített, zárt rendszerű osztályozó megoldását, melynek kapacitása 200 Mp/óra.

Az osztályozást, transzportbeton-ellátást-, szállítást és fogadást országosan egységes szemlélet mellett kell vizsgálni és kifejleszteni. Erre a célra a házigyári hálózathoz hasonló központi szervezet felállítását javasoljuk.

*Суксау, Г.: Проблемы производства бетона и классификации заполнителей*

*Szikszy, Gerő: Probleme der Betonherzeugung und beim Klassieren der Zuschlagstoffe*

Das Einführen zeitgemäßer zentralisierter Betonherzeugung wurde für Ungarn zur technischen Notwendigkeit. Man nimmt an, daß in einem nicht allzu weitliegenden Zeitpunkt die Erzeugung von 8 Millionen Kubikmeter Betons für Bau- und Hauselemente und zu Transportzwecken pro Jahr erforderlich wird. Man schlägt dazu die Errichtung von Betonfabriken beziehungsweise Mischvorrichtungen mit einer Stundenkapazität 100, 45 und 15 m<sup>3</sup> vor, auch wird die technisch-

wirtschaftliche Wichtigkeit des Typisierens von Herstellung, Montage und Instandhalten unterstrichen.

Die Vorbedingung für die Erzeugung erwähnter Betonmengen ist ein umfassendes Lösen des Klassierens von 10 Millionen m<sup>3</sup> sandigen Kieses im Jahr. Die Lösung der Frage — bearbeitet im Bauwissenschaftlichen Institut zu Budapest, eine Mischeinrichtung mit Betonbetrieb von 80–120 m<sup>3</sup> Stundenleistung kombiniert — wird beschrieben. Die Kapazität der Klassiereinrichtung beträgt 200 Mp/h. Man hat die Probleme des Klassierens, der Betonversorgung, des Transports und des Empfangs von Produkten aus einem einheitlichen Gesichtspunkt aus betrachtet zu untersuchen und zu entwickeln. Zu diesem Zwecke wird das Errichten einer Zentralstelle vorgeschlagen, ähnlich jener, welche im Netz der Hauselementenfabriken bereits besteht. (S. G.)

*Szikszy, Gerő: Problems of Concrete Fabrication and Aggregate Classification*

The nationwide introduction of up-to-date central concrete fabrication has become a technical necessity in Hungary. An estimated 8 million cu.m/year of ready-mixed concrete will be demanded in the near future, for prefabricated concrete units, for house factories and as general transported concrete. The introduction of mixing plants of 100, 45 and 15 cu.m/hr concrete capacity is recommended and the technical and economic advantages of typifying emphasized with special attention to savings in fabrication, instalment, maintenance and servicing. The economic production of this concrete quantity postulates the solution of the classification of 10 million cu.m/year gravel. A closed-circuit classifier of 200 tonna/hr capacity, combined with a concrete factory of 80–120 cu.m/hr capacity has been designed in the ÉTI (Institute for Building Science). As classification, concrete production, transport and reception should be nationally organized, under uniform principles, the development of a central agency is recommended.

## Egyesületi élet

Mindennapi téma az építőiparban, az anyag- és munkaerő-kapacitás hiánya mellett, az épülő sokezer lakásnál jelentkező funkcionális és esztétikai jellegű probléma. E probléma megoldásához kívánnak munkájukkal segítséget adni a FIM iparművészei, építőművészekkel és belső építészekkel karöltve.

A Szilikátipari Tudományos Egyesületben tömörült és az Egyesület ilyen irányú támogatását élvező FIM. művészeti szakcsoport ebben a témában szeptember 23-án ankétot tartott. Jánossy György építőművész arról beszélgetett a tervezőművészekkel, milyen szerepe van a kerámiának korunk építészetében. A beszélgetés so-

rán sok érdekes gondolat vetődött fel, melyek további együttműködésre ösztönöznek. A gyártmányoknál fontos — különösen burkolólapoknál — a méretkoordinálás. Pályázatok kiírásánál vegyük figyelembe az építőipari típusterveket, — még edénypályázatoknál is. Az építészek hiányolnak egy katalógust, mely a FIM összes építőipari termékeit magába foglalja és legalább kétévenként fel-frissítésre kerül az újabb termékekkel. Hiányolják továbbá a nemes homlokzati burkolást, mázas padló- és mennyezet-burkolást is. Jánossy György építész szavait idézzük: „Padlóink és mennyezeteink elviselhetetlenek. Szerencsére még sok kihaz-

nalatlan energia van.” A FIM iparművészei körében is nagy érdeklődéssel látnak hozzá az ilyenirányú igény kielégítéséhez.

A mintegy 35 résztvevő új szép gondolatokkal, meglepéssel nyugtázta az előadason hallottakat.

Délután dr. Domonkosné Krusnyák Magdolna a „Szecesszió” stílusirányzatról tartott vetített képes előadást. A lelkes, hivatását szerető előadó kiváló előadásából a hallgatóság, további munkájához, segítséget kapott.

Szeptember 24-én a Vadászati Világkiállítás tekintették meg művészeti szempontból a FIM tervező művészei.

(Lehelné Rozsos Janka)

# Újrendszerű torlógyűrűs forgókemence minőségi mész égetésére

VASADI FERENC—NYITRAY ISTVÁN\*

Vegyigép Tervező és Fővállalkozó Vállalat, Budapest.

Az akna- és forgókemencék a mészipar jelenlegi igényeinek nagyobb részét kielégítik. Az újabb típusú forgókemencék most tapasztalható előretörése főként a közepes és nagy teljesítményű berendezések esetében lehetővé tette, hogy az aprószemcséjű (pl. 6—40 mm közötti szemnagyságú) mészkből a minőségi mész égetését viszonylag kis fajlagos energiafogyasztással és beruházási költséggel megvalósíthassuk. E két alapvető kemence-típus főbb szempontok szerinti összehasonlítását egy a szerzőnek a közelmúltban megjelent tanulmánya tárgyalta azzal a következtetéssel, hogy a forgókemencék elterjedésével a jövőben fokozottabban számolni szükséges. [4]

A szemcsés anyagokat feldolgozó forgókemencek korszerű formájának az a típus tekinthető, ahol a mészke előmelegítését, valamint a mész hűtését különféle rendszerű aknában, vagy horizontális rostélyon fekvő anyagrétegen keresztül végzik. Ily módon már építhető volt viszonylag rövid pl.  $L/D=14-16$  főméretarányú kemence, ezzel egyrészt a beruházás költsége, másrészt a köpenyveszteségek a korábbi típusokhoz képest lényegesen csökkentek, így az 1200—1300 kcal/kg fajlagos hőfogyasztást is el tudták érni. A kemence hosszmérete és energiafogyasztása a szokásos kőméretek és az általános 7—12%-os kemence töltési fok figyelembevételével az előbbieket meghaladón tovább már nem volt csökkenthető. Éppen a hagyományos forgókemencék ismeretes és eddigi formájában ki nem küszöbölhető hátrányainak csökkentése céljából fejlesztettük ki az ún. torlógyűrűs forgókemence típusunkat, melyet itthon és számos külföldi országban szabadalmi oltalomra bejelentettünk.

Az eddigi akna- és forgókemencés mészégető berendezésekhez képest a torlógyűrűs forgóke-

mence az alábbi lényeges elvi eltéréseket, illetve előnyöket mutatja.

a) A forgókemence egészen rövid, az  $L/D$  viszony 5—7 közötti lehet, ami gépészeti és falazati súly, hajtóenergia és a rövid dobban megvalósítható vastagabb falazatnál a köpenyveszteség csökkentése révén jelentős fejlesztésnek számít.

b) A forgókemencén belül az anyag mozgása és melegítése egyenletes, a füstgázáramlás részben a kövek között a hézagterefogatban, részben a felső kötkör és a falazat közötti szabad térben történik. Az eredő hőátadási tényező ily módon nagyobb mint akna- vagy hagyományos forgókemencéknél. A forgó égetőzónában létesített állandó anyagmozgás az összesüléseket, valamint a meddő áramlási csatornák kialakulását megakadályozza.

c) A feladott kő előmelegítése és a doból kilépő nagyhőmérsékletű termék hűtése csak minimális mozgó alkatrészt igénylő egyszerű aknában megszokott kedvező körülmények között végezhető.

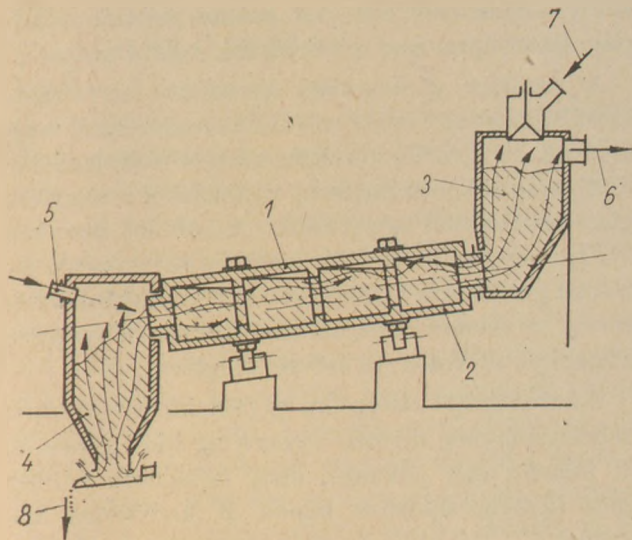
d) A berendezés részére szükséges alapterület és építési magasság kisebb, mint egyéb kemence-típusoknál.

e) Az előmelegítő akna jellegéből következően az égetőberendezésből távozó füstgáz portalánítására egyszerű, kis energiaveszteségű és olcsó mechanikus porleválasztó berendezés is elegendő.

A rendszer működését az 1. ábra vázlatrajzán mutatjuk be.

A 3 jelű előmelegítőzóna tulajdonképpen megfelel a hagyományos aknakemencéknek, méretezése is ugyanilyen alapon történt. Az égetendő anyagot a 7 jelű kettős zárószerkezeten keresztül adagoljuk, az akna felső részén a 6 jelű csonkon át vezethető el a füstgáz. Ezen aknához az 1 jelű és torlógyűrűssel 2 kiképzett falazatú forgókemence különleges tömítésekkel közvetlenül csatla-

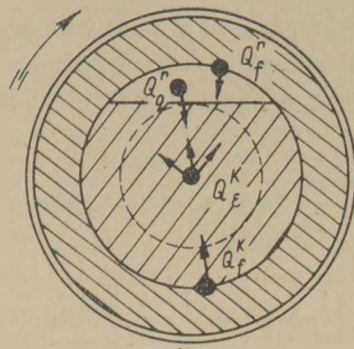
\* A X. Szilikátipari Konferencián elhangzott előadás.



1. ábra

kozik úgy, hogy az anyag normál üzemeltetés közben az ábrázolt helyzetet veszi fel, a berajzolt nyilak pedig a gázáramlás jellegét mutatják. A többrétegű falazat a köpenyveszteséget a hagyományos forgókemencénél mérhető érték  $1/5-1/6$  részére csökkenti. A dob lejtése és kerületi sebessége egyébként a szokásos érték körül választható. A forgódob kiömlő végén a 4 jelű hűtőakna felé a nagy hőmérsékletű anyag szabadon kifolyhat. A hűtőakna is az eddig szokásos módszerekkel méretezhető. Az ábrából kivehetően a forgódob idecsatlakozó, tehát tüzelésoldali végén egy anyagrézsű alakul ki, mely egyrészt a dobon belül az elérni szándékolt kb. 85%-os töltési fokot automatikusan beállítja és tartja, másrészt az égető- és hűtőzóna határán szabad tér áll rendelkezésre, tehát a tüzelőanyag elégetése egy ideális keverőtéren belül történhet az 5 jelű égetőszerkezet segítségével. A hűtőakna alján elhelyezett egyszerű és olcsó kihordószerkezet 8 teljesítménye egyben az egész rendszeren belül az anyag átáramlását meghatározza. Az előmelegítő akna töltését — az eddigi igen jól bevált megoldás szerint — a harangzár — szintállásjelző közös rendszere üzembiztosan vezérli. Nem elhanyagolható előny, hogy az anyag közvetlenül az égetőzónából történő kilépés pillanatában műszeresen és vizuálisan is megbízhatóan ellenőrizhető.

Már az említett forgódob hosszmeretekből és a számítható hőátadási tényezőkből következik, hogy az égetés, illetve anyagáthaladás ideje a rendszeren csak  $1/4$ -e az egyszerű aknakemencékhez képest, itt a feladástól a kihúzásig 10–14 óra közötti időtartam mutatkozik, szemben az aknakemence 35–40 óra áthaladási idejével. Következésképpen ezen rendszer hő- és anyagáramlási tehe-



2. ábra

tetlensége kisebb; szabályozási rugalmassága előnyösebb az aknakemencéhez képest.

Az elgondolás első igazolására elkészült egy kis méretű kísérleti berendezés, mely  $\varnothing 700 \times 2600$  mm főméretű forgódobbal, valamint  $0,18 \text{ m}^3$  térfogatú előmelegítő- illetve hűtőaknával bírt. A teljes berendezés hasznos térfogata  $0,52 \text{ m}^3$  volt. A kísérleti égetést a Dorogi Mészműben az akkor rendelkezésre álló generátorgáz ( $H_u = 1460 \text{ kcal/Nm}^3$ ) felhasználásával végeztük. A feladott kőméret 8–15 mm, a több esetben beállított 24 óra időtartamú folyamatos üzemeltetés alatt elért teljesítmény kb.  $40 \text{ kg/óra}$  volt, ami  $1,85 \text{ t/m}^3$ . 24 óra fajlagos értéknek felelt meg. A hőfogyasztás ugyanakkor még ezen kis berendezésnél is csak kb.  $1300 \text{ kcal/kg}$  termék körül mozgott. Természetszerűleg a teljesítmény és hőfogyasztás mint alapparaméterek ezen kísérlet alapján egyszerűen arányossági alapon és kellő biztonsággal még nem számíthatók át az üzemi berendezések szintjére, három lényeges kérdésre azonban már az első kísérletsorozat is egyértelmű választ adott:

a) A rendszeren keresztül a folyamatos anyagáthaladás, a torlógyűrűs forgókemencén belül a szabályozott és egyenletes melegítés és a 85%-os töltési fok fenntartása könnyen biztosítható úgy, ahogy azt az előzetes számítások alapján vártuk.

b) Az előállított mész egyenletesen, lágyan, rendkívül kis (cca.  $1-1,2\%$ ) karbonát maradékkal égetettnek és nagy reakcióképességűnek mutatkozott.

c) A rendszer porvesztése — hasonlóan a jól vezetett aknakemencékhez — elhanyagolhatóan kicsi, elektrosztatikus porleválasztó berendezések építésére — ami hagyományos mészégető forgókemencéknél elkerülhetetlen — nem lesz szükség.

A biztató eredménnyel zárult első kísérletek alapján megkezdett és befejezés előtt álló nagyüzemi kísérleti égetőberendezés tervezése  $250 \text{ t/nap}$  alap teljesítményre történt. Minthogy a kísérleti

jellegtől függetlenül végeredményben üzemi termelő berendezést kell majd produkálnunk, elkerülhetetlen volt ez esetben még olyan tartalékok beépítése, melyek minden körülmények között egy elfogadható üzemi szintet tudnak majd biztosítani.

Az ily módon kialakított rendszer thermo- és aerodinamikai méretezése után a következő fontosabb végeredmények adódtak. A feltételezések szerint tiszta cca. 98% CaCO<sub>3</sub> tartalmú mészkőből max. 2% CO<sub>2</sub> tartalmú nagy reakcióképességű meszet kell égetnünk úgy, hogy a feladott szem nagyság 20–60 mm lesz. A felállítás helyén tüzelőanyagként 96% kohó-torokgáz ( $H_u=950$  kcal/Nm<sup>3</sup>) és 4% földgáz ( $H_u=8300$  kcal/Nm<sup>3</sup>) keveréke áll rendelkezésre, így az eredő fűtőérték 1240 kcal/Nm<sup>3</sup> körüli lesz.

A számított hőmérleg szerint a fajlagos hőfogyasztás 1100–1180 kcal/kg között várható, melyben a falvesztés 35–40 kcal/kg értékkel szerepel. Az előmelegítő zóna 9 m<sup>2</sup> hasznos keresztmetszetű, magassága 2,3 m, a zónán az anyagáthaladás ideje kb. 1,6 óra lesz.

A torlógyűrűs forgókemence — mely a tulajdonképpen égetőzóna — belső szabad átmérője 3000 mm, a reakcióterben az összetett hőátadás a 2. ábra szerinti elvek alapján számítható.

Az anyag és a hézagterfogathban áramló füstgáz között az aknakemencéknél megszokott hőátadás ( $Q_k$ ) érvényesül. A torlógyűrűk után a füstgáz egy része az anyagtükrök felett szabad térben áramlik, itt a gáz-anyag és a falazat-anyag közötti sugárzás is érvényesül ( $Q_g + Q_f$ ). Végül a fal és a ráfekvő anyagréteg konvektív hőátadása vehető még figyelembe ( $Q_f$ ). Az előbbi résztényezőkből számítható eredő hőátadási tényező ( $\alpha$ ) jellemző végül is a hőrendszerre. A számítási eredmények jó megközelítéssel ennek értékét fenti index jelölésekkel a következőképpen mutatják.

$$\alpha = 0,3(\alpha_g + \alpha_f) + 0,3\alpha_k + 0,4\alpha_e \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C)}$$

A jelen esetben ez  $\alpha = 43$  kcal/m<sup>2</sup> · h · °C értékkel adódott. Az anyag áthaladási ideje az égetőzónán így kb. 8,5 óra, a zónahossz pedig 15 m lesz.

A hűtőzóna méretezése ismét csak az aknakemencéknél eddig szokásos módszerekkel történt. A hűtésre az égési levegő 70%-a mint szekundérlevegő halad át a rendszeren, így  $\alpha_H = 36$  kcal/m<sup>2</sup> · h · °C és  $Z = 2,7$  óra áthaladási idő esetén 3,5 m zónamagasság szükséges [2].

A teljes rendszer hasznos térfogata 146 m<sup>3</sup>, a fajlagos teljesítmény tehát 1,72 t/m<sup>3</sup> · 24 óra, ami

az aknakemencék 0,6–1,2 azonos számához képest hasonlítva igen jó értéknek tekinthető.

A rendszer gázáramlási ellenállása természetesen nagyobb, mint ami aknakemencéknél megszokott, ez a torlógyűrűkön történő áthaladásból és a gyakori keresztmetszet változásból a nagyobb gázsebességekből következik. A többlet azonban — ami esetünkben 600–1000 kp/m<sup>2</sup> közötti értékkel jelentkezik — az egyéb energiamegtakarítás révén és főként a beruházási költség lényegesen alacsonyabb voltában bőven megtérül.

A beruházási költségekre egyébként a választott teljesítményhez tartozó viszonylag kicsi gépészeti és falazati súly jellemző, mely fajlagosan minden más kemencetípushoz képest is kedvezően alacsony.

Ezek után már összehasonlítás tehető a hagyományos akna- és forgó-, valamint ezen torlógyűrűs forgókemence között, pl a 250 t/24 óra mészteljesítmény alapul vételével. Aknakemence esetében a 2 × 125 t/nap teljesítményű berendezés adatait szerepeltetjük. A főbb paramétereket az 1.

Mészteljesítő kemencetípusok összehasonlítása

1. táblázat

	Aknakemence 2 db normál aknával 2 × 125 t/24 óra	Forgókemence hűtődobbal elő- melegítő aknával 250 t/24 óra	Torlógyűrűs forgókemence 250 t/24 óra
A rendszer hasznos belső térfogata, m <sup>3</sup> .....	340	560	146
Az égetőzóna hasznos belső keresztmetszete, m <sup>2</sup> .....	16,8	5,2	6,3
Fajlagos térfogati teljesítmény, t/m <sup>3</sup> · 24 ó .....	0,74	0,45	1,72
Fajlagos keresztmetszeti teljesítmény, t/m <sup>2</sup> · 24 ó .....	15	18	30,6
A gépészeti berendezés össz-súlya, t .....	280	550	185
A hecpített falazat össz-súlya, t	584	300	267
Fajlagos gépsúly, t/t/24 ó .....	1,12	2,2	0,74
Fajlagos falazataúly, t/t/24 ó	2,33	1,55	1,07
Feladható nyersanyag jellemző szemmagyság határai, mm	50—90 és 90—150	0—25 és 15—40	20—60
Anyagáthaladás ideje a teljes rendszeren, óra .....	35,2	3,5	12,5
Anyagáthaladás ideje az égetőzónán, óra .....	10	0,8	8,3
Teljes rendszer statikus nyomásvesztése, kp/m <sup>2</sup> ...	(970) 450	200	1586
Az égetőzóna statikus nyomásvesztése, kp/m <sup>2</sup> ...	(740) 300	20	1050
Jellemző fajlagos hőfogyasztás, kcal/kg mész .....	1200	1300	1150
Fajlagos elektromos energia- igény, kW/t .....	18—20	20—22	28—30

táblázat tartalmazza, megjegyezve, hogy mindhárom rendszer a VTFV által tervezett hazai szerkezet.

A táblázat értékeihez bővebb megjegyzéseket fűzni nem szükséges, néhány körülmény azonban még említést érdemel. A kedvezően alakuló tényleges és fajlagos súly, következőképpen a kis beruházási költség még nem fejez ki olyan további előnyöket, amit pl. a forgókemencénél eddig szokásos hajtó fogaskoszorú elmaradása jelent. A rövid torlógyűrűs forgókemence az alátámasztó görgőkkel tisztán a súrlódás kihasználásával üzembiztosan forgatható. A fogaskoszorú elmaradó előállításai és csere költségei egyrészt olcsóbbá teszik a berendezést, másrészt a fogkapcsolódás rendszerint  $k < 1$  tényezője miatt a falazat élettartam lényegesen nagyobbra várható.

Szükséges rámutatnunk, hogy a torlógyűrűs forgókemence a mészen kívül dolomit és magnezit, tehát egyéb szemcsés anyagok kausztikus égetésére (kb. 1300 °C hőmérsékleten), valamint ezek zsugorítására (pl. 1850 °C hőmérsékleten) is kiválóan felhasználható.

#### IRODALOM

- [1] Alberti K.: Schriftenreihe des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie o. V., 1956. Heft 3, Seite 75.
- [2] Balázsovics G.: Radex Rundschau, 1966, Heft 3, Seite 163.
- [3] Pohl G.: Zement Kalk Gips, 1956, Heft 6, Seite 275.
- [4] Vasadi F.: Építőanyag, 1969. 2. szám. 60. oldal.

#### Vasadi F.—Nyitrai I.: Újrendszerű torlógyűrűs forgókemence minőségi mész égetésére

Az újrendszerű torlógyűrűs forgókemence lényeges haladást jelent az eddig ismert mészkemence szerkezetekhez képest, az akna- és forgókemencékkel történő összehasonlításból kivehetően jól kielégíti a korszerű mészégető berendezésekkel szemben támasztott igényeket. Összgazdaságossága még kisebb teljesítmények esetén is igen jó, tehát helyi igényekre előnyösen telepíthető pl. 20–100 t/nap teljesítményű kemence, de 800 t/nap egység teljesítményig is építhető berendezés. Az akna- és forgókemence számos hátrányát kiküszöböli. Az anyag előmelegítése és hűtése álló aknában, a tulajdonképpeni égetés pedig egy jól hőszigetelt, lassan forgatott, igen rövid és nagy töltési fokkal bíró torlógyűrűs falazatú forgókemencében történik. Ily módon kis energia- és hőfogyasztású, minőségi mész égetésére alkalmas berendezés áll rendelkezésre, melyben ideális anyag és gázáramlás, valamint tág szabályozási lehetőség biztosítható. A kemencerendszer gépészeti és falazati súlya, épület- és alapterület igénye igen kicsi, a forgókemencénél elkerülhetetlen nagy porvesztés itt minimálisra esik. A kedvező energia- és beruházási költségigény révén alacsony termékönköltség mutatkozik. A kísérleti berendezés kedvező eredményei alapján az első üzemi berendezés felállítására is rövidesen sor kerül. Természetszerűleg a torlógyűrűs forgókemence kiválóan alkalmas egyéb szemcsés anyagok, pl. a tűzállóanyagiparban felhasznált dolomit és magnezit égetésére vagy nagy hőmérsékleten történő zsugorítására.

#### Vasadi, F.: Вращающаяся печь с кольцевым порогом — экономическая известково-обжигательная печь новой системы

Одним из требований, предъявляемых к современным печам, помимо высокой производительности, является получение извести высокого качества, при низком расходе тепла и электроэнергии и низких капитальных вложениях. Печи, действующие в настоящее время, служат для обжига известняка среднего и крупного размера. Мелкий и пылевидный известняк обжигается во вращающихся печах, обеспечивающих равномерное качество извести. Однако вращающиеся печи требуют высоких капитальных затрат и повышенного расхода тепла. Запатентованная печь с кольцевым порогом является техническим шагом вперед, и обеспечивает суточную производительность до 800 тонн. Подобные печи, даже более низкой производительности, также являются экономичными. Подогрев и охлаждение осуществляется в вертикальной шахте, а обжиг — в медленно вращающейся, короткой печи с высокой степенью заполнения. Данная печь занимает меньше места, требует меньше огнеупоров и прочих конструкций. Пылеобразование пониженное, регулировка очень проста. Печь пригодна также и для обжига доломита, магнезита и других материалов.

#### Vasadi, F.—Nyitrai, H.: Der Stauringdrehtofen, ein wirtschaftlicher Kalkofen neuen Systems

Der neue, mit Stauring versehene Drehtofen stellt einen wesentlichen Fortschritt, verglichen mit den bis heute üblichen Kalkbrenn-Systemen dar. Aus der Gegenüberstellung zu anderen Schacht- und Drehtöfen geht hervor, daß der neue Ofen den an zeitgemäße Kalkbrenneinrichtungen gestellten Ansprüchen gut entspricht. Seine Gesamtwirtschaftlichkeit ist selbst bei kleineren Leistungen sehr gut; es kann also zwecks Befriedigung von örtlichem Bedarf ein Stauring-Ofen von etwa 20–100 t/ato Leistung vorteilhaft errichtet werden. Es können aber Einrichtungen bis zu 800 t/ato Einheitsleistung gebaut werden. Zahlreiche Nachteile des Schacht- und Drehtöfens werden durch das neue System beseitigt. Das Vorwärmen und die Kühlung des Materials geht in stehenden Schächten vor sich hin, das eigentliche Brennen aber in einem sehr kurzen, mit guter Wärmedichtung versehenen Drehtofen kleiner Geschwindigkeit und großen Füllgrads, bei dessen Ausmauerung ein Stauring ausgebildet wird. Demzufolge steht eine zum Brennen von Qualitätskalk geeignete Einrichtung zur Verfügung, deren Kraft- und Wärmeverbrauch niedrig ist, die eine ideale Materialbewegung und Gasströmung sicherstellt und in weiten Grenzen geregelt werden kann. Das Gewicht der maschinellen Einrichtung und der Mauerung ist sehr klein; es wird nur eine geringe Grundfläche und ein kleiner Bau benötigt, auch der bei Drehtöfen sonst unvermeidliche große Staubverlust ist hier gering. Zufolge der vorteilhaften Kraft- und Investitionskosten ist auch der Selbstkostenpreis des Produktes niedrig. Aufgrund der günstigen Ergebnisse des Versuchsbetriebes wird auch die erste industrielle Einrichtung in kurze errichtet. Selbstverständlich eignet sich der mit Stauring versehene Drehtofen auch zum Brennen anderer gekörnter Materialien vorzüglich, beispielsweise zum Brennen oder beim großer Temperatur erfolgenden Sintern von Dolomit oder Magnesit, welche bei der Herstellung von feuerfesten Materialien angewandt werden.

#### Vasadi, F.—Nyitrai, H.: The Obturator Ring Rotary Furnace is the Economic New System Lime Kiln

The new rotary kiln with obturator ring represents a significant development as compared with the limestone burning equipment known at present. It comes up to the requirements of a modern lime burning system to an extent as any of the conventional vertical or rotary

kilns. Its economic efficiency is very good, even in the case of low output plants, so that a 20—100 to/day kiln can be advantageously erected to cover local demands. But plants up to 800 to/day unit output can be built too. Many disadvantages of the vertical and rotary kilns are eliminated by the new system. Preheating and cooling of the material is done in vertical shafts, but the burning proper takes place in a very short rotary kiln of low speed, with good heat insulation, filled to a high degree, the masonry being provided with an obturator ring. In this manner an equipment of low heat and power consumption is produced, which can burn high quality lime at ideal conditions of material movement and gas flow,

and which ensures the possibility of wide range control. The weight of machinery and masonry of such a plant, as well as the building and floor area requirements are very small. The high dust loss — unavoidable with rotary kilns — is reduced to a minimum. In consequence of the advantageous investment- and power expenses a low cost product is turned out. The pioneering plant having yielded good results, the first commercial installation will be erected soon. The rotary kiln with obturator ring is of course excellently capable to handle other granular materials as well. Dolomite and magnesite — used in the refractories industry — can also be burned or sintered at high temperatures in the new kiln.

## Egyesületi élet

A Szilikátipari Tudományos Egyesület Borsod-megyei csoportja az éves munkatervben meghatározott programnak megfelelően július 16-án üzemlátogatást szervezett a Sajószentpéteri Üvegyárba és a Kazincbarcikai Könnyűbetongyárba. Az üzemlátogatást azzal a céllal rendezték, hogy a Borsod-megyei szilikát üzemek szakemberei megismerkedjenek a két gyár gyártástechnológiájával és késztermékeivel.

A Sajószentpéteri Üvegyárban elsősorban az 1970. évben üzembe helyezett új beruházást nézték meg. Az üvegyár a gyártmánybővítés kielégítése érdekében a legmodernobb É. S. automata gépeket építette be. A kemencéket az előbbieken említett gyorsjáratú termelőgépek kiszolgálására nagyobb teljesítményűvé és önkarbukáló ógóval való tüzelésűvé alakították, amely az üvegiparban egyedülálló. A gyárat, egy szilikátgépész-mérnök és egy közgazdász kíséretében tekintték meg, akik hozzáértően és kielégítően válaszoltak technológiai és gazdasági jellegű kérdésekre.

A Kazincbarcikai Könnyűbetongyárban a gyár műszaki vezetője és technológusa ismertette a gyár múltját, jelenlegi helyzetét és az elkövetkező évek feladatait. Elmondták, hogy a termékük iránt olyan nagy kereslet mutatkozik, hogy a meglévő kapacitás jó kihasználása mellett sem tudják az igényeket kielégíteni. Végül ismertették az elképzeléseiket a gyár rekonstrukciójára vonatkozóan. Az új termékekből néhány darabot a helyszínen be is mutattak.

A kiértékelésből eredően a tapasztalat az, hogy az üzemlátogatás eredményes volt. A vezetőség célja, hogy a továbbiakban is a kerekasztalkonferenciák és az üzemlátogatások megszervezését tekintik elsődleges feladatuknak, mivel az érdeklődés ezekben a témakörökben a legkielégítőbb.

\*

Megalakult a Durvakerámiai Szakosztály pécsi csoportja. A Csoport tevékenységének célja a vállalati, műszaki és gazdasági munka aktív segítése a párt és a tömegszervezetek aktív támogatásával.

Az alakuló ülésen elfogadott munkaprogram szerint tevékenységüket 3 fő területen kívánják kifejteni:

1. Előadások szervezése
2. Rendszeres tapasztalatcsere látogatások szervezése, kisebb létszámmal, speciális feladattal
3. A vállalati tartalékok feltárása.

Az új csoport alakulását örömmel vesszük és munkájukhoz sok sikert kívánunk.

\*

Szegedi csoportunk június 3-án ülést tartott, melyen Lukics Gyula a Csongrád-Bács megyei Téglaiipari Vállalat fejlesztési osztályvezetője

„Hidraulikus berendezések és alkalmazásaik a téglai és cserépiparban”

címmel tartott előadást.

Az előadás ismertette a hidraulikus berendezések építő elemeinek

- szivattyúknak
- munkahengereknek
- útszelepeknek
- nyomásesőkentő szelepeknek
- nyomásszabályozó szelepeknek
- vezetékeknek

működési elvét, leggyakoribb hibáit, illetve karbantartási módjukat.

Az előadás foglalkozott különféle hidraulikus rendszerrel (szárító kemence tolóművek, gereblyés tolóművek stb.), azok működésével, illetve az elvi kapcsolási vázlatok ismertetésével.

Az előadáson 22 fő vett részt. A résztvevők között nagy létszámmal voltak jelen a hidraulikus berendezéseket üzemeltető gyárak képviselői.

Az előadás után vita alakult ki, melyben speciális helyi problémák felvetésére is sor került.

# A beton sajátfeszültségeinek megítélése különböző modellek alapján

PALOTÁS LÁSZLÓ

Egyik utóbbi dolgozatunkban [1] a betonban a hőmérséklet-változás okozta sajátfeszültségek megbecslése céljából egy egyszerű lineáris modellt vetünk alapul. A feszültségek kialakulását úgy képzeltük, hogy a betonban minden irányban ugyanakkora feszültségek lépnek fel, mint amekkorákat a lineáris modell segítségével határoztunk meg. Elhanyagoltuk tehát mind a keresztvező beton, illetve cementkő és adaléksávok, mind pedig a harántirányú alakváltozások hatását, azaz a *Poisson-tényező* ( $\mu$ ) értékét zérusra vettük fel.

Az alábbiakban megkíséreljük a betonban kialakuló sajátfeszültségi állapotot (amely hőmérséklet-változás és zsugorodás következtében állhat elő) különböző modellek segítségével jellemezni és összehasonlítani a kapott értékeket. Kétféle almodellt gondolunk megvizsgálni: egy *gömbmodell*t és egy *körhengermodell*t. Mindkét modell esetében a  $v_c$  abszolút térfogatú *cementkő* mint külső héj helyezkedik el, az adalékanyagot jelképező  $v_a$  abszolút térfogatú belső mag körül és

$$v_c + v_a = 1. \quad (1.1)$$

Ezenkívül a körhengermodellből leszámaztatható *siktárcsamodell* segítségével is értékeljük a sajátfeszültség-állapotot. Ezt a modellt egymás mellett fekvő — azonos alakváltozásra kényszerített — cementkő, illetve adalékanyag-tárcsák alkotják, amelyek abszolút össztérfogata  $v_c$ , illetve  $v_a$ .

Az alábbi tárgyalásaink céljára feltételezzük, hogy a beton és az alapanyagok fizikai és mechanikai tulajdonságai ismertek. Így ismertek a következő jellemzők:

$K$  a beton kockaszilárdsága,  $\text{kp/cm}^2$  (vegyes tárolás mellett)

- $\sigma_p$  a beton hasábszilárdsága,  $\text{kp/cm}^2$  (vegyes tárolás mellett)
- $\sigma_h$  a beton, illetve a cementkő húzószilárdsága  $\text{kp/cm}^2$  (víz alatti tárolás mellett)
- $E_b$  a beton alakváltozási modulusa  $\text{kp/cm}^2$
- $\alpha_b$  a beton hőtágulási együtthatója,  $10^{-6}/^\circ\text{C}$
- $\alpha_c$  a cementkő hőtágulási együtthatója,  $10^{-6}/^\circ\text{C}$
- $\alpha_a$  az adalékanyag hőtágulási együtthatója,  $10^{-6}/^\circ\text{C}$
- $\varepsilon_{zs}$  a beton zsugorodása,  $^\circ/_{00}$
- $\varepsilon_{zs,c}$  a cementkő zsugorodása,  $^\circ/_{00}$
- $\varepsilon_{zs,a}$  az adalékanyag zsugorodása,  $^\circ/_{00}$
- $\varphi_n$  a beton lassú alakváltozási mértéke
- $\delta$  a lassú alakváltozás lefolyás-függvénye
- $k_0$  a terhelés időpontját jellemző faktor
- $\delta_{zs}$  a zsugorodás lefolyás-függvénye
- $\mu$  a *Poisson-tényező* ( $\mu_b, \mu_c, \mu_a$ )

A fentiekre vonatkozó összefüggések ( $150 < K < 500$  határok között):

$$\sigma_p = 700\varrho^2, \quad \varrho = K/(K + 200) \quad (1.2) \quad (1.3)$$

$$\sigma_h = 40\varrho^{3/2} \quad (1.4)$$

$$E_b = \nu E_0 \quad (1.5)$$

$$E_0 = 550,000\varrho \quad (1.6)$$

nyomásra és húzásra

$$v = v_0/(1 + \varphi) \quad (1.7)$$

$$v_0 = \frac{1}{2} \left[ 1 + \left( 1 - \frac{\sigma}{(\sigma)} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1.8)$$

ahol  $(\sigma)$  nyomófeszültségek esetén  $\sigma_p$ , húzófeszültségek esetén  $\sigma_h$  értékét jelenti.

$$\varphi = k_0 \delta \varphi_n = \delta \varphi_{n0} \quad (1.9)$$

a lassú alakváltozás mértéke „ $t$ ” időpontban ( $t$  napokban),

$$\delta = 1 - e^{-0,1t^{3/2}} \quad (1.10)$$

$$\varphi_n = \varrho^{-n/4} \quad (1.11)$$

(vegyes tárolás mellett, 28 napos korban terhelt betonra)

$$k_0 = 3,9 e^{-0,77t^{1/4}} \quad (1.12)$$

$$\delta_{zs} = 1 - e^{-0,1t^{1/2}} \quad (1.12a)$$

Miután a szóban forgó feladat korrekt megoldása sok nehézségbe ütközik, éppen ezért kényszerülünk arra, hogy a megoldást — bizonyos elemi feltevésekkel — igyekszünk többé-kevésbé megközelíteni. Így a heterogén — két fázisúnak gondolt — beton fázisairól feltételezzük, hogy azok egymáshoz csúszás- és hézagmentesen — szilárdan — illeszkednek s az összeférhetőségi elvet kielégítik. Ennek a feltevésnek következménye az, hogy a fázisok érintkező határfelületének bármely pontjában, adott irányban a cementkő, illetve az adalékanyag alakváltozása az adott irányra vonatkozó gátolt alakváltozással egyenlő.

A cementkő és az adalékanyag alakváltozási modulusainak ( $E_c$  és  $E_a$ ) megállapításához a beton ismert alakváltozási modulusából (1,5—1,8 formulák), a cementkő és az adalékanyag abszolút fajlagos térfogataiból indulunk ki. Azt tételezzük fel, hogy a betonban — valamely normál feszültség ( $\sigma_b$ ) a legegyszerűbb esetben a cementkő — és az adalékanyagvázra jutó feszültségekből ( $\sigma_c$  és  $\sigma_a$ ) tevődik össze oly módon, mint azt a hő-, illetve zsugorodási alakváltozásoknál kísérletileg valószínűsíteni lehetett ([1] [2]), azaz, hogy

$$\sigma_b = c\sigma_c + (1-c)\sigma_a \quad (1.13)$$

( $c$  értékét az [1] alatt  $v_c$ -nek vettük fel). Ebben a tanulmányban — egységesség kedvéért — ebben az esetben is az (1.21) képlettel számolunk.

Mivel a beton és a fázisok alakváltozása ( $\varepsilon$ ) azonos,

$$\sigma_b = \varepsilon E_b \quad \sigma_c = \varepsilon E_c \quad \sigma_a = \varepsilon E_a, \quad (1.14)$$

így az (1.13) egyenlőség így alakul:

$$E_b = cE_c + (1-c)E_a = E_c[c + (1-c)n] = v_i E_c, \quad (1.15)$$

ahol

$$n = \frac{E_a}{E_c} \quad (1.16)$$

és

$$v_i = c + (1-c)n. \quad (1.17)$$

Az (1.5—1.8) formulák figyelembevételével

$$E_c = v E_0 / v_i = v E_{0c} \quad (1.18)$$

$$E_a = n E_c \quad (1.19)$$

Az  $n$  viszonyszám értéke a beton minőségének, az igénybevétel s a feszültségállapot jellegének, a vizsgált szerkezet fajtájának függvénye.

A beton fizikai hatás okozta gátolt alakváltozására (általában  $\varepsilon_b$ ) nézve a tárgyalás egységessége céljából a már említett módon feltehető, hogy az a cementkő és az adalékanyag szabad alakváltozásai- ból (általában  $\varepsilon_c$  és  $\varepsilon_a$ ) az

$$\varepsilon_b = c\varepsilon_c + (1-c)\varepsilon_a \quad (1.20)$$

alakú összefüggéssel előállítható. Az (1.20) képletben „ $c$ ” érték a betonban levő cementkő fajlagos abszolút térfogatának függvénye s az a kísérleti eredményekkel jól egyező módon a

$$c = v_c^{2/3} \quad (1.21)$$

összefüggéssel adható meg. Így a hőtágulási együtthatóra az

$$\alpha_b = c\alpha_c + (1-c)\alpha_a \quad (1.22)$$

a zsugorodásra az

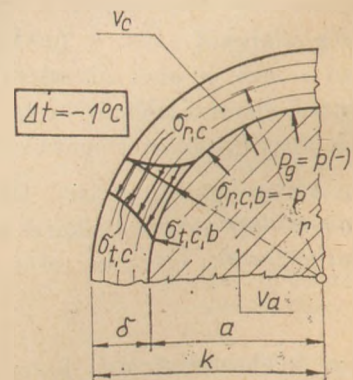
$$\varepsilon_{zs} = c\varepsilon_{zs,c} + (1-c)\varepsilon_{zs,a} \quad (1.23)$$

egyenlőség írható fel.

Ezek előrebocsátása után vizsgáljuk meg a különböző modellek alapján kapható eredményeket általában, azaz feltételezve, hogy — bármely irányban — a cementkő szabad alakváltozása azonosan  $\varepsilon_c$ , az adalékanyag szabad alakváltozása azonosan  $\varepsilon_a$ , a gátolt alakváltozások a cementkőre nézve ( $\varepsilon_b - \varepsilon_c$ ), az adalékanyagra nézve ( $\varepsilon_a - \varepsilon_b$ ).

## 2. Gömbmodell

A gömbmodell közelítést a 2.1 ábra jelöléseivel úgy képzeljük el, hogy az „ $a$ ” sugarú ( $v_a$  abszolút térfogatú) adalékanyag-gömböt egy „ $k$ ” külső sugarú,  $\delta$  vastagságú ( $v_c$  abszolút térfogatú) cementkő-gömbhéj fogja körül. A tangenciális feszültségek a

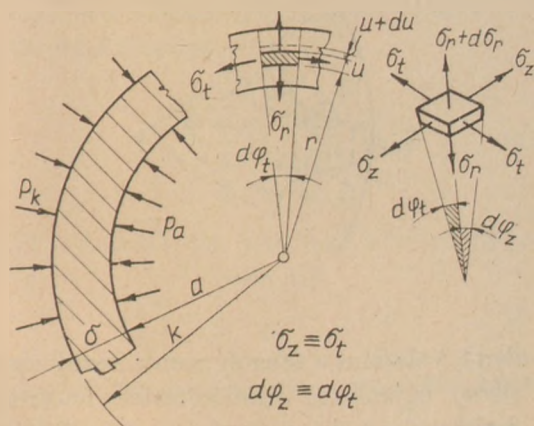


2.1. ábra



cementkőhøjban minden irányban  $\sigma_{tc}$ , a radiális feszültség a cementkő-gőmbhøj belső, illetve az adalékgömb külső palástján  $\sigma_{rc,b} = \sigma_{ra,k} = -p$ . Adott esetben  $k^3$ ,  $a^3$  és  $k^3 - a^3$  értékek a betongömb egységnyi, az adalékgömb  $v_a$  és a cementkőhøj  $v_c$  abszolút térfogataival arányosak. A feladatot a vastag falú gömbhøjra vonatkozó összefüggések segítségével oldjuk meg.

A szóban forgó esetben — poláris tárgyalásmód mellett — az alapegyenleteket az általános rugalmasságtan alapján írhatjuk fel.



2.2. ábra

A 2.2 ábra jelöléseivel a statikai alapegyenlet

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + 2 \frac{\sigma_r - \sigma_t}{r} = 0 \quad (2.I)$$

a kinematikai (geometriai) alapegyenlet

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_t = \varepsilon_z = \frac{u}{r} \\ \varepsilon_r = \frac{du}{dr} \end{aligned} \right\}, \quad (2.II)$$

ahol  $\varepsilon_t$  a tangenciális,  $\varepsilon_r$  a radiális fajlagos alakváltozás,  $u$  a radiális irányú elmozdulás, a szilárdságtani alapegyenlet, mivel  $\sigma_t = \sigma_z$  és

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{1}{E} [\sigma_t - \mu(\sigma_t + \sigma_r)] \\ \varepsilon_r &= \frac{1}{E} [\sigma_r - 2\mu\sigma_t] \\ \sigma_t &= \frac{E}{1 - \mu - 2\mu^2} (\varepsilon_t + \mu\varepsilon_r) = \\ &= \frac{E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} (\varepsilon_t + \mu\varepsilon_r) \\ \sigma_r &= \frac{E}{1 - \mu - 2\mu^2} [2\mu\varepsilon_t + (1 - \mu)\varepsilon_r] = \\ &= \frac{E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} [2\mu\varepsilon_t + (1 - \mu)\varepsilon_r]. \end{aligned} \right\} (2.III)$$

A (II.)-t az (I.)-be, illetve a (III.)-ba behelyettesítve a

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{du}{dr} - 2 \frac{u}{r^2} = 0 \quad (2.IV.)$$

differenciálegyenletet kapjuk. Ennek általános megoldása

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{A}{r^2} + Br \\ \frac{du}{dr} &= -\frac{2A}{r^3} + B \end{aligned} \right\} (2.V.)$$

A  $[\sigma_r]_{r=a} = -p_a$  és  $[\sigma_r]_{r=k} = -p_k$  kerületi

feltételek felhasználásával

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{(p_a - p_k)a^3k^3(1 + \mu)}{2E(k^3 - a^3)} \\ B &= \frac{(p_a a^3 - p_k k^3)(1 - 2\mu)}{E(k^3 - a^3)} \end{aligned} \right\} (2.VI.)$$

A részletes levezetések mellőzésével az alábbi összefüggések írhatók fel a 2.2 ábra jelöléseivel:

A tangenciális feszültség:

$$\sigma_t = \frac{p_a a^3(2r^3 + k^3) - p_k b^3(2r^3 + a^3)}{2r^3(k^3 - a^3)} \quad (2.1)$$

a radiális feszültség:

$$\sigma_r = \frac{p_a a^3(r^3 - k^3) + p_k b^3(a^3 - r^3)}{r^3(k^3 - a^3)} \quad (2.1a)$$

a tangenciális fajlagos alakváltozás:

$$\varepsilon_t = \frac{(p_a - p_k)a^3k^3(1 + \mu) + 2(p_a a^3 - p_k k^3)(1 - 2\mu)r^3}{2E(k^3 - a^3)r^3} \quad (2.2)$$

a radiális fajlagos alakváltozás

$$\varepsilon_r = \frac{(p_a a^3 - p_k k^3)(1 - 2\mu)r^3 - (p_a - p_k)a^3k^3(1 + \mu)}{E(k^3 - a^3)r^3} \quad (2.2a)$$

Ebben az esetben az egyik alakváltozási feltételként felvesszük azt, hogy a cementkő-gőmbhøj belső felületén a tangenciális alakváltozás egyenlő a cementkő gátolt alakváltozásával ( $\varepsilon_b - \varepsilon_c$ )-vel, a másik feltétellül azt fogadjuk el, hogy az adalékgömb külső felületének tangenciális alakváltozása egyenlő az adalék gátolt alakváltozásával ( $\varepsilon_a - \varepsilon_b$ )-vel. Felírva ezeket a feltételi egyenleteket, a következőket kapjuk:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{tc} &= p \frac{k^3(1 + \mu_c) + 2a^3(1 - 2\mu_c)}{2E_{c0}(k^3 - a^3)} = \varepsilon_b - \varepsilon_c \\ \varepsilon_{ta} &= -\frac{p(1 - 2\mu_a)}{E_{a0}} = \varepsilon_a - \varepsilon_b \end{aligned} \right\}$$

Ezek alapján, mivel általában a sajátfeszültség állapotban az érintkezési felületeken, illetve az egész felületre nézve

$$p_c + p_a = 0, \text{ illetve } p_c = -p_a = p$$

$$p = \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_b}{1 - 2\mu_a} E_{ag} = \frac{(\varepsilon_b - \varepsilon_c)2(k^3 - a^3)}{k^3(1 + \mu_c) + 2a^3(1 - 2\mu_c)} E_{cg} \quad (2.3)$$

és a  $k^3, a^3, k^3 - a^3$  helyett  $1, v_a, v_c$  értékeket behelyettesítve

$$E_{ag} = n_g E_{cg}, \quad (2.4)$$

ahol

$$n_g = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_b}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \frac{v_c}{v_a} \cdot \frac{2v_a(1 - 2\mu_a)}{(1 + \mu_c) + 2v_a(1 - 2\mu_c)} = n_0 \beta_g \quad (2.5)$$

$$\beta_g = \frac{2v_a(1 - 2\mu_a)}{1 + \mu_c + 2v_a(1 - 2\mu_c)} \quad (2.6)$$

és az (1.20) alapulvételével

$$n_0 = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_b}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \cdot \frac{v_c}{v_a} = \frac{1 - c}{c} \frac{v_c}{v_a}, \quad (2.7)$$

mivel

$$\varepsilon_c - \varepsilon_b = (1 - c)(\varepsilon_c - \varepsilon_a) \text{ és } \varepsilon_b - \varepsilon_a = c(\varepsilon_c - \varepsilon_a).$$

Az  $E_{cg}$  és  $E_{ag}$  rugalmassági modulusokat az (1.5) és (1.18) képletek alapján határozzuk meg. Ezek birtokában számítható a (2.3) képlettel „ $p$ ” s ebből a feszültségek. Így a megfelelő helyettesítés után

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{tc} &= p \frac{v_a(2v_r + 1)}{2v_r \cdot v_c} \\ \sigma_{rc} &= -p \frac{v_a(1 - v_r)}{v_r v_c} \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

és  $v_r$  arányos  $r^3$  értékkel.

A cementkőhég belső, illetve külső palástján:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{tcb} &= p \frac{1 + 2v_a}{2v_c} & \sigma_{rcb} &= -p \\ \sigma_{tc} &= p \frac{3v_a}{2v_c} = \sigma_{tcb} \frac{3v_a}{1 + 2v_a} & \sigma_{rc} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Az adalékgömb külső palástján:

$$\sigma_{ta} = -p \quad \sigma_{ra} = -p. \quad (2.10)$$

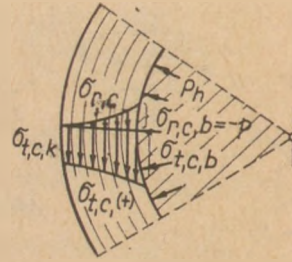
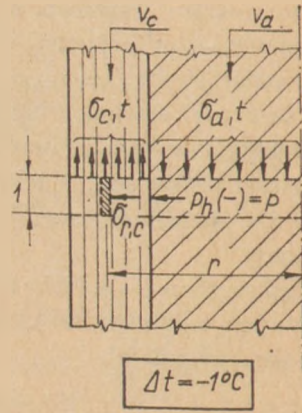
Ha  $\mu_a = \mu_c = 0$ , akkor

$$\beta_g = \frac{2v_a}{1 + 2v_a} \quad p = (\varepsilon_b - \varepsilon_c) \frac{2v_c}{1 + 2v_a} E_{cg} = (\varepsilon_a - \varepsilon_b) E_{ag}$$

$$\sigma_{tcb} = (\varepsilon_b - \varepsilon_c) E_{cg} \quad \sigma_{tc} = \sigma_{tcb} \frac{3v_a}{1 + 2v_a}.$$

### 3. Körhengermodell

A körhengermodellt úgy alakítjuk ki, hogy a cementkő-hengerhég s az adalékhenger együtteséből előálló betonhenger alakváltozása a tengely, valamint a palást mentén ugyanaz ( $\varepsilon_b$ ). Előbb a henger tengelyre merőleges síkban fellépő feszültségeket



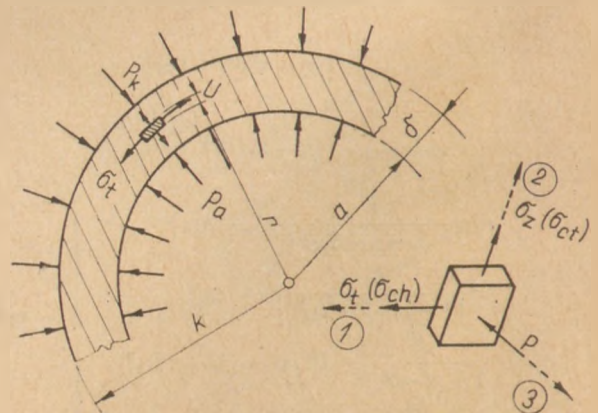
3.1. ábra

(3.1 ábra), valamint a tengely menti feszültségeket (3.3 ábra) egymástól elkülönítetten határozzuk meg, majd azok egymásra hatását is megvizsgáljuk.

#### 3.1 Feszültségek a tengelyre merőleges síkban

A palást menti alakváltozások okozta sajátfeszültségi állapotot a tengelyre merőleges keresztmetszetben a 3.1 ábrán feltüntetett feszültségek jellemzik. A 3.1 ábra jelöléseivel a betonhenger sugara: „ $k$ ”, a betonhenger térfogata:  $1$ , az adalékhenger sugara: „ $a$ ”, az adalék henger abszolút térfogata:  $v_a$ , a cementkő-hengerhég abszolút térfogata:  $v_c$ . A  $k^2, a^2$  és  $k^2 - a^2$  a beton egységnyi, az adalék  $v_a$  s a cementkő  $v_c$  nagyságú abszolút térfogatával arányos.

A feladat megoldása céljából induljunk ki a 3.2 ábrán vázolt külső és belső radiális nyomással



3.2. ábra

terhelt vastag falú csőre vonatkozó szilárdságtani összefüggésekből.

A szóban forgó esetben poláris koordinátás tárgyalás mellett az általános rugalmasságtan alapján felírható alapegyenletek az alábbiak.

A statikai alapegyenlet:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_t}{r} = 0. \quad (3.1.)$$

A kinematikai alapegyenletek mint előbb:

$$\varepsilon_t = \frac{u}{r} \quad \varepsilon_r = \frac{du}{dr} \quad (3.2.)$$

(ahol  $\varepsilon_t$  és  $\varepsilon_r$  a tangenciális és radiális fajlagos alakváltozás,  $u$  a radiális irányú elmozdulás),  
a szilárdsági alapegyenletek:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_t &= \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_t + \nu\varepsilon_r) \\ \sigma_r &= \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_r + \nu\varepsilon_t) \end{aligned} \right\} \quad (3.3.)$$

a (3.2)-t a (3.3)-ba, illetve a (3.1)-be behelyettesítve a

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = 0 \quad (3.4.)$$

differenciálegyenletet nyerjük, amelynek általános megoldása

$$\left. \begin{aligned} u &= Ar + \frac{B}{r} \\ \frac{du}{dr} &= A - \frac{B}{r^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.5.)$$

A  $[\sigma_r]_{r=a} = -p_a$  és  $[\sigma_r]_{r=k} = -p_k$

kerületi feltétel felhasználásával.

$$A = \frac{(p_a a^2 - p_k k^2)(1-\mu)}{E(k^2 - a^2)} \quad (3.6.)$$

$$B = \frac{(p_a - p_k)(1+\mu)a^2 k^2}{E(k^2 - a^2)}$$

A részletes levezetések mellőzésével az alábbi összefüggéseket nyerjük:

a tangenciális feszültség:

$$\sigma_t = \frac{(p_a a^2 - p_k k^2)r^2 + (p_a - p_k)a^2 k^2}{r^2(k^2 - a^2)} \quad (3.1)$$

a radiális feszültség:

$$\sigma_r = \frac{(p_a a^2 - p_k k^2)r^2 - (p_a - p_k)a^2 k^2}{r^2(k^2 - a^2)} \quad (3.1a)$$

a tangenciális fajlagos alakváltozás:

$$\varepsilon_t = \frac{(p_a a^2 - p_k k^2)(1-\mu)r^2 + (p_a - p_k)(1+\mu)a^2 k^2}{Er^2(k^2 - a^2)} \quad (3.2)$$

a radiális fajlagos alakváltozás:

$$\varepsilon_r = \frac{(p_a a^2 - p_k k^2)(1-\mu)r^2 - (p_a - p_k)(1+\mu)a^2 k^2}{Er^2(k^2 - a^2)} \quad (3.2a)$$

A 3.1 ábrán feltüntetett betonmodellra nézve az az alakváltozási feltétel írható fel a feladat megoldására, hogy a cementkő-hengerháj belső palástja, illetve az adalék-henger külső palástja bármely pontjának tangenciális fajlagos alakváltozása rendre azonos a megfelelő gátolt alakváltozással. Ennek alapján a (3.2) alapképletbe a megfelelő értékek behelyettesítése után a cementkő-hengerháj belső palástjának tangenciális fajlagos alakváltozása:

$$\varepsilon_{tc} = p \frac{k^2(1+\mu_c) + a^2(1-\mu_c)}{E_{ch}(k^2 - a^2)}$$

azonos a cementkő gátolt, fajlagos alakváltozásával, az  $(\varepsilon_b - \varepsilon_c)$  értékkel. Ebből

$$p = \frac{(\varepsilon_b - \varepsilon_c)E_{ch}(k^2 - a^2)}{k^2(1+\mu_c) + a^2(1-\mu_c)} \quad (3.3)$$

Ezt a feltételt az adalék-henger palástjára is felírva

$$\varepsilon_{ta} = p \frac{1-\mu_a}{E_{ah}} = (\varepsilon_a - \varepsilon_b)$$

s ebből

$$p = \frac{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)E_{ah}}{1-\mu_a} \quad (3.3a)$$

A (3.3) és a (3.3a) egyenlőségéből, behelyettesítve  $k^2 - a^2 \approx \nu_c$ ,  $k^2 \approx 1$  és  $a^2 \approx \nu_a$  abszolút térfogatértékeket

$$E_{ah} = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_b}{\varepsilon_h - \varepsilon_c} \cdot \frac{\nu_c(1-\mu_a)}{1+\mu_c + \nu_a(1-\mu_c)} E_{ch} = n_h E_{ch}, \quad (3.4)$$

ahol

$$n_h = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_b}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \cdot \frac{\nu_c}{\nu_a} \cdot \frac{(1-\mu_a)\nu_a}{1+\mu_c + \nu_a(1-\mu_c)} = n_0 \cdot \beta_h \quad (3.5)$$

és

$$\beta_h = \frac{(1-\mu_a)\nu_a}{1+\mu_c + \nu_a(1-\mu_c)} \quad (3.6)$$

$n_0$  a (2.7) képlettel megadott érték.

Ha  $n_h$  értéke ismert, akkor  $E_{ch}$  az (1.5) és  $E_{ah}$  az (1.18) képlettel határozható meg.  $E_{ch}$  és  $E_{ah}$  ismeretében a keresett feszültségek a megfelelő helyettesítések után

$$p = \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_b}{1-\mu_a} E_{ah}, \quad (3.7)$$

illetve

$$p = \frac{(\varepsilon_b - \varepsilon_c)\nu_c}{1+\mu_c + \nu_a(1-\mu_c)} E_{ch}$$

és

$$\sigma_{tc} = p \frac{\nu_a}{\nu_r} \frac{1+\nu_r}{\nu_c} \quad (3.8)$$

$$\sigma_{rc} = -p \frac{\nu_a}{\nu_r} \frac{1-\nu_r}{\nu_c}$$

ahol

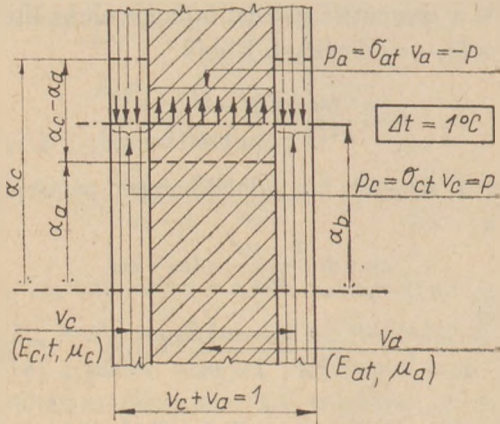
$$\nu_r \approx r^2$$

a cementkő-hengerháj belső, illetve külső palástján

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{tc b} &= p \frac{1+v_a}{v_c} & \sigma_{rc} &= -p \\ \sigma_{tc k} &= p \frac{2v_a}{v_c} = \sigma_{tc b} \frac{2v_a}{1+v_a}; & \sigma_{rc} &= 0 \end{aligned} \right\} (3.9)$$

### 3.2 Feszültségek a tengely mentén

A 3.3 ábrán feltüntetett modell jelölései alapján a feladatot úgy képzeljük, hogy egymást rétegesen kereszteződő cementkő és adalékanyag elemekről van szó, amelyek síktárcsát alkotnak, az elemekre



3.3. ábra

nézve külön a  $\sigma_t = \sigma_r = \sigma$  érvényes s az alakváltozási feltétel tulajdonképpen a (3.2) vagy a (3.2a) alapján írható fel, ha  $a=0$  és  $p_a=0$ . Ennek megfelelően mivel  $p=p_c=\sigma_c v_c = -\sigma_a v_a = -p_a$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_c &= p \frac{1-\mu_c}{E_c v_c} = \varepsilon_b - \varepsilon_c \\ \varepsilon_a &= p \frac{1-\mu_a}{E_a v_a} = \varepsilon_a - \varepsilon_b, \end{aligned} \right\} (3.10)$$

ahonnan

$$p = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_c}{1 - \mu_c} v_c E_{ct} = \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_b}{1 - \mu_a} v_a E_{at} \quad (3.11)$$

és

$$n_t = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_b}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \frac{v_c}{v_a} \frac{1 - \mu_a}{1 - \mu_c} = n_0 \beta_t \quad (3.12)$$

$$\beta_t = \frac{1 - \mu_a}{1 - \mu_c}, \quad (3.13)$$

végül

$$\sigma_{ct} = \frac{p}{v_c} \quad \sigma_{at} = -\frac{p}{v_a} \quad (3.14)$$

Ha  $\mu_c$  és  $\mu_a$  értékét nullának vesszük fel, azaz az egyes elemi fázisok keresztirányú alakváltozásaitól eltekintünk — megtartva azonban a kereszteződő sávok azonos alakváltozását —, akkor a minden irányban azonos feszültségek a következőképp alakulnak:

$$n_t = n_0 = \frac{1-c}{c} \frac{v_c}{v_a} \quad (3.12a)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{c,t,0} &= (\varepsilon_b - \varepsilon_c) E_{c,t,0} = -(\varepsilon_c - \varepsilon_a)(1-c) E_{c,t,0} \\ \sigma_{a,t,0} &= (\varepsilon_a - \varepsilon_b) E_{a,t,0} = (\varepsilon_c - \varepsilon_a) c E_{a,t,0} \end{aligned} \right\} (3.14.a)$$

### 3.3 A palást és a tengely menti elemek egymásra hatása

A palást és a tengely menti elemek egymásra hatását figyelembe véve, a (3.3) és a (3.7) képlet helyett

$$n'_h = n_t \beta_h \quad E'_{ah} = n'_h E'_{ch} \quad (3.15)$$

és

$$\begin{aligned} p' &= \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_b}{(1 - \mu_a)} E'_{ah} = \\ &= \frac{(\varepsilon_b - \varepsilon_c) v_c}{[1 + v_c + v_a(1 - \mu_c)](1 - \mu_c)} E'_{ch} \end{aligned} \quad (3.16)$$

összefüggéseket kapjuk. A feszültségekre nézve értelemszerűleg a (3.8) és (3.9) képletek érvényesek.

$$\text{Ha } \mu_a = \mu_c = 0, \text{ akkor } \beta_h = \frac{v_c}{1 + v_a}$$

$$n_h = \frac{1-c}{c} \frac{v_c}{1 + v_a};$$

$$p = \frac{(\varepsilon_b - \varepsilon_c) v_a}{1 + v_a} E_{ch} = (\varepsilon_a - \varepsilon_b) E_{ah}$$

$$\sigma_{tc b} = (\varepsilon_b - \varepsilon_c) E_{ch}; \quad \sigma_{tc k} = \sigma_{tc b} \frac{2v_c}{1 + v_c}.$$

Körhenger és tárcsa modell kombináció esetében célszerű összehasonlítás céljára a redukált feszültségek megállapítása vagy a *Huber-Mises-Hencky* vagy a *Mohr-törési* hipotézis alapján. Így a 3.1 ábra jelöléseivel a cementkő-hengerháj belső palástján (s ez a veszélyes hely):

$$\sigma_1 = \sigma_{tc b} \quad \sigma_2 = \sigma_c \quad \sigma_3 = -p = \sigma_{cr}$$

$$\sigma_{red} = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \quad (3.17)$$

illetve

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{tc b} + p.$$

A külső paláston:  $\sigma_1 = \sigma_{tc k}$ ;  $\sigma_2 = \sigma_c$ ;  $\sigma_3 = 0$  s így

$$\sigma_{red} = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)^{1/2}. \quad (3.17a)$$

## 4. Hőmérséklet-változás okozta feszültségek

Hőmérséklet-változás ( $\Delta t$ ) okozta fajlagos alakváltozások a cementkőben, az adalékanyagban és a betonban a tágulási együtthatók ismeretében meghatározhatók. Így az

$$\varepsilon_c = \alpha_c \Delta t \quad \varepsilon_a = \alpha_a \Delta t \quad \varepsilon_b = \alpha_b \Delta t \quad (4.1)$$

értékeknek megfelelően a cementkőben fellépő átlagos érintőleges feszültségek a (2.9), a (3.9), a (3.14) alapján, valamint a „ $p$ ” értékek a (2.3), a (3.3) s a (3.11), esetleg (3.16) alapján

$$\sigma_{cg} \approx p_g \frac{1 + 5v_a}{4v_c} \quad (4.2)$$

$$p_g = (\alpha_b - \alpha_c) \Delta t \frac{2v_c}{(1 + \mu_c) + 2v_a(1 - 2\mu_c)} E_{cg} =$$

$$= (\alpha_a - \alpha_b) \Delta t \frac{1}{1 - 2\mu_a} E_{ag} \quad (4.2a)$$

$$\sigma_{ch} \approx p_h \frac{1 + 3v_a}{2v_c} \quad (4.3)$$

$$p_h = (\alpha_b - \alpha_c) \Delta t \frac{v_c}{1 + \mu_c + v_a(1 - \mu_c)} E_{ch} =$$

$$= (\alpha_a - \alpha_b) \Delta t \frac{1}{1 - \mu_a} E_{ah} \quad (4.3a)$$

$$p'_h = (\alpha_b - \alpha_c) \Delta t \frac{v_c}{[1 + \mu_c + v_a(1 - \mu_c)](1 - \mu_c)} E'_{ch} =$$

$$= (\alpha_a - \alpha_b) \Delta t \frac{1}{(1 - \mu_a)^2} E'_{ah} \quad (4.3b)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ct} &= p_t \frac{1}{v_c} = (\alpha_b - \alpha_c) \Delta t \frac{1}{1 - \mu_c} E_{ct} \\ \sigma_{at} &= -p_t \frac{1}{v_a} = -(\alpha_a - \alpha_b) \Delta t \frac{1}{1 - \mu_a} E_{at} \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

$$p_t = (\alpha_b - \alpha_c) \Delta t \frac{v_c}{1 - \mu_c} E_{ct} =$$

$$= (\alpha_a - \alpha_b) \Delta t \frac{v_a}{1 - \mu_a} E_{at} \quad (4.4a)$$

és általában

$$E_a = n E_c \text{ és } n = n_0 \beta \quad (4.5) \quad (4.6)$$

$$E_c = v E_0 / [c + n(1 - c)]; \quad (4.7)$$

$$n_0 = \frac{1 - c}{c} \frac{v_c}{v_a} \quad (4.8)$$

$$\beta_g = \frac{2v_a(1 - 2\mu_a)}{1 + \mu_c + 2v_a(1 - 2\mu_c)} \quad (4.9)$$

$$\beta_h = \frac{v_a(1 - \mu_a)}{1 + \mu_c + v_a(1 - \mu_c)} \quad (4.9a)$$

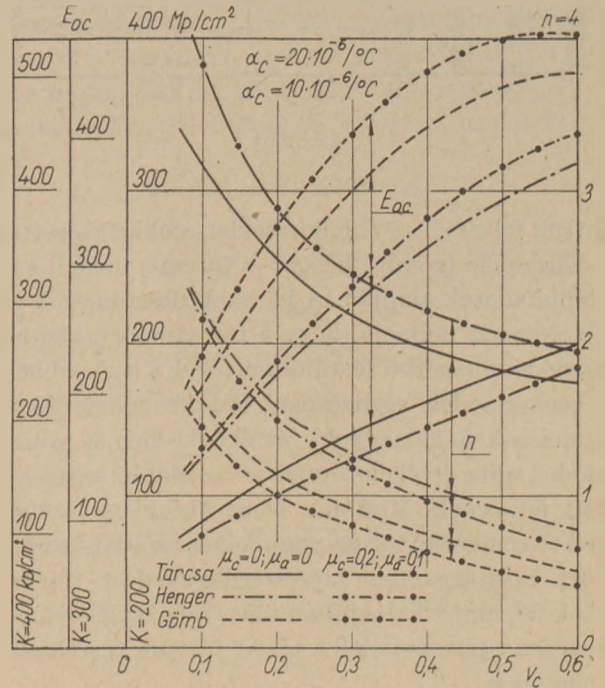
$$\beta_t = \frac{1 - \mu_a}{1 - \mu_c} \quad (4.9b)$$

A fenti képletekben az (1.20) összefüggést figyelembe véve

$$\left. \begin{aligned} \alpha_b - \alpha_c &= (\alpha_a - \alpha_c)(1 - c) \\ \alpha_a - \alpha_b &= -(\alpha_a - \alpha_c)c \end{aligned} \right\} \quad (4.10.)$$

tehető. A gyakorlatban szóba jöhető anyagokra nézve néhány tájékoztató adatot közlünk, hivatkozva a vonatkozó irodalomra [1]. Így portland-cement hőtágulási együtthatója fiatalkorú (0—6 hónapos), illetve idős (10—15 éves) betonokban átlagosan 20—22, illetve 16—18 · 10<sup>-6</sup>/°C. Kavics, andezit, bazalt és mészkő hőtágulási együtthatója átlagosan 11,0, 6,5 és 4,5 · 10<sup>-6</sup>/°C.

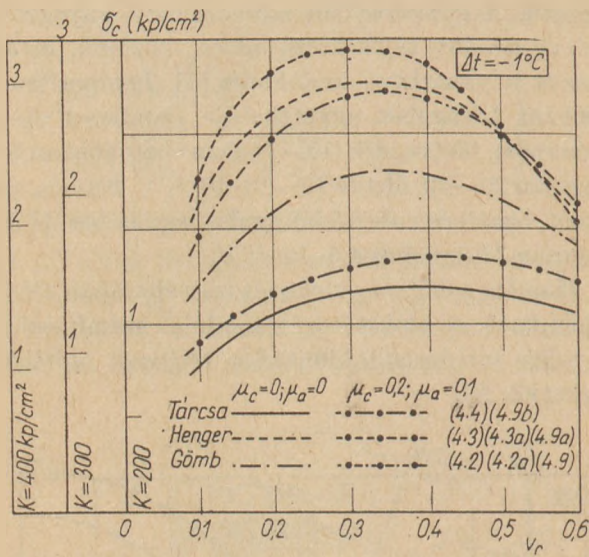
Miután a hőmérséklet-változás általában rövid ideig ható, az alakváltozási modulus számításakor a teher tartósságát kifejező  $\varphi$  tényezőt nullának vehetjük fel.



4.1. ábra

A 4.1 ábrában kavicsbetonra nézve a cementkő abszolút térfogatának függvényében — tájékozódás kedvéért — felraktuk az  $n$  viszonzszám, valamint a cementkő rugalmassági modulusának változását a háromféle modell alapján számítva. A Poisson-tényezőt egyik változatban mind a cementkőre, mind az adalékanyagra nullának vettük fel, a másik változatban  $v_c = 0,2$  és  $v_a = 0,1$  értékekkel számoltunk. A cementkő tágulási együtthatóját 20 · 10<sup>-6</sup>/°C, az adalékanyag tágulási együtthatóját 10 · 10<sup>-6</sup>/°C értékre becsültük. Mivel a feszültségek kicsinyek, az  $E_c$  megállapításakor a beton kezdeti rugalmassági modulusából ( $E_0$ ) indultunk ki. Ha a cementkőben fellépő feszültség nyomófeszültség (hőmérséklet-emelkedés esetén) általában mindig elegendő a kezdeti rugalmassági modulus tekintetbe vétele.

A 4.2 ábrában a cementkőben, illetve az adalékanyagban számított átlagos feszültségeket tün-



4.2. ábra

tettük fel  $\Delta t = -1^\circ\text{C}$  hőmérséklet-csökkenés esetén a háromféle (gömb-, henger- s tárcsa-) modell s az előbbi adatok alapján. A felrakott feszültségek értékelése azt mutatja, hogy a tárcsamodell alapján kiadódó cementkő feszültségértékek a legkisebbek, a hengermodell segítségével kapott cementkő-feszültségek a legnagyobb értékűek, míg a gömbmodell adta értékek általában az előbbi kettő között fekszenek. Miután a cementkő elemi szálak, illetve cementkő tárcsa vagy héj és az adalékanyag közt csúszásmentes kényszerillesszkedést tételeztünk fel, ami a valóságban nincs meg, tájékoztatás kévéért a tárcsamodell értékeit tartjuk figyelembe vehetőnek.

Ha a hőmérséklet-csökkenés oly mértékű, hogy a cementkőben fellépő húzófeszültségek a beton (illetve a cementkő) húzószilárdságához viszonyítva nagyok, akkor a feszültségek meghatározásakor az alakváltozási moduluszt a várható húzófeszültségeknek megfelelően kell megállapítani.

Teljesség kedvéért bemutatunk egy számpéldát az alábbi adatokkal a tárcsamodell alapján.

A betonminőség: B 245. A vizsgálatot fiatalokorú, 28 napos kavicsbetonra végezzük el.  $x=0,6$ ;  $v_c=0,29$ ;  $v_a=0,71$ ;  $c=0,156$ ;  $1-c=0,844$ ;  $\varrho=0,55$ ;  $E_0=302 \text{ Mp/cm}^2$ ; a cementkő, illetve a beton húzószilárdságát  $16,3 \text{ kp/cm}^2$  értékűre becsüljük.

$$\alpha_c = 20 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}; \quad \alpha_a = 10 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C},$$

$$\alpha_b = 11,56 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C} \quad \mu_c = 0,2; \quad \mu_a = 0,1;$$

$$n_t = \frac{0,844}{0,156} \cdot \frac{0,29}{0,71} \cdot \frac{1-0,1}{1-0,2} = 2,48; \quad (3.12)$$

$$v_i = 0,156 + 2,48 \cdot 0,844 = 2,27 \quad (1.17)$$

$$E_{0c} = 302/2,27 = 133 \text{ Mp/cm}^2 \quad (1.18)$$

$$\Delta t = -1^\circ\text{C} \cdot r_a:$$

$$\sigma_{ct} = (10 - 20) \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C} (-1^\circ\text{C}) \cdot \frac{0,844}{0,800} \cdot 133 = 1,41 \text{ kp/cm}^2$$

$$\Delta t = -10^\circ\text{C} \cdot r_a:$$

$$\sigma_{ct} = (10 - 20) \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C} (-10^\circ\text{C}) \cdot \frac{0,844}{0,800} \cdot 133 \cdot 10^3 \cdot \text{kp/cm}^2 \cdot v_0 = 14,1 \quad v_0 = A v_0. \quad (4.4)$$

Mivel

$$v_0 = \frac{1}{2} \left[ 1 + \left( 1 - \frac{\sigma_{ct}}{\sigma_b} \right)^{\frac{1}{2}} \right],$$

az előbbi összefüggést ebbe a képletbe behelyettesítve,  $v_0$  meghatározható. Éspedig általában

$$v_0 = 1 - \frac{A}{4\sigma_b}, \quad (4.11)$$

ahol

$$A = (\alpha_a - \alpha_c)(1 - c)\Delta t \cdot \frac{E_{0c}}{1 - \mu_c}. \quad (4.11a)$$

Jelen esetben

$$v_0 = 1 - \frac{14,1}{4 \cdot 16,3} = 1 - 0,217 = 0,783$$

s így

$$\sigma_{ct} = 0,783 \cdot 14,1 = 11,0 \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{at} = -(10 - 20) \cdot (-10) \cdot \frac{0,156}{0,900} \cdot 2,48 \cdot 133 \cdot 0,783 = -4,5 \text{ kp/cm}^2. \quad (4.4)$$

Ellenőrzés

$$p = 11,0 \cdot 0,29 = 0,32 = 4,5 \cdot 0,71 = 0,32.$$

A 4.2 ábra grafikonjainak szemléletéből s a fenti számokból is leolvasható, hogy hőmérséklet-csökkenés esetén — amihez a zsugorodás okozta húzófeszültségek is hozzáadódnak — a cementkőben kialakuló feszültségek elérhetik a cementkő húzószilárdságát s úgy belső mikrorepedésekhez, illetve felületi repedésekhez vezetnek. Ezeket a feszültségeket természetesen mérséklük a lassú alakváltozás okozta változások, amelyek miatt a képzelt rugalmassági modulus csökken, s így a kialakult saját feszültségek is megváltoznak. Kedvezően módosíthatják természetesen a feszültségképet a vasbetétek is.

## 5. Zsugorodás okozta feszültségek

A cementkőben és az adalékvázbán — éppúgy mint a szabadon létre nem jöhető hőmérséklet-változás miatt — az alkotó elemek nem szabad zsugorodása következtében sajátfeszültségek ( $\sigma_{zs, c}$ ,  $\sigma_{zs, a}$ ) lépnek fel. Értelemszerűleg erre az esetre is átvihetők az előző pontban felállított feltevések-

kel levezetett (2.9)—(3.9)—(3.11) képletek. Ebben az esetben  $\varepsilon_c$ ,  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_b$  fajlagos alakváltozások a cementkő és az adalékanyag szabad fajlagos zsugorodását, illetve a beton fajlagos zsugorodását, mint a két fázis gátolt alakváltozásai eredményét jelentik, tehát az 1. pont jelöléseivel  $\varepsilon_{zs,c}$ ,  $\varepsilon_{zs,a}$ ,  $\varepsilon_{zs}$  értékeket.

Amint ismert a beton tetszőleges  $t$  időpontban bekövetkező zsugorodása ( $\varepsilon_{zs,t}$ ) a végzsugorodás ( $\varepsilon_{zs,b}$ ) és a lefolyás függvény ( $\delta_{zs}$ ) ismeretében az

$$\varepsilon_{zs,t} = \delta_{zs} \varepsilon_{zs,b} \quad (5.1)$$

alakban írható fel [ $\delta_{zs}$ -re nézve lásd (1.12) összefüggést]. A beton végzsugorodása a benne levő cementkő és az adalékanyag végzsugorodása alapján az (1.20) egyenlőségből az

$$\varepsilon_{zs,b} = c \varepsilon_{zs,c} + (1-c) \varepsilon_{zs,a} \quad (5.2)$$

összefüggéssel adható meg. Általában az adalékanyag zsugorodása — a szokásos nehéz adalékok (kvarec, bazalt, mészkő stb.) esetén elhanyagolható, tehát az (5.2) helyett az

$$\varepsilon_{zs,b} = c \varepsilon_{zs,c} \quad (5.2a)$$

formula alkalmazható.  $\varepsilon_{zs,c}$  értékeire nézve utalunk a [2] alatti irodalomra. Tájékoztatásul nagy szilárdságú portlandcement-kő végzsugorodását 0,4—0,6 vízcementtényező, 10 cm átlagos kiszáradási vastagság 90, 70 és 40%-os relatív nedvességtartalom mellett 1,0—1,5, 1,9—2,7, és 2,8—3,9<sup>o</sup>/<sub>00</sub>-re becsülhetjük.

A zsugorodás a cementkőben húzást, az adalékanyagban nyomást okoz. Az előbbi pontban kifejtett indokok alapján egyszerűség okából azt javasoljuk, hogy a zsugorodási feszültségek megítélésére értelemszerűen a (3.14a) alatti összefüggéseket használjuk fel, tehát tárcsamodell alapján és  $\mu_c = 0$ ,  $\mu_a = 0$  értékekkel számoljunk. Ekkor tehát a zsugorodást pozitív előjelűnek véve bármely időpontra

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{zs,c} &= (\varepsilon_{zs,c} - \varepsilon_{zs,b}) E_c = \varepsilon_{zs,b} \frac{1-c}{c} E_{ct} = \\ &= (1-c) \varepsilon_{zs,c} E_{ct} \\ \sigma_{zs,a} &= -\varepsilon_{zs,b} E_a = -c \varepsilon_{zs,c} E_{at} = -\sigma_{zs,c} \frac{r_c}{r_a} \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

$E_{at}$   $E_{ct}$  értékek megállapításához azonban figyelembe kell vennünk azt a körülményt, hogy a zsugorodás okozta feszültségek a lassú alakváltozás mérséklő hatásának vannak kitéve, tehát az (1.18) képlet számlálójában  $E_b$  helyett az időtől függő  $E_t$  lassú alakváltozásra jellemző modulust kell szerepeltetnünk, azaz

$$E_{ct} = \frac{E_t}{c + (1-c)n} = \nu \cdot E_{0c} \quad (5.4)$$

ahol

$$E_t = \nu \cdot E_{0c} = \frac{r_0}{1+q} \cdot E_{0c} \quad (5.5)$$

$n$  értékére nézve a (3.12a) képlet alkalmazható, azaz

$$n = \frac{1-c}{c} \frac{r_c}{r_a} \frac{1}{1-\mu_c} \quad (5.6)$$

Mutassunk be tájékozással egy számpéldát. A beton adatok, mint a 4. pont alatti példában. A cement nagy szilárdságú portlandcement, amelynél a cementkő végzsugorodása 7 napos víz alatti tárolást s ezután szabad levegőn raktározást véve fel 2,0<sup>o</sup>/<sub>00</sub>. A lassú alakváltozási mérték az (1.11) formula szerint 2,12,  $k_0$  értéke, mivel a zsugorodási folyamat a kötés után azonnal megindul, az (1.12) formula alapján  $t=1$  esetén 1,8. A vizsgálatot 28 napos korban hajtva végre az (1.10) szerint  $\delta=0,42$  s így

$$q = 1,8 \cdot 0,42 \cdot 2,12 = 1,6 \quad (1.9)$$

$$\delta_{zs} = 1 - e^{-0,1 \cdot \sqrt[3]{28}} = 0,27 \quad (1.12)$$

$$\varepsilon_{zs,b} = 0,156 \cdot 2,0 = 0,312^0/00 \quad (5.2a)$$

$$\varepsilon_{zs,t} = 0,156 \cdot 0,27 \cdot 2,0 = 0,084^0/00$$

$$\varepsilon_{zs,c,t} = 0,27 \cdot 2,0 = 0,54^0/00$$

$$n = \frac{0,844}{0,156} \frac{0,29}{0,71} \cdot \frac{1}{0,80} = 2,75 \quad (5.6)$$

$$E_{0c} = \frac{302}{0,156 + 2,75 \cdot 0,844} = \frac{302}{2,48} = 121 \text{ Mp/cm}^2$$

$$\sigma_{zs,c} = 0,084 \frac{0,844}{0,156} \cdot \frac{r_0}{1+1,6} 121 = 21,2$$

$$r_0 = A' r_a \quad (5.3)$$

$$r_0 = 1 - \frac{A'}{4 \cdot \sigma_h} = 1 - \frac{21,2}{4 \cdot 16,3} = 0,677,$$

ahol

$$A' = \varepsilon_{zs,t} \frac{1-c}{c} \cdot \frac{E_{0c}}{1+q}$$

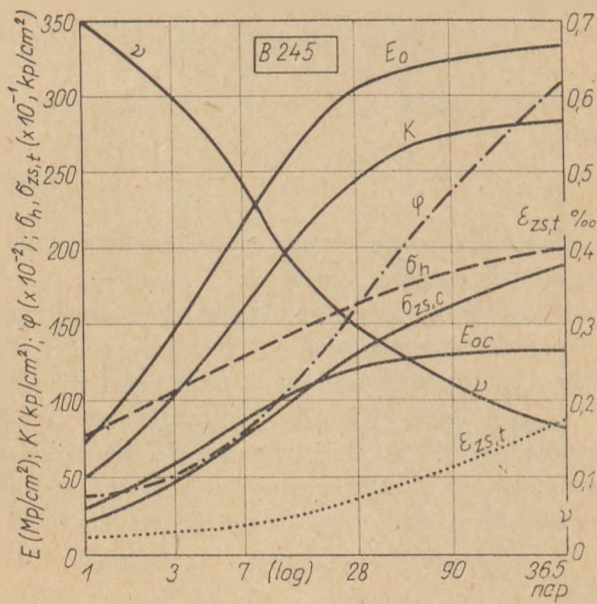
s így

$$\sigma_{zs,c} = 0,677 \cdot 21,2 = 14,3 \text{ kp/cm}^2$$

90%-os relatív nedvességtartalom mellett  $\varepsilon_{zs,c} \sim 1,2^0/00$ -re tehető s  $\varepsilon_{zs,b} = 0,186^0/00$ ;  $\varepsilon_{zs,t} = 0,050^0/00$ ;  $r_0 = 0,807$ ;  $\sigma_{zs,c} = 10,1 \text{ kp/cm}^2$ .

E szóban forgó betonfajtára vonatkozó szilárdsági, zsugorodási, lassú alakváltozási értéket s a felléphető zsugorodási feszültségek változását az idő függvényében az 5.1 ábrában tüntettük fel. A beton zsugorodását a [2] irodalomban számítottaknak megfelelően 1, 7, 28, 90 és 365 napos korban 0,020; 0,034; 0,072; 0,112 és 0,174<sup>o</sup>/<sub>00</sub>-nek vettük fel.

A fenti számok, valamint az 5.1 ábra zsugorodási feszültségértékei, amelyek ugyan tájékoztató jellegűeknek tekinthetők, mindenképp a betonkeverék helyes megválasztására, a gondos utókezelés



5.1. ábra

fontosságára mutatnak rá. Az, hogy a cementkő húzószilárdságát a beton húzószilárdságával azonosnak vettük fel, a biztonság javára szolgáló közelítés. Valószínű ugyanis, hogy a cementkő húzószilárdsága nagyobb, mint a betoné. A beton ismert húzószilárdság-értékeiben már rendszeresen benne szerepel sok oly hatás (a tárolás módja, a hőmérséklet, a környezet stb.), amely miatt a valóságos érték ettől eltérő. Éppen ezért kell hangsúlyoznunk azt, hogy a sajátfeszültségek ismerttetett tárgyalásmódja csak *egy* módszer, illetve *egy* javaslat, amelynek — az eddigi kísérleti adatok és tapasztalatok által valószínűnek tartható — eredményeit gondos s részletes kísérletekkel kutatni s ellenőrizni lényeges s szükséges lenne.

Még egy megjegyzést szükséges tennünk a cementkő számított sajátfeszültségeire nézve. E feszültségek a cementkő *átlagos* feszültségét reprezentálják. A cementkőben azonban a pórusok területén, mint feszültséggyűjtő helyeken, ezeknél a tájékoztató értékeknél lényegesen nagyobb csúcshőmérséklet alakulnak ki. Így ezeken a helyeken várható a belső vagy a felületi mikrorepedések fellépte elsődlegesen. Ezeknek a csúcshőmérsékleteknek részletes tárgyalása nem tartozik e tanulmány kereteibe. Ezzel a tanulmánnyal, amint már rámutattam, az volt a célom, hogy a kialakuló cementkő-húzófeszültségek megbecsülésére dolgozzak ki egy módszert, s a jelenség lényegére felhívjam a figyelmet.

Azt is szeretném megemlíteni, hogy a nem egyenletes hőmérséklet-, illetve nedvességváltozás a kialakuló feszültségképet erősen módosítja s esetenként

a fent vázoltaknál is kedvezőtlenebb állapotot terem. Ezekkel a kérdésekkel igyekszem módot találni egy későbbi alkalommal foglalkozni.

## IRODALOM

- [1] Palotás L.: A beton hőmérséklet-változás okozta sajátfeszültségei. Budapest, 1970. Mélyép. tud. Szemle. 333—338.
- [2] Palotás L.: A beton zsugorodásának közelítő megállapítása. Bp. 1971. Építőanyag.

### Dr. Palotás L.: A beton sajátfeszültségeinek megítélés különböző modellek alapján.

A kétfázisú beton alapanyagainak (a cementkőnek és az adalékanyagoknak) fizikai és mechanikai tulajdonságai (hőtágulás, zsugorodás, szilárdságok, rugalmassági modulusok, stb.) különbözőek.

Mivel az egyes fázisoknak szabad deformációi — a fázisok szilárd összeköttetése miatt — nem lehetségesek, ezért a cementkőben s az adalékanyagban — az akadályozott alakváltozások következtében — kényszerfeszültségek lépnek fel, amelyek egyensúlyi állapotban vannak, tehát a beton *sajátfeszültségi* állapotba jut.

A dolgozat három elemi modell (gömb-, körhenger-, tárcsamodell) alapján, amelyeket a  $v_c$  abszolút térfogatú cementkőtárcsa vagy külső héj, illetve a  $v_a$  abszolút térfogatú adalékanyagtárcsa vagy belső mag alkot, eljárást mutat be a beton sajátfeszültségeinek megítélésére hőmérsékletváltozás, zsugorodás és lassú alakváltozás hatására.

### Палоташ, Л.: Определение свойственных напряжений бетона на основе различных моделей.

### Dr. Palotás L.: Die Beurteilung der Eigenspannungen vom Beton auf Grund verschiedener Modelle.

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften (Wärmedehnung, Schwinden, Festigkeiten, Elastizitätsmodul usw.) der Grundstoffe des zweiphasigen Betons (des Zementsteins und des Zuschlagstoffes) sind im allgemeinen grundverschieden.

Da die freien Verformungen der einzelnen Stoffphasen — infolge deren festen Verbindung — nicht stattfinden können, werden Zwangsspannungen — infolge der verhinderten Formänderungen — im Zementstein und Zuschlag entstehen müssen. Diese Zwangsspannungen selbst befinden sich in sich im Gleichgewichtszustand, also kommt der Beton in einen *Eigenspannungszustand*.

Der Aufsatz führt ein Verfahren zu der Beurteilung der Eigenspannungen vom Beton infolge Temperaturänderung, Schwindens, und Kriechens auf Grund von drei Elementarmodellen (Kugel-, Zylinder- und Scheibenmodelle) an. Die Modelle sind aus einer Zementsteinscheibe oder aus einer äusseren Zementsteinschale von Absolutvolumen  $v_c$  bzw. aus einer Zuschlagstoffscheibe, oder auch aus einem inneren Zuschlagstoffskern von Absolutvolumen  $v_a$  ausgebildet gemeint. (S. G.)

### Dr. Palotás L.: Evolution of the inherent stresses in concrete on the basis of different model types.

Physical and mechanical properties (thermal, expansion, shrinkage, strengths, moduli of elasticity etc.) of the basic materials of concrete as a two-phase material (cement stone and aggregate) are different.

Since the phases are prevented from free deformation by their strong bond, hampered strains impose balanced stresses on cement stone and aggregate thus, the concrete gets in an *inherent stress condition*.

Three elementary models (sphere, circular cylinder and disc) simulating a cement disc or outer shell of absolute volume  $v_c$  and an aggregate disc or inner core of absolute volume  $v_a$  will be applied to illustrate a method for evaluating inherent stresses in concrete due to temperature variation, shrinkage and creep.



# A világ szilikátiparából

A Holmschale társaság kőbányájában naponta, két műszakban 6000 t élesszemeséjű homokkővet termelnek ki. Átlagos fejtésfalmagasság 27 m. A fúrás a függőlegestől 15°-os dőléssel történik. Alkalmazott robbanóanyag: Polar Ammon Gelatine Dynamite. A kőszállítást az előtörőhöz 4 db 15 tonnás dömperral végzik. Az előtörő kapacitása 300 t/h. A 15–20 cm méretűre tört kő a másodfokú törőbe kerül. A kőbányához csatlakozik egy „sovány keverék” készítő üzem. A készített keveréket a helyi útépitésnél azonnal felhasználják. A kőbányának és a hozzá tartozó melléküzemeknek összesen 14 alkalmazottja van.

(The Quarry Managers' Journal, London, k:54, sz:10, 1970.)

Oklahoma államban társulás jött létre, amely két millió dollárért felépítette az első kőagyageső gyárat. A nyersanyagot — amely keverés nélkül alkalmas a csőgyártásra — 6 mérföldre bányásszák az üzemtől. A nyersanyagot fejtés után az üzembe szállítják a tárolósilókba, ezt követi az agyagelőkészítés az őrlés, a szitálás stb. Két extruder gyártja a csöveket, az egyik 20 és 40 cm, a másik 10, 15 és 20 cm átmérőjű csöveket állít elő. A csöveket extrudálás után szárítóállványokra helyezik, majd a szárítóba, ahol 36 órán keresztül 232 °C-on szárítják. Ezután a nyers, száraz csöveket kemencekocsikra rakják és kiegészítik. A 6 zónás alagút égetőkemence hossza 126 m és 78 gázógövel üzemel. Az égetett csövek hossza 152 cm, de 180 cm hosszúságú csövek is égethetők.

(Brick and Clay Record, 3. sz. 156. k. 1970.)

A „Casanovas Ceramica” téglagyárban két üzem van, egy régi és egy új. A régi üzemből 1909-ben épült

Hoffman kemence és alagút szárítók üzemelnek. Az új üzem pedig korszerű. A kibányászott agyagot előkészítés után vákuum présen formázzák. A végső víztartalom 17–18%. Az üzem nagy üregű téglákat gyárt 6–7 mm falvastagsággal 600–700 × 250 × 160–200 mm méretben. Az üreges elem súlya nem éri el a 9 kg-ot. A nyersgyártmányok szárítását „Technoceramica” gyorsszáritóban végzik. A szárítási idő 2–4 óra, a szárítólevegő hőmérséklete 125 °C. Az égetést a „Technoceramica” rendszerű olajtüzelésű alagútkemencében végzik. Ez 74 m hosszú és keresztmetszete 3,2 × 2 m. A kemencében egyidőben 28 kocsit tartózkodik, a tolás 35–40 percenként történik. A kemencekocsik mozgatója automatikus.

(Brick and Clay Record, Chicago, k: 156. sz.: 2. 1970.)

Az útépitésekhez használatos zúzalékok szemcseformájával szembeni követelmények egyre nőnek. A mai korszerű törőgépek ésszerűmegválasztásával a kubikus szemcsék aránya a 90%-ot is meghaladja. A Simons-féle kúpos törővel a kubikus szemcsealak jól biztosítható. A törő szájnnyílása különleges kiképzésű. A szájnnyílás felső részébe fogakat építettek, amelyek segítségével a szájnnyílás felső részének kopását csökkentik. A törőkúp közepe táján párhuzamos rés, ez alatt nagyobb üreges tér, majd a végén szűk rés található. Az ún. Amboss-köpeny, illetve a Giradisc-finomtörő max. 12 mm méretű végterméket biztosít.

(Aufbereitungs-Technik, Wiesbaden, sz.: 6. 1970.)

A Stanton in Peak-i homokkőbányákban az ashfordi Christensen Diamond Products Ltd. által előállított gyémántfűrészlapokkal a kővágási sebességet a maximális 127 mm/h-ról

508 mm/h-ra növelték. Az új vágási módszerrel nagyon jó vágásfelületet értek el, és vagy minimális simításra volt csak szükség, vagy pedig további megmunkálás nélkül felhasználhatták a gyémántfűrészszel vágott tömböket. Az alkalmazott gyémántfűrészlapok segítségével 5 db 10 tonnás homokkőtömböt 2 nap alatt lehet másodlagos vágásra feldarabolni. Az új vágási módszer alkalmazásával jelentős mértékben növelték a teljesítményt és a termelékenységet a fűrészreceserekhez szükséges munkaidő-ráfordítás lényeges csökkentése mellett.

(Mining Minerals Engineering, London, k: 6. sz.: 7. 1970.)

Az új típusú Rockbelt felhordó-rakodó alkalmas aprítatlan kőzeteknek 6800 m<sup>3</sup>/h teljesítménnyel történő szállítására, ill. rakodására. A maximálisan 45 m magasságból a felhordószalagra kotort lefejtett kőzetet a gép nagy biztonsággal továbbítja. 5 tonnánál súlyosabb kőzetdarabokat nem szabad a szalagra rákotorni. A felhordó-rakodó 5 buldózer munkáját végzi el. Ezeknek a gépeknek az élettartama a három évet is meghaladja folyamatos (3 műszakos) munkánál. A felhordó-rakodók alkalmazásával a kitermelési és rakodási költségek lényegesen csökkentek.

(Mining és Minerals Eng. London, k: 6. sz.: 7. 1970.)

A Massey-Ferguson cég knowsleyi gyárában új csuklósan összekapcsolt rakodógépeket gyárt. Az MF 66, MF 77 és MF 88 típusú rakodógépek hasznos terhelése 5500, ill. 9500 kg. A három rakodógép rakodókanalának írmérete: 2, 3, és 4, 6 m<sup>3</sup>. Mindegyik gép Diesel-motoros. A rakodógépek könnyű irányítását teljesen hidraulikus szervokormányzás segíti elő. A rakodógépek maximális haladási se-

bessége előre: MF 88—40,2 km/h, MF 77—37,3 km/h, MF 66—38,6 km/h; hátra 44 km/h, 40,8 km/h, ill. 37,5 km/h. A felsorolt rakodógépek nagyszerű manőverező képességükkel tűnnek ki.

(The Quarry Managers' Journal, London, k: 54. sz.: 7. 1970.)

44°-os látómezejű, vízhűtéssel ellátott kemence-periszkópot szerkesztettek az USA-ban üvegolvasztó kemencékben való alkalmazásra. A periszkóp elmozdítása nélkül az objektív lencse 20°-os elforgatásával a látómező 84°-ra növelhető. Az okulárral

megfigyelhető kép egyenes, nem fordított. Olajmentes, száraz levegővel hűtik az objektív-lencsét és a védőcsövön elhelyezett védőablakot. A periszkóp segítségével fényképfelvételeket készítettek 24×36 mm-es álló kamerával és 16 mm-es filmfelvétellel. A periszkóp alkalmas a láng, az üvegolvadék és a salak mozgásának, a tűzálló anyag bélés stb. megfigyelésére.

(American Ceramic Society Bulletin, Columbus, k: 49. sz.: 3. 1970.)

A folyamatos üzemű laborméretű tárcásas rezgőmalom száraz és nedves

őrlésre egyaránt alkalmas. A nagyobb méretű malmok már kipróbálás alatt állnak. A feladható maximális szemcseméret kb. 5 mm, a végtermék szemcsemérete pedig általában 100—200 mikron. A malom azonban 50—60 mikronnál finomabb őrlésre is alkalmas. A berendezés az egyik NSZK-beli cementüzemben jól bevált. Egyes ércek őrlésénél ezzel a kisméretű malommal 100 kg/ó teljesítményt is elértek. Ezen teljesítmény mellett a termék szemcse nagysága 80 %-ban 0,09 mm alatt volt.

(Aufbereitungs-Technik, Wiesbaden, sz.: 6. 1970.)

## Lapszemle

### BETON I ZSELEZOBETON

Moszkva, 17. k. 1971. 2. sz.

ETO: 666.92:666.972.022.6

*Mironov, Sz. A.—Frenkel, I. M.:* Gyorsított módszer a cement márkájának ellenőrzésére a betonban és szilárdsági tényezőjének meghatározása. 39—40. old.

Az ismertetett új vizsgálati módszer a cement aktivitásának megállapításán alapul. Az aktivitást a vízcementtényező reciprok értékének ( $c/v$ ) és a beton szilárdságának függvényével fejezik ki. A betonszilárdság és a  $c/v$ -tényező közötti összefüggés lineárisnak tekinthető. Gyakorlatban a grafikon készítéséhez jó minőségű, szabványnak tökéletesen megfelelő cement és adalékanyag szükséges, amelyekből háromféle  $c/v$  értékű próbatestet készítenek. Szabványos gőzölés után megállapítják a próbatestek szilárdságát és a kapott értékeket felhordják a koordinátarendszerre. A grafikon alkalmazását számszerű példák segítségével mutatják be.

### SZTROITELNŰE MATERIALŰ

Moszkva, 1970. 9. sz.

ETO: 666.973.6—413

*Dobrzakovna, L. I.—Sipokova, L. A.:* Dekoratív pórusbeton-panelek. 21—22. old.

A kutatók tanulmányozták természetes kőadalékkal és pórusképző adalékokkal készült, légáteresztő dekoratív pórusos betonok sajátosságait. A keveréket fehér portlandcementből, mészkőből, légáteresztő gyantákból, fakátrányokból állították össze. Különböző arányú keverékekből készült próbatestek térfogatsúlyát, szilárdsági viszonyait, rugalmassági modulusait, relatív maradandó alakváltozását vizsgálták. Az eredményeket táblázatban, a különböző tulajdonságok változásával grafikusán közlik. Pórusos keramzitbetonból és perlitbetonból készült kistérfogatsúlyú (800—900 kg/m<sup>3</sup>) betonok sajátosságait is vizsgálták. A szerzett üzemi tapasztalatokat is közlik.

ETO: 666.3.022.8—52

*Fomicsev, P. V.:* Automatikus agyagtéglagyártás félszáraz préseléssel. 22. old.

A szmilukszki kombinát rekonstrukciója során a téglagyártást automatizálták. Leírják a fontosabb szabályozott folyamatokat. A gyárban félszáraz préseléssel formázták a téglát. Az automatizálással a teljesítmény közel kétszeresére, a termelékenység több mint háromszorosára növekedett. A létszám 50%-kal, az 1000 db téglá előállítására fordí-

tott munkára 73%-kal, a fajlagos energiafelhasználás 30%-kal csökkent a rekonstrukció előtti állapothoz viszonyítva. Az üzemben két darab 66 m-es alagút kemence működik. Ismertetik ezek fontosabb műszaki adatait.

### CEMENT

Leningrád, 43. k. 1971. 1. sz.

ETO: 666.94 : 621.928.9. : 628 511

*Kasickin, Ju. N.:* Teendő a mintaszerű cementgyári portalanítás megszerzése érdekében. 20—21. old.

1970. elején a szovjet cementiparban 3000 portalanító-berendezés üzemelt, ezekből 946 volt elektrofilter, 748 zsákos portalanító és 994 a ciklonos elven működő. Ezekkel több mint 19 millió t anyagot választanak le. Az elektrofilterekből távozó gázok átlagos porterhelése 1,72 g/m<sup>3</sup>, ami lényegesen több a megengedettnél. Ennek okai a következők: a porleválasztó-berendezések elavultak, karbantartásukat elhanyagolják, kezelésükhöz nem biztosítanak elég munkaerőt, rossz az üzemi laboratóriumok közötti együttműködés. A portalanítás kérdésével az ahangszki és krasznojarszki cementgyárakban foglalkoznak legalapossabban.

MAGYAR

UDOMÁNYOS AKADÉMIA  
KÖNYVTÁRA

# VITROCIM

EXPORTÁLJA A LEGKIVÁLÓBB  
MINŐSÉGŰ ÉPÍTŐANYAGOK MINDEN  
VÁLTOZATÁT!

- Portland cement BSS 12/1958.
- Színes cement (piros, zöld, sárga, fekete)
- Fehér cement
- „Sandvich” típusú hőszigetelő cementazbeszt-lapok
- Cementazbeszt hullámlemezek
- Ablaküvegek
- Hengerelt üvegek
- Csiszolt táblaüvegek
- Biztonsági ablaküvegek
- Kristálytükrök
- „Nevada” üvegtéglák
- Üvegszelvények
- Palackok
- Üvegatta-termékek
- Üvegatta
- Üvegfátyol
- Aszfaltüveg-fátyol
- Üvegpapír
- Ásványvatta-termékek
- ASKO, hő- és hangszigetelő aszfaltlemez
- SUPEREX, hő- és hangszigetelő lemez
- Gipsztéglák
- Párizsi gipszmunkák
- Datomit hőszigetelő téglák
- Márványkőlapok
- Márványtörmelék-lapok
- Mész
- Műmárvány
- Márványszemcse
- Nyersmárvány-tömb
- PVC falborítások
- Padlóborítások PVC-re dolgozott textilből
- Kerámiatéglák
- Kerámiacsövek homokkőből
- Mázas kerámia-mozaik
- Fajansz csempék
- Kerámia kőburkolatok
- Cserép
- Egészségügyi cikkek
- Granulit

Válasszon és küldje el rendelését!



**VITROCIM**

Rue Blanari 18

**Bukarest — Románia**

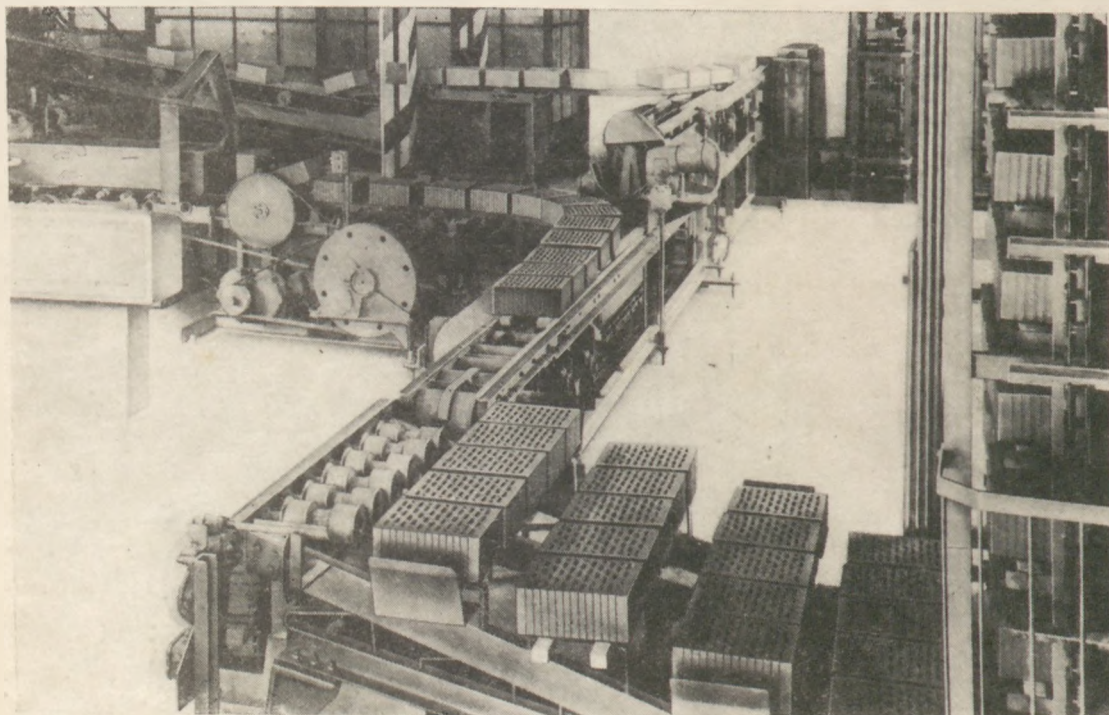
Telefon: 14.05.49

Telex: 330

# Sok millió téglá készül négy kontinensen **PŘEROV** téglagyári berendezésekben



**PŘEROV**  
**MACHINERY**



A téglagyári gépek gyártása a Přerov Gépgyár 50 éves kerámiapari gépek és berendezések gyártási tradíciójához kapcsolódik.

Az agyagkitermeléstől az előkészítésen és a formázáson át egészen a szárításig és a kiegészítésig a legmodernebb berendezéseket szállítjuk, a legmagasabb műszaki követelményeket kielégítve.

Gyártási programunkból:

- Előkészítés
- Gyártási vonalak 20 000—50 000 szabvány-tégla/nap teljesítménnyel
- Kamrás és alagútkemencék

— Teljesen automatikus vezérlésű kör- és alagútkemencék

Üzemeink és berendezéseink tervezésénél és kivitelezésénél a hőgazdálkodás és a technológia, valamint a szárító és kiegészítési technika legújabb ismereteit vesszük alapul.

Komplett téglagyári üzemeket és egyedi gépeket egyaránt szállítunk.

Programunk ezenkívül magába foglalja a teljes cementgyári és mészmű-berendezéseket, törőüzemmel és szortírozó berendezésekkel együtt, valamint durva- és finomkerámiapari berendezéseket.

Közelebbi információval szolgál a

**pragoinvest**

Českomarovská 23

PRÁGA — Csehszlovákia