

302.935

9
967

ÉPÍTŐANYAG

*A SZILIKÁTIPARI
TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA*

1

19. ÉVFOLYAM · BUDAPEST 1967 JANUÁR

71

A SZILIKÁTIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

A mész- és cementipar,
az üvegipar-, a finom-
kerámia-, a téglá-, cserép-
és kő-kavicsipar tudomá-
nyos szakirodalmi folyóirata

*

Főszerkesztő:

Dr. Talabér József

*

Felelős szerkesztő:

Hinsonkamp Alfréd

*

Szerkesztő bizottság:

Dr. Beke Béla

Dr. Déry Márta

Erdély Imre

Dr. Grofcsik János

Dr. Knapp Oszkár

Dr. Kovács Róbert

Kudelka Dénesné

Lenkei György

Magyar István

Dr. Soltész Gáspár

Szabó Elek

Szentmártony Gusztáv

Dr. Tamás Ferenc

Dr. Tóth Kálmán

*

Szerkesztőség:

Budapest, V., Szabadság

tér 17

Telefon: 124-438

*

Kiadja:

Lapkiadó Vállalat,

Budapest, VII.,

Lenin körút 9—11

Telefon: 221-285

*

Felelős kiadó:

Sala Sándor

Megjelenik havonként

Terjeszti a Magyar Posta. — Elő-
fizethető a Posta Központi Hírlap
Irodánál (Budapest, V., József
nádor tér 1. Telefon: 180-850)
és minden postahivatalnál. A folyó-
irat külföldre előfizethető: „Kul-
túra” P. O. B. 140. Budapest 62.
Előfizetési díj: 1/4 évre 18, — Ft;
félévre 30 — Ft; egyes szám ára:
6, — Ft. — Csak számlaszám egyéni
61.252; közületi: 61.066 vagy
átutalás az MNB 8. sz. folyószám-
lájára

07.1., 3072 Réval Nyomda,
Budapest, V., Vadász utca 16.

Index: 25,250

TARTALOMJEGYZÉK

Talabér József: Hosszú időre kiterjesztett vizsgálatok az aluminátcementekkel 1

Stephen Brunauer: A megszilárdult portlandcement-pép és beton szerkezete, II. 10

Rosa, Josef: A nagy MgO-tartalmú cementek stabilizációjának mechanizmusa 17

Takács Tibor — Hegyi Istvánné — Vitális György: Anyagkutatás a Hejőcsabai Cement- és Mészmű részére 24

Gémesi József: Beton optimális gőzölési idejének vizsgálata ultrahanggal 31

Kriz, Mojmir: Üvegolvasztó kemence olvadékának átszínezési problémái 35

Sebestyén György: Világítástechnikai és színdinamikai kérdések az üvegiparban 38

СОДЕРЖАНИЕ

Талабер Йозеф: Долгосрочные испытания глиноземистых цементов 1

Брунауэр, С.: Структура затвердевшего цементного теста и бетона .. 10

Роса Йозеф: Механизм стабилизации цементов с высоким содержанием MgO 17

Такач Т. — Хеди И. — Виталиш Д.: Исследования сырьевой базы для цементно-известкового комбината в Хейчаба 24

Гемеш И.: Определение оптимального времени пропаривания с помощью ультразвука 31

Криц М.: Проблемы окрашивания расплава стеклоплавильных печей 35

Шебештьен Д.: Техника освещения и вопросы цветной динамики в стекольной промышленности 38

INHALT

Talabér, József: Andauernde Versuche mit Tonerdeschmelzzementen 1

Brunauer, Stephen: Die Struktur der verfestigten Portlandzement-Paste und des Betons 10

Rosa, Josef: Stabilisationsmechanismus von Zementen mit hohem Magnesiumoxydgehalt 17

Takács, Tibor — Fau Hegyi, István — Vitális, György: Materialforschung für die Zement- und Kalkwerke Hejőcsaba (Nordungarn) 24

Gémesi, József: Prüfung der optimalen Dauer der Dampfbehandlung des Betons mittelst Ultraschalls 31

Kriz, Mojmir: Probleme des Umfärbens der Schmelze von Glasschmelzöfen 35

Sebestyén, György: Beleuchtungstechnische und farbdynamische Fragen in der Glasindustrie 38

CONTENTS

Talabér, József: Long-time Studies with Highalumina Cements 1

Brunauer, Stephen: The structure of hardened Portland cement Paste an concrete 10

Rosa, Joseph: Stabilization Mechanism of Highmagnesia Portland Cement 17

Takács, Tibor — (Mrs.) Hegyi, Judith — Vitális, György: Clay Prospecting for the Hejőcsaba Cement and Lime Works 24

Gémesi, József: Optimum Steam-curing Time of Cobcrete Investigated by Ultrasonic Methods 31

Kriz, Mojmir: The Through-colourization of Melts in Glassmelting Kilns 35

Sebestyén, György: Problems of Illumination Engineering and Colour Dynamics in the Glass Industry 38

ÉPÍTŐANYAG

19. ÉVFOLYAM 1. SZÁM

Hosszú időre kiterjesztett vizsgálatok az aluminátcementekkel*

TALABÉR JÓZSEF
(Szilikátipari Központi Kutató Intézet)

Bevezetés

Az utolsó két évtizedben sokat foglalkoztunk Magyarországon az aluminátcementekkel. Elsősorban *tudományos szempontból* érdekelt bennünket a kérdés. Bepillantást kívántunk nyerni az aluminátcementek és a kalcium-aluminátok hidratációjának a portlandcementnél sokkal bonyolultabb viszonyaiba. Meg szerettünk volna ismerkedni az aluminátcementek kötésénél és szilárdulásánál lejátszódó fizikai, fizikokémiai folyamatokkal. Választ kívántunk kapni azokra az anomáliákra, amelyek az aluminátcement-betonok szilárdságának idő- és hőmérsékletfüggésében lejátszódnak.

Gyakorlati szempontból is rendkívül érdekes volt számunkra ez a probléma. Franciaország mellett — ahol ezt az értékes tulajdonságokkal rendelkező cementet először gyártották — Európában Magyarország gyártotta a legtöbb aluminátcementet. A gyártás és a felhasználás túlnyomó része 1930—1944. között történt. A két ország aluminátcement-gyártása között azonban alapvető technológiai különbség volt: Franciaországban az *elektrokemencében olvasztott* gyártás terjedt el. A Lafarge cég fejlesztette ki ezt az eljárást; cementje is ilyen néven vált híressé („ciment fondu”). Magyarországon körkemencében *zsugorodásig történő égetés* útján állították elő a bauxitcementet; ezt „Citadur” néven hozták forgalomba.

Az aluminátsalakok (pl. Rolandshütte, szovjet aluminátsalakok, magyar aluminátsalakok) az előállítás körülményeit és feltételeit tekintve az első csoportba tartoznak.

Az aluminátcementek előállításának ezt a két — egymástól lényegesen eltérő — útját ezért említettük meg, mert az aluminátcement-betonok szilárdságában tapasztalt visszaeséseket — legalábbis Magyarországon — többen az előállítási körülményekben keresték. A vizsgálatok természetesen gyorsan átlépték ezt a korlátot. Azok a tapasztalatok pedig, — köztük igen kellemetlen tapasztalatok is — melyeket az aluminátcement-betonokkal igen gyorsan szereztek, ráirányították a figyelmet a kérdés gyakorlati jelentőségére, a beépített igen nagy tömegű beton vizsgálatára és várható viselkedésére.

Így kezdődött el Magyarországon az aluminátcementek és a belőlük készült betonok vizsgálata. A vizsgálatok eredményeiről a magyar szakirodalomban többször beszámoltunk [1, 2] és ismertettük néhány hosszú időre kiterjesztett betonvizsgálat eredményeit is [3]. Ezek az eredmények összhangban voltak korábbi, elméleti megfontolások alapján tett megállapításainkkal és anyagszerkezeti vizsgálatok alapján levont következtetéseinkkel, és sajnos összhangban voltak igen sok, időközben megkapott külföldi adattal is.

Mindezeket figyelembe véve, már az ötvenes évek elején határozottan képviseltük azt a véleményt, hogy *aluminátcementeket szerkezeti építőanyagként felhasználni nem szabad*, sőt az aluminátcementek gyártását Magyarországon le is állítottuk.

Mivel azonban az utóbbi időben, belföldön és külföldön egyaránt, ismételten felmerült az aluminátcementek gyártásának, pontosabban, az aluminátcementek építőipari felhasználásának kérdése, az aluminátcement-problémával újból szembe kell néznünk. Nem is csodálkozhatunk azon, hogy ez a kérdés periodikusan fel-felmerül. Az aluminátcementek értékes tulajdonságai — elsősorban a rendkívül nagy kezdőszilárdság — csábítják mindazokat a szakembereket, akik a kérdésnek csak a jobbik oldalát vizsgálják és nem törődnek, vagy nem akarnak törődni a másik oldallal, amely sok veszélyt rejt magában.

* Elhangzott a II. Nemzetközi Építőanyag- és Szilikát Konferencián, Weimarban (NDK).

A portlandcement és az alumínacemert hidratációja

A portlandcementek hidraulikus szilárdságát a bennük levő *kalcium-szilikátok* biztosítják. Ezek legismertebb képviselői a C_3S^{**} összetételű tri-kalcium-szilikát, a C_2S összetételű dikalcium-szilikát. Mindig tartalmaz a portlandcement C_3A -ot és C_4AF -et, CaO -ot, MgO -ot, SO_3 -ot. A CaO szabad állapotban egyik jellemzője a gyártási eljárásnak, a nyersanyag helyes vagy helytelen összeállításának és a technológiai előírások betartásának. Az MgO dolomitos nyersanyagok felhasználása során keletkezik a klinkerben, a SO_3 pedig részben az égetés következménye, részben gipsz formájában kerül a cementbe.

Az alumínacemertek hidraulikus tulajdonságait ezzel szemben a különböző összetételű *kalcium-alumínátok* biztosítják. Ezek jellemző képviselői: az alumínacemertek legfontosabb klinkerásványa a CA . A $C_{12}A_7$ összetételű kalcium-alumínát is előfordul jótormán valamennyi alumínát-cemertben, míg az Al_2O_3 -ban dús alumínát-cemertben CA_2 jelenlétével lehet számolni.

A hidraulikus szilárdulás jellegét megadó fenti három legfontosabb kalcium-alumínáton kívül C_2S , C_2AS (géhlenit) C_4AF , CF_2 , C_2F — C_6A_4FS elegykristályok lehetnek jelen az alumínacemertben.

Már itt is rá kell mutatni arra a helytelen felfogásra, amely sokhelyütt eluralkodott, hogy alumínacemert gyártására nagy SiO_2 tartalmú nyersanyagokat is fel lehet használni. Azzal, hogy az SiO_2 a C_2S -ban CaO -ot, a C_2AS -ban CaO -ot és Al_2O_3 -ot köt le a hidraulikus szilárdulás szempontjából értéktelen kristályvegyületek formájában, máris igazoltuk, hogy a jóminőségű alumínacemert előállításához jóminőségű (kevés SiO_2 -ot tartalmazó) bauxitot lehet csak felhasználni. Ez rendkívül fontos körülmény az alumínacemertek végső megítélése szempontjából.

A kétféle jellegű cement kémiai és ásványtani összetételének különbözőségéből ered a hidratáció, a kötés, majd a szilárdulás mechanizmusának az az eltérése, amely a cementek, végső soron a betonok különböző tulajdonságait eredményezi.

Tobermorit-gél

A lekötött cement szerkezetére vonatkozóan igen sok elképzelés látott már napvilágot. Ma már azonban jóformában az egész világon elfogadott a Powers-téle modell, amely szerint a lekötött portlandcement szilárd fázisban elosztott pórusokból áll. A lekötött cement szilárd részét kétféle anyag alkotja: kolloidális méretű, igen finom eloszlású kalcium-szilikát-hidrát-gél és ebbe a gélbe ágyazott nagyobb méretű kristályok.

A kalcium-szilikát-hidrát-gél tulajdonságai (kémiai összetétele és szerkezete) majdnem azonos a *tobermorit* nevű, természetben előforduló ásványé-

vel. Ezért nevezik a portlandcement szilárdulása során keletkező kalcium-szilikát-hidrátot *tobermorit-gélnek*.

A tobermorit az agyagásványokhoz hasonló rétegszerkezetű szilikát. Felülete óriási, márpedig a kötőképesség a fajlagos felület és a felületi erő nagyságától függ: a felület méretének és a felületi erők nagyságának együttes hatása (első közelítésben: szorzata) határozza meg a lekötött cement szilárdságát. A felület mérete az adszorpciós elven működő Brunauer—Emmett—Teller (BET) eljárással határozható meg. A felületi erők ezzel szemben — más vegyi erőkhez hasonlóan — közvetlenül nem mérhetők; ami mérhető, az a felületi energia (oldáshőmérés alapján). (A kémiában általában kötési erő helyett kötési energiáról beszélünk, melynek nagyságát tehát erg-ben és nem din-ben fejezzük ki. A felületi energia dimenziója tehát erg/cm^2 lesz.)

Néhány anyag felületi energiája [4]:

Hidratált amorf kavasav	129 erg/cm^2
$Ca(OH)_2$	1180 erg/cm^2
Tobermorit-gél	386 erg/cm^2

A tobermorit-gél kémiai összetételét a következő általános képlet fejezi ki:

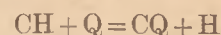


az x értéke (teljesen hidratálódott cementnél) 1,4—1,7; az y értéke sok tényezőtől, elsősorban a környezet nedvességtartalmától függ. Kiszáritott cementnél y értéke általában 0,5-el kisebb, mint x értéke.

Portlandit

A klinkerásványok hidratációjánál, hidrolízisének CH [$Ca(OH)_2$] válik ki. Ez kezdetben igen nagy diszperzitású oldatnak tekinthető, amely lassú átkristályosodással alakul át portlandittá. A portlandit vízben oldódik; ez az oldási jelenség „elsőrendű korrózió” megjelöléssel gyakran megfigyelt betonkárosodás.

A $Ca(OH)_2$ azonban más módon is átalakul. Jelentős része a levegő CO_2 tartalmával $CaCO_3$ -á (CQ) alakul vissza:



A CQ (illetve a szokásos írásmóddal $CaCO_3$) valamennyi vizsgált betonban kisebb-nagyobb mértékben megtalálható.

A beton stabilitása attól függ, hogy a különböző szilikáthidrátok stabilitásához szükséges alkálitást a hidratáció, illetve hidrolízis során leváló $Ca(OH)_2$ biztosítja-e. Jóminőségű betonban (ha a beton tömör, mészkilúgozás nem történt) az oldat pH értéke 11,5—11,7 körül van. Ez a hidrogénion-koncentráció biztosítja a kalciumszilikátok stabilitását, de biztosítja az acélbetét védelmét is.

Ez utóbbiról is kell pár szót szólni, jöllehet könyvtárakra menő irodalom foglalkozik ezzel a kérdéssel. A betonacél korrózióvédelmét egy paszszivált védőréteg biztosítja, amely alkálikus közegben 13,0—9,65 pH értékek között keletkezik, ha

** A szilikátkémiában szokásos oxidos rövidítéseket alkalmazzuk: C = CaO , S = SiO_2 , A = Al_2O_3 , F = Fe_2O_3 , H = H_2O , K = K_2O , Q = CO_2 .

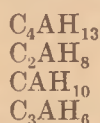
egyéb korrodáló anyag, pl. Cl-ion nincs jelen. Cl⁻ jelenlétében egvébként még 12 pH fölött is felléphetnek korróziós jelenségek.

Kalcium-aluminát-hidrátok

Egészen más a helyzet az aluminátcementek hidratációjánál. A hidraulikus szilárdulást aluminátcementeknél a kalcium-aluminát-hidrátok biztosítják, de a szilárdsági tulajdonságok kialakulásában a gélszerű anyagok jelenlétének valószínűleg ugyanolyan, vagy hasonló szerepe van, mint a portlandcementeknél.

A kalcium-aluminát-hidrátok és a hidratáció során keletkezett AH₃ és FH₃ gél stabilitása, oldhatósága, fejlődése levegőben, vízben, vagy a levegő CO₂ tartalma jelenlétében döntő az aluminátcementekből készült betonok stabilitása és élettartama szempontjából.

Az aluminátcementek hidratációja során az alábbi fontosabb hidratvegyületek keletkeznek.



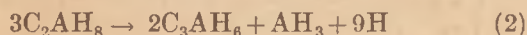
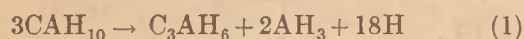
A sorozat első három tagja a hexagonális, negyedik tagja a szabályos rendszerben kristályosodik.

A vízmolekulák száma azonban a különböző feltételektől függően (víztartalom, hőmérséklet, nyomás, levegő CO₂ tartalma stb.) széles határok között változhat és ezzel a négy alaptípusra leszűkített alumináthidrát-féleségek száma erősen megnövekszik, melyek azonban szerkezetileg is és tulajdonságaikat illetően is valószínű közeli rokonságban vannak egymással és az alaptípussal. Az aluminát-hidrátoknak ez az instabilitása természetesen alapvetően determinálja az aluminátcementek tulajdonságait.

Ilyen szempontból kivételt képez a C₃AH₆-összetételű, a szabályos rendszerben kristályosodó hexahidrát, mely víztartalmát nem könnyen változtatja meg, melyet termodinamikailag egvébként is a CaO—Al₂O₃—H₂O rendszer legstabilisabb hidratjának tekinthetünk. Minden változás, mely a CaO—Al₂O₃—H₂O rendszerben végbe megy a C₃AH₆ irányába történik. Ezeket az átalakulásokat elsősorban a hőmérséklet emelkedése váltja ki (a kritikus hőmérséklet 20°C körül van) de más hatások is elhatározóan hozzá járulnak viszonylag stabil kristályfázisok keletkezéséhez.

Az átalakulások mechanizmusáról sokat lehetne beszélni. A különböző, sok esetben vitatható álláspontok közlése helyett azonban az egyszerűség kedvéért fogadjuk el a Schwiete, H. E. által közölt egyenleteket, melyek a bonyolult folyamatok tendenciájának megértéséhez igen alkalmasak [6].

A CAH₁₀ 22—25°C hőmérséklet fölött a következő módon alakul át:



Mivel a CAH₁₀ és a C₃AH₆, illetve az AH₃ sűrűsége között tekintélves különbség van (1,72; 2,52; 2,42) a hidratfázis átalakulása után az eredetileg hidratvegyületekkel teljesen kitöltött tér jelentős részét (mintegy 50%-át) víz fogja kitölteni [6].

Az (1) egyenlet értelmében, figyelembe véve az egyes komponensek sűrűségét, molekulaszámváltás és molekulatérfogató, az átalakulás után a hidrattermékek 48,5%-át, a (2) egyenlet értelmében 66%-át teszik ki az átalakulás előtti termékeknek.

Nyilvánvaló a porozitás megnövekedése, ennek természetesen következménye a szilárdság csökkenése.

Amellett tehát, hogy a hexagonális hidratoknak a szabályos rendszerű hidratokká való átalakulása is jelentős változásokat hoz a rendszerbe, további nagy bizonytalanságot jelent a felszabaduló víz nagy mennyisége és nagy helyszüksége, amely éppen könnví mozgékonysága révén (párolgás) válik további igen fontos átalakulások okozójává.

A lekötő rendszer alkalisására később még visszatérünk, de már most rámutatunk arra, hogy erősen bázikus közegben a víz is, a keletkező CH is nagymennyiségű Q-t (CO₂-ot) tud felvenni a levegőből. A Q szerepe ebből a szempontból igen jelentős és sokkal nagyobb figyelmet érdemel, mint ahogy ezt a kérdést eddig kezeltük [7].

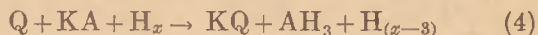
A hexagonális hidratoknak a szabályos rendszerű hidratokká történő átalakulása során a beton porozitása erősen növekszik. A porozitásnövekedés az eredetileg tömör és szilárd szerkezet fellazulását eredményezi, amely önmagában is jelentős szilárdságcsökkenés okozója lehet. Még tovább romlik a helyzet azzal, hogy a tömör szövetszerkezet fellazulásával megnövekszik a beton gázátbocsátó-képessége és ezzel megnyílik az út arra, hogy a levegő CO₂ tartalma korróziós hatását kifejthesse.

Megindítják és elősegítik a CO₂-korróziót a cementben, vagy a betonadalékban mindig jelenlevő alkáliák, esetleg a CO₂ hatására a betonban képződött alkálikarbonátok. A reakció sémája hozzávetőleg a következő:



Az oldat alkálikoncentrációjának növekedésével az Al₂O₃ oldhatósága ugrásszerűen megnövekszik (5 g/l értéket is elérhet). Ez a reakció önmagában is jelzi a hexagonális hidratok instabilitását és egy új, stabilis vegyület jelentkezését a CaO—Al₂O₃—H₂O rendszerben. Ez a stabilis ásvány a CQ(CaCO₃) amely itt kalcit, aragonit vagy vaterit formájában jelentkezhet.

Az oldatban levő kálium-aluminát (KA) a felület közvetlen közelében, vagy a porózus beton lukacsaiiban a levegő CO₂ tartalmával tovább reagál



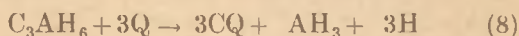
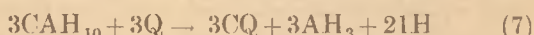
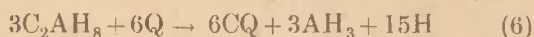
Az alkáli-karbonát ily módon teljes egészében regenerálódik, újból reagál a kalcium-alumináttal és a tényezők kedvezőtlen összejárása az aluminátcement teljes felbomlását eredményezheti.

A folyamat során az alkálikarbonát mintegy a katalizátor szerepét tölti be, mert a fenti egyenletek összevetése révén a következő elvi egyenlet írható fel:



Ezzel eljutottunk a $CaO-Al_2O_3-H_2O$ rendszer következő stabilis ásványához, az $Al(OH)_3$, illetve rövidített írásmóddal AH_3 összetételű alumíniumhidráthoz, amely hidrargillit vagy bayerit formájában van jelen, a cementben kezdetben mint óriási felületű gél, később a víztartalomtól, hőmérséklettől függően mikrokristályos formában, röntgenográfiai úton is igazolható módon.

Ha ezek után megvizsgáljuk a CO_2 hatását az egyes kalcium-aluminát-hidrátokra, Schwiete, H. E. a következő összefüggéseket adja meg [6].

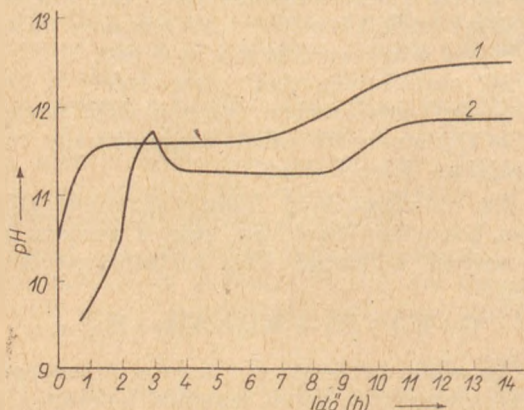


A (6) egyenlet értelmében végbemenő átalakulás kb. 28% térfogatnövekedéssel jár (ha a CQ vaterit és az AH_3 hidrargillit alakban van jelen). A (7) egyenlet esetén kb. 47–50%, a (8) egyenlet értelmében pedig 22–26% víztérfogattal kell számolni az átalakulás során.

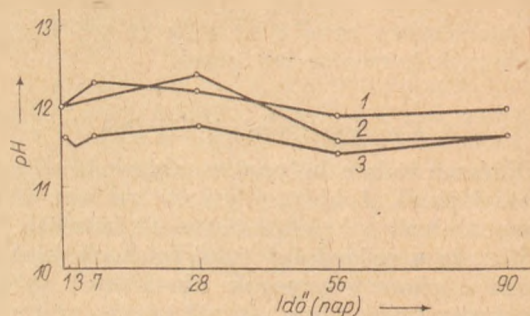
A végeredmény teljesen világos. A rendszerben csak a termodinamikailag teljesen stabilis vegyületek maradhatnak meg: a kalcium-karbonát és az alumínium-hidroxid. Mindkét vegyület geológiai értelemben is stabilisnak tekintendő.

A lekötő alumínát-cement pH-ja

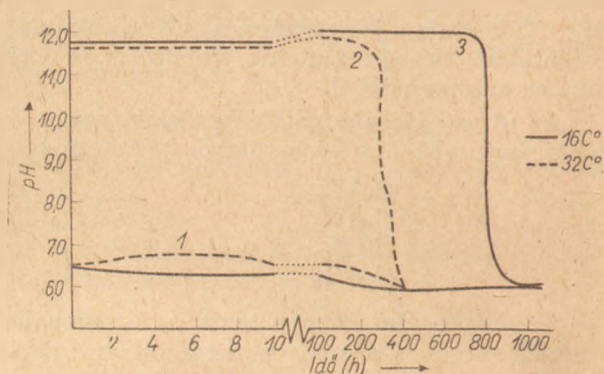
A pH érték változásának eddig a legismertebb diagramját az 1. ábrán mutatjuk be. Akár a Salmoni-féle vizsgálatok, akár a magyar vizsgálatok alapján vizsgáljuk a pH érték változását, a kötés kezdeti óráitól eltekintve $pH=11,0-12,5$ tartományban vagyunk, és a görbék tendenciája is emelkedő. Ez megnyugtatónak látszik, bár a viszonyok későbbi alakulására a 14 órás vizsgálat természetesen igen keveset mondhat. Schwiete és társai már hosszabb időn keresztül vizsgálták ezt a kérdést [6]. Vizsgálataik eredményeiről a 2. ábra tájékoztat. 90 nap eltelté után sincs lényeges vál-



1. ábra. Lekötő alumínát-cementek pH-jának változása
1 Salmoni szerint, 2 Magyar vizsgálatok szerint

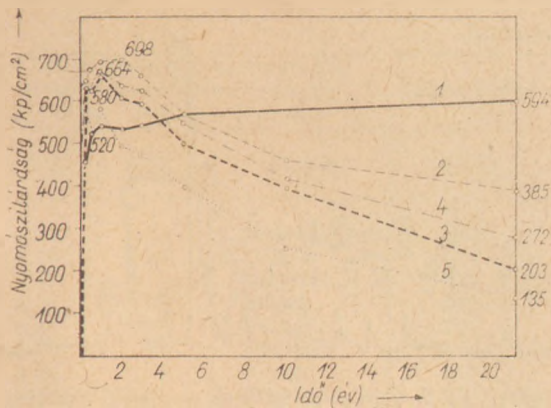


2. ábra. Német alumínát-cement-szuszpenzió pH értékének változása az idő függvényében
1 —10°C-on, 2 —20°C-on, 3 —40°C-on



3. ábra. Alumínát-cement-szuszpenziók pH értékének változása széndioxid-kezelés hatására
1 kezelés a kötés kezdetétől, 2 kezelés a 200. órától, 3 kezelés a 707. órától

tozás a lekötő cement pH értékében. A beton-korrózió veszélye tehát nem fenyeget. Kupzog és munkatársai [8] által kapott eredmények még érdekesebbek. A különböző kalcium-aluminátokkal és alumínátcementekkel végzett vizsgálataik során lényegében ugyanolyan pH értékeket mértek, mint Schwiete és társai. Megállapították azonban azt, hogy CO_2 -kezeléssel a gyakorlatilag állandó pH érték hirtelen 6,1–6,4 körüli értékre esik le. A viszonyokat a 3. ábra tünteti fel. Azt is megállapították, hogy ha a szilárdulás kezdetétől éri a betont a nagyobbmértvű CO_2 behatás, kezdetétől fogva 6,0–7,0 közötti pH értékkel kell számolni. Betonlétesítményeknél a CO_2 említett két hatását (átkristályosodás, illetve a szerkezet felbomlása, valamint a pH csökkentése) lehet, hogy csak nagyon lassan fejti ki. Sokszor évek is elmúlnak, amíg ezek a hatások számottevő, vagy mérhető értékeket érnek el. De betonlétesítményeknél a hatások többé-kevésbé összegeződnek. Az eredmény: a szerkezet lassú, fokozatos fellazulása, a gázathocsátó-képesség növekedése, a hidrátvegyületek átalakulásának gyorsulása, a szilárdság visszaesése, végül a beton tönkremenése. Ezek a vizsgálatok azt is megállapították, hogy míg nedves közegben tartott alumínát-cement-betonok pH értéke 11,0–12,0 között marad, ha a beton kiszárad, a pH érték fokozatosan csökken, 8,0–9,0 érték alá, és végső soron hosszabb idő után megközelíti a CO_2 -vel kezelt beton 6,0–8,0-as pH-ját. Ez a jelenség is érthető az elmondottak alapján,



4. ábra. Cementpécek nyomószilárdságának változása az idő függvényében

1 portlandcement, laboratóriumban tárolva, $v/c = 0,4$, 2 aluminátcement, laboratóriumban tárolva, $v/c = 0,4$, 3 aluminátcement szabadban tárolva, $v/c = 0,4$, 4 aluminátcement laboratóriumban tárolva, $v/c = 0,61$, 5 aluminátcement laboratóriumban tárolva, $v/c = 0,64$

mert a levegőn több lehetőség van a leírt karbonizációs folyamatok végbemenetelére, amely folyamat a pH értéket egyre csökkenti.

Aluminátcementek szilárdsága az idő függvényében

Az elmondottak alapján vizsgáljunk meg néhány aluminátcementet. Előljáróban szeretném megegyezően bemutatni a 4. ábrát, amely portland- és aluminátcementekkel végzett összehasonlító, hosszú időre kiterjesztett szilárdságvizsgálatok eredményeit mutatja be régebbi vizsgálataink [3] nyomán.

Az ábra – egyszerűség kedvéért – csak a 0,40-es v/c tényezőjű portlandcement szilárdságváltozásait mutatja. Teljesen azonos a szilárdság alakulása a 0,64-es v/c tényezőjű plasztikus betonnál is, laboratóriumi és szabadban való tárolásnál egyaránt.

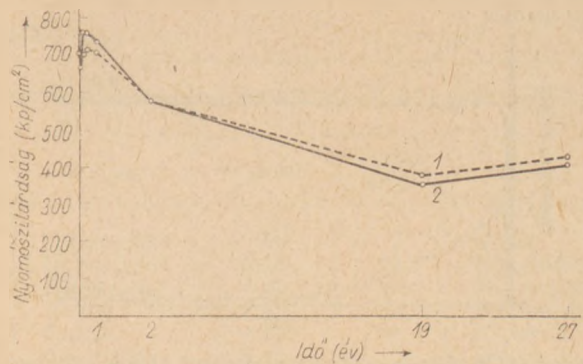
Az elmondottak után nem meglepő az aluminátcement-betonok szilárdságának alakulása a négyféle próbatesteknél.

Az első, amit a közhiedelemmel ellentétben meg kell állapítanunk, hogy nincs semmiféle 5 esztendő, amikor az aluminátcement-betonok szilárdsága csökkenni kezd. Ha a feltételek adottak, a beton szilárdsága igen rövid időn belül csökkenni kezd.

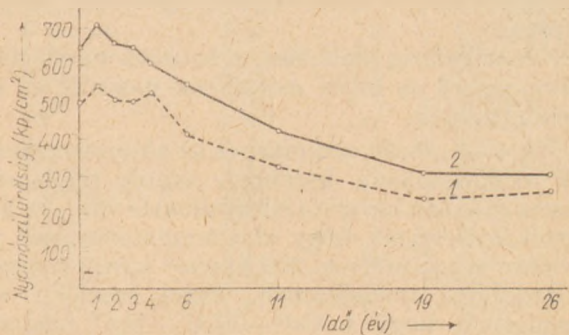
21 éves korban, földnedves állapotban a laboratóriumban tárolt próbatestek (maximális) szilárdságuk mintegy 44%-át, plasztikus konzisztencia esetén 59%-át elvesztették. Szabadban való tárolás esetén a megfelelő százalékszámok: 70, ill. 77%.

A szilárdságcsökkenés törvényszerű, még olyan esetben is, ha a hőmérséklet nem haladja meg a 20°C-ot. A szilárdságcsökkenés egyébként 20°C alatti hőmérsékleten is bekövetkezik, legfeljebb lassabban.

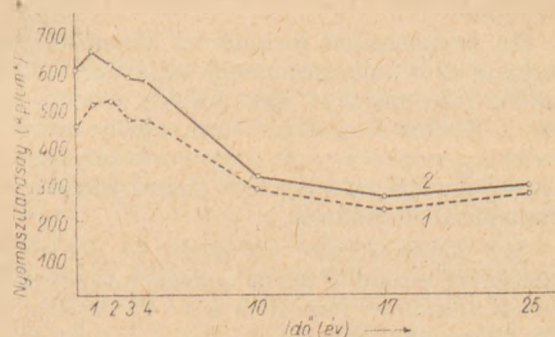
Az 5–8. ábrán számtalan vizsgálati eredményünk néhány jellegzetes példáját ábrázoltuk. A cementfajtát, cementadagolást és a víz/cement tényezőt az ábra-aláírásokban adtuk meg; a fel-



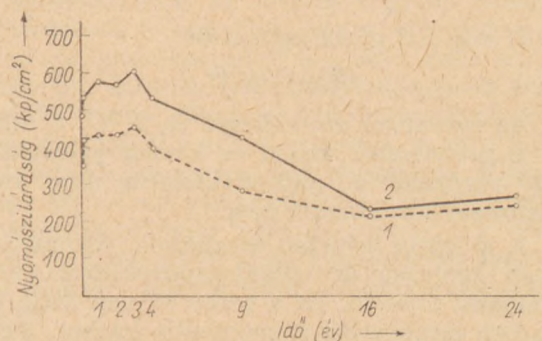
5. ábra. Közönséges (1) és utánszórt (2) Citadur-cementet tartalmazó, 270 kg/m³ cementadagolású betonok nyomószilárdsága, $v/c = 0,52$, 20–28 év között szabadban tárolva



6. ábra. 250 kg/m³ (1) és 300 kg/m³ (2) Citadur-cementet tartalmazó betonok nyomószilárdsága, $v/c = 0,6$

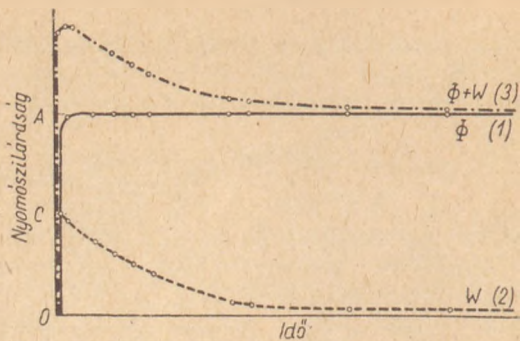


7. ábra. 250 kg/m³ (1) és 300 kg/m³ (2) Citadur-cementet tartalmazó betonok nyomószilárdsága, $v/c = 0,7$, illetve 0,55



8. ábra. 250 kg/m³ (1) és 300 kg/m³ (2) Citadur-cementet tartalmazó betonok nyomószilárdsága, $v/c = 0,6$, illetve 0,51

használt adalékanyag durvakavics és homok, a szemszerkezeti görbe a Fuller-görbének felelt meg; a tárolás általában 20°C körül levegőn történt.



9. ábra. A Cítadur-cement szilárdságának időbeli változását megközelítő elvi diagramok

Csak néhány példát mutattunk be a számtalan vizsgálat közül. Valamennyinél ugyanazt a képet kapjuk.

A szilárdság alakulása, a betonok viselkedése törvényszerű és teljes mértékben megfelel az elmondottnak.

A 4—8. ábrák alakulása és az aluminátcementek szilárdságának korábban vázolt tendenciái között azonban bizonyos ellentmondás van. Az ábrákról leolvasható, hogy az aluminátcementek 20 év után is tekintélyes, 200 kp/cm² körüli nyomószilárdsággal rendelkeznek. Ezzel szemben azt mondtuk, hogy a CaO—Al₂O₃—H₂O rendszer hidratvegyületei a stabilis vegyületek irányába fejlődnek, mindaddig míg a rendszer stabilis fázisai el nem érik a kalcium-karbonátot, ill. az alumínium-hidroxidot.

Ha matematikai formulával akarnánk megközelíteni az aluminátcementek szilárdulásánál lejátszódó folyamatokat, igen érdekes módon, eljuttunk a Fischer-féle eloszláshoz, amely szerint a kísérletileg meghatározott diagramok két, egymással közel egy időben lejátszódó fizikai jelenség szuperponálásából adódnak.

A 9. ábrán látható két görbe (1, 2) szuperponálásából adódó 3 görbe jellege megegyezik a kísérleti adatokból kapott és a 4—8. ábrákon látható diagramokkal.

Az 1. görbe egyenlete a t idő függvényében.

$$\Phi = A \cdot (1 - e^{-Bt})$$

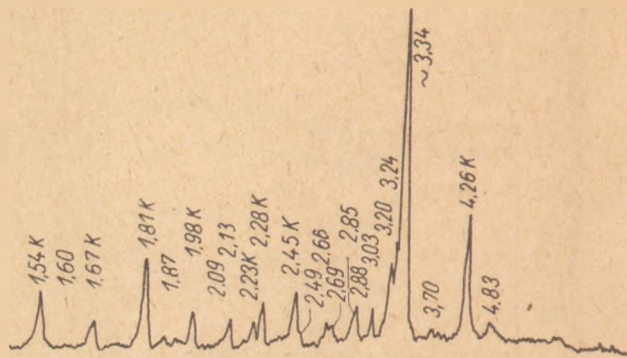
alakú, míg a 2. görbe egyenlete

$$W = C \cdot e^{-Dt}$$

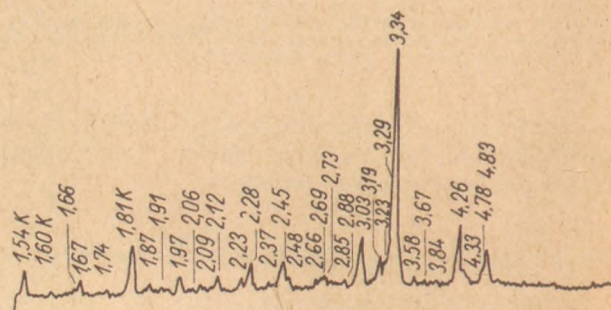
Az egyenletekben szereplő A , B , C , D állandók a próbatetek fizikai és kémiai jellemzőitől függő paraméterek, melyek kísérleti úton vagy számítással közelíthetők meg.

A Φ görbe gyorsan meginduló, fokozatosan lassuló lefolyású és szilárdságnövekedést okozó folyamatot fejez ki. Ez a görbe 28 nap alatt kb. 98%-ban megközelíti a maximális értéket, melyben aszimptotikusan tart. A W függvény a szilárdságsökkenést okozó átalakulásokat fejezi ki, amelyek teljes végbemenése esetén a szilárdság gyakorlatilag zérusra csökken.

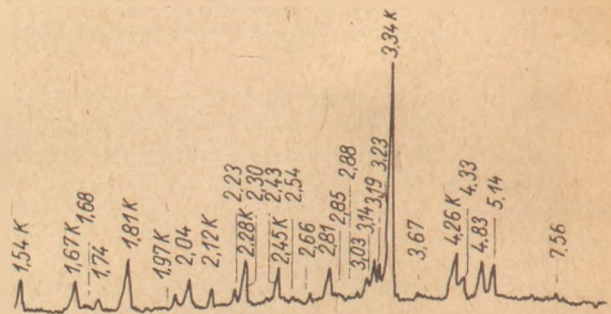
Ez a matematikai formula is, fáziselméleti fejtegetéseink is arra engednek következtetni,



10. ábra. Az 5. ábra 2. görbéjének megfelelő aluminátcementbeton-kocka röntgendiffraktogramja 28 év 7 hónapos korban



11. ábra. Elszíneződött aluminátcementbeton-kocka külső világosabb részének röntgendiffraktogramja 28 év 7 hónapos korban



12. ábra. Elszíneződött aluminátcementbeton-kocka belső sötétebb részének röntgendiffraktogramja 28 év 7 hónapos korban

hogy a beton a cement átalakulásának teljes befejeződése után felbomlik és szilárdságát gyakorlatilag teljes mértékben elveszíti.

Az 5. ábra 2. görbéjének megfelelő próbatestet 28 év után röntgenvizsgálatnak vetettük alá. A 10. ábrán látható diffraktogram szerint a próbatestben nyoma sincs a kalcium-aluminát-hidrátoknak. A beton tehát eljutott a teljes felbomlás stádiumáig. A rendszer stabilis vegyületei közül a kalcium-karbonát kalcit, az alumínium-hidroxid valószínűleg hidrargillit formájában található meg.

Két másik, 28 évnél idősebb bauxitbeton-minta diffraktogramját is bemutatjuk: a 11. ábra betonja egy kívülről elszíneződött, világosbarna színű beton, a 12. ábra ugyanennek a próbatestnek az el nem színeződött, sötétbarna színű belsejéről készült röntgenfelvétel. A 11. ábra szerint az alumináthidrátok a teljes bomlásig eljutottak. Ezzel

5. ábra 2 görbéjének megfelelő aluminátcementbeton-kocka, 28 év 7 hónapos korban			Betonkocka külső, világosabb része			Betonkocka belső, sötétebb része		
d (kX)	Intenzitás	Anyag	d (kX)	Intenzitás	Anyag	d (kX)	Intenzitás	Anyag
4,83	3	Hidrargillit	4,83	12	Hidrargillit	7,56	2	Gipsz
4,26	24	Kvarc	4,78	5	Hidrargillit	5,14	12	Hexahidrát
3,70	2	Gehlenit	4,33	5	Hidrargillit	4,83	13	Hidrargillit
3,34	90	Kvarc	4,26	22	Kvarc	4,33	8	Hidrargillit
3,24	18	Földpát	3,84	3	Kalcit	4,26	25	Kvarc
3,20	14	Földpát	3,67	2	Gehlenit	3,67	3	Gehlenit
3,03	6	Kalcit	3,58	3	Vaterit	3,34	95	Kvarc
2,88	6	Dolomit	3,34	100	Kvarc	3,23	12	Földpát
2,85	4	Gehlenit	3,29	21	Vaterit	3,19	14	Földpát
2,69	4	Homatit	3,23	8	Földpát	3,14	8	Hexahidrát
2,66	4	Dolomit	3,19	10	Földpát	3,03	3	Kalcit
2,49	3	Kalcit	3,03	18	Kalcit	2,88	2	Dolomit
2,45	11	Kvarc	2,88	3	Dolomit	2,85	2	Gehlenit
2,28	9	Kvarc	2,85	1	Gehlenit	2,81	11	Hexahidrát
2,23	5	Kvarc	2,75	5	Vaterit	2,66	3	CF ?
2,13	5	Kvarc	2,69	4	C ₃ A ?	2,54	2	Földpát
2,09	2	Kalcit	2,66	4	CF ?	2,45	13	Kvarc
1,98	6	Kvarc	2,48	4	Kalcit	2,43	5	Hidrargillit
1,87	2	Kalcit	2,45	10	Kvarc	2,30	7	Hexahidrát
1,81	17	Kvarc	2,37	2	Hidrargillit	2,28	17	Kvarc
1,67	6	Kvarc	2,28	10	Kvarc	2,23	6	Kvarc
1,54	11	Kvarc	2,23	5	Kvarc	2,12	7	Kvarc
			2,12	5	Kvarc	2,04	10	Hexahidrát
			2,09	2	Kalcit	1,97	5	Kvarc
			2,06	3	Vaterit	1,81	19	Kvarc
			1,97	6	Kvarc	1,74	4	Hexahidrát
			1,91	2	Kalcit	1,68	2	Hexahidrát
			1,87	3	Kalcit	1,67	11	Kvarc
			1,81	18	Kvarc	1,54	11	Kvarc
			1,67	6	Kvarc			
			1,60	2	Kalcit			
			1,54	10	Kvarc			

szemben a 12. ábrán még megtalálhatók a trikalcium-aluminát-hexahidrát jellemző vonalai annak jeléül, hogy itt a beton felbomlása még nem fejlődött be. Ez is azt bizonyítja, hogy a beton szerkezetének felbomlása, illetve a C₃AH₆ átalakulása elsősorban a CO₂ hatására megy végbe, és ez a folyamat elég hosszú.

A röntgendiffraktogramok értékelését az 1. táblázatban adjuk meg.

A közölt röntgenfelvételek sajnos nem adnak választ az aluminátcementekből készült betonok egy érdekes jelenségére, az elszíneződésre. Ismeretes az a színváltozás, amelynek megjelenése a gyakorlati tapasztalatok szerint összeesik az aluminátcementek szilárdságának jelentős csökkenésével.

Nem tűztük ki magunk elé ennek a kérdésnek a részletes vizsgálatát. Ezen a helyen csak annyit, hogy az az elszíneződés a kísérő fénoxidok oxidációs jelensége: és nincs szoros kapcsolatban az aluminát-hidrátok átalakulásával, jöllehet a C₃AH₆-ban az Al₂O₃-ot vagy ennek egy részét Fe₂O₃ helyettesítheti.

Reméljük, hogy erről a kérdéstről lesz még alkalmunk bővebbet hallani, mert az aluminátcementek egy, még tisztázatlan területére mutat rá.

A 4—8. ábrákból látható, hogy a teljesen átalakult, sőt a felbomlott betonszerkezetnek is még tekintélyes szilárdsága van még akkor is, ha ez

töredéke csak az eredeti, vagy maximális szilárdsági értékeknek.

Előljáróban rá kell mutatni arra, hogy az ismertett betonvizsgálatok rendkívül gondosan készített és évtizedeken át laboratóriumi körülmények között tárolt próbatestek adatait tükrözik. A beton állapotának és szilárdsági értékeinek megítélésénél ezt a körülményt feltétlenül szem előtt kell tartanunk.

A teljesen felbomlott aluminátcementek maradék-szilárdságát az okozza, hogy az aluminátcementeknél is képződik gél: az alumínium-hidroxid gél, hasonlóan nagy felülettel, mint a tobermorit gél, de szilárdsági tulajdonságaiban sokkal kevésbé értékes. Az alumínium-hidroxid gél, éppen nagy felületénél fogva, de azért is, mert a kolloid állapothól igen lassan mikrokristályos állapotba megy át, bizonyos szilárdságot képvisel, és átveszi a hidratvegyületek szilárdságának egy részét. Ezért nem hullik szét az aluminátcement-beton annak ellenére, hogy a teljes felbomlás stádiumába került.

Súlyosbítja a helyzetet a beton porozitása, (lazán készített beton), a betonacél korróziójának nagymérvű kifejlődése, a vasszerkezet tönkremenése. A fenti tényezők kedvezőtlen összjátéka esetén a beton szilárdságának teljes elvesztésével is számolni kell. Ezért nem lehet az aluminátcementet szerkezeti anyagként felhasználni.

Aluminátcementek alkalmazásánál fő feladat tehát a beton tömörségét biztosítani. Tömör beton kizárja a különféle korróziós hatások gyors bekövetkezését. Fontos tennivaló megakadályozni, hogy a betonlétesítmények a kritikus 20°C hőmérséklet fölé emelkedjenek. Az átalakulás termodinamikai feltételeit ezzel ugyan nem szüntettük meg, de sebességét lelassíthatjuk.

Hol szabad mindezek után felhasználni aluminátcementet? Sokszor elmondtuk már, ez alkalommal is csak idézhetünk. Sürgős, gyors, ideiglenes jellegű épületeknél, duzzadó cement gyártásánál, hő- és tűzállóbetonok készítésére, injektálásra és általában olyan esetekben, mikor a gyors szilárdulás, a nagy kezdőszilárdság rendkívül fontos és a későbbi szilárduláságsökkenés nem számít.

Általános építőipari felhasználásra változatlanul és határozottan el kell utasítani az aluminátcementeket.

IRODALOM

- [1] *Talabér, J.* (1956): Az aluminátcementek kötésénél és szilárdulásánál lejátszódó fizikai-kémiai folyamatok. *Építőanyag* 8 161, 202, 295, 349.
- [2] *Dolezsi, K.* (1964): Az aluminátcement új gyártástechnológiája és időállósága. *Építőanyagipari Központi Kutató Intézet jelentése.*
- [3] *Talabér, J.* (1962): Az aluminátcement-betonok. *Építőanyag* 14 90.
- [4] *Brunauer, S.* (1967): A megszilárdult portlandcement-pép és beton szerkezete. *Építőanyag* 18. 441
- [5] *Lavanant, F.* (1965): Contribution à l'étude de quelques aluminates de calcium hydratés. *Revue des matériaux* 1, 76, 193, 251, 298.
- [6] *Schwiete, H. E., Ludwig, U. és Müller, P.* (1965): Vizsgálatok kalciumaluminátokkal. *Építőanyag* 17 157.
- [7] *Talabér, J.* (1955): Kandidátusi értekezés.
- [8] *Kupzog, E., Leers, K. J. és Rauschenfels, E.* (1966): Der pH-Wert von hydratisierten Calciumaluminaten und Tonerdezement. *Tonindustrie Zeitung* 90 155.

Talabér József: Hosszú időre kiterjesztett vizsgálatok aluminátcementekkel.

Különböző gyártmányú aluminátcementekről készített szuszpenziók, pépek és betonok kémiai, mineralógiai és szilárdsági tulajdonságait vizsgáltuk meg; a vizsgálatok maximális időtartama meghaladta a 28 évet. Megállapítottuk, hogy a kezdeti nagy szilárdságot biztosító hexagonális kalcium-aluminát-hidrát fázisok az idők folyamán átmenetileg átalakulnak a stabilisabb, szabályos rendszerű trikálcium-aluminát-hexahidrattá, de a folyamat végső állapota a termodinamikailag stabilis alumínium-hidroxid (hidrargillit) és kalcium-hidroxid (portlandit). CO_2 jelenlétében az átalakulási folyamat gyorsabb és $\text{Ca}(\text{OH})_2$ helyett CaCO_3 keletkezik kalcit vagy vaterit alakjában. Valamennyi átalakulási termék csökkent szilárdságú vagy szilárdságot egyáltalán nem hordoz. E bomlási folyamatok elkerülhetetlenek, ezért aluminátcementekkel készült betonokat — tekintet nélkül a cementgyártási technológiára — szerkezeti anyagként nem szabad felhasználni. A következtetéseket több évtizedes aluminátcement betonépületek anyagának vizsgálata teljes mértékben alátámasztotta.

Talabér, József: ДОЛГОСРОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ.

Исследовались химический и минералогический состав, а также прочностные показатели суспензий, паст и бетонов, приготовленных на глиноземистых цементах различного происхождения, причем максимальных срок испытаний превзошел 28 лет.

Установлено, что гексагональные гидроалюминатные фазы, обеспечивающие большую начальную прочность, со временем переходят в более стабильную кубическую форму, но этим процесс не заканчивается, так как конечными фазами перехода являются термодинамически стабильные гидроокись алюминия (гидраргиллит) и гидроокись кальция (портландит). В присутствии CO_2 процесс превращения ускоряется, а вместо $\text{Ca}(\text{OH})_2$ образуется CaCO_3 в виде кальцита или ватерита. Все продукты превращения обладают меньшей прочностью, или совершенно не являются носителями прочности.

Так как эти процессы разложения неизбежны, бетоны на глиноземистых цементах — независимо от технологии производства последних — не допускается использовать в качестве конструктивного материала. Эти выводы полностью подтвердились при исследовании материалов бетонных сооружений, построенных несколько десятилетий назад на глиноземистом цементе.

Talabér, József: Andauernde Versuche mit Tonerdeschmelzementen

Es wurden Suspensionen, Breie und Betone, hergestellt aus Tonerdeschmelzementen verschiedenster Herkunft, chemischen, mineralogischen und Festigkeitsprüfungen unterworfen; die Höchstdauer der Untersuchung überschritt 28 Jahre. Man hat festgestellt, daß die anfangs beträchtliche Festigkeit sichernden hexagonalen Calcium-Aluminathydrat-Phasen im Laufe der Zeit vorübergehend in eher stabiles, im orthogonalen System kristallisierendes Tricalciumhexahydrat übergehen, dennoch bilden die Schlußphase des Voranges das thermodynamisch stabile Aluminiumhydroxyd (Hydrargillit) und das Calciumhydroxyd (Portlandit). In Gegenwart von Kohlendioxyd erfolgt der Umwandlungsprozeß schneller und es entsteht anstatt von Calciumhydroxyd Calciumcarbonat, in Form von Calzit oder Vaterit. Sämtliche Umwandlungsprodukte besitzen eine niedrigere Festigkeit oder aber überhaupt keine. Diese Zersetzungsprozesse sind unvermeidlich, also darf man Tonerdeschmelzemente — wie sich auch die Erzeugungstechnologie des Zements gestaltete — als Bauelemente (Gefügeb Bestandteile) nicht anwenden. Die Folgerung wurde durch die Prüfung des Materials von jahrzehntealten Bauten durchwegs unterstützt. (S. G.)

Talabér, József: Long-time Studies with High-alumina Cements

Chemical, mineralogical and strength properties of suspensions, pastes and concretes made with different sorts of high-alumina cements were investigated for periods exceeding 28 years. The early high strengths were due to hexagonal calcium aluminate hydrate phases; these, however, are transformed into the more stable cubic tricalcium aluminate hexahydrate during longer periods and are finally converted into the thermodynamically stable aluminium and calcium hydroxides (hydrargillite and portlandite, respectively).

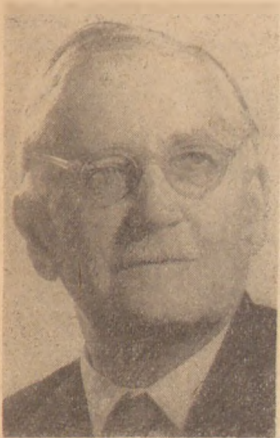
The transformation process is more rapid in the presence of carbon dioxide; in this case CaCO_3 (calcite or vaterite) is formed instead of $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Transformation products are of decreased strength or carry no strength at all. These transformation processes are unavoidable, therefore concretes made with high-alumina cements must not be used as structural units, irrespectively from the manufacturing technology of cement. The conclusions are supported by the investigation of actual concretes made with high-alumina cements several decades ago and used as structural units in buildings for this period.

Ünnepelünk



Dr. Korach Mór akadémikus, Egyesületünknek 1958—1966. években elnöke, lapunknak 1959 óta főszerkesztője, sokirányú tudományos és társadalmi lekötöttségére való tekintettel, még múlt évi közgyűlésünk összehívása előtt, Egyesületünkben viselt mindkét tisztsége alól felmentését kérte. A közgyűlés az új tisztikar választásánál figyelembe vette Korach professzor ezen kívánságát, egyúttal Egyesületünk vezetésében, nemzetközi tekintélyének magasraemelésében és egyesületi lapunk irányításában szerzett érdemei elismeréseképpen és, hogy Egyesületünket ezután is támogassa, dr. Korach Mórt tiszteletbeli elnökké választotta.

Az Egyesület új elnöksége és az „Építőanyag” szerkesztőbizottsága ezúton is megköszöni Korach professzor áldozatos munkáját.



Dr. Berezky Endre ny. egyetemi tanárt, Egyesületünk volt elnökét, illetve társelnökét, akinek Egyesületünk vezetésében kifejtett működése szerencsésen egyeztette össze a magasszintű elméleti tudást a gyakorlati érzékkel, és akinek tevékenysége — szóban és írásban — különösen Cementszakosztályunk új nemzedékének szolgált hatékony irányításul, közgyűlésünk ugyancsak tiszteletbeli elnökké választotta. Ismerve dr. Berezky Endre aktivitását, bízunk abban, hogy új tisztségében is számos módot fog találni arra, hogy Egyesületünk munkáját javítsa és eredményesebbé tegye.

Ez alkalommal szívből jövő jókívánságainkat küldjük el Berezky professzornak abból az alkalomból is, hogy 1966. XI. 8-án töltötte be 70. életévét.



Dr. Albert János kutató-vegyésszermérnök, a Durvakerámiai Szakosztály egyik alapító tagja és dús tapasztalatú előadója, az „Építőanyag” nívós és termékeny cikkírója most töltötte be 70. életévét. Ez alkalommal nagyrabecsüléssel és szeretettel üdvözöljük. Szívből kívánjuk, hogy eredményekben gazdag munkásságát még sokáig folytassa a tudomány, Egyesületünk, a Durvakerámiai Szakosztály és lapunk javára.

Az Egyesület 1966. december 9-én megtartott ügyvezető elnökségi ülése mindhárom tagtársunkat bensőséges ünneplésben részesítette.

Talabér József

A megszilárdult portlandcement-pép és beton szerkezete, II.

BRUNAUER STEPHEN
(Clarkson College of Technology, Potsdam, N. Y., USA)

A megszilárdult pép és beton szilárdsága

Abrams (1918) „Betonkeverékek tervezése” című könyvében bevezette a víz/cement tényezőt; ez a tényező az

$$S = A/B^{(w_0/c)} \quad (2)$$

képlet kitevőjében szerepel. A képletben A és B empirikus állandók, az S a beton nyomószilárdságát adja meg. Az eredeti Abrams-féle képletben az A és B tényezők értéke arra az esetre vonatkozik, ha a szilárdságot font/négyzethüvelyk egységben adjuk meg; természetesen az állandók más egységekre is átszámíthatók. (Abrams eredeti munkájában 15 cm átmérőjű és 30 cm magas betonhengereket vizsgált 28 nap szilárdulási időtartam után; ha a szilárdságot angolszász mértékegységben fejezzük ki, $A = 14\,000$, $B = 7$). Mint már láttuk, a víz/cement tényező tulajdonképpen a megszilárdult pép porozitására jellemző; a (2) egyenlet tehát a beton szilárdságát a megszilárdult pép porozitásával hozza összefüggésbe. Mint láttuk a képletben a víz/cement tényező a kitevőben szerepel, azaz a beton nyomószilárdsága a portlandcement-pép porozitásával igen erősen, exponenciálisan csökken.

Hasonló egyenletek tömegét állították fel, melyekben mindig szerepel a víz/cement tényező. Ennek az a következménye, hogy szinte betontechnológiai alaptétellé vált: „a víz/cement tényező határozza meg a beton szilárdságát”. Ez a megállapítás nem teljesen helytálló: a beton szilárdságát a portlandcement-pép szilárd halmazállapotú része határozza meg; a pórusok csak az ilyen módon meghatározott szilárdságot csökkentik.

Powers és Brownard (1947) idézett munkájukban megvizsgálták a pép szilárdanyag-tartalmát és nyomószilárdságát. Kimutatták, hogy a hidratáció előrehaladásával a szilárd anyagok térfogata nő és a pórustérfogat csökken. A szilárd anyagok rendelkezésére a kötés során a víz által a keverés időpontjában elfoglalt térfogat, w_0 áll. Ahogyan a szilárd hidratációs termék térfogata nő a kötés során, úgy csökken a pórusok térfogata; ezzel együtt jár a pép szilárdságának növekedése.

A hidratáció során egyre több és több víz kötődik meg kémiai erővel. A kémiaiag kötött vízmennyiség, w_n meghatározható, rendszerint ezt az értéket, vagy ennek valamely származékát tekintik hidratációs foknak. A szilárd hidratációs termékek által elfoglalt térfogat tehát arányos lesz a w_n/w_0 hányadossal. Powers és Brownard vizsgálatai szerint a portlandcement-pép szilárdsága és a fenti hányados közötti összefüggés lineáris. Angol-

szász mértékegységeket használva az egyenlet a következő:

$$S = 34\,200 w_n/w_0 - 3600$$

A felület nagysága és a kötőerők közötti összefüggést már korábban tárgyaltuk. Tekintettel arra, hogy a hidratálatlan cement felülete a hidratációs termékek felületéhez képest elhanyagolható, a hidratáció előrehaladása jól követhető a fajlagos felület mérésével. Erre a célra legjobban az adszorpció eljárás használható. A BET egyenletben szerepel a V_m érték, mely a teljes rendelkezésre álló felület monomolekuláris befejezéséhez szükséges vízmennyiség súlyát adja meg. A V_m/w hányados tehát a gél/térfogataránnyal arányos lesz; c viszony alatt a rendelkezésre álló teljes térfogat cementgéllal kitöltött részét értjük. Powers és Brownard vizsgálatai szerint igen sok cement vizsgálatának átlagértékei alapján a megszilárdult pép nyomószilárdsága a w_n/w_0 lineáris függvénye;

$$S = 120\,000 V_m/w_0 - 3600 \quad (4)$$

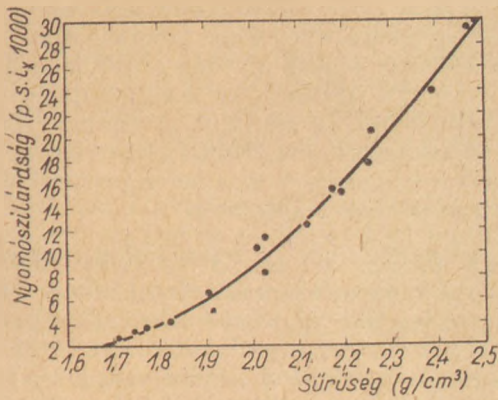
(A fenti numerikus értékek ismét csak angolszász mértékegységekre vonatkoznak.)

A (3) és (4) egyenletek tulajdonképpen csak kis trikalcium-aluminát tartalmú cementekre vonatkoznak; azonos gél/térfogat viszony esetében nagy trikalcium-aluminát tartalmú cementek kisebb szilárdságot adnak. Ezt a jelenséget Bogue és Lerch (1934) már korábban észrevették; vizsgálataik szerint a szilikátos klinkerásványokból készített pépek végszilárdsága lényegesen nagyobb volt, mint a teljesen hasonló módon nem szilikátos klinkerásványokból készített pépeké. Ebből is látható, hogy a tobermorit gél a megszilárdult portlandcement szilárdságának legfőbb (bár nem egyedüli) hordozója. Lerch (1946) kimutatta, hogy a nagy trikalcium-aluminát tartalmú cementek szilárdsága növelhető, ha a cementhez a szokásosnál nagyobb mennyiségű gipszkövet örlik. Ez arra utal, hogy a szilárdság kialakulásában a kalcium-aluminát-szulfátok (ettringit és monoszulfát) is szerepet játszik.

Powers (1949) a gél/térfogat viszonyra vonatkozó elméletét tovább finomította és a valóságot jobban leíró bár bonyolultabb egyenleteket állított fel, mint a (4) egyenlet. Ennek részletes tárgyalását azonban mellőzzük; jelen szempontból teljesen elégséges, ha a gél, illetve pontosabban a gél óriási felületének jelentősége tisztán áll előttünk.

Mint már láttuk, nem a felület az egyetlen tényező; a (2) egyenletből is világosan látszik a porozitás fontos szerepe. A víz/cement tényező csökkenésével együtt jár az összes porozitás és a pórusméretek csökkenése. Amikor a víz/cement tényező kb. 0,35-nél kisebb, a hidratáció már nem lehet teljes, mert a nagy pórusok egyre inkább megtel-

* A Nyolcadik Szilikátipari Konferencián elhangzott vezető előadás második része. Az első rész megjelent *Építészeti Lapok* 18 [12] p. 441. (1966).



4. ábra

nek hidratációs termékekkel és végül nem marad elég pórus, mely a kristályok növekedését lehetővé teszi. Ha a víz/cement tényező ennél a határértéknél is kisebb, a hidratáció egyre kevésbé teljes, a teljesen megszilárdult pépek egyre kevesebb és kevesebb gél tartalmaznak, azaz a szilárdságot hordozó felületi erők mértéke is egyre kisebb, de ennek ellenére a szilárdság tovább nő, mert a porozitás csökkenésének hatása nagyobb mértékű mint a csökkenő géltartalom hatása. Ez jól látható a 4. ábrán (Greening, 1964 nyomán), amelyben a megszilárdult pép nyomószilárdságát ábrázoltuk a pép sűrűségének függvényében. [Az ábrán keresztrel jelölt adat Powers és Brownyard (1947), az üres körökkel jelölt adatok Wischers (1961)-től származnak.]

A 4. ábrán látható valamennyi adat vízzel telített pépekre vonatkozik. Ha a pépeket kiszárítjuk, a nyomószilárdság nő, a túlságosan nagymértékű szárítás azonban repedezéshez vezet, mely természetesen csökkenti a szilárdságot. A szárítás hatására ugyan a pép térfogata csökken, de az ebből adódó sűrűsénövekedés nem volna elegendő ahhoz, hogy a szilárdság növekedést magyarázza. Sokkal fontosabb az, hogy a víz eltávolításával együtt jár a felületek jobb kontaktusa; az adhéziós erő a csökkenő távolsággal igen nagy mértékben növekszik.

A szilárdulás folyamata a végszilárdságot nagymértékben befolyásolja. A hőmérséklet vagy a cementfinomság növekedése gyorsabb szilárdulási ütemet és ezzel nagyobb kezdőszilárdságot, de kisebb végszilárdságot ad. E jelenség oka egyszerűen magyarázható; mint már láttuk a szilárdságot hordozó fázis, a tobermorit-gél rendkívül vékony gyűrt lemezekből áll. Ilyen rendszer az eszményi egyensúly állapotát sohasem érheti el, de ennek ellenére a minimális energia, illetve ennek megfelelően a maximális kötőerő állapota felé törekszik. Ha az állapot eléréséhez hosszabb idő áll rendelkezésre — azaz ha a hidratációs folyamat lassú — a rendszer közelebb lesz az elérhető minimális energia, illetve maximális szilárdság állapothoz.

Az adhéziós erők jellegükre nézve Van der Waals-erők, de kisebb mértékben vegyértékerők is közrejátszanak. A tobermorit-gél kolloidkémiai szempontból „korlátozottan duzzad”: kismérték-

ben duzzad ugyan vízben, de enyvhez hasonló teljes diszpergálódás sohasem következik be. Ennek oka az, hogy a gélrészecskéket, legalábbis egyes pontokon kémiai vegyértékerők tartják össze. E pontok száma azonban nem lehet nagyon nagy; ezt a megfigyelt kismértékű húzószilárdság igazolja. Mint ismeretes, a portlandcement-pép és a beton húzószilárdsága a nyomószilárdságnak csak mintegy egytizede, míg ha a kémiai kötés a gélrészecskékhöz adhéziójában lényegesen nagyobb szerepet játszana, a széthúzáshoz szükséges erőnek is sokkal nagyobbak kellene lennie.

A beton nyomó- és húzószilárdsága kisebb, mint a megszilárdult pépé, sőt kisebb mint az adalékanyagé. Ebből a tényből és számos más kísérleti megfigyelésből is (pl.: Hsu és munkatársai, 1963) világossá válik, hogy a beton törése az igénybevétel hatására az adalékanyag felülete és a cementgél között kezdődik.

A megszilárdult pép és a beton permeabilitása

Porózus anyagon átáramló folyadék áramlási sebességét a Darcy-törvény írja le:

$$\frac{dq}{dt} \frac{l}{A} = K_1 \frac{\Delta h}{L} \quad (5)$$

ahol $\frac{dq}{dt}$ az áramlás sebessége, [cm³/sec]

A a porózus anyag keresztmetszeti területe, [cm²]

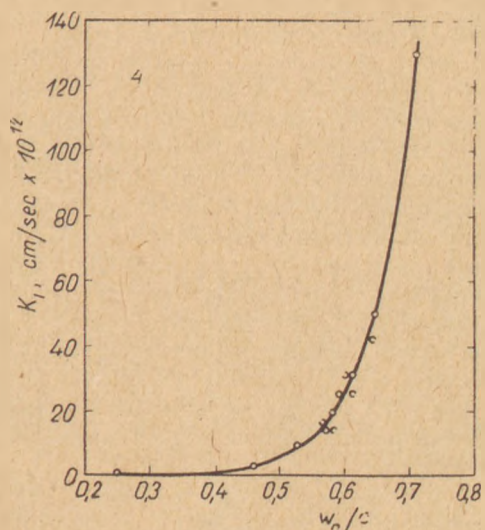
L a porózus anyag vastagsága, [cm]

Δh a nyomáskülönbség, [cm]

K_1 a porózus anyag permeabilitása, [cm/sec/

Az 5. ábrán látható a megszilárdult portlandcement-pép permeabilitása és a víz/cement tényező közötti összefüggés. Meglepően alacsony a K_1 értéke: a $V_0/c = 0,41$ mellett a permeabilitás kb. azonos mértékű, mint a rendkívül finom szemcsés tömött márvány esetében, míg $V_0/c = 0,70$ esetében kb. megfelel a szokványos grániténak.

Ez a tény rendkívül meglepő, ha figyelembe vesszük azt, hogy a márvány és a gránit porozitása kisebb mint 1%, míg a kétféle portlandcement-pép



5. ábra

porozitása 34, illetve 53%. Nyilvánvaló, hogy *nem az összes porozitás* határozza meg a permeabilitást.

Kozeny elméleti és Carman kísérleti munkája nyomán (1941) a permeabilitási tényezőt az alábbi képlet jellemzi:

$$K_f = \frac{k \cdot \varepsilon \cdot r^2}{\eta} \quad (6)$$

ahol η a folyadék viszkozitása.

ε az összes porozitás,

r a pórusrendszer hidraulikus sugara.

k állandó.

Az egyenletből világosan látható, hogy a pórusméret az összes porozitásnál nagyobb mértékben befolyásolja a permeabilitást. A hidraulikus sugár (r) alatt a porozitás/pórusfal-felület hányadosát értjük. A pórusfalak felületének nagyságát tehát a (6) egyenlet segítségével ki lehet számítani, ha a K_f -et ismerjük. Az ilyen módon kiszámított felület nagyon közel esik a megszilárdult portlandcement-pép BET-eljárással meghatározott teljes felületéhez. Ez azt jelenti, hogy a víz a teljes pórusrendszeren át közlekedni képes. Ha csak a pépben levő nagy pórusok rendszere volna összeköttetésben, a pórusfalak előbbi módon kiszámított felülete lényegesen kisebb, illetve a permeabilitási tényező lényegesen nagyobb kellene hogy legyen. Ez arra mutat, hogy a nagy pórusokat egymástól kisméretű pórusok választják el. Meg kell jegyeznünk, hogy 0,70-nél nagyobb víz/cement tényező esetében az előbbi már nem áll fenn; ilyenkor a nagy pórusok között az összeköttetés közvetlen, sőt a fagyasztás hatására fellépő jégképződés sebességéből arra lehet következtetni, hogy még 0,45 víz/cement tényező esetében is beszélhetünk viszonylag kisszámú közvetlenül összeköttötött nagy pórusról. Ezek száma azonban oly kevés, hogy a permeabilitást nem befolyásolja. (Helmuth 1962.)

Az 5. ábrán látható görbe azt mutatja, hogy a permeabilitás a víz/cement tényezővel folytonosan és igen erősen növekszik; sokkal nagyobb mértékben, mint a porozitás. Az első táblázatban mértük, hogy ha a víz/cement tényező 0,35-ről 0,70-re nő, a porozitás kereken megduplázódik, ugyanakkor a permeabilitás megszázszorozódik. A pórusok sugara ugyancsak nő, és ez a növekedés is természetesen lényegesen gyorsabb, mint a porozitás növekedése (Mikhaíl és munkatársai, 1964).

Az előbb elmondottak teljesen megszilárdult pépekre vonatkoznak. A szilárdulás korábbi szakaszában az összes porozitás és a pórusméret is nagyobb, és közvetlen összeköttetés áll fenn a nagyméretű pórusok között. Verbeck (1956) adatai szerint a víz/cement tényezőt 0,8-ről 0,4-re csökkentve a permeabilitás ezredrészére csökken (teljesen megszilárdult pépek esetében); ugyanakkor a nagyobb víz/cement tényezővel készített pép permeabilitása ugyancsak ezredrészére csökkent 7 napostól 1 éves korig. A kétféle függvény szuperponálódását tekintve véve a 0,8 víz/cement tényezővel készített 7 napos és a 0,4 víz/cement tényezővel készített 1 éves minták permeabilitása között egymilliószoros különbség van.

A beton permeabilitása rendszerint lényegesen nagyobb, mint a megszilárdult portlandcement-pép permeabilitása. Czernin (1962) vizsgálata sze-

rint még igen tömör pép és tömör adalékanyag esetében és gondosan ellenőrzött laboratóriumi körülmények között is gyakorlatilag elkerülhetetlen az, hogy a pép és adalékanyag között kapilláris méretű terek üresen ne maradjanak. Az adalékanyag és a portlandcement pép közötti kötés erőssége tehát nemcsak a szilárdságot, de a beton permeabilitását is nagymértékben befolyásolja.

A megszilárdult pép és beton térfogatváltozásai

A megszilárdult pép és beton térfogatváltozásaiért számos tényező lehet felelős. Térfogatváltozásokat okozhat pl. a portlandcement egyes alkotóinak lassú hidratációja. Jellegzetes példa erre a cementben levő magnézium-oxid jellegzetes, lassan lezajló hidratációs folyamata; a keletkező magnézium-hidroxid térfogata nagyobb mint a kiindulási oxidé volt. Ha a cement magnézium-oxid tartalma egy bizonyos meghatározott mennyiségnél nagyobb, a megszilárdult pép szerkezete az időben lassan lezajló térfogatnövekedésnek nem tud ellenállni és ennek következtében a pép vagy beton megreped. Hasonló a helyzet a portlandcementben megmaradó, reagálatlan, túlégetett mészes esetében. A cement gipsztartalma igen sebesen reagál a trikálcium-alumináttal és vízzel (valamelyik kalcium-aluminát-szulfát keletkezése közben), de később e reakció sebessége lényegesen esik. A cement túlságosan nagy gipsztartalma esetén a megszilárdulás szakasza során keletkező aluminát-szulfát a magnézium-, illetve kalcium-oxidhoz hasonló belső feszültséget okozhat.

Térfogatváltozások állhatnak elő a hidratált cement egyes fázisai és más anyagok között. Így például a cement-pép alkálitartalma reagálhat bizonyos karbonátos vagy szilikátos természetes adalékanyagokkal; vagy szulfátion-tartalmú oldatok (pl. tengervíz, szulfátos talajvizek stb.) reagálhatnak a trikálcium-aluminát, sőt kisebb mértékben a két kalcium-szilikát hidratációs termékével. Mindkét esetben duzzadást okozó, nem kívánatos folyamatokról van szó, melyek a cement-pép és beton tönkremenetelét okozhatják.

Ha a portlandcement, és szükség esetén az adalékanyag összetételét gondosan ellenőrizzük, az említett térfogatváltozások a minimumra szoríthatók és káros behatásai teljesen kiküszöbölhetők. Van azonban néhány, többé-kevésbé elkerülhetetlen folyamat, mely ugyancsak térfogatváltozásokat idézhet elő. Ezek olyan természeti törvények következtében beálló változások, mint például a levegőben levő szén-dioxid hatása a megszilárdult pép alkotórészeire; ennek következménye egy úgynevezett karbonátos zsugorodás. (Verbeck, 1958). Ide sorolható a portlandcement-pép vagy beton pórusaiba behatoló vagy onnan eltávozó víz okozta térfogatváltozás. Ez utóbbi jelenséggel, fontossága következtében részletesebben is foglalkozunk. Az ilyen típusú térfogatváltozások két csoportra oszthatók: (1) a megszilárdult pép illetve beton pórusaiban megfagyó víz által okozott duzzadás és a megolvadó víz által okozott zsugorodás és (2) a víznek a pórusokba vagy a pórusokból történő mozgása következtében fellépő duzzadási és zsugoradási jelenségek.

A pórusrendszerben lejátszódó fagyás és olvadás

A megszilárdult pép pórusrendszere, a környezet nedvességtartalmától függően több-kevesebb vizet tartalmaz. A víz megfagyása során térfogatnövekedés következik be, az ennek következtében fellépő helyi feszültségek a pép tönkremenetelét okozhatják.

Mint már korábban megállapítottuk, a pórusokban levő víz fagyás szempontjából másképpen viselkedik, mint azt megszoktuk. Minél kisebb a pórus mérete, annál alacsonyabb az a hőmérséklet, mely szükséges ahhoz, hogy a jégkristály-magok nagyobb kristályokká növekedhessenek. Helmuth (1962) számításai szerint 208 Å átmérőjű kapillarisokban a jégképződés csak -2°C , 35 Å átmérőjű pórusokban pedig csak -20°C hőmérséklet alatt indulhat meg. Tekintettel arra, hogy a megszilárdult cementpépben és a betonban igen nagy számú pórus mérete kisebb mint 35 Å, megállapíthatjuk, hogy a része a pórusrendszerben tartozkodó jelentős része a szokásos éghajlati viszonyok mellett sohasem fagy meg. Igen tömör, azaz kis víz/cement tényezővel készített pépek esetében az is elképzelhető, hogy a pórusrendszerben levő víz teljes egészében folyékony állapotban marad, még az elképzelhető leghidegebb tél esetében is. A gyakorlati betontechnológiában használt víz/cement tényezők mellett azonban a víz egy része megfagyhat; e vízmennyiség a víz/cement tényező növekedésével együtt növekszik.

Vizsgáljuk meg a fagy hatását először vízzel teljesen telített, megszilárdult pép esetében. Ha az úgynevezett „nagy” pórusok egymással és a külvilággal összeköttetésben állnának, a fagy hatására bekövetkező térfogatnövekedés a víz egy részét kinyomná a pórusrendszerből. Látjuk azonban, hogy a permeabilitási vizsgálatok döntő bizonyítékot szolgáltatnak arra, hogy a nagy pórusokat egymástól kis pórusok választják el. A víz áramlási sebessége azonban a keskeny, apró pórusokon keresztül rendkívül lassú; ennek következtében a nagy pórusokban megfagyó víz térfogatnövekedése szivattyúként sajtolja a víz egy részét a kis pórusokon keresztül a rendszer külseje felé. Az ilyen módon kialakuló *hidraulikus nyomás* nagysága a fagyási sebességtől, a pép permeabilitásától és a kis pórus és a pép külseje közötti távolságtól függ. Ha a hidraulikus nyomás túlságosan nagy, az anyag tönkremegy.

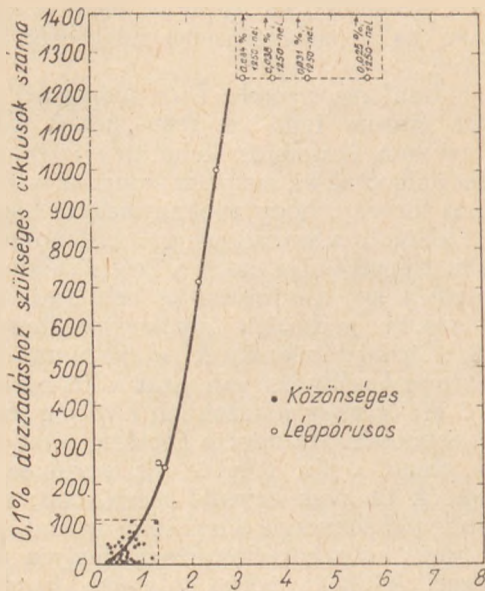
A fagyállóság kérdése tökéletes megoldást nyert az utóbbi időben az úgynevezett „légpórusos cementek” bevezetésével. Ha a cementet szappan- vagy gyantaszerű anyagokkal együtt őröljük, a víz hozzáadására milliószámra keletkeznek apró, csak mikroszkóppal látható légbuborékok. E légbuborékok nagysága lényegesen nagyobb, mint a megszilárdult cementpép nagy pórusainak mérete (a nagy pórusok csak elektronmikroszkóppal, a légpórusok közönséges mikroszkóppal is láthatók). Ha a fagyás megkezdődik, a hidraulikus nyomás csak a legközelebbi légpórusba sajtolja a még folyékony állapotban levő vizet, nem pedig a próbatest külsejére. Ilyen módon a hidraulikus nyomás nagymértékben csökkenthető; megfelelő mennyiségű

és térbeli elrendeződésű légpórus jelenléte esetén a hidraulikus nyomás sohasem növekszik káros mértékűvé.

A hidraulikus nyomás és a légpórus-képzés elméletét Powers 1945-ben tette közzé. Collins (1944) nyomán Powers és Helmuth (1953) másik elméletet dolgoztak ki, melynek alapja az a termodinamikai törvény, hogy minden magára hagyott rendszer állapota a szabad energia minimuma felé törekszik. Képzeljük el, hogy a beton valamelyik nagy pórusát jég, a környező és vele összeköttetésben levő kis pórusokat folyékony halmazállapotú víz tölti ki; tételezzük fel továbbá azt, hogy a rendszer egyensúlyban van, azaz a kis pórusokban levő víz és nagy pórusokban levő jég szabad energiái azonosak. Ha most a hőmérsékletet csökkentjük, mind a jég, mind a víz veszít szabad energiájából, de nem egyenlő mértékben; a víz magasabb szabadenergia-állapotban marad, mint a jég. Ennek az a következménye, hogy a víz a már jéggel kitöltött pórus irányába igyekszik hatolni. Az ilyen módon képződő nyomás nagyon hasonlít az ozmózis-nyomáshoz. A hasonlatosság még kifejezettebb, ha nem tévesztjük szem elől azt, hogy a víz oldott alkatrészeket tartalmaz. Amikor a nagy pórust részben víz, részben jég tölti ki, az oldott alkatrészek a folyékony fázisban feldúsulnak; ez a folyamat a fagyás előrehaladásával együtt egyre fokozódó mértékben folytatódik. A nagy pórusokban levő nagyobb koncentrációjú és a környező kis pórusokban levő hígabb oldatok között valódi ozmózis-nyomás is fellép, még akkor is, ha a pórus jeget és vizet egyidejűleg tartalmaz. Ez az elmélet, melyet „ozmózisnyomás”-elméletnek nevezhetünk, ugyancsak alkalmas arra, hogy a légpórusos cementek fagyállósági tulajdonságait megmagyarázza. A légpórusokban levő gél szabadenergia-állapota ugyanis alacsonyabb, mint a pórusrendszerben levő jégé. Ennek oka kettős: egyrészt a pórusokban levő jégkristályok mérete lényegesen kisebb, mint a légbuborékokban levőké, másrészt pedig a pórusokban levő jég, mint láttuk, nyomás alatt van. Mindkét tényező a szabad energia növekedésével jár, következésképpen a teljes rendszer szabad energiája akkor közelíti meg jobban a minimumot, ha a légpórusokban és nem a megszilárdult pép nagy pórusaiban következik be a víz megfagyása.

Mindkét elmélet képes arra, hogy az eddig végzett fagyasztási-olvasztási kísérletek eredményeit megmagyarázza. Az ozmózisnyomás-elmélet azonban esetleg egymagában is képes arra, hogy a jelenségeket értelmezze, míg a hidraulikus nyomás elméletét az ozmózis nyomással feltétlenül kombinálni kell.

A 6. ábra, melyet Verbeck (1952) nyomán közlünk, rendkívüli szembeeszköz módokon mutatja a légpórusos cement kiváló fagyállóságát. A betonkockákat váltakozva fagyhatásnak, majd olvasztásnak kitéve meghatározták azt a ciklusszámot, melynek hatására 0,1% duzzadás mutatkozott. Ha ezt a ciklusszámot a beton légpórus-tartalmának függvényében ábrázoljuk, feltűnik, hogy a légpórusokat nem tartalmazó betonok, tekintet nélkül a cementtartalomra, cementfajtára, őrlésfőm-



6. ábra

ságra és víz/cement tényezőre az ábra bal alsó sarkában a bekeretezett négyszögben helyezkednek el. Még a legjobb minőségű beton is csak mintegy 100 fagyasztási-olvasztási ciklust bír el. Ugyanakkor azonban 0,1% duzzadáshoz szükséges ciklusszám igen nagy mértékben megnövekedett légpórusos cementek használatára. Ha a légpórusok mennyisége az ajánlott 3–6% között volt, még 1250 ciklus után sem érte el a 0,1%-ot. Az ábra felső részén látható, hogy a kereken 6% légpórust tartalmazó beton esetében 1250 fagyasztási-olvasztási ciklus után a térfogatnövekedés mindössze 0,025% volt.

Az adalékanyag fizikai jellemzői és a fagyáslóság közötti összefüggést Verbeck és Landgren részletesen tanulmányozták.

Nedvességmozgás következtében beálló térfogatváltozás

A léghő nedvesség csökkenésének hatására a megszilárdult cementpép kiszárad és egyidejűleg zsugorodik; a léghő nedvességtartalmának növekedése fordított hatással jár. Ezek a folyamatok helyi feszültségeket eredményeznek, melyek mértéke oly nagy lehet, hogy a beton megreped. Mint láttuk, a fagyás hatására bekövetkező térfogatváltozások légpórusok bevitele útján megakadályozhatók; a száradási zsugorodás kérdését eddig nem sikerült megoldani.

A zsugorodás és duzzadás jelenségét a 7. ábrán mutatjuk be Helmuth és Turk (1964) nyomán. Az ábrán teljesen hidratált portlandcement-, illetve alitpép lineáris térfogatváltozásait a porozitás függvényében ábrázoltuk, 0,4 víz/cement tényezővel készült és 6 hónapig hidratált cementpép porozitása 34%. Ha ezt a pépet 100%-ról 47% nedvességtartalomra szárítjuk, az ábrából kiolvashatóan 0,425% lineáris zsugorodás következik be. Ha a cementpépet ismét vízzel telítjük, duzzadás következik be, de ennek mértéke kisebb lesz, mint az eredeti zsugorodásé, csak 0,215%. Az „irreverzibilis” zsugorodás tehát 0,210%. További

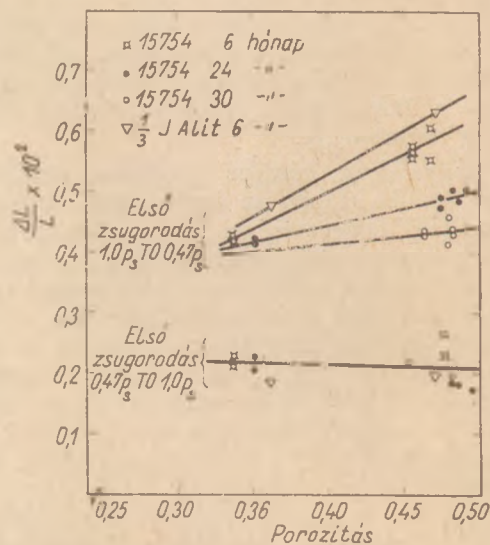
szárítási-nedvesítési ciklusok hatására bekövetkező zsugorodás, illetve duzzadás már reverzibilis.

Foglalkozunk először a reverzibilis folyamattal. A 7. ábrán látható, hogy a reverzibilis duzzadást, ill. zsugorodást a porozitás nem befolyásolja, azaz csak a pép szilárd része és a mozgó víz közötti kölcsönhatásra vezethető vissza. Ismeretes, hogy a folyadékok felülete mindig feszültség alatt van (felületi feszültség); teljesen hasonló a helyzet a szilárd anyagoknál is, azaz a szilárd anyagot a felületi feszültség kissé összenyomja. Ha a szilárd anyag felületén bármilyen anyag adszorbeálódik, a felületi feszültség csökken, az anyag belseje kisebb nyomás alá kerül; azaz a szilárd anyag kitágul. Ha tehát a cement-gél (javarészt tobermorit-gél) felületén víz adszorbeálódik, a gél duzzadni fog, a víz eltávolításának, illetve deszorpciójának hatására pedig zsugorodik.

A szilárd anyag felületén adszorbeált víz és az ennek következtében fellépő térfogatváltozások nagysága a szilárd anyag felületének nagyságától függ. Ha a fajlagos felület nem nagyon nagy, a szorpció következtében fellépő térfogatváltozások mérhetetlenül kicsinyek. A tobermorit-gél azonban, mint láttuk, rendkívül nagy fajlagos felülettel rendelkezik. A térfogatváltozások nagyságát természetesen a szilárd anyag összenyomhatósága is befolyásolja. E szorpció folyamatok fokozzák a megszilárdult cementpép reverzibilis térfogatváltozásait.

A 7. ábrán jól látható az irreverzibilis zsugorodás is; ezt, mint láttuk, a porozitás nagymértékben befolyásolja. A 48% körüli porozitású, 0,6 víz/cement tényezővel készült pépek irreverzibilis zsugorodása jóval nagyobb, mint a 34% porozitású, 0,4 víz/cement tényezővel készült pépeké. A porozitás hatása azonban idővel csökken; a 6 hónapig hidratált cementek térfogatváltozásainak porozitásfüggése jóval nagyobb mértékű, mint a 30 hónapos próbatestek esetében.

A megszilárdult cementpép irreverzibilis zsugorodását a tobermorit-gél szerkezetére lehet visszavezetni. Mint már láttuk, a stabilis tobermorit-



7. ábra

gél rétegeinek vastagsága 2—3 elemi molekulát tesz ki; az egyrétegű tobermoritlemezek instabilisak. Ha két egyrétegű tobermoritlemezből egy kétrétegű lemez alakul ki, a fajlagos felület felére csökken (a lemezek oldalirányú felülete elhanyagolható). A stabilitás folyamata tehát felületvesztéssel jár. Mivel azonban a zsugorodás és duzzadás mértéke a felület nagyságától függ, a stabilizáció eredménye az lesz, hogy a térfogat-változások mértéke is csökken. Az első duzzadás tehát kisebb mértékű lesz, mint az első zsugorodás. Rendszerint már az első zsugorodási folyamat alatt a szerkezet stabilizálódik, azaz a további térfogat-változásokat a felületváltozás már nem befolyásolja, az első duzzadás és a második zsugorodás gyakorlatilag azonos lesz; más szavakkal: a térfogatváltozás reverzibilitássá válik.

A tobermorit-gél felülete nemcsak a száradás következtében, de az idők folyamán spontán is csökken. A stabilizálódás folyamata tehát az első kiszáritás előtt is, folyamatosan, bár kisebb mértékben előre halad. Ez magyarázza azt a meglepő jelenséget, hogy az első szárítás hatására bekövetkező zsugorodás és az ezt követő duzzadás mértéke miért nagyobb a viszonylag fiatalabb próbatestek esetében.

A porozitás és az első zsugorodás összefüggésének magyarázatára meg kellene mérni, hogy a tobermorit-gél fajlagos felülete szárítás előtt nagyobb-e porózus pép esetében. Az erre vonatkozó kísérletek folyamatban vannak. Ha a kísérletek ezt a feltételezett hatást nem tudnák bizonyítani, a fenti elméletet a porozitás hatásával is ki kell egészíteni. Az elmélet azonban jelenlegi állapotában is alkalmas arra, hogy a 7. ábrán túlmenően is megmagyarázza a tapasztalt jelenségeket.

Az összes elmondott fejtegetések portland-cement-pépekre vonatkoznak. A habarcsok esetében fellépő térfogatváltozások kisebbek, betonokban pedig még sokkal kisebb mértékűek. Az adalékanyag ugyanis a pép térfogatváltozásait nagymértékben gátolja. Pickett (1956) elméleti alapon az alábbi összefüggést vezette le:

$$S = S_0 (1 - g)^a \quad (7)$$

ahol S a beton vagy habarcs zsugorodása,

S_0 a cementpép zsugorodása,

g az adalékanyag térfogata a beton vagy habarcs térfogategységére vonatkoztatva és a a pép és az adalékanyag rugalmassági együtthatójától függő állandó.

Igen nagyszámú habarcs vizsgálata esetén a fenti egyenlet jól használhatóan mutatta a homokszemcsék zsugorodás csökkentő hatását. A kb. 50% homokból és 50% cementpépből álló habarcs zsugorodása a tiszta cementpép zsugorodásának csak egyharmada.

*

A fentiekben kívántam összefoglalni a közlemény első részében lefektetett szerkezeti elvek alapján a megszilárdult pép szilárdságát, permeabilitását és térfogat-változásait. A rendelkezésre álló idő rövidsége nem tette lehetővé az elméletek mennyiségi értelmezését; ehhez, és a részletes értékeléshez nem folyóiratoikkra, hanem kisebb könyv-

re volna szükség. Mint már említettem, a megszilárdult pép és beton szerkezetére vonatkozó értelmezésünk még elég hiányos; de ezeknek az anyagoknak mérnöki tulajdonságaira vonatkozó tudásunk még sokkal nagyobb hiányosságokat mutat. Az utóbbi húsz évben e kérdések tisztázására igen kiterjedt kutatás folyt: remélem, hogy ez a rövid ismertetés az elért fejlődés eredményeiről legalább vázlatos áttekintést nyújtott.

IRODALOM

- Abrams, D. A. (1918): Bulletin 1, *Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute*. Chicago.
- Bogue, R. H. and Lerch, W. (1934): *Ind. Eng. Chem.* **26**, 837.
- Brunauer, S. (1963): *Structural Concrete* **1** 7, 293.
- Brunauer, S. and Copeland, L. E. (1964): *Scientific American* **210**, 4, 81.
- Brunauer, S., Emmett, P. H. and Teller, E. (1938): *J. Am. Chem. Soc.* **60**, 309.
- Brunauer, S., Kanro, D. L. and Copeland, L. E. (1958): *J. Am. Chem. Soc.* **80**, 761.
- Brunauer, S., Kanro, D. L. and Weise, C. H. (1959): *Can. J. Chem.* **37**, 714.
- Carman, P. C. (1941): *Am. Soc. Testing Materials Publication* **24**.
- Collins, A. R. (1944): *J. Inst. Civil Eng.* **23**, 29.
- Copeland, L. E. and Chang, T. N. (1964): s. a.
- Copeland, L. E., Kanro, D. L. and Verbeck, G. J. (1962): *National Bureau of Standards Monograph* **43**, **1**, 429.
- Copeland, L. E., Schulz, E. G. and Brunauer, S. (1960): *Silikattechnik* **11**, 367.
- Cranston, R. W. and Inkley, F. A. (1957): "Advances in Catalysis. Vol. IX." Academic Press, New York, p. 143.
- Czernin, W. (1962): *Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers*. Chemical Publishing Co., Inc., New York, p. 85.
- Feret, R. (1897): *Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale* **2**, 1604.
- Gurd, J. A., Howison, J. W. and Taylor, H. F. W. (1959): *Mag. of Concrete Research* **11**, 151.
- Greening, N. (1964): s. a.
- Helmuth, R. A. (1962): *Chemistry of Cement. Proc. of Fourth Int. Symp.* Washington 1960. **2**, 855.
- Helmuth, R. A. and Turk, D. H. (1964): s. a.
- Hsu, T. T. C., Slate, F. O., Sturman, G. M., Winter, G. and Olsefski, S. (1963): *J. Am. Concrete Inst., Proceedings* **60**, 209, 465, 575.
- Kantro, D. L., Brunauer, S. and Weise, C. H. (1961): *Advances in Chemistry Series*, **33**, 199.
- Kantro, D. L., Brunauer, S. and Weise, C. H. (1962): *J. Phys. Chem.* **66**, 1804.
- Lerch, W. (1946): *Proc. Am. Soc. Testing Materials* **46**, 1252.
- Mikhail, R. Sh., Copeland, L. E. and Brunauer, A. (1964): *Can. J. Chem.* **42**, 426.
- Pickett, G. (1956): *J. Am. Concrete Inst., Proceedings* **52**, 581.
- Powers, T. C. (1945): *J. Am. Concrete Inst., Proceedings* **41**, 245.
- Powers, T. C. (1949): *Am. Soc. Testing Materials Bulletin* No. 158, p. 68.
- Powers, T. C. and Brownyard, T. L. (1947): *J. Am. Concrete Inst., Proceedings* **43**, 101, 250, 469, 549, 699, 845, 865, 933, 971.
- Powers, T. C., Copeland, L. E., Hayes, J. C. and Mann, H. M. (1955): *J. Am. Concrete Inst. Proceedings* **51**, 285.
- Powers, T. C. and Helmuth, R. A. (1953): *Proc. Highway Research Board* **32**, 285.
- Verbeck, G. J. (1952): *Proceedings of the Twenty-Eighth Annual Convention of the Association of Highway Officials of the North Atlantic States*, p. 177.
- Verbeck, G. J. (1956): *Am. Soc. Testing Materials Special Technical Publication* No. 169, p. 136.
- Verbeck, G. J. (1958): *Am. Soc. Testing Materials Special Technical Publication* No. 205, p. 17.

Verbeck, G. J. and Landgren, R. (1960): *Proc. Am. Soc. Testing Materials* 60, 1063.

Wischers, G. (1961): *Schriftenreihe der Zementindustrie*, No. 28.

Brunauer, Stephen: A megszilárdult portlandcement-pép és beton szerkezete

A beton-adalékanyag szemcséit a lekötött portlandcement-pép köti össze. A beton mérnöki szempontból fontos tulajdonságainak legnagyobb részét elsősorban a megszilárdult portlandcement-pép határozza meg.

A megszilárdult pép porózus anyag, melynek szilárd fázisa két részből áll: rendkívül finomszemcsés kolloid anyagból, melyet cement-gélnek nevezünk és a cement-gélbe ágyazott nagyobb kristályokból. A cement-gél fő alkotórésze egy kalcium-szilikát-hidrát, melyet tobermorit-gélnek nevezünk; fajlagos felülete $300 \text{ m}^2/\text{g}$ nagyságrendű. A cement ragasztó hatását elsősorban az óriás gélfelület felületi ereje határozza meg. A felületi erők a felület kiterjedésétől és minőségétől függenek.

A megszilárdult pép porozitása az előzetesen hozzákevert víz mennyiségétől függ. Ha a víz/cement tényezőt $0,35$ -ről $0,70$ -re növeljük, a porozitás a pép teljes térfogatának kéreken $\frac{1}{4}$ részéről $\frac{1}{2}$ részre növekszik, a pórusok hidraulikus sugara (pórustérfogat osztva pórusfelülettel) $3,4 \text{ \AA}$ -tól 225 \AA -ig változik. A pórusrendszer kis és nagy pórusok csoportjára osztható. Kis pórusok az egyes gél szemcsék között, nagy pórusok a kis gél szemcsék agglomerációjából származó halmazok között fordulnak elő, de még a nagy pórusok mérete is a mikroszkópi feloldóképesség határára belüli van. Tömör cementpépben a nagy pórusok nem alkotnak összefüggő rendszert; a nagy pórusokat közbeékeltek kis pórusok választják el.

A megszilárdult portlandcement-pép előbbieken leírt szerkezete a pép és a beton három fontos mérnöki tulajdonságát jól megmagyarázza: a szilárdság, a vízáteresztőképesség és a térfogatváltozások jellegét. A szilárd anyag felülete és a pórus szerkezet alapján a többi betontulajdonság is kielégítően értelmezhető.

Брунауэр, С.: СТРУКТУРА ЗАТВЕРДЕВШЕГО ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА И БЕТОНА.

Зерна заполнителя в бетоне связываются между собой портландцементным тестом. Большая часть важнейших инженерных свойств бетона определяется в первую очередь именно затвердевшим портландцементным тестом.

Затвердевшее тесто является пористым материалом, твердая фаза которого состоит из двух частей: из необычайно тонкозернистого коллоидного материала, так называемого цементного геля, и из более крупных кристаллов, находящихся в этом геле. Главная составная часть цементного геля—один из видов гидросиликата кальция, называемого тоберморитовым гелем, удельная поверхность которого $300 \text{ м}^2/\text{г}$. Связывающее влияние цемента определяется в первую очередь огромной поверхностной энергией геля. Поверхностные силы зависят от величины и качества поверхности.

Пористость затвердевшего теста зависит от количества воды затворения. Если увеличивать водоцементное отношение от $0,35$ до $0,7$, то пористость теста будет увеличиваться от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ части от общего объема. Гидравлический радиус пор (частное от деления объема пор на поверхность пор) изменяется от $3,4 \text{ \AA}$ до 225 \AA . Поры могут быть разделены на группу мелких и крупных пор. Мелкие поры встречаются между отдельными зернами геля, крупные поры между скоплениями, образующимися за счет агломерации маленьких гелевых зерен. Необходимо отметить что размер крупных пор также лежит в границах микроскопической видимости. В плотном цементном тесте крупные поры не образуют связанных систем, так как мелкие поры разделяют их друг от друга.

На основе вышеописанной структуры затвердевшего цементного теста можно хорошо объяснить три важнейших инженерных свойства теста и бетона: прочность, водопроницаемость и изменение объема. На основе поверхности твердого материала и структуры пор можно дать объяснение также и другим свойствам бетона.

Brunauer, Stephen: Die Struktur der verfestigten Portlandzement-Paste und des Betons

Die verfestigte Portlandzement-Paste ist das Medium, in welchen die feinen und groben Bestandteile des Betons eingebettet sind. Die verfestigte Paste bestimmt in erster Reihe die wichtigsten technischen Eigenschaften des Betons.

Die verfestigte Paste ist ein poröses Material. Der feste Teil besteht teilweise aus einem sehr fein verteilten kolloidalen Material, dem sogenannten Zement-Gel und aus viel größeren, in Gel eingebetteten Kristallen. Der Hauptkomponent des Zement-Gels ist das Tobermorit-Gel, ein Kalziumsilikathydrat. Die spezifische Oberfläche des Tobermorit-Gels ist $\text{cca } 300 \text{ m}^2/\text{g}$ und die auf dieser riesigen Oberfläche vorhandenen Kräfte bringen in erster Reihe die zementierende Wirkung der Paste herbei. Größe und Eigenschaften der Oberfläche bestimmen die Oberflächenkräfte.

Die Gesamtporosität der Paste hängt von der dem Zement ursprünglich zugefügten Wassermenge ab. In dem Wasser-Zement Gewichtsverhältnis $0,35$ — $0,70$ steigt die Porosität der Paste von $\frac{1}{4}$ auf $\frac{1}{2}$. Der hydraulische Radius (Porenvolumen dividiert durch Porenwandfläche) erstreckt sich von weniger als $3,4 \text{ \AA}$ bis über 225 \AA . Das Porensystem besteht aus einem System kleinerer und einem System größerer Poren. Die ersteren sind Zwischenräume zwischen Gel-Teilchen, die letzteren Zwischenräume zwischen Anhäufungen von Gel-Partikeln. Sogar die großen Poren sind zu klein um mikroskopisch beobachtet werden zu können. In dichteren Pasten sind die großen Poren untereinander nicht verbunden, sondern durch kleine Poren voneinander getrennt.

Diese Auffassung über die Struktur der verfestigten Paste ist geeignet um dreie der wichtigsten technischen Eigenschaften der Paste und des Betons zu erklären: Festigkeit, Wasserundurchlässigkeit und Raumänderung. Auf die Bedeutung der Oberfläche des festen Körpers und der Porenstruktur wird mit Nachdruck hingewiesen.

Brunauer, Stephen: The Structure of Hardened Portland Cement Paste and Concrete

Hardened portland cement paste is the matrix in which the fine and coarse aggregate are embedded in concrete. Most of the important engineering properties of concrete are determined primarily by the hardened paste.

Hardened paste is a porous material. The solid part consists of two types of bodies: a very finely divided material of colloidal dimensions called cement gel, and much larger crystals embedded in the gel. The main constituent of cement gel is a calcium silicate hydrate called tobermorite gel. The specific surface area of tobermorite gel is of the order of $300 \text{ m}^2/\text{g}$, and the forces residing in this tremendously large surface are primarily responsible for the cementing action of the paste. The surface forces depend on the extent and the nature of the surface.

The total porosity of the paste depends on the amount of water initially mixed with the cement. In the water-cement ratio range from 0.35 to 0.70 , by weight, the porosity rises from about one-quarter of the volume of the paste to about one-half. The hydraulic radii (volume of pore divided by area of pore walls) range from less than 3.4 \AA to greater than 225 \AA . The pore system can be divided into a system of small pores and a system of large pores. The former are spaces between the gel particles, the latter are spaces between aggregations of gel particles. Even the large pores are too small to be visible in a microscope. In denser pastes, the large pores are not interconnected but are cut off from each other by small pores.

These concepts of the structure of hardened paste are employed to interpret three of the most important engineering properties of paste and concrete: strength, permeability to water, and volume changes. The role of the surface of the solid and of the pore structure is especially emphasized.

A nagy MgO-tartalmú cementek stabilizációjának mechanizmusa*

R O S A, J O S E F
(Építőanyagipari Kutató Intézet, Brno)

1. Bevezetés

A magnéziaduzzadás közismert problémáját nem szükséges e helyen ismertetni. A kutatók igen sok eredményt értek el e téren, de még nem sikerült minden kérdésre feleletet kapni. A mérés-technika mai fejlettsége lehetővé tette, hogy a cement hidratációja során a MgO viselkedéséről és annak okairól kibővítsük ismereteinket. Az utóbbi években sokat foglalkoztunk a problémával, és a következőkben munkánk legújabb eredményeit ismertetjük.

A cementek magnéziaduzzadását teljesen meg tudjuk szüntetni nagy aktív SiO_2 -t tartalmazó hidraulikus kiegészítő anyagok adagolásával. A hidraulikus kiegészítő anyagok közül a minimálisan 52% kovasavat tartalmazó porszénhamut találtuk legaktívabbnak, de felhasználható a kováföld, valamint más, olyan nagy SiO_2 -tartalmú ásvány is, amely egyébként megfelel a hidraulikus cementkiegészítő anyagokkal szemben támasztott követelményeknek. A cement stabilizálásához szükséges hidraulikus kiegészítő anyag mennyisége a klinker mésztelítési tényezőjétől és MgO-tartalmától függ.

2. A nagy MgO-tartalmú cementek fizikai tulajdonságai

Az elvégzett fizikai vizsgálatoknak fő célja az volt, hogy a laboratóriumi körülmények között készült termékeken kívül, az üzemileg előállított, stabilizált nagy MgO-tartalmú cement térfogatállóságát is ellenőrizzük.

A nagy MgO-tartalmú cementek térfogatállóságát az ASTM amerikai szabványban leírt autoklávpróbával vizsgáltuk.

A szabvány előírásaitól annyiban térünk el, hogy a vizsgálatok céljára $12 \times 1,5 \times 1$ cm méretű próbatesteket használtunk. Az autokláv próbák azt mutatták, hogy azok a stabilizált nagy MgO-tartalmú cementek, amelyeknél a vizsgálat során 1%-nál kisebb duzzadás lépett fel, térfogatállóak.

10 és 15% MgO-t tartalmazó, nagyüzemileg előállított klinkerekből porszénhamuval stabilizált cementsorozatokat állítottunk elő. Ezekből a csehszlovák szabvány előírásai szerint próbatesteket készítettünk. A próbatesteket 20°C -os vízben tároltuk és 8 éven át vizsgáltuk a szilárdság alakulását. A szilárdságvizsgálatok eredményeit az 1. táblázat mutatja.

A táblázatból látható, hogy az idő előrehaladásával a stabilizált cement nyomó- és húzószilárdsága állandóan növekszik. Ezzel szemben a nem

stabilizált cementeknél (1 és 3-as próba) elsősorban a húzószilárdság növekvő tendenciájában törés mutatkozik.

3. A stabilizált nagy MgO-tartalmú cementek hidratációjának mechanizmusa

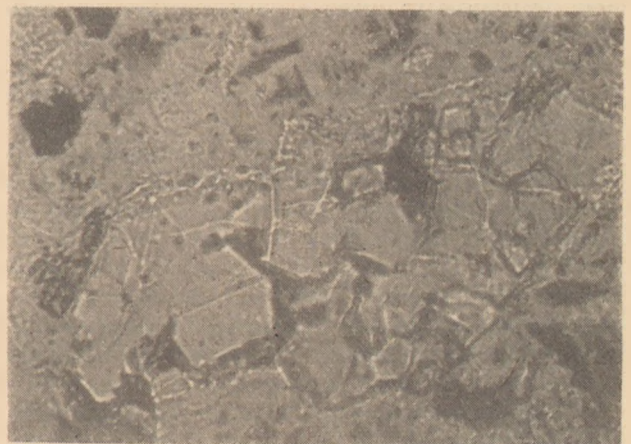
Normál őrlésnél a cementben a klinker nagy része 50μ -nál nagyobb szemcsék alakjában van jelen. A periklász szemcséket elsősorban olyan klinkerszemcsék tartalmazzák, amelyek lényegesen nagyobbak, mint a periklász-kristályok. Ez a körülmény igen fontos a periklász hidratációjának mechanizmusa szempontjából, mivel az szorosan összefügg a klinkerásványok hidratációjával. A periklász jelentős része ugyanis be van ágyazva a csak részben hidratálódott klinkerszemcsékbe. A klinkerásványok hidratációja a szemcse szélétől befelé halad, és kezdetben az egész szemcsét egy vékony, optikailag izotróp réteg veszi körül, amelynek törésmutatója kisebb, mint a többi hidratációs terméké.

Az 1. ábrán látható, hogy egyes kis szemcsék teljesen hidratáltak. Az eredeti ásványok annak ellenére, hogy a hidratáció következtében ásványi és kémiai összetételük megváltozott, megtartották eredeti alakjukat, mivel a hidratáció a szemcsék szétesése nélkül következett be, és így módon az eredeti ásványok teljesen hidroszilikáttá átalakult pszeudomorfjai keletkeztek.

Az elvégzett nagyszámú mikroszkópi vizsgálat alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

a) A porszénhamu jelenléte következtében jelentős mértékben nő a nem hidratált klinkerszemcsék mennyisége.

b) A porszénhamu az eredeti szilikátok tartós pszeudomorfózisát okozza, ugyanakkor a nagyobb



1. ábra. 10 éven át vízben tárolt stabilizált nagy MgO-tartalmú cementből készült próbatest klinkerszemcséit körülvevő optikailag izotróp réteg. Poltrózott vékony csiszolat. Nagyítás 1500-szoros

* A VIII. Szilikátipari Konferencián Brunauer, S. előadásához elhangzott hozzászólás.

Stabilizált és nem stabilizált nagy MgO-tartalmú cement szilárdsági adatai

	1		2		3		4		5		6	
Klinkertartalom, %	95		65		95		80		75		70	
Porszénhamu-adalék, % (*)	0		30		0		15		20		25	
Gipszkő, %	5		5		5		5		5		5	
A klinker MgO-tartalma, %	14,02		15,12		10,55		10,55		10,65		10,55	
Órlési finomság, % (maradék a 4900-as szitán)	6,1		6,2		6,8		6,4		6,8		6,0	
Szilárdság, kp/cm ²	Nyo- mó	Húzó	Nyo- mó	Húzó	Nyo- mó	Húzó	Nyo- mó	Húzó	Nyo- mó	Húzó	Nyo- mó	Húzó
7 nap	—	—	—	—	372	37,3	382	36,1	406	37,5	349	33,3
28 nap	350	35,0	344	33,4	393	37,8	497	45,2	579	43,6	583	43,5
56 nap	387	35,3	400	48,7	458	44,7	545	45,1	676	48,9	657	52,0
90 nap	433	39,2	524	52,6	435	40,4	531	45,0	699	49,4	712	49,0
1 év	485	31,7	545	—	504	40,9	608	46,0	629	52,2	643	—
2 év	454	27,4	550	53,0	521	39,0	606	47,2	—	—	—	—
3 év	396	22,5	600	64,0	573	40,0	667	53,0	691	53,0	685	55,7
4 év	338	18,7	—	—	610	38,0	696	52,3	—	—	787	58,7
5 év	280	14,3	653	67,4	634	36,4	703	52,5	728	34,8	864	62,5
7 év	—	—	—	—	484	—	682	53,3	699	55,6	—	—
8 év	—	—	—	—	425	33,3	721	56,9	748	56,3	—	—
Duzzadási %	19,3		0,26		10,3		0,82		0,82		0,33	

Autoklávkezelés 20,74 atm. — n 3 órán át

A szilárdságokat a CSN 722110 szabvány szerint készített földnedves habares-próbatesteken vizsgáltuk.

* A felhasznált porszénhamu kémiai összetétele:

Izz. veszt.	%
SiO ₂	4,03
Al ₂ O ₃	57,38
Fe ₂ O ₃	22,18
CaO	7,67
MgO	3,44
K ₂ O	2,71
SO ₃	2,02
	0,34

szemcsék belső, nem hidratált része 10 éves tárolás után 6 órás autoklávkezelésnek (214°C-on) alávetve sem változik meg. Ez a megállapítás a periklász kristályokra is vonatkozik.

c) A porszénhamu megakadályozza a portlandit kikristályosodását.

A porszénhamu, mint megállapítottuk, hatással van a klinkerszemcsék és ezáltal a periklász hidratációjára is. A periklász a szemcsék belsejében „blokkolódik”, vagyis megmarad eredeti, nem hidratált állapotban. A porszénhamu hatása a periklász hidratációjára tehát nem azonos azzal a hatással, amit a klinkerszemcsék hidratációjának menetére gyakorol.

A klinker hidratációjánál a kalciumszilikátok bomlása után hidroszilikát-gél képződik, ami először a klinkerszemcsék felületén egy áteresztő réteget alkot (1. ábra). Ezen a rétegen keresztül diffúzió útján folytatódik a hidratáció, miközben monokristályos pszeudomorfózák keletkeznek. Powers szerint a pszeudomorfózák keletkezését úgy magyarázhatjuk, hogy a vízmentes szilikátokhoz a feloldódott kalcium és szilíciumion helyeire vízmolekula diffundál. A folyamat révén a szemcsék közti téregyidejűleg hidroszilikát-géllal töltődik ki, ami a szilárd fázis mennyiségének megkétszereződését eredményezi, a cement tréfogatállóságának megváltozása nélkül. Amikor a gélpórusok egy

olyan nagyság alá csökkennek, ami már nem tesz lehetővé egy spontán nukleációt, vagy ha az összes víz adszorpció következtében, vagy kémiaiilag leköttődik, a hidratáció megáll.

Ha a cementhez aktív szabad SiO₂-t adnak, a kristályos Ca(OH)₂-ből kriptokristályos hidroszilikátok keletkeznek a kristályos Ca(OH)₂ rovására. Ez azt eredményezi, hogy a cement hidratációja korábban megáll és nagyobb mennyiségű, nem hidratált klinkerrész marad vissza.

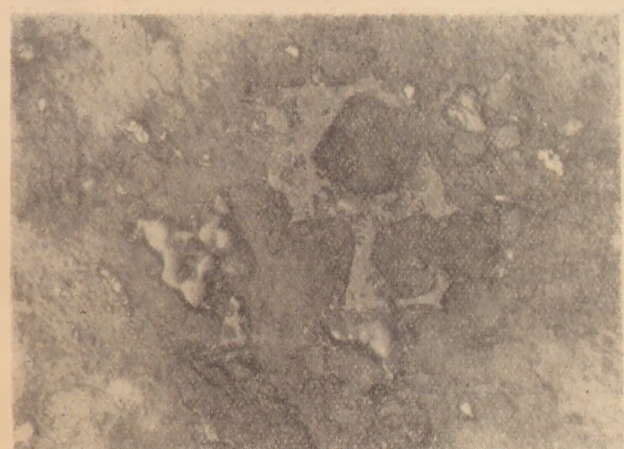
A CaO:SiO₂ arány csökkenése hatással van a hidroszilikát-gél szerkezetében bekövetkező változásokra, ami optikailag, röntgenográfiailag, fajlagos felület mérés, valamint a pórusok eloszlásának és nagyságának mérése útján kimutatható.

a) Azonos korú (10 éven át vízben tárolt) stabilizált és nem stabilizált cementpróbatestből készített vékony csiszolatokon lényeges eltérés mutatkozik a belső reflexiók intenzitásában (a 2. és 3. ábra mikroszkópi felvételein életlen fényes felületek), ami a cementgél rekrisztallizációját jelzi.

A stabilizált nagy MgO-tartalmú cementnél a reflexiók a gél és pszeudomorfózák kompakt, tömör szerkezetét mutatják (3. ábra), szemben a nem stabilizált cement újrakristályosodott anyagával, (2. ábra), amelyben a polikristályos hidroszilikát masszában az eredetileg monokristályos pszeudomorfózák fokozatosan újrakristályosodnak.

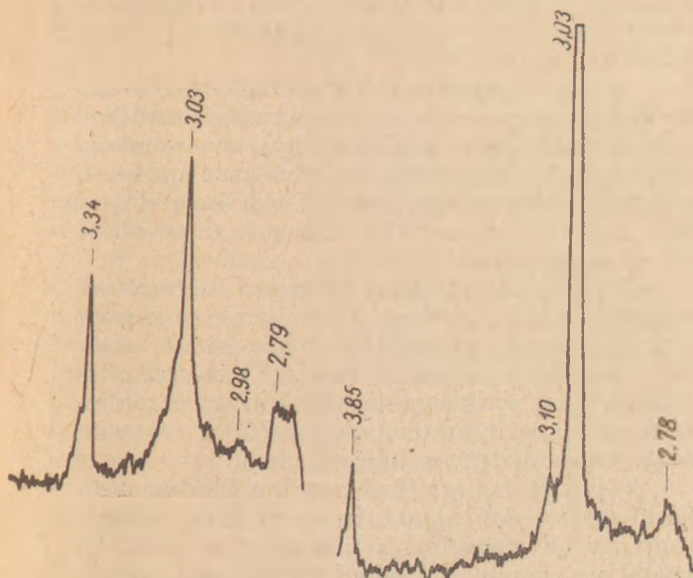


2. ábra. A nem stabilizált nagy MgO-tartalmú cement újra-kristályosodott anyaga



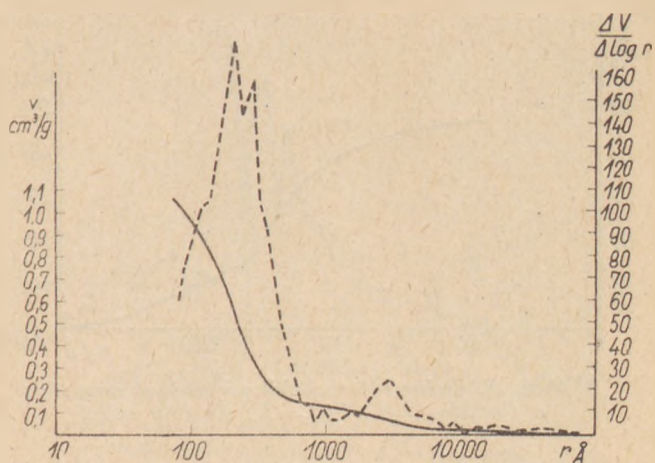
3. ábra. A lekötött, stabilizált cement pseudomorfózáinak szerkezete

b) A cementgél szerkezetében mutatkozó eltérés a két cementtípus röntgendiagramjának összehasonlításával is kimutatható (4. és 5. ábra).

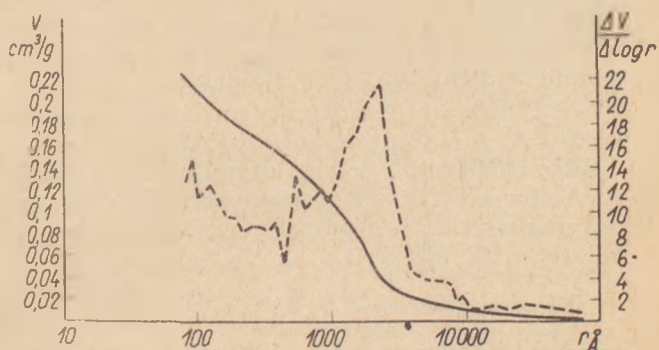


4. ábra. A 2. ábra cement-jének röntgendiagramja

5. ábra. A 3. ábra cement-jének röntgendiagramja



6. ábra. A kalciumhidroszilikát pórusainak nagysága és eloszlása $C_3S : SiO_2 = 1 : 10$ arány mellett



7. ábra. A kalciumhidroszilikát pórusainak nagysága és eloszlása $C_3S : SiO_2 = 3 : 1$ arány mellett

A stabilizált nagy MgO-tartalmú cementben a $Ca(OH)_2$ felhasználódása után marad még amorf állapotú SiO_2 , ami a 10 éves próbatetek utóklávékezelése ($214^\circ C$, 6 óra) után kvarccá alakul át.

c) A különböző $CaO : SiO_2$ arányú stabilizált és nem stabilizált cementből készült próbák fajlagos felületeinek mérése szintén azt mutatja, hogy a $CaO : SiO_2$ arány csökkenésével nő a fajlagos felület.

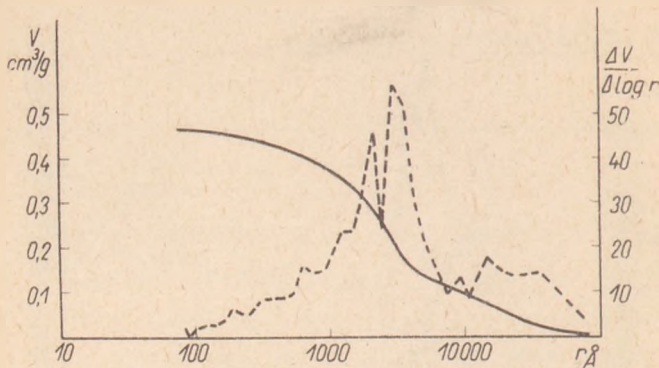
A 2. táblázat kalciumhidroszilikátok fajlagos felületét tartalmazza. A kalciumhidroszilikátokat

2. táblázat
Kalciumhidroszilikátok fajlagos felülete, m^2/g

Molekula- arány $C_3S : SiO_2$	Autokláv szilárdítás $174^\circ C$, 4 óra	Gőzszilárdítás	
		24 óra	Víztárolás 60 napig $25^\circ C$ -on
1 : 10	83,0	89,0	80,0
3 : 1	12,0	20,0	17,0

meghatározott arányban összekevert, azonos konzisztenciájú trikalciumszilikátból és szilikagélből, autokláv- és gőzkezeléssel, valamint $25^\circ C$ -on telített vízgőzben történő tárolással készítettük.

A 10 éven át vízben tárolt, nem stabilizált nagy MgO-tartalmú cement fajlagos felülete $7 m^2/g$, míg a stabilizált (30% porszenhamuval) $17 m^2/g$.



8. ábra. A kalciumhidroxid szilikát pórusainak nagysága és eloszlása $C_3S : SiO_2 = 1 : 0$ arány mellett

d) A c) pontban leírt módon autoklávkezeléssel készített kalciumhidroxid szilikát-próbák higanypenetrációs módszerrel végzett pórustérfogat nagyságának és eloszlásának mérése, mint a 6., 7. és 8. ábrán látható, azt mutatja, hogy a $CaO : SiO_2$ arány csökkenésével a maximum a kis pórusnagyságok tartományában jelentősen eltolódik.

$C_3S : SiO_2 = 1 : 10$ molarány mellett a maximum $r = 215 \text{ \AA}$, $3 : 1$ aránynál már $r = 2200 \text{ \AA}$. A tiszta C_3S -ből előállított kalciumhidroxid szilikátnál $r = 3000 \text{ \AA}$. A növekvő $CaO : SiO_2$ aránnyal növekvő pórusnagyság növekedés a pórustérfogat növekedéséből is látható (3. táblázat).

3. táblázat
Pórusméret-eloszlás $C_3S : SiO_2$ különböző arányú keverékekben

Molekula- arány $C_3S : SiO_2$	Pórusméretek (Å)			
	75—1000	100—1000	1000— 10 000	> 10 000
1 : 10	8,5	80,3	9,9	1,3
3 : 1	7,1	44,9	42,6	5,4
1 : 0	0,6	18,7	60,9	19,8

A $CaO : SiO_2$ arány csökkenése a stabilizált cementben olyan gél keletkezésének kedvez, amelynek minimális a hajlama nagy egységek képzésére. Ez azt eredményezi, hogy a víztartalom kémiailag és abszorpciós úton korábban és teljesebb mértékben kötődik le, és a hidratációs folyamat korábban fejeződik be.

A kalciumszilikáthidrát pseudomorfózák rekrisztallizációja — ami normál hőmérsékleten a környezetében levő vizet felveszi — nem következik be, (sőt a pseudomorfózák csökkenő $CaO : SiO_2$ aránnyal megváltozó kémiai összetételének hatását sem lehet kizárni). Ezek a monokristályos pseudomorf szilikátképződmények (a klinkerásványok hidratálatlan maradékával együtt) blokkolják a periklász hidratációját, mivel az be van zárva a klinkerszemcsékbe. A keletkező kémiai és abszorpciós vegyületek a teljes vízmennyiséget felhasználják, és így normál körülmények között nincs meg a periklász hidratációjának lehetősége.

A szemcsékben a klinker köztesanyag-komponensei rendkívül lassan hidratálódnak (3) ami e fázis rendkívül kis felületével magyarázható. A tér-

fogatához képest kis felülettel bíró köztesanyag-szemcsék hidratációjuk során a szemcsék belsejében monokristályos vízátnemeresztő pseudomorfózák alakulnak át, melyek a hidratációt, s ezzel együtt a periklász hidratációját is nagymértékben lelassítják. A klinker köztesanyag- és periklász tartalmának csak az a része hidratál, amely a legfinomabb frakcióban van. Ez a periklász nem okoz duzzadást, mivel azonnal brucitá alakul, és teljesen veszélytelen. A 3% MgO -t tartalmazó tiszta portlandcement hidratációjánál keletkező brucit a röntgennel és DTA-val való kimutathatósága határán van.

A stabilizált cement térfogatállóságának ellenőrzésére összehasonlító vizsgálatokat végeztünk. Elgyvidéjűleg autoklávkezelésnek vetettünk alá 10 éven át vízben tárolt és ezzel azonos összetételű, de frissen lekötött próbatesteket. A vizsgálatok azt mutatták, hogy mindkét cement térfogatálló, még 6 órás ($214^\circ C$ -on) autoklávkezelés után is, 9 órás kezelés után pedig a deformációk mértéke azonos volt.

A stabilizált nagy MgO -tartalmú cement normál hőmérsékleten 10 éven át végbemenő hidratációja tehát nem befolyásolta a cement térfogatállóságát az utólagos autoklávkezelésnél. Ez azt igazolja, hogy a stabilizált nagy MgO -tartalmú portlandcementben normál hőmérsékleten nem megy végbe olyan folyamat, ami a periklász hidratációját lehetővé tenné.

Sok olyan kísérletet végeztünk, amelyeknél a periklász szándékosan megfosztottuk a védelemtől, és a szemcsék közvetlen érintkezésbe kerültek a vízzel. Ezek újból megerősítették a nagy MgO -tartalmú cementek hidratációjának fenti mechanizmusát, beleértve az aktív SiO_2 stabilizáló hatását is.

Az egyedi periklász kristályokat két módszer szerint vizsgáltuk.

a) Kristályos periklászban a portlandcement-hez történő utólagos hozzáadásával.

b) Oly módon, hogy a nagy MgO -tartalmú cementet a periklász kristályok méretével azonos szemnagyságúra, vagy annál finomabbra (4μ alá) őröltük.

a)-hoz. Ha portlandcement-klinkerhez utólagosan kristályos periklász és a nagy MgO -tartalmú cement stabilizálására felhasználttal azonos mennyiségű (30%) porszénhamut adunk, az így készített nagy MgO -tartalmú cement nem lesz térfogatálló. Víz-tárolásnál már 6 hónap után duzzadás és szétesés mutatkozik.

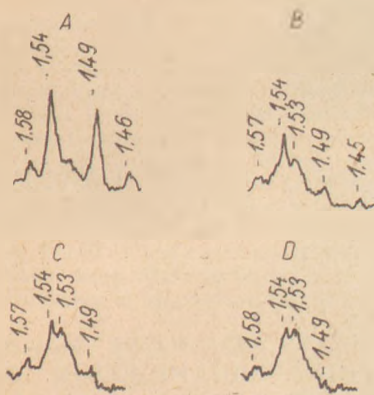
Az autoklávkezelés hatására bekövetkező szétesés igazolja a nagy MgO -tartalmú cement hidratációjának mechanizmusáról és az aktív SiO_2 stabilizáló hatásáról közölt új megállapításainkat. Itt a periklász szemcsék nincsenek a klinkerszemcsékbe beágyazódva, szabadon vannak, és így teljes mértékben hidratálódnak.

b)-hez. Ha a nagy MgO -tartalmú klinkert megfelelő mennyiségű porszénhamuval (30%) azonos vagy kisebb méretűre őröljük, mint a periklász kristályok mérete a klinkerben (4μ alá), az így nyert finom cement mind a vízben való tárolásnál, mind a legszigorúbb autoklávpróbánál (pl. 300

fokon 12 órán át) térfogatálló. Ez alkalommal a periklász egy része brucittá, más része a klinker köztesanyag-géljévé lesz, ami magasabb hőmérsékleten rosszul kristályosodott krizotillá alakul át. Ellentétben a normálisan őrlött nagy MgO-tartalmú cementtel (klinkerszemcsékkel), a finomra (4μ alá) őrlött cementnél a periklász a hidratáció után brucittá alakul.

A finomra őrlött, porszénhamuval stabilizált cement stabilitása a periklászszemcsék teljes diszperzióján alapul. A szemcséket az őrléssel fetárjuk, ezek egy része brucittá — $2,37\text{Å}$ interferenciavonal — más része elegendő mennyiségű aktív SiO_2 jelenléte esetén krizotil típusú magnéziumhidroszilikáttá — $1,53\text{Å}$ interferenciavonal — alakul. Ugyanakkor az inert mészkővel összeőrölt nagy MgO-tartalmú cementben az összes periklász csak brucittá alakul át.

Mint már rámutattunk, a nagy MgO-tartalmú cementek második — bár a periklászban a klinkerszemcsékben való blokkolódásánál kevésbé fontos — stabilizáló faktora a magnéziumhidroszilikátok képződése. Keletkezésük folyamatára, mint a 9. ábra mutatja, az $1,52\text{Å}$ -s reflexió növekedéséből következtethetünk.



9. ábra. Az $1,52\text{Å}$ -s reflexió növekedése autoklávkezelés hatására 300°C -on

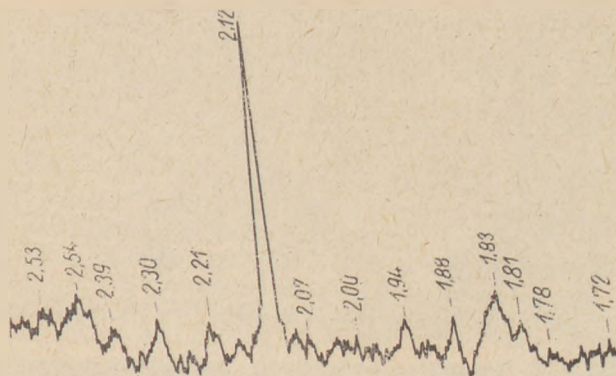
A) 12 órás kezelés, B) 24 órás kezelés, C) 48 órás kezelés, D) 72 órás kezelés

4. Összefoglalás

A nagy MgO-tartalmú cementek hidratációs mechanizmusának kutatása azt mutatja, hogy a porszénhamu stabilizáló hatása a klinkerszemcsék hidratációjának és ezen keresztül a szemcsékbe beágyazott periklász hidratációjának befolyásolásán alapul.

A porszénhamu igen jelentős hatást gyakorol a cementgél szerkezetére, valamint a pseudomorfmódon hidratált klinkerszemcsék rekrisztallizációs fokára. A nagyobb szemcsék belsejében sokszor még 6 óras 214°C -os autoklávkezelés hatására sem következik be további hidratáció. A szemcsékbe beágyazott periklász-kristályok nem egyszer akkor sem mutatták jelét a hidratációnak, ha a 10 évig vízben tárolt próbatesteket 6 órán át 214°C -os autoklávkezelésnek vetettük alá.

A stabilizátor hozzáadása révén lecsökkent $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ arány relative nagy térfogatú cementgél keletkezését eredményezi, ami a rekrisztallizáció révén kis egységek keletkezésének kedvez, és ez-



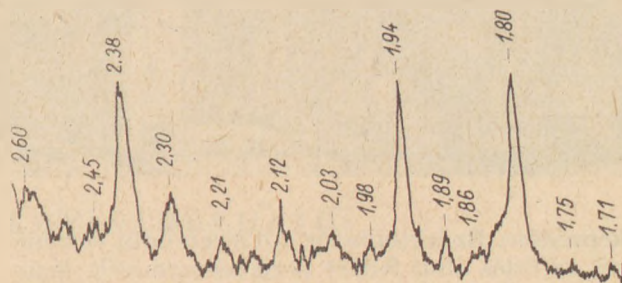
10. ábra. 10 éven át vízben tárolt nagy MgO-tartalmú portlandcement-próbatest röntgendiffrakciogramja

által a kémiai és abszorpciós vegyületek képződése következtében korai vízfelhasználást okoz. A klinkerszemcsék kalciumszilikátjai monokristályos pseudomorffá alakulnak, ami mind a szemcsék klinker-köztesanyagának hidratációját, mind a szemcsék szétesését és a periklász hidratációját fékezi.

A kémiai és abszorpciós kötés következtében fellépő relatíve gyors vízfelhasználás és hasonlóképpen a pseudomorffázak bizonyos mértékig eltérő összetétele megakadályozza rekrisztallizációjukat és a klinkerszemcsék szétesését és ezen keresztül a bennük levő periklász hidratációját is, így a cement térfogatálló marad. Csak a finom frakcióban levő, az őrlésnél szabaddá vált kis mennyiségű periklász hidratizál, de nem okoz duzzadást a periklászszemcsék fázishatárán fellépő részleges magnéziumszilikáthidrátképződés következtében.

Normál hőmérsékleten tíz éven át tartó hidratáció sem befolyásolja a stabilizált nagy MgO-tartalmú cement térfogatállóságát az utólagos autokláv kezelésnél. Ez további bizonyíték arra, hogy a stabilizált nagy MgO-tartalmú cementben normál hőmérsékleten nem megy végbe olyan folyamat, ami a periklász hidratációját lehetővé tenné.

Ezzel ellentétben a nem stabilizált nagy MgO-tartalmú cementben a hidratáció után a periklász brucittá alakulása látható (11. ábra). A próbatestek 10 évi vizes tárolás után jelentős térfogatváltozást mutatnak.



11. ábra. 10 éven át vízben tárolt nem stabilizált nagy MgO-tartalmú portlandcement röntgendiffrakciogramja

A nagy MgO-tartalmú cement második stabilizáló faktora, amely sokkal kevésbé fontos, mint a periklász blokkolása, a magnézium-hidroszilikátok



12. ábra. Stabilizált nagy MgO-tartalmú portlandcementből készült vasbeton hídszerkezet



13. ábra. A pozsonyi lakótelepen stabilizált nagy MgO-tartalmú cementből készült objektumok

képződése. Ez legtöbbször a durván őrölt cementnél az őrlés által feltárt periklászszemcsék fázishatárain kis mennyiségben képződik.

A stabilizált nagy MgO-tartalmú cement fizikai-kémiai tulajdonságait az építési gyakorlatban iparilag előállított cementtel 1955- és 1957-ben készült szerkezeti betonokon vizsgáltuk.

Ezt a cementet mint a 12. ábra mutatja, 1957-ben vasbeton hídszerkezet készítésére használtuk fel.

1957-ben a stabilizált nagy MgO-tartalmú cementből a pozsonyi lakótelep néhány objektumának vasbeton-szerkezetét is elkészítettük (13. ábra).

Ezenkívül fenti két év alatt a stabilizált nagy MgO-tartalmú cementet az építőipar csaknem valamennyi területén felhasználták a portlandcement helyettesítésére (előgyártásnál, lakásépítésnél, kisebb vízépítéseknel, útépitésnél).

Mindezeket a kísérleti objektumokat szigorú ellenőrzésnek vetettük alá, és az eltelt 8—10 év után egyértelműen megállapítható, hogy a felhasznált stabilizált nagy MgO-tartalmú cementek hosszú időszaki térfogatállósága bizonyított.

IRODALOM

- [1] Trojer F.: (1964) Zement u. Beton, Nr. 29, p. 1—5.
- [2] Powers T. G.: (1961) J. Research Development Lab. Portl. Cement Ass. 3. Nr. 1, p. 47—56.
- [3] Tun-Szu-Li, Lu-Gun-Csén: (1964) Építőanyag 16 Nr. 11, p. 430—437.
- [4] Washburn E. W.: (1921) Proceedings Nat. Academy Sci. 7 p. 115.
- [5] Drake L. C.: (1949) Ind. Engng. Chem. 41, p. 780.
- [6] Brunauer S.: (1963) Structural Concrete I, Nr. 7 p. 293—309.
- [7] Gillf: (1952) Zement-Kalk-Gips. Nr. 5 p. 142—151.
- [8] Rosa J.: (1963) Stavivo 47, Nr. 6, p. 194—198.

Rosa, Josef: A nagy MgO-tartalmú cementek stabilizációjának mechanizmusa.

A nagy MgO-tartalmú cementek aktív porszenhamú hozzáadásával stabilizálhatók. A stabilizátor hozzáadására lecsökkenő $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ arány relative nagy térfogatú cementgél keletkezését eredményezi, ami rekristalizáció révén kis egységek keletkezésének kedvez, és ezáltal a kémiai és abszorpciós vegyületek képződése következtében gyors vízfelhasználódást okoz. Ez, valamint a pseudomorfozók eltérő összetétele megakadályozza rekristalizációjukat és a klinkerszemcsék szétérését és ezen keresztül a bennük levő periklász hidratációját is (blokkolja a periklászt). A cementben csak a finom frakcióban levő, az őrlésnél szabaddá vált kis mennyiségű periklász hidratál, de nem okoz duzzadást a periklászszemcsék fázishatárán fellépő részleges magnéziumszilikáthidrát-képződés következtében.

Csehszlovákiában nagyüzemileg gyártottak stabilizált nagy MgO-tartalmú cementet. A belőle készített létesítmények 8—10 év után sem mutatnak elváltozást, így a stabilizált nagy MgO-tartalmú cementek hosszú időszaki térfogatállósága is bizonyítottnak tekinthető.

Rosa Josef: МЕХАНИЗМ СТАБИЛИЗАЦИИ ЦЕМЕНТОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ MgO

Цементы с большим содержанием MgO можно стабилизировать добавкой активной пылеугольной золы. Добавка стабилизатора, уменьшая соотношение $\text{CaO}:\text{SiO}_2$, приводит к образованию цементного геля сравнительно большого объема, который вследствие рекристализации способствует образованию мелких кристаллов и поэтому, из-за образования химических и абсорбционных соединений, приводит к быстрому израсходованию воды. Это, а также различный состав псевдоморфных соединений, предотвращает их рекристализацию и распад зерен клинкера. Вследствие этого предотвращается (блокируется) также гидратация периклаза. В цементе гидратируется только неболь-

шое количество периклаза, высвобождающегося при помолу, присутствующее в тонких фракциях, но зато не приводит к расширению, так как на поверхности раздела фаз зерен периклаза частично образуются гидросиликаты магния.

В Чехословакии цемент с высоким содержанием MgO выпускался в промышленном масштабе. На сооружениях, построенных на этом цементе, даже по истечении 8—10 лет не наблюдаются изменения, что может послужить доказательством долговечного сохранения постоянства объема стабилизированных золой цементов с высоким содержанием MgO.

Rosa, Josef: Stabilisationsmechanismus von Zementen mit hohem Magnesiumoxydgehalt

Zemente mit hohem MgO-Gehalt lassen sich vermittlest eines Zusatzes von Flugasche stabilisieren. Das infolge des Zusatzes sich verringende Verhältnis $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ führt zur Bildung eines Zementgels mit relativ hohem Volumen, das — infolge Rekristallisations — das Zustandekommen kleiner Einheiten begünstigt, und verursacht den raschen Verbrauch des Absorptionsproduktes. Dadurch und durch die verschiedenartige Zusammensetzung der Pseudomorphosen werden Rekristallisation und Zerfall der Klinkerkörner verhindert, wie auch — durch diese — die Hydratation des Periklasgehalts (Blockierung vom Periklas). Es werden im Zement bloß die feingekörnten, beim Vermahlen freierwerden kleinen Mengen von Periklas hydratisiert, es folgt aber — infolge der teilweisen Entstehung vom Magnesiumsilikathydrat auf der Phasengrenze der Periklaskörner — keine Anschwellung.

Man hat in der Tschechoslowakei stabilisierte Zemente mit hohem MgO-Gehalt im Großbetrieb hergestellt. Die damit angelegten Bauten scheinen selbst nach 8—10 Jahren unverändert zu bestehen, woraus man auf die Raumbeständigkeit der stabilisierten Zemente mit hohem MgO-Gehalt als bewiesene Tatsache schließen kann. (S. G.)

Rosa, Joseph: Stabilization Mechanism of High-magnesia Portland Cement

High-magnesia Portland cements can be stabilized by the addition of active fly ash. By this method the $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ ratio is decreased, causing the formation of cement gel of relatively large volume, which preferentially enhances the formation of little units by recrystallization, thus a rapid development of chemical and adsorptive compounds and an increased rate of water consumption. The hydration of periclase is blocked by these effects and by the different forms of pseudomorphs too. Magnesium silicate hydrates are formed at the boundaries of coarse periclase grains, while hydration occurs only in the fine fraction of MgO, but none of these effects will cause dangerous expansion. High-magnesia Portland cements, stabilized by this method have been produced commercially in Czechoslovakia. Structures built from this cement are completely unchanged after 8—10 years, thus the long-time soundness of stabilized high-magnesia Portland cements is proved.

LAPUNK PÉLDÁNYONKÉNT MEGVÁSÁROLHATÓ:

V., VÁCI UTCA 10.

V., BAJCSY-ZSILINSZKY ÚT 76. SZÁM ALATTI

H Í R L A P V O L T O K B A N

Agyagkutatás a Hejőcsabai Cement- és Mészmű részére

TAKÁTS TIBOR
HEGYI ISTVÁNNÉ
VITÁLIS GYÖRGY
(Szilikátipari Központi Kutató Intézet)

Bevezetés

A Hejőcsabai Cement- és Mészmű templom-hegyi agyagbányája a kedvezőtlen kőzettani felépítés és a korábbi tervszerű nyersanyagvizsgálat hiányából adódó bizonytalanság következtében, távlatilag nem biztosítja a gyár nyersanyagigényét.

Az ÉM Szilikátipari Központi Kutató Intézet Szilikátkémiai Osztálya az 1962—1965. években a Miskolc—görömbölyi-csoznya- és lengyelszótetői kutatási területen (1. ábra) végzett nyersanyagkutatást. A kutatás során a HCM távlati agyagnyersanyag-igényének feltárása és a terület földtani megismerése mellett, a feltárt anyag nagytömegű vizsgálatával, a Miskolc déli határában települő alsópannóniai rétegösszlet ásványkőzettani felépítéséről is részletes tájékozódást nyertünk.

Jelen tanulmány a kutatás fontosabb földtani, valamint a feltárt agyagnyersanyag ásványkőzettani minősítésére vonatkozó egyes eredményeit ismerteti.

A környék földtani vázlatja

Földtani felépítés. A Miskolc—görömbölyi Csoznyatető, illetve Lengyelszótető és környéke a Bükk hegység mezozóos alaphegységétől keletre és a Sajó völgyétől nyugatra húzódó neogén fedőképződményekből felépített dombvidéken terül el (1. ábra).

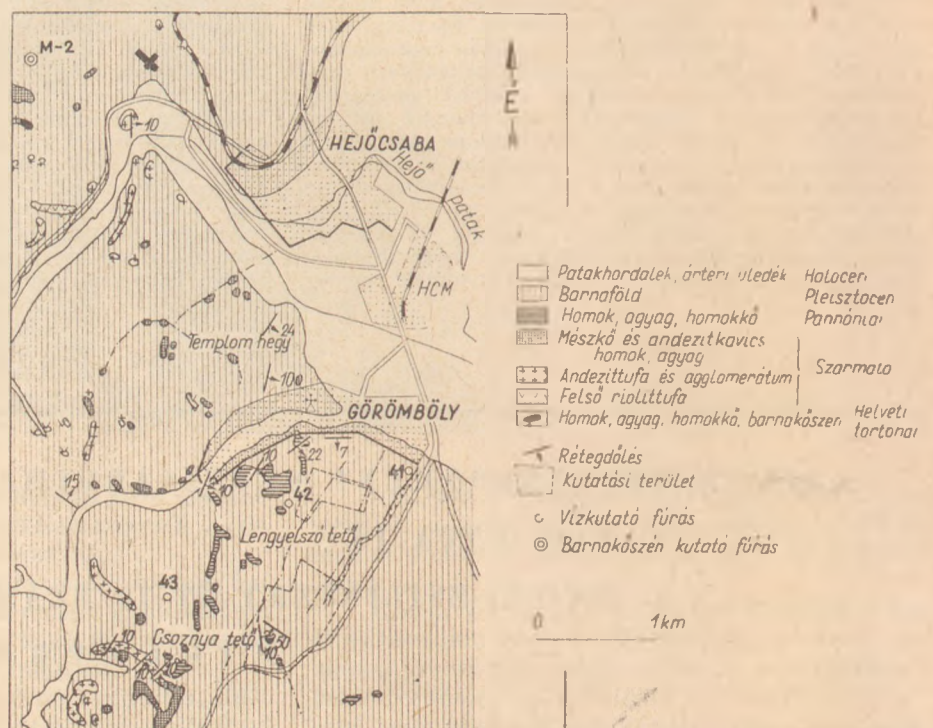
A neogén képződmények közül a középsőmiocén homok, agyag, homokkő és barnaköszén, továbbá a szarmata emeletbe sorolt felső riolittufa, andezittufa és agglomerátum, valamint mészkő, illetve andezit kavics, homok és agyag, végül az alsópannóniai homok és agyagrétegek bukkannak a felszínre.

A negyedkor képződményeit a terület legnagyobb részét elfedő pleisztocén barna agyag, valamint a völgyek talpát borító holocén patakhordalék és ártéri üledék képviseli.

Hegységsszerkezet. A terület szerkezetére a töréses formák jellemzők. A felszíni vízhálózat lefutási irányai által is jelzett nagyjából ÉÉK—DDNy-i, ÉNy—DK-i, valamint É—D-i irányú törések az egész dombvidéket számos kisebb nagyobb rögre tagolják. A neogén képződmények általában DK-i irányban 10—15°-ot dőlnek.

A terület domborzatának jelenlegi képe a negyedkorban, főleg az erózió hatására alakult ki. Az erózió hatása, főleg a nagyjából DNy—ÉK-i irányú, egymással párhuzamos, feltételezett törések mentén érzékelhető. Figyelmet érdemel a csoznya-tetői területről kiinduló kis időszakos vízfolyás völgyfője, melynek arculatát az 1965. évi erőteljes esőzések az elmúlt szárazabb évekhez képest jelentősen megváltoztatták.

Mind a csoznya-tetői, mind a lengyelszótetői kutatási terület egyes részein az egész környékre jellemző közelfelszíni mozgások: esúszások és su-



1. ábra. Miskolc—Görömböly környékének vázlatos földtani térképe (Schréter Z. után)

vadások észlelhetők. Ez utóbbi tények a felszín fejlődésének a jelenkorban végbemenő és feltűnően érzékelhető mozzanatait jelzik.

A megkutatott területek földtani felépítése

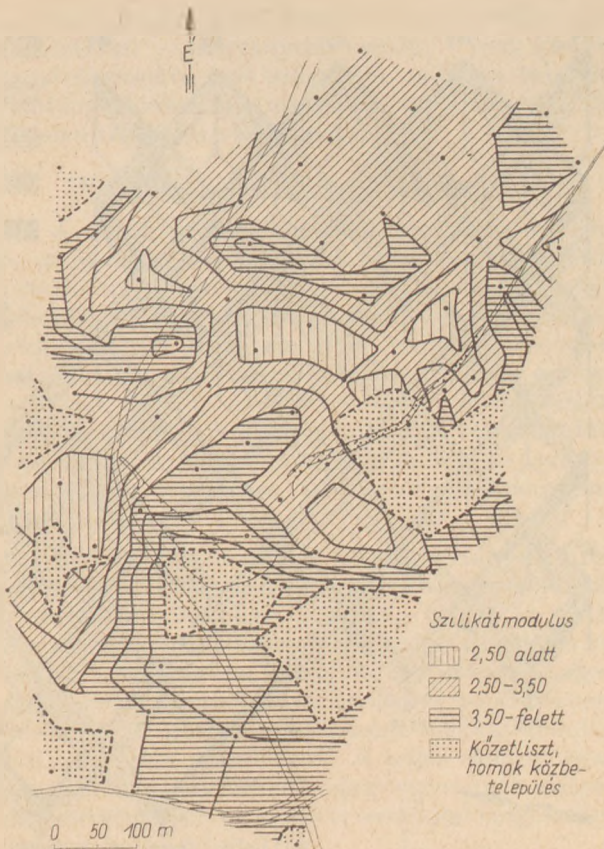
Földtani viszonyok. Mind a csornyatetői, mind a lengyelszótetői kutatási terület földtani felépítésében alsópannóniai és pleisztocén képződmények vesznek részt.

A 10—30 m mély kutatófúrásokkal feltárt alsópannóniai rétegösszlet változatos kőzettani kifejlődésű törmelékes üledékes kőzeteket tartalmaz. A sárga, barna és szürke színű, illetve e színek árnyalataival, vagy egymásba való átmeneti színeivel jellemezhető iszapos agyag, agyagos iszap, kőzetlisztes iszap, iszapos kőzetliszt, kőzetliszt, homokos kőzetliszt, kőzetlisztes homok és (finom) homokrétegek váltakoznak egymással.

Az alsópannóniai rétegösszletre 0,4—9,2 m vastag, főleg barna, vörösesbarna, alárendeltekben barnássárga és barnásszürke iszapos agyag, agyagos iszap és kőzetlisztes iszaphból álló pleisztocén fedőréteg települ.

A kutatófúrások adatainak összevetése alapján az agyagos kifejlődésű területrészek 30 m mélységig terjedő általános rétegsora a következő.

A 3—5 m átlagos vastagságú, barna és enyhén vörösesbarna agyagos kifejlődésű pleisztocén fedőréteg alatt általában 20 m mélységig sárgásbarna, vagy barnássárga színárnyalatokkal jellemezhető — helyenként iszapos kőzetliszt közbetelepüléseket tartalmazó — iszapos agyag, agyagos iszap és kőzetlisztes iszaprétegek váltakoznak egymással.



3. ábra. A csornyatetői kutatási terület SM (szilikátmodulus) térképe a felszín alatt 10 m-ben

A 20 m-es mélység alatt (30 m-ig) szürke színű, egységesebb kifejlődésű iszapos agyag, agyagos iszap vagy kőzetlisztes iszap települ.

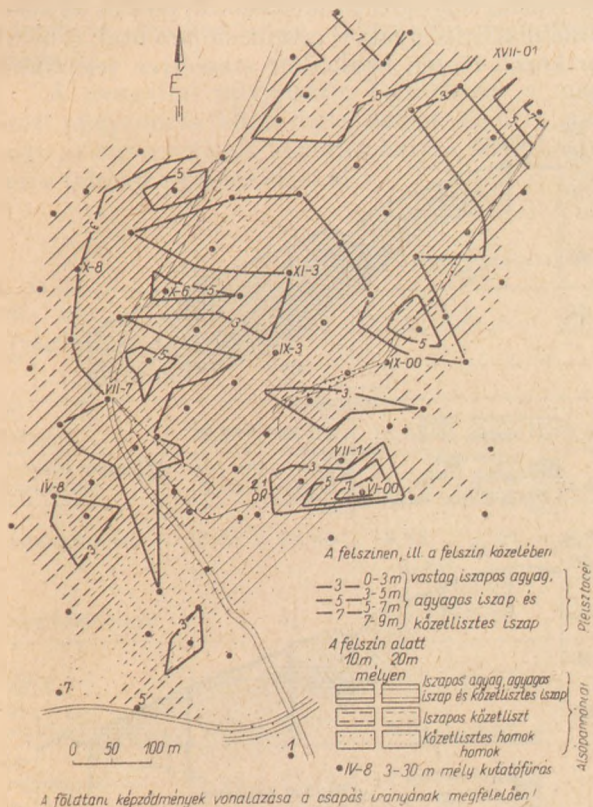
A 20 m alatt települő szürke színű agyagos kifejlődésű rétegek, a görömbölyi téglagyár agyagbányájában megfigyeltek és a Miskolc 42. sz. víz-kutató fúrás rétegsora alapján a mélység felé nagyobb összefüggő rétegösszletet képviselnek.*

A csornyatetői kutatási területről a fúrások alapján szerkesztett mérnökgeológiai térkép (2. ábra) általánosan szemlélteti a földtani viszonyokat. Bemutatja a pleisztocén fedőréteg vastagságát, továbbá a felszín alatt 10 m, illetve 20 m mélységben települő kőzetanyagokat.

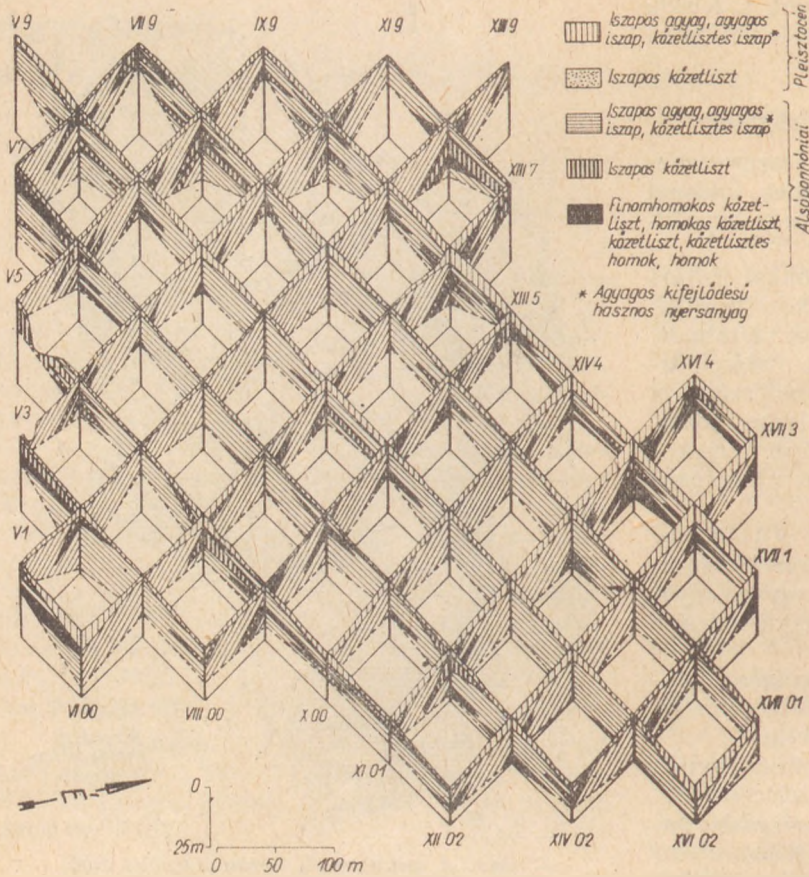
A területet felépítő kőzetanyagok minőségi ábrázolására SM (szilikátmodulus) térképeket és SM (szilikátmodulus) szelvényeket szerkesztünk. Ezek elsősorban a nyersanyag ipari felhasználhatóságát szemléltetik, de egyúttal a terület kőzettani felépítését is visszatükrözik.

* A rétegek földtani korának igazolására a csornyatetői VI-00-ás, VII-7-es, IX-00-ás, X-6-os és a XI-3-as fúrás, valamint a lengyelszótetői L-7-es jelzésű fúrás anyagából Széles Margit az alábbi Ostracoda-fajokat határozta meg: *Candona (Lineocypris) trapezoidea* Zal., *Paracyprina (Pontonella) acuminata* Zal., *Amplocypris pannonica juv.* Zal., *Amplocypris sinuosa* Zal., *Amplocypris sp.*, *Cyprideis heterostigma obesa* Reuss, *Cyprideis pannonica* Méhes, *Cyprideis sulcata* Zal., *Cyprideis sp.*, *Loxococoncha sp.*, *Leptocythere sp.*, *Hemicythere lörentheyi* Méhes, *Hemicythere sp.*

A felsorolt Ostracoda-fajok a képződmények alsópannóniai korát igazolják.



2. ábra. A csornyatetői kutatási terület mérnökgeológiai térképe



4. ábra. A csoznyatetői kutatási terület földtani tömbszelvénye

A csoznyatetői kutatási területről közölt SM-térképet, (3. ábra) a felszín alatt 10 m-ben települő kőzetanyagok SM-vizsgálatának eredménye alapján, interpolálással szerkesztettük.

Szerkezeti és települési viszonyok. Mindkét kutatási terület szerkezeti és települési viszonyai jól beilleszkednek a környék hegység szerkezete során vázolt keretbe.

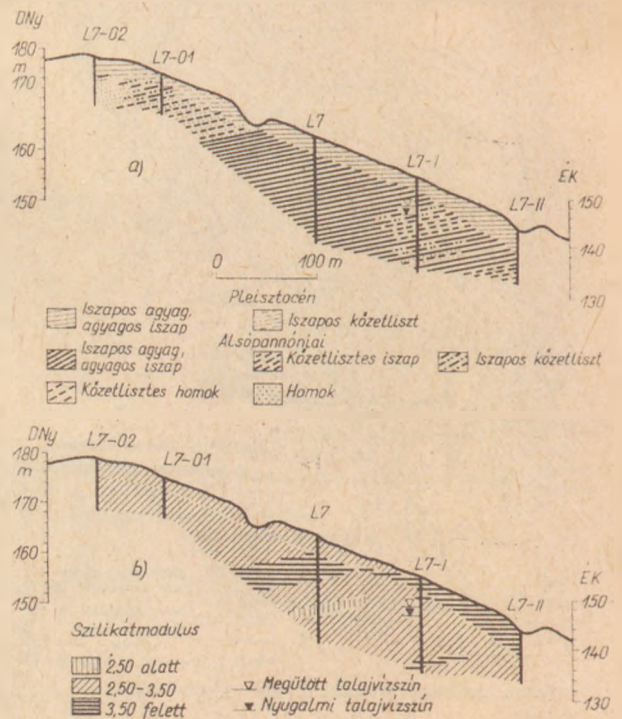
A csoznyatetői területről a kutatófúrások alapján szerkesztett földtani tömbszelvény (4. ábra), továbbá a lengyelszótetői területről készült földtani szelvények közül az 5. ábrán bemutatott szelvény jól szemlélteti a földtani és települési viszonyokat.

A dőlésértékeket mind a tömbszelvény, mind a többi szelvény szerkesztésénél a területre jellemző általános DK-i (135°) dőlésiránnyal és 10–15° közötti átlagos dőlésszöggel vettük figyelembe.

A közölt térképeken és szelvényeken az iszapos agyag, agyagos iszap és kőzetlisztes iszaprétegeket — mint a cementgyártáshoz felhasználható hasznos nyersanyagot — együtt ábrázoljuk, s összefoglalóan agyagos kifejlődésű rétegeként szerepeltetjük.

A görömbölyi téglagyár agyaghányájában kitűnő feltárásokban látható az alsó-pannóniai homokos-agyagos kifejlődésű rétegösszlet szerkezete és települése. A rétegösszletben számos vető, valamint különösen a homokos kifejlődésű rétegek átlós, keresztarétegzett települése észlelhető. Ezek alapján feltételezzük, hogy a feltárás szomszédságában levő fúrásokkal feltárt területeken is ha-

sonló szerkezeti és települési viszonyok lehetségesek. A rétegek keresztarétegzett, kiemelkedő települése részint folyóvízi lerakódásokra, részint az alsópannóniai beltő gyakori oszcillációjára utal. A beltő partközeli részén lerakódott szeszélyes településű



5. ábra. A lengyelszótetői kutatási terület DNY—ÉK-i irányú földtani (a) és SM (b) szelvénye

rétegek a nagyobb tömegű, egységes kőzettani kifejlődésű agyagrétegek kutatását erősen megnehezítik.

A fúrásokkal feltárt kutatási területeket is feltételezhetően számos kisebb nagyobb vető szeli át, ezek pontos térképi rögzítése azonban, az eddig végzett fúrások segítségével, egyelőre nem lehetséges.

Vízföldtani viszonyok

Felszíni víz. A csoznyatetői kutatási terület középső részéről nagyjából ÉK-felé kiinduló vízmosásban időszakos vízfolyás medre húzódik. Az időszakos vízfolyást a csapadékvizeken kívül két kis forrás is táplálja. Az 1. sz. forrás foglalatlan, míg a 2. sz. forrást betongyűrűvel foglalták. A két forrás vízhozamát 1965. március 22—május 12 közötti időszakban közbözéssel rendszeresen mértük. A mérések eredménye szerint az 1. sz. forrás vízhozama 1,8—3,0 l/p, a 2. sz. forrásé 2,5—2,7 l/p közötti értéknek adódott.

A lengyelszótetői kutatási terület nyugati részén áthúzódó É—D, illetve ÉÉK—DDNy-i irányú vízmosásokban, csak nagyobb esőzés vagy hóolvadás alkalmával folyik víz.

A felszín alatt kis mélységben levő víz elhelyezkedését a kutatófúrások alapján készített talajvítérképek jól szemléltetik. A talajvítérképeket a fúrás során megütött talajvízszin alapján szerkesztettük, míg a földtani szelvényeken a nyugalmi talajvízszint is feltüntettük. Mivel a kutatófúrások közel azonos időpontban készültek, a talajvíz helyzetében mutatkozó egyenetlenségek is a terület szeszélyes szerkezeti és települési viszonyaira utalnak.

A nyugalmi talajvízszin legtöbbször a megütött talajvízszin felett foglal helyet. Ez arra utal, hogy az agyagrétegek leszorító hatása következtében a talajvíz nyomás alatt áll.

Az agyagos kifejlődésű kőzetek túlsúlya következtében — bányanyitás esetén — csak kisebb vízszivárgásokra kell számítani, mivel a talajvíz vízutánpótlódása igen szegényes, így a bányagödör víztelenítése könnyen megoldható.

A nyersanyag minősítő vizsgálata

A csoznyatetői kutatási területen 82 db, 3—30 m mély, összesen 1293 fm, a lengyelszótetői kutatási területen pedig 24 db, 6—25 m mély, összesen 407 fm kézfúrás készült. A kutatófúrásokkal feltárt kőzetanyagot, cementipari célra való alkalmasságának eldöntésére, továbbá a megkutatott terület ásványkőzettani felépítésének megismerésére, sokrétű vizsgálatnak vetettük alá. Ezek közül az alábbiakban, a kémiai és az ásványi összetételre vonatkozó fontosabb eredményeket ismertetjük.

Kémiai vizsgálatok. A kémiai, oxidos elemzés során a két területről összesen 36 db teljes és 465 db részleges elemzést (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 és CaO) végeztünk. A teljes elemzések szélső és átlagértékeit az 1. táblázatban közöljük. A részleges vizsgálatok eredményeiből, a technológiai minősítéshez, valamint a készletszámításhoz, szilikátmodulus (SM) értékeket számoltunk. A teljes elemzés adatait az azonosításon kívül, összevetve egyéb vizsgálatok eredményeivel, ásványi összetétel meghatározásához is hasznosítottuk.

A két terület összes vizsgált anyagának SM-érték szerinti megoszlását, illetve az egyes tartományhatárokat az alábbi összeállítás szemlélteti.

SM érték	<2,0	2,0—3,5	>3,5
Csoznyatető	3%	61%	36%
Lengyelszótető	6%	73%	21%

Ha csak az ún. *hasznos nyersanyagot* (kőzetlisztes iszap, agyagos iszap, iszapos agyag) tekint-

1. táblázat

A teljes kémiai elemzések átlag- és szélső értékei*

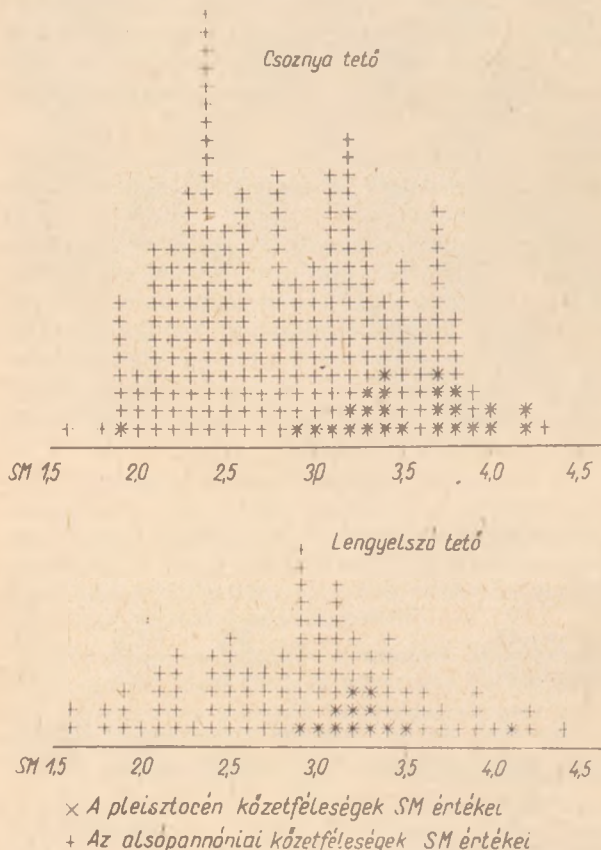
Csoznyatető	Izz. veszt.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	SO_2	SM
Átlag	6,55	64,04	16,58	4,94	0,56	2,96	1,10	0,92	1,93	0,14	0,52	2,99
Legkisebb	3,75	52,50	11,10	2,57	0,40	1,00	0,22	0,44	1,17	0,04	0,01	1,91
Legnagyobb	10,98	74,65	19,84	7,20	0,97	7,14	2,46	1,32	2,84	0,30	1,70	4,27
Lengyelszótető												
Átlag	7,40	61,88	14,59	7,25	—	5,36	0,70	0,90	1,95	—	—	3,05
Legkisebb	3,92	51,17	9,57	4,86	—	2,93	0,16	0,66	1,17	—	—	1,90
Legnagyobb	11,45	73,74	17,90	9,58	—	8,49	1,57	1,17	2,72	—	—	5,11

* Megjegyzés: A táblázatban szereplő legnagyobb és legkisebb szélső értékek nem mindenütt azonos kőzetminták adatai.

jük, akkor a fenti értékek az alábbiak szerint módosulnak:

SM érték	< 2,0	2,0—3,5	> 3,5
Csoznyatető	4 %	74 %	22 %
Lengyelszótető	6 %	76 %	18 %

A hasznosítható nyersanyag SM értékeinek gyakoriságát a 6. ábra szemlélteti. Az ábrán jól látható, hogy a vizsgált minták zöme 2,0—3,5 SM-értéktartományba esik. A hasznos nyersanyag súlyozott SM-értékeinek átlaga a csoznyatetői területen 2,84; a lengyelszótetői területen 3,09.



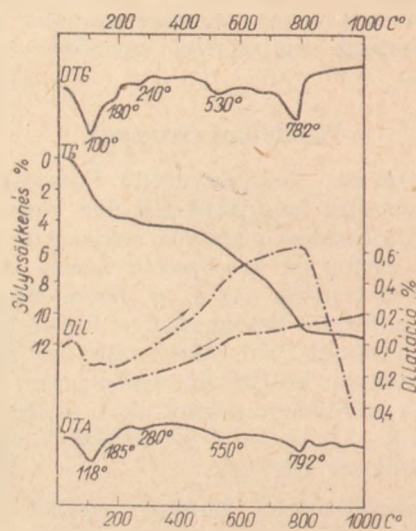
6. ábra. A hasznosítható nyersanyag SM-értékeinek gyakorisága

Az SM-értékek változását nagyon jól szemléltetik a mérnökgeológiai térképet kiegészítő SM térképck, valamint a földtani szelvényeket technológiai szempontból kiegészítő SM-szelvények is.

A hivatkozott térképekből és szelvényekből kitűnik, hogy mindkét terület anyagának kémiai összetétele a felszín közelében meglehetősen heterogén, míg a mélység felé homogénebbé válik.

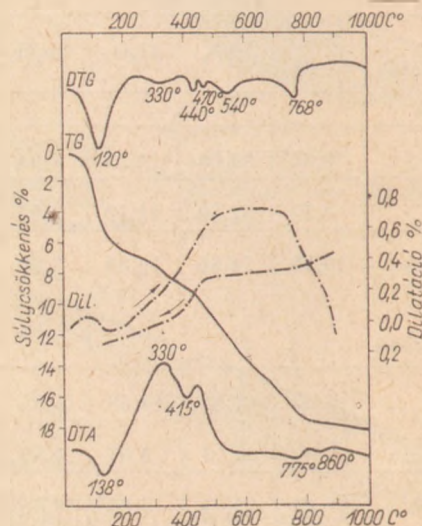
Termikus vizsgálatok. Az agyag nyersanyag ásványi összetétele, a különféle típusú agyagásványok jelenléte és aránya nemcsak a cement minősége szempontjából jelentős, hanem gyártástechnológiai szempontból is. Az ásványi összetétel megállapításához összesen 70 db derivatográfias és dilatációs, továbbá 50 db röntgendifrakciós vizsgálatot végeztünk. A kapott DTG és DTA, valamint dilatációs görbék jó tájékozódást adnak a terület ásványtanilag sokrétű felépítéséről.

A csoznyatetői területre jellemző alsópannóniai sárgásszürke iszapos agyag (X—6 fúrás 17,0 m-ből) derivatogramját és dilatogramját a 7. ábrán mutatjuk be. A DTG- és DTA görbék 300°C alatti



7. ábra. A csoznyatetői X-6. sz. fúrás 17,0 m-ből származó alsópannóniai iszapos agyag termikus görbéi

nagy endoterm zsákja a montmorillonit agyagásvány jellemzője. A montmorillonitra jellemző, ugyanezen hőmérséklet-szakaszon a dilatogramon látható zsugorodás is. A DTG-, DTA görbék 550 fokok esüshőmérsékletű endoterm hajlata illit és montmorillonitok rácsvizének elvesztését jelzi. A kétértékű kationbázisra (Ca, Mg) ugyanezen görbék első zsákján levő (200°C körüli) taraj jellemző. Ez az adszorbeált kationok hidrat-burkának leszakadásából származik. Mindezen folyamatok a TG-görbéken leolvasható súlycsökkenéssel járnak. A dilatogramon a kezdeti zsugorodást az illit tágulása, majd a kristályrács összeomlása után (850—900°C körül), hirtelen zsugorodása követi. A dilatogram lehülési görbéjén 550°C körül látható hajlat kvare jelenlétet igazol. A DTG- és

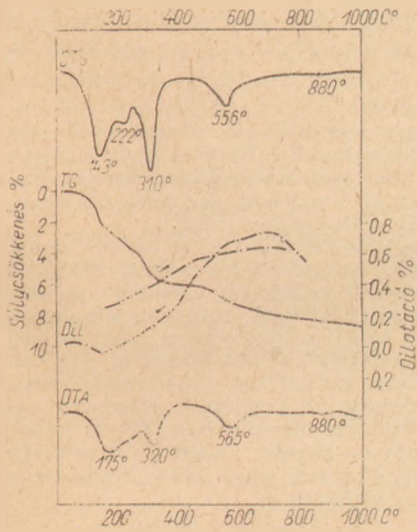


8. ábra. A csoznyatetői VII-1. sz. fúrás 8,0 m-ből származó alsópannóniai iszapos agyag termikus görbéi

DTA-görbén levő, 800 °C körüli csúcshőmérsékletű endoterm zsák, a kalcit CO₂ veszteségéből ered, amely a TG-görbén leolvasható súlycsökkenéssel jár.

A 8. ábrán közölt alsópannóniai szürke iszapos agyag (VII-1 fúrás 8,0 m-éből) termogramján a montmorillonit, kalcit- és kvarejellegen kívül, a DTA-görbén szerves eredetű anyagra (330°C) és (400°C felett) piritre jellemző exoterm csúcsot is láthatunk. A kristályos fázisokon kívül mindkét terület mintáiban gyakori a szerves eredetű, amorf agyagra utaló hajlat is.

A lengyelszótetői terület egyik jellegzetes anyagáról készített termogramot a 9. ábrán közöljük. Az ábrán közölt alsópannóniai sárgásbarna



9. ábra. A lengyelszótetői L-7. sz. fúrás 11,0 m-ből származó alsópannóniai agyagos iszap termikus görbéi

agyagos iszap, (L 7 fúrás 11,0 m-ből) illitit és kisebb mennyiségű montmorillonitot tartalmaz. A DTG és DTA görbéin 300°C felett egy nagy intenzitású endoterm csúcs látható. Ez bázikus vas-oxid kristályos módosulatot jelez. Az ilyen minták kémiai elemzése során kapott vastartalom nagy, jelen esetben az Fe₂O₃ = 9,58%.

Röntgenvizsgálatok. A kristályos fázisok minőségére és mennyiségi viszonyaira, különös tekintettel a minták kvartertartalmára vonatkozó tájékozódásul, 50 db röntgendiffrakciós vizsgálatot végeztünk. Ezen vizsgálatok eredményei jó egyeztet mutatnak a termikus vizsgálatok eredményeivel. Röntgenvizsgálatokkal a minták nagy százalékában földpát is kimutatható, aminek termikus effektusa illit jelenlétében nem érzékelhető. A vizsgált minták több mint felében kis mennyiségű kaolinit is szerepel, ami rossz kristályosodási foka miatt a termogramokon szintén nem jelentkezik. Röntgenfelvételekből kiszámítottuk a minták kvartertartalmát.

Az L 7-es számú fúrás jellemző rétegeinek, röntgenreflexiók alapján számított százalékos kvartertartalmát. tájékozódásul az alábbiakban adjuk.

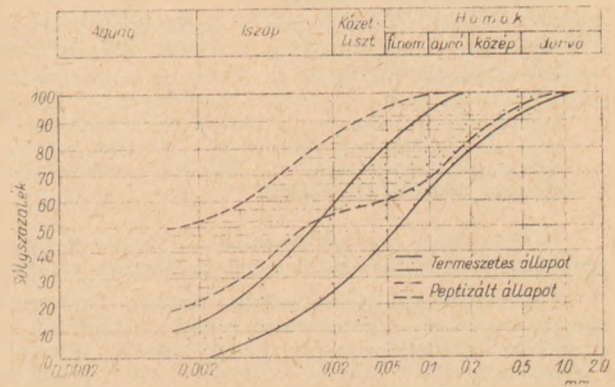
A minta mélysége (m)	Kvartertartalom (%-ban)
5,0	18
7,0	26
9,0	23
10,0	30
11,0	14
13,0	18
15,0	17
17,0	19
19,0	13

A csornyatetői X-6, sz. fúrás 25,0 m-ből származó alsópannóniai kőzetlisztes iszap röntgenreflexiókból számolt százalékos összetétele a következő:

Asványi összetétel

illit	25
montmorillonit	8
kaolinit	18
földpát	7
kvare	27
kalcit	6
dolomit	4
amorf	5

Talajmechanikai vizsgálatok. A területre jellemző agyagok morfológiai, képlékenységi állapotának meghatározására, valamint szemeseösszetétel szerinti osztályozására, plasztikus állapot jellemző és szemeseeloszlási vizsgálatokat végeztünk. A szemeseeloszlást hidrometrálással; természetes (kezeletlen) és peptizált (maximálisan diszperz) állapotban határoztuk meg. A 10. ábrán látható szemeseösszetéti burkoló görbék a természetes és a peptizált állapotban kapott szemeseeloszlások szélső értékeit ábrázolják. A kétféle állapot közti különbség arra mutat, hogy az agyagok ter-



10. ábra. Szemeseösszetéti burkoló görbék

mészetes állapotban erősen koaguláltak (aggregálódtak). Ez a sajátság is a kétértékű kation bázisú agyagásványokra jellemző.

A talajmechanikából ismert képlékenységi, konzisztencia határokat; folyási határ (F), plasztikus határ (P) és plasztikus-index (Pi), továbbá lineáris zsugorodási (Zs_l) értékeket, néhány csornyatetői minta esetében, szintén meghatároztuk. Ezek eredményét a fenti összeállításban közöljük.

A minta jelzése és a kőzet neve	F %	P %	Pi %	Zs ₁ %	Agyagfrakció súly %	
					természetes	peptizált
					állapotban	
IX-00/11,0 szürke iszapos agyag (pa)	64,0	28,0	36,0	4,3	2	47
IX-00/15,0 szürke iszapos agyag (pa)	60,5	27,7	32,8	8,3	3	45
IX-00/20,0 szürke iszapos agyag (pa)	59,0	27,0	32,0	3,8	4	48
X-6/10,0 sötétbarna kőzetlisztes agyagos iszap (pa)	34,5	15,5	19,0	7,1	8	39
X-6/15,0 sárgásszürke kőzetlisztes iszap (pa)	35,8	20,0	15,8	8,8	0	40
X-6/20,0 sárgásszürke kőzetlisztes iszap (pa)	41,2	20,5	20,7	8,2	0	24
X-6/25,0 szürke kőzetlisztes iszap (pa)	54,8	22,5	32,3	6,3	4	25
XVII-01/13,0 sárgásbarna iszapos agyag (pa)	46,0	18,6	27,4	5,7	15	51

IRODALOM

- Schréter Z. (1925): Adatok a Sajómedence és a Bükk D-i oldalának geológiai viszonyaihoz. — Földtani Intézet Évi jelentése 1920—23. 33—39. Budapest.
- Schréter Z. (1939): A Bükk-hegység délkeleti oldalának földtani viszonyai. — Földtani Intézet Évi jelentése 1933—35. II. 511—532. Budapest.
- Schréter Z. (1943): A Bükk hegység geológiája. (Beszámoló a Földtani Intézet vitatéléseinek munkálatairól. — Földtani Intézet 1943. évi jelentésének függeléke. 378—411. Budapest.)
- Schréter Z. (1960): Die geologischen Verhältnisse des Bükk-Gebirges. — Karszt- és Barlangkutatás, 1959. I. 7—36. Budapest.
- Takáts T. (1964): Kötőanyagipari nyersanyagok kutatása. — Az ÉaKKI tízéves tudományos működése, 1953—1963. 15—26. Budapest.
- Takáts T.—Vítális Gy. (1964): Részjelentés a Kötőanyagipari nyersanyagok kutatása c. téma keretében „A Hejőcsabai Cement- és Mészmű agyag nyersanyag kutatásáról.” — ÉaKKI Alap kutatási Osztály, Kézirat, Budapest.
- Vítális Gy. (1965): Cementipari nyersanyagok földtani kutatása. — Szilikástechnika, 1965. 115—117. és 129—132. Budapest.
- Vítális Gy.—Hegyi I.-né (1965): Zárójelentés a Kötőanyagipari nyersanyagok kutatása c. téma keretében „A Hejőcsabai Cement- és Mészmű agyag nyersanyag kutatásáról.” — ÉaKKI Szilikátkémiai Osztály, Kézirat, Budapest.

Takáts Tibor—Hegyi Istvánné — Vítális György: Agyagkutatás a Hejőcsabai Cement- és Mészmű részére.

A partközeli kifejlődésű, sokszor lencsés — keresztretégtett településű — alsópannoniai rétegösszletben mindkét kutatási területen sikerült egy-egy nagyobb tömegű, a felszín közvetlen közelében települő agyag, illetve agyagos kifejlődésű nyersanyagkészletet feltárni. Ez a pleisztocén fedőrétegekkel együtt, koreken 14 millió tonna 2,96 súlyozott SM őrítékű agyagkészletet jelent, amely 50 évre biztosítja a HCM jelenlegi nyersanyag igényét.

Elemzési adatok, műszeres vizsgálatok, valamint talajmechanikai vizsgálatok adatai alapján megállapítottuk, hogy az agyag nyersanyag ásványi összetétel szerint rendkívül heterogén. Az agyag és agyagos kifejlődésű rétegekben a kvarc mellett mindhárom agyag-

ásvány-típus megtalálható. Termikus és röntgen vizsgálatokkal kimutatható, hogy az egykori tóparthoz közelebb eső cszoznyatetői terület rész agyaga inkább montmorillonit, míg a parthoz távolabb eső lengyelszótetői inkább illit agyagásvány-jellegű.

A cszoznyatetői kutatási területről vizsgált minták 33%-ában, a lengyelszótetői minták 22%-ában kalcit (néhol dolomit) található, általában 5 súly% alatti mennyiségben. Földpát csaknem minden mintában, néhol 20% körüli mennyiségben kimutatható. Ritkábban kis mennyiségű pirít és a lengyelszótetői terület néhány fúrásában bázikus vasoxidot találunk.

A cszoznyatetői területről származó agyagnyersanyaggal kísérleti üzemenkben végzett gyártási kísérlet eredménye a kapott klinker-, illetve cementszilárd-ság az MSZ 47,2 szabvány 500-as cementre vonatkozó előírásait kielégítette.

Такач Т.—Хеди И.—Виталиш Д.: Исследования сырьевой базы для цементно-известкового комбината в Хейечаба.

В результате исследования толщи слоев нижнепаннонийского периода, имеющих во многих местах линзообразное и крестообразно-слоистое залегание удалось обнаружить на обоих исследованных участках, в непосредственной близости от поверхности, довольно обширные запасы глины. Эти запасы составляют совместно с вскрышным слоем приблизительно 14 млн. тонн глины с КМ—2,96, и могут обеспечить потребности цементного завода в сыром материале на 50 лет.

На основании химического, рентгеновского и т. д. анализа, а также на основе механических испытаний почв, удалось установить, что глины имеют необычайно гетерогенный минералогический состав.

В глине, а также в слоях глиняного характера наряду с кварцем встречаются все три типа глиняных минералов, так, например, отдельные месторождения глины являются монмориллонитовыми, другие иллитовыми. 33% образцов глины, взятых из т. н. района „чезнятето“, содержали кальцит (иногда доломит) в количестве менее 5 вес. %. Почти все образцы содержали около 20% полевого шпата, и более редко, в небольшом количестве, пирит и основную окись железа. В результате пробного обжига сырья, содержащего глину района „чезнятето“, удалось получить цемент марки „500“, по венгерскому стандарту.

(Folytatása a borító 3. oldalán)

Beton optimális gőzölési idejének vizsgálata ultrahanggal*

GÉMESI JÓZSEF
(Szilikátipari Központi Kutató Intézet)

A beton gőzölésekor roncsolásos úton felvett gőzölési idő — nyomószilárdság-diagramoknak — mint ismeretes — általában van maximuma. Ezen az időn túl gőzölt betonpróbatetek nyomószilárdsága nemcsak a gőzölés további szakaszában csökken, hanem 28 napos korban is kisebb, mint a természetes úton érlelt próbateteké.

A közlemények szerint a roncsolásos vizsgálatokkal meghatározott azonos összetételű, méretű és alakú próbatetek optimális gőzölési ideje (órafokszám) — szélső esetektől eltekintve — ugyanabban a gőzölő kamrában érlelve állandó érték (1, 8, 9, 10).

Az optimális órafokszám meghatározására végzett roncsolásos vizsgálatokkal függvényszerű kapcsolatok meghatározása nélkül a túlgőzölés megakadályozására szorítkoztak. A nagyszámú kísérlet alapján felvett diagramok — a roncsolásos vizsgálatok közismert elvi hibái ellenére — az optimális órafokszámra megbízhatónak látszó adatokat szolgáltatnak.

Az 1. ábrán egy jellegzetes gőzölési idő — nyomószilárdság-diagramot mutatunk be. Az ordinátára a gőzölés közben mért nyomószilárdságot a természetes érleléssel 28 napos korban elért nyomószilárdság százalékában mértük fel. A görbe szaggatott vonallal megrajzolt szakasza a túlgőzöléskor tapasztalt szilárdságcsökkenést mutatja.

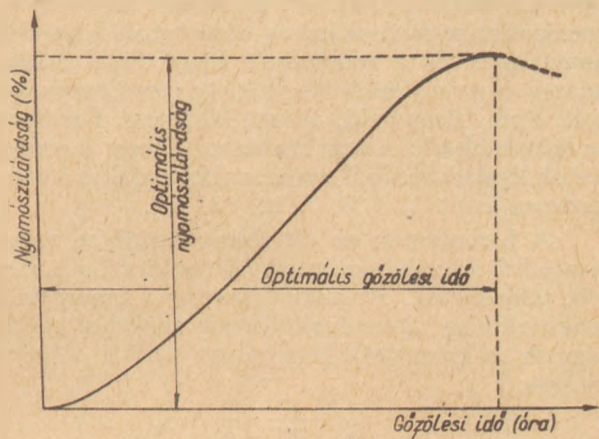
A roncsolásos vizsgálatok elfogadható eredményei ellenére több közlemény foglalkozik a betongőzölés roncsolásmentes vizsgálatával. Ezeket sem elvi kérdések megoldásának kutatása, hanem szintén energiatakarékossági és betonminőség javítási szempontok jellemzik. A gőztér és a próbatetek nedvességtartalma miatt a roncsolásmentes vizsgálatok lehetősége szűk területre korlátozódik.

A gőztérben tudomásunk szerint eddig sem a dielektromos állandó, sem a veszteségi tényező változása nem mérhető.

A kis tömegszámok miatt a sugárabszorpció változásának mérése lágy gammasugarak esetén is nehézségekkel jár. Minthogy reális összehasonlítás csak megfelelően kollimált nyalábbal érhető el, a radiológiai módszerek alkalmazásáról ugyan csak le kell mondanunk.

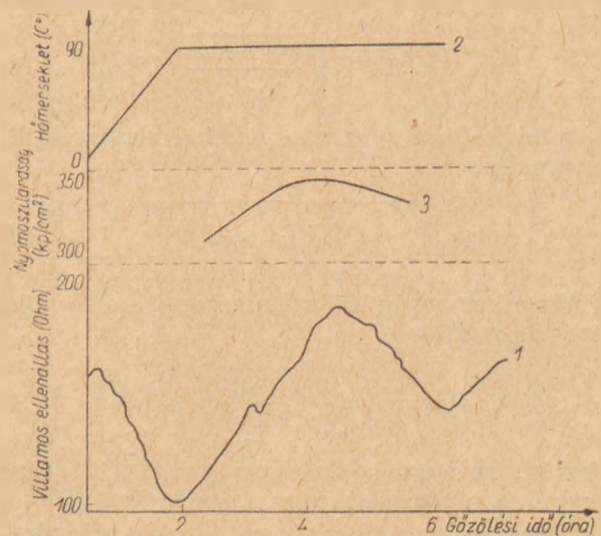
Roncsolásmentesen a betongőzölést konduktometriás módszerrel sikeresen vizsgálták [2, 14].

A szerzők szerint a beton próbatetek villamos ellenállása a gőzölési idő függvényében változik, és ebből a beton szerkezetében lejátszódott fizikai és kémiai változásokra következtetnek. Úgy vélik, hogy ezen az úton az optimális gőzölési idő meghatározható. Méréseik szerint a villamos ellenállás az optimális gőzölési idő pillanatában maximális.



1. ábra

A 2. ábrán bemutatott jellegzetes gőzölési idő villamosellenállás-diagramon az ordinátára a gőzölés közben meghatározott ellenállást mértük fel (1. görbe). A 2. görbe a gőzölő kamra hőmérsékletét, a 3. görbe a gőzölés közben elért nyomószilárdságot mutatja. A diagram szerint a próba-



2. ábra

* A lipsezi Zerstdörungsfreie Prüfung von Beton in der „Baupraxis-Internationale wiss. Tagung“-on 1966. IV. 20-án elhangzott előadás.

test villamos ellenállása a kamra hőmérsékletének beállításig csökken, majd nő, néhány óra alatt maximumot ér el és ismét leszálló, ill. felszálló ágak következnek. Mind a leszálló, mind a felszálló ágakon inflexiós pontokat és helyi maximumokat sejtető kiemelkedések mutathatók ki. Az eredeti ellenállást meghaladó egyik maximum abszcisszája egybeesik a maximális nyomószilárdsághoz tartozó abszcisszájával.

A konduktometriás módszer előnye folyamatos mérési lehetőség és az, hogy tájékoztató adatot szolgáltat az optimális gőzölési időre. Hátránya, hogy az ellenállás-maximumok közül a helyes érték kiválasztása szubjektív. A próbatest villamos ellenállása és nyomószilárdsága közötti elvi összefüggést egyébként eddig nem sikerült meggyőzően kimutatni.

Kedvezőbb a lehetőség a roncsolásmentes ultrahang-vizsgálatoknál. Az ultrahang terjedési sebessége és a nyomószilárdság között sincs közvetlen összefüggés, de a sebességtől függő rugalmassági adatok és nyomószilárdság közötti összefüggés igazolt. Pohl, Brunarski, Jávor, Makarov, Facaoaru és mások kísérletei arra mutatnak, hogy a próbatestek E-modulusából nyomószilárdságukra következtetni lehet [3, 4, 5, 7, 12, 13, 15].

A betontestek az ultrahang terjedése szempontjából kvázihomogén, rugalmas izotróp közegnek tekinthetők. Rugalmas homogén közegben a longitudinális ultrahanghullámok terjedési sebessége és a kompressziós modulus között Poisson szerint:

$$c = \sqrt{\frac{3Q(1-\mu)}{\rho(1+\mu)}} \quad (1)$$

összefüggés érvényes. Itt a Q a kompressziós modulus N/m^2 -ben, ρ a közeg sűrűsége kg/m^3 -ben, c az ultrahang terjedési sebessége m/s -ban, és μ a Poisson-szám.

Feltételezhető, hogy a kompressziós modulus és a nyomószilárdság között az összefüggés szorosabb, mint az E-modulus és a nyomószilárdság között.

Ha a kompressziós modulus kp/cm^2 -ben, a sűrűséget kg/dm^3 -ben adjuk meg, az (1) összefüggés

$$c = 10^{-1} \sqrt{\frac{3Q(1-\mu)}{\rho(1+\mu)}} \quad (2)$$

Sorbafejtés után a harmadrendűen kis tagok elhanyagolásával

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho} 3Q(1-2\mu-2\mu^2)} \quad (3)$$

A nyomószilárdság és a kompressziós modulus közötti összefüggést

$$\sigma = a \left(\sqrt{\frac{3Q(1-\mu)}{\rho(1+\mu)}} \right)^n \quad (4)$$

fejezi ki. Itt a az adalék anyag összetételétől függő tényező, n tapasztalati úton megállapított kitevő.

Eszerint az ultrahang longitudinális sebességéből általános esetben nem lehet meghatározni a

nyomószilárdság abszolút értékét, de a sebességváltozásból ugyanazon próbatestnél a kompressziós modulus változására következtetni lehet. Amennyiben a gőzölés ideje alatt a próbatesteken végzett mérésekből az ultrahang sebességének változása meghatározható, a kompressziós modulus és a nyomószilárdság közötti összefüggés következtében a nyomószilárdság változására is következtetni lehet.

Megfontolásainkat alátámasztották azok a megelőző mérések, amelyekkel azonos összetételű próbatesteken laboratóriumi körülmények között mért longitudinális ultrahanghullámok sebességéből meghatároztuk a nyomószilárdság közelítő értékét [6, 11].

Az ultrahangsebesség változásának mérése — fentiek alapján — a sebességváltozást előidéző fizikai és kémiai változások időpontjáról is tájékoztat.

Az ultrahang terjedési sebessége rezonancia és és impulzus módszerrel mérhető. Az utóbbi alkalmazása mellett szól az, hogy impulzus módszerrel a próbatestek kiszaluzott és ki nem szaluzott állapotban egyaránt vizsgálhatók.

A mérést a következő elvi összeállításban végeztük:

A gőzölő térbe helyezett próbatesttel az ultrahang-generátor impulzusait piezoelektromos adó közli. A próbatest túlsó lapjára felszerelt vevő a mechanikai rezgéseket átalakítva oszcilloszkóp ernyőjére viszi. Az oszcilloszkóp ernyőjén megjelenő impulzusok távolságából és a próbatest méreteiből az ultrahang terjedési sebességét kiszámítottuk, és a gőzölési idő függvényében ábrázoltuk az ultrahang terjedési sebességét. A terjedési sebességéből a kompressziós modulus változása (2)-ből egyszerű számításal

$$(\Delta c \ll 1)$$

$$\frac{\Delta Q}{Q} \approx 2 \frac{\Delta c}{c} \quad (5)$$

Itt $\frac{\Delta c}{c}$ a sebesség relatív változása, és a nyomószilárdság változása, a 4. és 5. összefüggésből

$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma} \approx 2n \frac{\Delta c}{c} \quad (6)$$

Kísérleteink nem terjedtek ki a betongőzölés technológiai kérdéseire, csupán azt vizsgáltuk meg hogy az ultrahangimpulzus-módszer alkalmas-e a gőzölés közbeni változások időpontjának kimutatására. Vizsgálatainkhoz Kretz 500-as LEA SBC-4 típusú ultrahang anyagvizsgálót és BI-8 betonoszkópot használtunk.

A gőzölő kamra hőmérsékletét 60—90°C között változtattuk. A gőzölések 6—12—16 órák voltak. A próbatestek összetétele a 20·20·20 [cm]³-es kockáknál és 12·12·36 [cm]³-es hasáboknál 0,38 vízcement-tényezőjű 500 kg/m³-es tatabányai 500-as cement max. 20 mm-es szemcsenyagúságú I. oszt. adalékanyaggal.

A 10·10·10 [cm]³-es és 4·4·16 [cm]³-es próbatestek összetétele ettől csak az adalék anyag

méretében különbözött (max. 2,5 mm). A mérési eredményeket az alábbi néhány jellegzetes diagrammal foglaljuk össze.

Az ábrákon a gőzölési idő függvényében a 2. görbe a gőzölt próbatesteken mért ultrahang sebességét adja meg, m/s-ban, az 1. görbe a kompressziós modulus változását szemlélteti a 28 napos korban meghatározott kompressziós modulus százalékában. A 3. görbe Kunszt idézett roncsolásos úton felvett diagramjai alapján a gőzölés alatti szilárdság változását megegyező méretű próbatestek esetében 28 napos korban töréssel meghatározott nyomószilárdság százalékában mutatja.

A 3. ábrán természetesen érlelt és 16 órán át 60°C-on gőzölt 12·12·36 [cm]³-es próbatestek szilárdulását hasonlítjuk össze. A természetesen érlelt próbatestekben mért ultrahangsebesség a 4. görbéről olvasható le. A természetesen érlelt és a gőzölt próbatesteknél 28 napos korban a terjedési sebességet átlagosan egyaránt 4,5·10³ m/s-nak találtuk. A 28 napos korban eltört próbatestek nyomószilárdsága között lényeges eltérést nem találtunk (±10%). A gőzölés alatti maximális sebesség a végleges sebességnek 83%-a. A kompressziós modulus a 3. ábra szerint ugyanekkor a végérték 69%-a. A roncsolásos vizsgálatok adatai szerint (3. görbe) a gőzölés alatt elért nyomószilárdság a 28 napos szilárdságnak 68—69%-a.

A 4. ábrán 90°C-on 12 órán át gőzölt 20·20·20 [cm]³-es próbatestek diagramjait látjuk. A 28 napos korban mért terjedési sebesség ebben az esetben 4,7·10³ m/s volt.

Itt és a 3. ábrán a roncsolásos úton felvett nyomószilárdsági és roncsolásmentesen meghatározott kompressziós modulusok változása nemcsak jellegében, hanem abszolút értékben is jól egyezik.

Az 5. ábrán látható sebesség és kompressziós modulus diagramokat 4·4·16 [cm]³-es a 6. ábrán 10·10·10 [cm]³ próbatesteken végzett mérések alapján vettük fel. A kompressziós modulusok értéke mindkét esetben kisebb, mint ez a roncsolásos mérések menetéből várható. Ezt a roncsolással és roncsolásmentesen vizsgált próbatestek mérete közötti jelentéktelen eltérés nem indokolja. A különbség valószínűleg arra utal, hogy a gőzölhetőség a szem nagysággal változik.

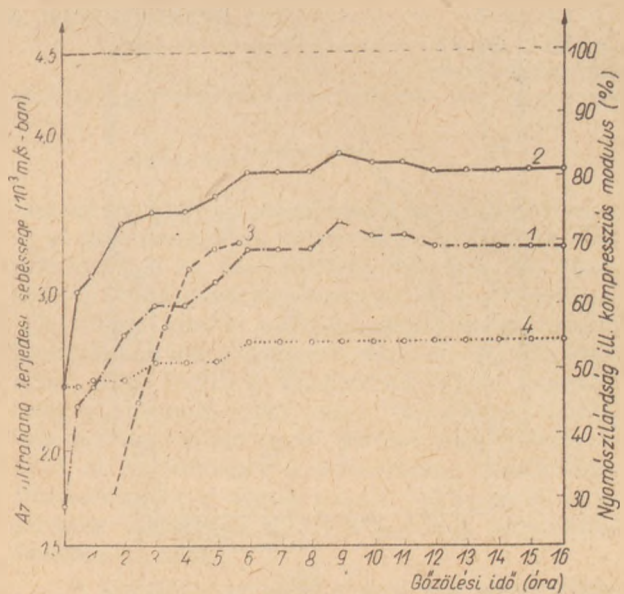
Az 5. ábrán felvett diagramok 70°C-os 6 órás gőzölésnek, a 6. ábrán láthatók pedig 60°C-os 12 órás gőzölésnek felelnek meg.

Az ultrahang-sebességek mérésének szórása ugyanazon próbatesteknél mindig ±3%-on belül maradt.

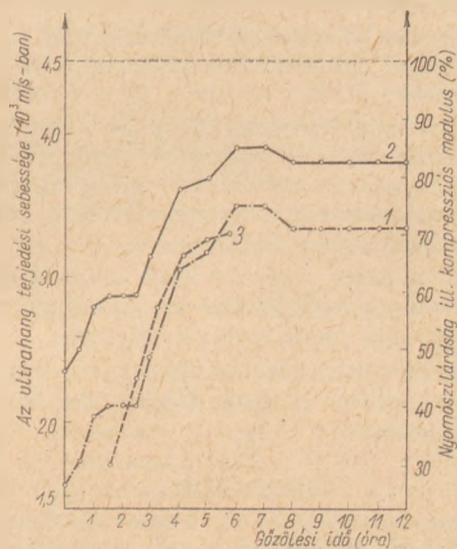
Az eredmények a kísérleti adatok viszonylagos nagy száma ellenére sem jogosítanak fel általános érvényű törvényszerűség meghatározására.

Eddigi tapasztalataink alapján az alábbi megállapítások rögzíthetők le:

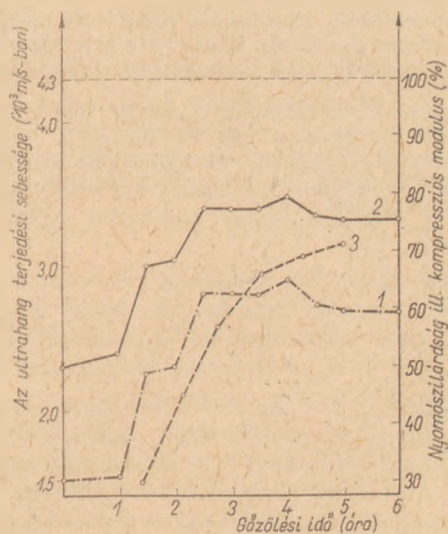
1. a betongőzölés alatt az ultrahang sebességének változása követhető;
2. az ultrahang sebessége a gőzölés alatt a beton méretétől és a gőzölő kamra hőmérsékletétől függő maximális értékig nő, ezután némileg csök-



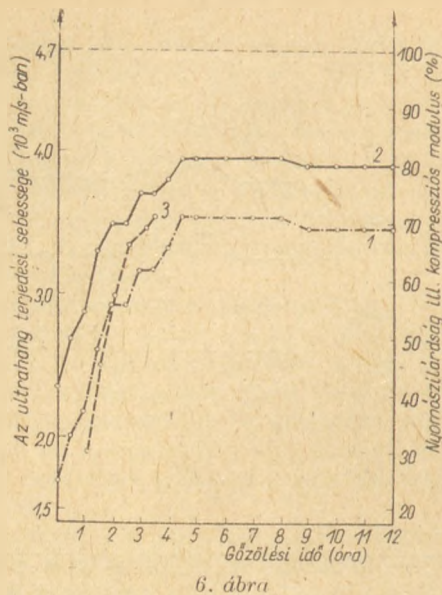
3. ábra



4. ábra



5. ábra



6. ábra

ken, és az általunk vizsgált további gőzölési idő alatt állandó értéken marad;

3. magasabb gőzölési hőmérsékletnél az optimális gőzölési idő rövidebb, de az ún. órafokszám nem állandó;

4. minthogy kimutatható, hogy a beton nyomószilárdsága és a kompressziós modulus között van összefüggés, az ultrahang longitudinális sebességének változásából a nyomószilárdság változására is következtetni lehet;

5. a módszer a gőzölés ideje alatti sebességváltozás okának kiderítésére nem alkalmas, ennek eldöntésére más módszerek szükségesek;

6. az optimális gőzölési időtartam megválasztásához az eddigi mérések tájékoztató adatokat szolgáltathatnak.

IRODALOM

- [1] Balázs Gy.—Kelemen J., Kilián J.: Építőanyag 1958. 9. pp. 326—331.
- [2] Brand W.: Zem. Kalk Gips No. 7. p. 328. 1956.
- [3] Brunarski L., Basin J., Makarov P.: Postepy Techniki Jadovrej 1961. No. 8.
- [4] Brunarski L.: Építőanyag p. 260—267. 1962.
- [5] Facaocarui J.: Contr. la studeria prin Metode ultrasonore a intaririi betanelor Cand. Diss. Temesvár, 1960.
- [6] Gémesi J.: Építőanyag 5. sz. pp. 184—187. 1965.
- [7] Jávorski T.: Stavivo I. pp. 19—21. 1959.
- [8] Kunszt Gy.: A beton gyorsgőzölési technológiájának kidolgozására irányuló kísérletek ÉTI Tud. Jel. Budapest, 1955.

- [9] Kunszt Gy.: Magyar Építőipar 1—2. sz. 1957.
- [10] Palotás L.: Építési és Közlekedéstud. Közl. II. 1. Budapest 1958.
- [11] Palotás L., Balázs Gy., Gémesi J.: Investigation of Concrete Hardening during Steam-Curing by Non Destr. Tests. RILEM Moszkva 1964.
- [12] Pohl E.: Wissenschaftl. Leitschr. Hochsch. für Bauw. Leipzig pp. Heft. 1. 1962.
- [13] Pohl E.: Wissenschaftl. Zeitschr. Hochsch. für Bauw. Leipzig pp. 137—148. 1964.
- [14] Szuk G.: Act. Techn. T. XXIX. Fasc. 3—4. pp. 419—427. 1960.
- [15] Wehr J.: Messungen von elastischen Konstanten mittels Ultraschall Mitt. Poln. Akad. der Wiss. Warszawa 1965.

Gémesi József: Beton optimális gőzölési idejének vizsgálata ultrahanggal

A szerző összefoglalja a betongőzölés roncsolásmentes vizsgálati lehetőségeit. Saját mérései alapján megállapítja, hogy az ultrahang longitudinális terjedési sebességének a gőzölés ideje alatti változásából az optimális gőzölési időre lehet következtetni.

A nyomószilárdságra a mérési módszer csak relatív értékeket ad, s nem ad felvilágosítást a gőzölés ideje alatti sebességváltozás okára.

Гемешу Й.: Определение оптимального времени пропаривания с помощью ультразвука.

Автор обобщает возможности испытания бетонов при пропаривании без разрушения. На основании собственных испытаний устанавливает, что по изменению скорости распространения ультразвука во время пропаривания можно сделать заключение в отношении оптимального времени пропаривания.

Автор отмечает, что данный метод измерения дает только относительные данные прочности при сжатии, и не может дать объяснения причины изменения скорости во время пропаривания.

Gémesi, József: Prüfung der optimalen Dauer der Dampfbehandlung des Betons mittelst Ultraschalls

Es werden die Möglichkeiten der zerstörungsfreien Prüfung dampfbehandelten Betons zusammengefaßt. Auf Grund von eigenen Messungen wird festgestellt, daß man aus der Veränderung der longitudinalen Fortpflanzungsgeschwindigkeit vom Ultraschall während der Dampfbehandlung auf die optimale Dauer derselben folgern kann.

Für die Druckfestigkeit erhält man beim beschriebenen Verfahren nur relative Werte, die Ursache der Geschwindigkeitsänderung während der Behandlung ist ungeklärt. (S. G.)

Gémesi, József: Optimum Steam-curing Time of Concrete Investigated by Ultrasonic Methods

Reviewing the possibilities of the non-destructive testing of concretes during steam curing, the method of measuring longitudinal ultrasonic velocity is described. From characteristic changes in velocity, optimum steam curing time of concrete can be determined. The nature of changes is not interpreted. The method gives only relative values for compressive strengths.

A színesüveggyártás folyamán az üveg színének változtatása a gyakorlatban bizonyos anyagvesztéssel és szükségszerűen bizonyos idejű gyártás-megszakítással kapcsolatos. Az üvegolvadék közbeeső árnyalatokat vesz fel, ami gyakran nem kívánatos. Gyakran az üvegolvasztó kádat ki kell üríteni, ami szintén tetemes veszteséggel jár. Ezeket a veszteségeket azonban tekintélyes mértékben le lehet csökkenteni, ha az átszínezésnél optimális feltételeket létesítünk. Ebből a célból szükséges, hogy meghatározzuk elsősorban az átszínezés kívánt fokát, és alkalmas eljárást dolgozzunk ki a kívánt cél legrövidebb időn belüli elérésére.

Az átszínezés szükséges foka. Az üvegolvadék átszínezésének feltételei, annak összetétele és színe szerint igen különböző és ennek következtében az átszínezés fokára különböző követelmények állnak elő. A követelményeket megkíséreljük alaposabban megvilágítani.

Tanulmányozva az átszínezést, egy eljárást alkalmaztunk sajtolt üvegek gyártásánál, amely szerint modelloldatokat kevertünk, és így határoztuk meg a vizsgált színes üvegpárok átszínezésének fokát. Az átszínezést gyakorlatilag befejeződtönnék vettük, amikor a kemencéből kivett üvegolvadék színárnyalata vizuálisan értékelve állandó lett: ily módon a következő meghatározás keletkezett. Az átszínezés szükséges foka az új üvegnek az a része, amellyel a régi üveggel keverve végleges színárnyalatot érünk el.

Ennek a foknak megállapítása céljából szerves színezőkkel, amelyek egymásra nem fejtettek ki hatást, a vizsgálandó üvegek modelladatait készítettük el, amely oldatok mindegyikének színe és színintenzitása, amennyire csak lehetséges, az üvegolvadékokéval megegyezett. Ha pl. „A” olvadék színét „B” olvadék színével akarjuk változtatni, akkor két azonos méretű koloriméteres edénybe a „B” oldat mért mennyiségű öntjük és az egyik edénybe bürettárból addig adunk „A” oldatot, amíg a második edénnyel összehasonlítva a színárnyalat különbsége észlelhető lesz. „B” oldat százalékos mennyisége a keverékben adja meg az átszínezés szükséges fokát.

Ily módon azonban csak olyan esetekben modellezhetünk, ha a két üvegolvadék nem hat egymásra. Ha ellenben az olvadékban jelenlevő színezők kölcsönösen hatnak egymásra, vagy ha oxidáció vagy redukció következtében azok változást szenvednek, pontos meghatározás csak akkor lehetséges, ha valódi üvegeket használunk. A modellkísérlet ilyen esetekben a folyamatnak csak fizikai oldalát képviseli.

Sajtolt színes üvegnél azt találtuk, hogy az átszínezés szükséges mértéke 60 és 99,5% között változik. A legalacsonyabb értéket különösen olyan

esetekben találtuk, amelyeknél az eredeti üveg az újjal összehasonlítva világosabb és mindkét olvadék színben és összetételben hasonló (pl. rózsaszínből ametiszt színre átszínezés). Azt is megfigyeltük, hogy kisebb szintisztaságú üvegolvadékok könnyebben lehet nagyobb szintisztaságúvá átszínezni, mint fordítva. Füstszürke és zöld turmalin-üveg pl. hasonló világosságú (teljes fényáthocsajlásának az emberi szem érzékenysége tekintetében), de különböznek a szintisztaság tekintetében. Füstszürke üveg átszínezésénél turmalinná az átszínezés szükséges foka 70%, míg turmalinból füstszínűvé 92%.

A kristályüveg színe a neutrális színű világos üveg szélsőséges esete. Könnyen átszínezhető bármilyen színű üveggé (az átszínezés foka 60—70%), de az ellenkező átszínezés igen nehéz (97—99,5%).

Az átszínezési folyamat típusai. Az átszínezés fizikai és vegyi szempontból minőségi és mennyiségi változásokkal jár a színező alkotórészek mennyisége és néha az alapüveg összetétele és oxidáció-redukciós egyensúlyának változása szerint. Az átszínezés típusai a következők:

a) az átszínezés szükséges foka kicsiny.

b) a régi olvadék színe vegyi úton megsemmisíthető,

c) átmeneti keverés alkalmazható.

Az a) pontot az előbbiekben már eléggé részleteztük. A b) pontra példának felhozzuk egy ambra színű üveg átszínezését oxidáló feltételek mellett olvasztott üveggé. Oxidálással a barna színt teljesen eltüntetjük, és így gyakorlatilag kristályüveg színezésére alkalmazhatjuk. A c) pont szerint az átmeneti keveréket olyan üvegek esetében használjuk, amelyeket különböző koncentrációjú, azonos színezővel színeztünk, használható azonban kristályüveg színezésére is. Ha rózsaszínű ametisztre változtatunk, az átszínezés gyorsítható egy olyan keverékkel, amely szelént nem tartalmaz, de növelt kobatkonzentrációjú. Ily módon a két színező végső viszonyát gyorsabban kaphatjuk meg. Természetes, hogy az átszínezés kedvező típusa kevesebb gyártási kiesést okoz, mint a kevésbé alkalmas típusok, amelyek a kád tartalmának majdnem teljes pótlását követelik meg.

Az átszínezési folyamatok számítása. Adott körülmények és az olvasztókád típusa szerint két alapvető folyamatot különböztetünk meg: az egy-szeri és folyamatos átszínezést.

Az egyszeri átszínezésnél a régi üvegolvadék legnagyobb részét eltávolítjuk, és új keverékből olvasztott olvadékkal helyettesítjük. Ez az eljárás akkor szokásos, ha periodikus kemencét használunk (fazekas vagy nappali kádkemence), alkalmazható azonban folyamatos kemencénél is, ha az ol-

vasztás folyamatát megszakítjuk. A számítás ebben az esetben igen egyszerű. Csak az átszínezés szükséges fokát kell ismerni annak megállapítására, hogy milyen mennyiséget kell a régi üveglvadékból a kádban visszahagyni, hogy az a végső arányt ne befolyásolja. Ha megfelelő átszínezési típust használunk, elégséges néha az eredeti olvadéknak kisebb mennyiségét eltávolítani és a koncentrációt átmeneti keverékkel bejátszani. A számítást a következő példa mutatja:

Az átszínezés folyamán a színező koncentrációját 0,5%-ról 0,3%-ra kell csökkenteni (azaz 40%-kal) és egyúttal B színezőt 0,01-ről 0,03%-ra növelni. Ebben az esetben az eljárás az A színező hígítása. Az üveglvadékból csak 40%-ot kell eltávolítani és a visszamaradt 60%-hoz ugyanazon mennyiségű átmeneti keveréket A színező nélkül, de növelt B színező tartalommal adni. Az átmeneti K_B koncentrációt a következő képlettel számítjuk ki:

$$K_B = \frac{100c - k_0 p_0}{p_1}$$

ha c = a B színező kívánt koncentrációja,

k_0 = a B színező kezdeti koncentrációja,

p_0 = a kádban visszamaradt eredeti olvadék százalékos mennyisége,

p_1 = az eltávolított és pótoló üveg százalékos mennyisége.

Behelyettesítés és kiszámítás után azt találjuk, hogy $K_B = 0,06\%$. Ha az üveglvadéket ily koncentrációjú olvadékkal pótoljuk, az átszínezést 100%-ban végrehajtottuk.

Ha kristályüveget színezünk át, az átmeneti koncentráció számítása oly módon egyszerűsödik, hogy $k_0 = 0$. A következő képletet kapjuk:

$$k = \frac{100c}{p_1}$$

Nem minden esetben lehet az olvasztókádat annyira kiüríteni, amint azt az átszínezés szükséges foka megkívánja. Ilyen esetekben szokásos a visszamaradt régi olvadéket felhígítani oly mértékben, hogy az átszínezés foka ne legyen nagyobb, mint a számítással meghatározott.

A folyamatos átszínezést folyamatos üzemi olvasztókemencében végzik az üvegszint csökkenése nélkül. Általában a gépi formáló üvegkádaknál alkalmazzák és abban áll, hogy a színező koncentrációt progresszíven egyensúlyozzuk addig, amíg az eléri a keverékből nyert olvadék határértékét.

Tételezzük fel, hogy az olvasztott üveg mennyisége azonos a gyártott üvegével, azaz a kemencében maradt üveg mennyisége állandó, és közben az olvasztás folyamán a régi és az új üveg alaposan keveredik. Ebben az esetben a koncentráció időbeli változását a következő egyenlet adja meg:

$$\log \frac{K - K_0}{K - c} = 0,4343 \frac{at}{m}$$

ha K = a keverékkel bevitt olvadékban a színező koncentrációja,

K_0 = az eredeti olvadékban a színező koncentrációja,

c = a pillanatnyi koncentráció t időben,

a = a kivett üveg,

m = a kád üvegtartalma,

t = az idő.

Az első koncentrációváltozás nagy, de folyamatosan közeledve a határértékhez a folyamat fokozatosan csökken, elméletileg azonban nem érheti el a 100%-ot. Ezért igen fontos a szükséges átszínezési fok ismerete. Ha ez a fok kicsiny, az átszínezésre szükséges idő is rövidebb. Természetes, hogy az átszínezésre szükséges idő rövidebb, ha kétszeres koncentrációjú átmeneti keveréket használunk. A fenti képletből az is következik, hogy minél nagyobb az olvasztó kapacitás és a kádtartalom viszonya, annál nagyobb az átszínezés sebessége.

A számítást a következő példával mutatjuk be: Számítsuk ki, hogy mennyi üveget kell pótolni, ha a színező koncentrációját 0,2%-ról 1%-ra kell emelni, és a beadagolt keverékből lett üveglvadék 1,2%-ot tartalmaz. (ami azt jelenti, hogy az átszínezési fok 80%). A kemence üveglvadéktartalma 2 tonna. Tehát:

$$K = 1,2\%; K_0 = 0,2\%; c = 1\%;$$

és így:

$$K - K_0 = 1\% \text{ és } K - c = 0,2\%$$

A számítás alapján $at = 3,2$ tonna. Ha azonban a kétszeres színező tartalmú keveréket használjuk ($K = 2,4\%$), a szükséges pótlendő üveglvadék mennyisége csak $at = 0,9$ tonna.

Ha a technológiai folyamat nem követeli meg, hogy az üvegszint állandó maradjon, az egyszeri és folyamatos átszínezést kombinálhatjuk. Először kiszámítjuk azt, hogy miként halad az átszínezés, ha a kádat az új üveglvadékkal töltjük ki. Ezt az állapotot tekintjük a folyamatos átszínezés kiinduló pontjának. Számítással könnyen megállapíthatjuk, hogy az üvegszín csekély csökkenése nem okoz a követő folyamatos átszínezésnél túlságos változást. A folyamat ideje azonban megrövidül, amikor az eltávolított üveglvadék mennyisége megközelíti az átszínezés szükséges fokát. Kombiniált átszínezés is használható, ha átmeneti keveréket vagy vegyi eljárást alkalmazunk. Nem kísérjük meg, hogy a konkrét esetek számos lehetőségéről beszámoljunk, mert jelenlegi tanulmányunk főleg arra szolgál, hogy felhívja a figyelmet az átszínezési folyamatok lehetőségeire és a számítások gyakorlati jelentőségeire.

Gyakorlati tapasztalatok és következtetések. Az üveglvadékok átszínezésének számítását a kidolgozott egyenlet szerint gyakorlatilag ellenőriztük egy kisméretű folytonos kádkemencén, és azt találtuk, hogy a valóságos adatokkal közel megegyezik. Nyolc ízbeni vizsgálat folyamán a talált eltérés nem haladta túl a számított érték 10%-át. A legtöbb esetben azonban a tényleges érték valamivel

kevesebb volt, mint a számított. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy az olvasztókemence a valóságban nem tudja elérni a tökéletes keverés feltételeit, és azonkívül az olvasztótéren felül a munkateret is tekintetbe kell venni, amely utóbbiban a homogenizálás igen csekély. Pontos bizonyítékokat csak abban az esetben lehetne szerezni, ha oly modellberendezést használnánk, amelyben pontosan ellenőrizhető színező anyagokkal dolgoznánk.

A fent említett fejtegetésekből az a következő vonható le, hogy gazdaságos átszínezés egyrészt azoktól a tényezőktől függ, amelyek az olvasztókádra vonatkoznak (üvegtartalom, olvasztási kapacitás, homogenizálási fok), és másrészt a folyamatban résztvevő üveglvadékok típusaitól és azok kölcsönös egymásra hatásától.

Gyakorlati következtetésként levonható, hogy akkor gazdaságos az átszínezés, ha nagy kapacitású kádkemencét használunk és ha olyan színsorrendet választunk, amely a legmegfelelőbb átszínezést biztosítja. Olyan esetekben, amelyekben az üvegformálási technológia nem követeli meg, hogy a kádban az üvegszint állandó legyen, növelhetjük az átszínezési folyamat gazdaságosságát oly módon, hogy az átszínezés folyamatát megelőzően, az üvegtartalmat csökkentjük. Egy kevésbé megfelelő átszínezési típus esetében ez az út az egyetlen gyakorlati mód a folyamat meggyorsítására.

Számos lehetőség van arra, hogy miként választható ki a legjobb átszínezési eljárás. Adott esetben azonban a legalkalmasabb eljárás a matematikai kiértékelés a fentiekben javasolt eljárással.

Kriz, Mojmir: Üveglvasztó kemence olvadékának átszínezési problémái

A közlemény meghatározza az átszínezés szükséges fokát, amellyel gyakorlatilag konstans értékeket lehet

elérni, foglalkozik továbbá az átszínezés fontosabb eljárásaival. Számításokat közöl az átszínezésre periodikus és folytonos kemencékben, és eljárásokat annak gyorsítására. Néhány példa bizonyítja e számítások gyakorlati jelentőségét, melyekkel az átszínezés veszteségeit csökkenteni lehet.

Круз М.: Проблемы окрашивания расплава стеклоплавильных печей.

В статье даётся определение необходимой степени переокрашивания, с помощью которой практически можно достигнуть постоянных значений, а также описываются важнейшие методы переокрашивания. Приводятся расчёты переокрашивания в периодических и непрерывных печах, а также методы его ускорения. На основании нескольких примеров доказывает практическое значение этих расчётов, с помощью которых можно снижать потери, возникающие при переокрашивании.

Kriz, Mojmir: Probleme des Umlärbens der Schmelze von Glasschmelzöfen

Es wird der erforderliche Grad des Umlärbens bestimmt, wobei praktisch konstante Werte erreichbar sind, desweiteren werden die nennenswerten Verfahren zum Umlärbem behandelt. Man findet Berechnungen für das Umlärbem in periodisch und kontinuierlich tätigen Öfen, und die Beschreibung von Verfahren zur Beschleunigung desselben. Einige Beispiele beweisen die praktische Wichtigkeit der Berechnungen, mittels welcher sich die Verluste beim Umlärbem vermindern lassen. (S. G.)

Kriz, Mojmir: The Through-colourization of Melts in Glassmelting Kilns.

The methods of through-colourization are reviewed and the minimum through-colourization necessary to reach constant values is discussed. Calculations are made for through-colourization in intermittent and continuous kilns and methods for accelerated through-colourization described. The practical importance of these calculations is stressed by the possibility to reduce losses due to through-colourization.

A Lapkiadó Vállalat hirdetések felvételét az alábbi díjszabás szerint:

Egészoldalas hirdetés ára	1440,—Ft
Féloldalas hirdetés ára	720,— „
Negyedoldalas hirdetés ára	360,— „

HIRDESSEN AZ

ÉPÍTŐANYAGBAN

A hirdetések az alábbi címre küldendők:

LAPKIADÓ VÁLLALAT, BUDAPEST, VII., LENIN KÖRÚT 9-11

Telefon: 221-285

Befizetéseket az MNB 46 egyszámlára kérjük

Világítástechnikai és színdinamikai kérdések az üvegyiparban*

SERESTYÉN GYÖRGY
(SZOT Munkavédelmi Tudományos Kutató Intézet)

Az üvegyipar a világítástechnika és a színdinamika szempontjából eléggé elhanyagolt terület, területén bőségesen van alkalom arra, hogy a korszerű világítási módokat és a színdinamika elveit, előnyeit alkalmazzuk, hasznosítsuk.

Természetesen nem lehet az iparágban dolgozó mérnökök feladata, hogy az üzemükben korszerű világítást tervezzenek, vagy meghatározzák a helyiségek színezésénél alkalmazandó irányelveket, de azt hiszem mielőtt az üvegyipar speciális problémáival foglalkozunk, helyes lesz néhány szót szólni a világításról és a színdinamikáról általánosságban.

A különböző célokat szolgáló helyiségek színdinamikai kiképzésénél igen sok körülményt kell figyelembe venni, ahhoz, hogy az alkalmazott színek a helyiségben végzendő munkát megkönnyítsék a megfelelőbb munkakörülmények kialakításával.

A színdinamikai elvek helyes alkalmazásának egyik feltétele a korszerű világítás. A korszerű, illetőleg jó világításról nálunk sok szó esik, de a jó világítás alatt majdnem mindenki mást és mást ért.

Melyek tehát a korszerű, jó világítás ismérvei?

A mesterséges világítás akkor jó, ha többek között a következő igényeket kielégíti:

1. Megfelelő világítási arányt biztosít a munkadarab, a környezet és a háttér között.
2. A különböző jellegű munkák látásigényét (finom, közepes vagy nagy figyelmet igénylő munka, a munkadarabok színe, a háttér kontraszthatása stb.) figyelembe veszi, illetőleg kielégíti.
3. Nem kápráztat.
4. A végzendő munka milyensége szerint megfelelő árnyékhatást biztosít. (Különleges esetekben árnyékmentes világítás).
5. Térbeli és időbeli egyenlőtlensége a megengedett értéken belül van.
6. Helyes koordináció a természetes világitással.
7. Nem rontja az egészséget.
8. Színhatása megfelelő.
9. A fényforrások könnyen kezelhetők és egyszerűen karbantarthatók.

A színdinamikai javaslatok elkészítésénél figyelembe kell vennünk többek között:

- a) Új vagy régi épületről van-e szó?
- b) Az üzem jellegét (pl. szövőde, üvegcsiszoló, gépműhely stb.).
- c) A végzendő munka fajtája (egyedi darabok, sorozat vagy szalagrendszerű gyártás stb.).
- d) A munkagépek zajos üzeműek-e.
- e) A munkahelyek zsúfoltságából adódó melegérzettel kell-e számolni vagy sem.

* A Szilikátipari Tudományos Egyesület Üvegszakosztályán elhangzott előadás alapján.

f) Az épület tájolása (észak, dél).

g) A munkaterem alacsony-e vagy magas.

h) A munkateremben csak nők, vagy csak férfiak esetleg vegyesen férfiak és nők dolgoznak-e.

A megvilágítás szükséges erősségének mértéke függ a végzett munkától, a környezet és a munkadarab fényvisszaverő képességétől és nem utolsósorban a dolgozó korától, illetőleg szemének állapotától.

A jelenleg átdolgozás alatt levő világítási szabvány a munkákat világítás szempontjából négy főcsoportra osztja.

Durva munka, legalább 20 lux, ajánlatos 40—80 lux.

Közepes munka, legalább 40 lux, ajánlatos 80—150 lux.

Finom munka, legalább 75 lux, ajánlatos 150—300 lux.

Nagyon finom munka, legalább 150 lux, ajánlatos 300—500 lux, ahol fénycsővilágítás van a magasabb érték ajánlatos.

Nézzünk meg közelebbről néhány üvegyipari munkahelyet.

A világítási szabvány szerint az üveghutában végzett munka a durva munkák csoportjába sorolandó. Véleményünk szerint az itt végzendő munkák elvégzéséhez izzólámpás világításnál minimum 80 lux, fénycsőves világításnál pedig 150 lux megvilágítási erősségre van szükség.

Ezzel szemben az ilyen munkahelyeken, ellenőrző mérések alkalmával 5—40 lux értékek között voltak a valóságos megvilágítási értékek. Az üveghutákban úgy az üvegfúvók, mint a segítőik állandóan figyelik a tűztér felületét és az izzó anyagot, de a forma kialakításakor, az anyag megmunkálásakor jól kellene látniok a kemencék környezetében is. Mivel a kemencékben izzó anyag hőmérséklete és a magasabb színhőmérsékletű (F6—F7 jelű) fénycsövek színhőmérsékletei között igen nagy különbségek vannak, e helyiségek, világítását izzólámpákkal, vagy F29 jelű fénycsövekkel ajánlatos megoldani.

Ki kell emelni, hogy a hutacsarnokokban folyó munkák megvilágítására magasabb színhőmérsékletű fénycsövek (F6—F7) nem ajánlatosak, higanygőz vagy szíkkorrigált higanygőzlámpák pedig egyenesen káros hatásúak lehetnek.

Durvacsiszoló

E munkahelyeken szükséges általános megvilágítási értékeknek fénycsőves világítás esetén 300 lux-nak kellene lenniük. Tapasztalataink szerint valójában 150—200 lux körüli megvilágítási értékek vannak.

Az üvepipar egyik legkényesebb és legfényigényesebb munkahelye a finomcsiszoló. E munkahelyeken csak általános világításnál az általános világításnak 450—1000 luxnak kellene lennie, a helyi világításnak pedig — amely finomcsiszolásnál elkerülhetetlen — 1000—2000 luxnak. Sajnos e munkahelyek megvilágítása is igen messzire marad el a követelményektől.

Az előzőekben azt mondtuk, hogy a jó világítás egyik feltétele a helyi és időbeli egyenletesség. Ha a finomcsiszoló munkahelyeket vizsgáljuk, azt a meglepő tapasztalatot szerezhethetjük, hogy e munkahelyeken nem egészen így áll a helyzet.

Ha a finomcsiszolásnál — ahol a különböző mélységű és szélességű mintaelemeket az üvegtárgyba csiszolják — egyenletes megvilágítást biztosítanánk, azt érnénk el, hogy a csiszolók jóval nehezebben tudnák munkájuk eredményét, tehát a csiszolást ellenőrizni, mint akkor, hogyha e munkahelyeken, tehát a csiszolókorongnál meglehetősen nagy fénykontrasztokat hozunk létre, pl. 200—1000 lux. Méréseink, kísérleteink és a csiszolókkal folytatott megbeszéléseink alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy a csiszolók munkaterületének különböző pontjain indokolt a megvilágítási erősségek nagy mértékbeni változása, mert egyenletes, árnyék nélküli világításban — mint ahogy már említettük — az üveg csillogása nem mutatja a csiszolás által elért eredményeket.

Az erős fénykontrasztok a szemet jobban igénybe veszik, s a káros hatások ellensúlyozását elősegíthetjük a színdinamika alkalmazásával.

A gyakorlati tapasztalat azt bizonyítja, hogy a színek különböző elrendezésben, egymás mellett vagy egymás közelében összeállítva kellemesen, más összeállításban kellemetlenül vagy közömbösen hatnak látási érzékelésünkre, esztétikai érzékünkre és közérzetünkre.

Kellemesen hatnak azok a színösszeállítások, ahol a színek és színárnyalatok között szabályszerű összefüggés van. Ahol ez a szabályszerű összefüggés hiányzik, ott a színhatás kellemetlen vagy közömbös. Az egymás mellett kellemesen, esztétikusan ható színárnyalatok harmonikusak.

Ha egy munkahelyen a munka örömét akarjuk felkelteni és jó hangulatot akarunk elérni, változatos hatással megnyugtató és ösztönző színekkel kell használni. Vigyázni kell azonban, hogy a színellentétek lágyak legyenek és ne okozzanak kellemetlen érzést.

Korszerű világítás és színdinamikai kiképzés együttes alkalmazása nagymértékben növeli a munkabiztonságot, mert az eddigi tapasztalatok szerint a balesetek száma lényegesen csökken. Ez érthető is, mert ha a dolgozó a munkaidő végéig megőrzi frissességét és éberségét — különösen a veszélyes berendezések körül — akkor a veszély jelére a szükséges elhárító reflex nem késik, illetőleg a figyelem nem hagy ki, amikor a legnagyobb szükség van rá.

Statisztikai adatok szerint a balesetek igen nagy százalékát a figyelmetlenség okozza, tehát sok

esetben biztonsági szín és alakjelzéssel, továbbá a színdinamika megfelelő alkalmazásával meggátolhatjuk a balesetek jelentős részét.

A színek megfelelő felhasználásakor ismernünk kell a színek pszichológiai hatását is. Fridrich Baierl szerint az ipari színdinamika követelményei szerint a színeket négy csoportra lehet osztani.

1. Hideg és meleg színek

A meleg színek a spektrumban a sárgától a narancson keresztül egészen a pirosig terjednek. E színeket a hideg helyiségekben kell alkalmazni. Tapasztalatok szerint a meleg színekkel festett helyiségben 2—3°C-kal magasabb hőmérsékletet érzünk, mint a hideg színekkel festett ugyanolyan hőmérsékletű helyiségben.

Ez azt jelenti, hogy a nehezen fűthető hideg helyiségeket, amelyek esetleg még huzatosak is, lehetőleg meleg színekkel kell festeni. Sárga színt ott alkalmazunk, ahol kevés a természetes fény.

Hideg színeket ott kell választani, ahol a helyiség rendeltetése szerint állandóan melegebb van mint másutt. Itt kék, kékeszöld, kékeszürke színeket alkalmazzunk.

2. Izgató és megnyugtató színek

Az izgató színek közé főleg a sárga, a narancs és a piros színek tartoznak. Ezek ösztönző hatásúak, fokozzák a munkakedvet. Egyhangú munkánál az izgató színekkel jó hatást lehet elérni, bár ezek könnyen idegessé teszik a dolgozókat. Lärmás munkahelyeken megnyugtató, hideg színeket ajánlatos választani.

3. Könnyű és nehéz színek

A világos színekkel festett tárgyak könnyűnek tűnnek, a sötét színűek ezzel szemben nehezek.

Ha nehéz tárgyak pl. boylerek, vastártályok felületét világos színnel festjük be, könnyebbeknek hatnak.

4. Közelítő és távolító színek

A sötét meleg színekkel festett tárgyak és felületek közelebb levőnek mutatkoznak. Ezzel szemben, ha alacsonyabb mennyezet fűdémszerkezetét világoskék vagy világoszöld színnel festjük, a helyiség magasabbnak látszik (szabadlevegőhatás).

A különböző színek alkalmazásából a kiegészítő színeket is tekintetbe kell venni.

Köztudomású, hogy

a pirosnak — zöld

a sárgának — az ibolya

a kéknek — a narancs

a narancsvörösnek — a kékeszöld

az ibolyakéknek — a narancsarany

a sárgászöldnek — a vörösbolya

a kiegészítő színe.

Ezekután térjünk vissza az üvegipar egyes munkahelyeire. Kezdjük talán újra a hutacsarnoknál. A hutacsarnokok színdinamikai kialakításánál figyelembe kell vennünk, hogy igen meleg és általában zsúfolt munkahelyeken, nagy figyelmet és óvatosságot igénylő munkát végeznek. A nagy meleg érzetét pszichológiailag hideg hatású és megnyugtató érzetet keltő színekkel lehet a legmegfelelőbbben ellensúlyozni. A kemencék vörös fénye miatt a meleg munkahelyeken használatos kék szín és ezek különböző árnyalatai kedvezőtlen színreflexiójuknál fogva e munkahelyeken sajnos nem alkalmazhatók. Ezért a hutacsarnokok színezésére elsősorban a *citromsárga* és a *kénsárga* színek jöhetnek számításba.

A durvacsiszolókban egyes munkafolyamatokat víz segítségével hajtanak végre, tehát a helyiségek és a bennük végzett munka hideghatást keltő, amit megleghatású kellemes pasztellszínekkel lehet ellensúlyozni. Az ilyen helyiségek színezésénél a *narancssárga* és a *sárgászöld* színek felhasználása javasolható. E két szín mellett, hogy kompenzálja a nedves-hideg érzetet, egymással kellemes színharmóniát alkot.

A finomcsiszoló munkahelyeken a munkák természetéből következik a szemek nagyfokú igénybevétele. A szemek kímélése érdekében is helyes a színdinamika alkalmazása e munkahelyeken. Tudjuk, hogy e munkahelyek is vizesek, hideg érzetet keltők, ezért a helyiségekben is a meleg színárnyalatokat kell felhasználnunk, nevezetesen a *narancssárgát* és a *sárgászöldet*. A munkahelyek szoros elhelyezésének egyhangúságát pedig úgy lehetne enyhíteni, hogy az egyes munkahelyeket a szívárványszínek sorrendjének megfelelően többféle pasztellszínre festenénk. A sorrend lehetne: vörös-narancssárga-sárga-sárgászöld-tengerzöld-világoskék-sötétkék-halványlila-bíbor. Ezután fordított sorrendben lehetne a színezést folytatni. Ilyen módon ugyanarra a színre lenne festve egy-egy munkahely ülőpadja, szekrénye, lámpaernyője, s minden egyéb olyan felület, amely a munkahelyhez tartozik és időállóan színezhető. A csiszolókorong mögötti falapocskákat cserélhetően kell felszerelni, és többféle színűre festeni, hogy a különböző színű üvegáruk csiszolásakor a legmegfelelőbb színű háttérrel biztosíthatóak.

Azt hiszem az elmondottakból nyilvánvaló, hogy nem állíthatunk össze pontos „receptet” arra nézve, hogy hol és mikor milyen színt használjunk, mert nincs olyan szabály vagy előírás, amely minden területen egyformán érvényes volna.

Nem lehet „színezni”, színt szín mellé rakni csak egyéni ízlés szerint, bár sajnos a legtöbb ember azt hiszi, ért a színezéshez — hiszen már

mindenki festett —, és sajnos ez a helyzet a korszerű világítás kialakításánál is, abba is mindenki beleszól — mert hiszen mi az a világítás — világítani mindenki tud.

A színek felhasználásánál a kutatás és az elért eredmények (optikai, fizikai és lélektani) az irányadók. Az egyéni ízlés vagy vélemény alkalmazkodjék a tudományosan igazolt ismeretekhez.

Az eddigiekből megállapíthatjuk:

1. Az üvegcsiszolás nagy figyelmet és magas világítási szintet igénylő munka.

2. A csiszolói munkakörben alkalmazandó dolgozót — munkába állítás előtt — ajánlatos szemorvossal megvizsgáltatni, a szemek nagyfokú igénybevétele miatt.

3. Az üvegcsiszolásnál — különösen a finomcsiszolás területén — a jó általános világítás mellett a munkahelyeken nagy fénykontrasztokat kell létrehozni. A nagy fénykontrasztok káros hatásának ellensúlyozásához — a csiszolók erősen igénybevett szemének pihenése érdekében — és a térbeli látás elősegítéséhez a színek segítségét is igénybe kell venni a színdinamika alkalmazásának segítségével.

A színek kiválasztásánál figyelembe kell venni azt is, hogy különböző fényforrásoknál ugyanazt a színt másképpen érzékeljük. Pl. higanygőzlámpákkal történő megvilágítás esetén a zöld szín igen szépnek, „elevennek” látszik, ellenben a piros színek megbarnulnak, „bedöglenek”.

A különböző fényforrások színtorzító hatásának leírása nagyon körülményes és pontatlan lenne, éppen ezért az érdeklődőknek előzetes megbeszélés után a SZOT Munkavédelmi Tudományos Kutató Intézetben szívesen bemutatjuk.

Mint ahogy már említettem, e rövid ismertetés célja az, hogy vázlatosan bemutassa a világítás és a színek alkalmazásának néhány összefüggését, az hogy gondolatokat ébresszen és nem utolsó sorban az, hogy világítási, színezési problémák felmerülése esetében kérjenek segítséget azoktól, akik e témakörrel hivatásszerűen és nagy szeretettel foglalkoznak.

Sebestyén György: Világítástechnikai és színdinamikai kérdések az üvegiparban.

Шебештьен Д.: Техника освещения и вопросы цветной динамики в стекольной промышленности.

Sebestyén, György: Beleuchtungstechnische und farbendynamische Fragen in der Glasindustrie

Sebestyén, György: Problems of Illumination Engineering and Colour Dynamics in the Glass Industry

Takáts, Tibor—Frau Hegyi, István—Vitalis, György
Materialforschung für die Zement- und Kalkwerke
Hejőcsaba (Nordungarn)

Es gelang auf beiden Forschungsfeldern — in der Ufernah-entwickelten, oft linsig-quergeschichteten unteren pannonischen Gesamtschicht — beträchtliche Mengen in nächster Oberflächennähe gelagerten Tons, resp. tonartig entwickelten Rohstoffes aufzuschließen. Die diluviale Deckschicht mitingerechnet handelt es sich hier um eine Menge von 14 Millionen Tonnen Tons (SM-Wert: 2,96), d.h.: der Vorrat reicht für die Zement- und Kalkwerke Hejőcsaba für etwa 50 Jahre.

Es wurde auf Grund von Analysendaten, Instrumentalprüfungen und bodenmechanischen Untersuchungen festgestellt, daß die mineralische Zusammensetzung des Tons durchaus heterogen ist. In den Ton- und tonartig entwickelten Rohstoffschichten finden sich neben dem Quarz alle drei Typen der Tonminerale. Man kann vermöge thermischer und Röntgenuntersuchungen nachweisen, daß der Ton des dem einstigen Seeufer nahe liegenden Geländeteils (Csoznyatető) eher den Charakter vom Montmorillonit, während der entfernter auffindbare Ton (Lengyelszótető) den vom Illit vorzeigt.

Man fand bei 33% der Muster von dem Gelände ‚Csoznyatető‘ und bei 22% jener vom ‚Lengyelszótető‘ herkommenden einen Gehalt von Calcit (stellenweise Dolomit), durchschnittlich unter 5 Gewichtsprozenten. Ein Gehalt an Feldspat läßt sich nahezu in allen Mustern, fallweise um 20%, nachweisen. Man fand in seltenen Fällen kleinere Mengen von Pyrit, und an manchen Bohrstellen auf dem Gelände ‚Lengyelszótető‘ basisches Eisenoxyl.

Betriebsversuche, durchgeführt mit dem Ton vom Gelände ‚Csoznyatető‘, führten zu Produkten, deren Festigkeit den ungarischen Normvorschriften für die Zementgattung ‚500‘ entspricht. (S. G.)

Takáts, Tibor—(Mrs.) Hegyi, Judith—Vitalis, György: Clay Prospecting for the Hejőcsaba Cement and Lime Works

Two areas were prospected in the vicinity of the Hejőcsaba Works (N. E. Hungary): Csoznyatető (C) and Lengyelszótető (L). A considerable quantity of clay resp. argillaceous sediments occur in the lower pannonian (neogene) layers of litoral development in both areas. The total amount of argillaceous material (together with their pleistocene overburden) is about 14 million tons, has an average silicate modulus of 2.96; this fulfils the demands of the cement factory for over 50 years.

The argillaceous raw materials are very heterogeneous as proved by chemical analysis, thermal and X-ray investigations and by soil mechanical tests. All the three main clay minerals (and quartz) were found in the clay layers. Dominant clay mineral of the C area (which was nearer to the pannonian shore) is montmorillonite, while the clay of the L area, being less litoral is rather illitic.

33% and 22% of samples from the C and L area contain a low amount (less than 5%) of carbonates, usually calcite or, less frequently, dolomite. Feldspar is present in almost all samples, amounting even 20%. Pyrite is a less frequent constituent in both areas, while some samples from the L area contain basic iron oxide.

A pilot plant experiment, made with a representative clay sample from the C area proved, that the clinker resp. cement, burnt from this raw material fulfils all quality demands of „500“ brand cement (according to the Hungarian Standard MSz No. 4702).

A Kozmetikai és Háztartásvegyipari Vállalat készítményei:

Ipari testvédő és testtisztító porok

Ipari lemosószerek

Takarító vegyi cikkek, lemosószerek

Padlóápolószerek, beeresztők

Műanyagpadló-ápolószerek

Üveg- és kerámia-tisztítók



Felvilágosítás és Tanácsadás: Kozmetikai és Háztartás-
vegyipari Vállalat

Kutatási Osztály: Mann György

Budapest XI., Bocskai út 90

Telefon: 259-430

ÉPÍTŐIPARI GÉPEK ÉPÍTŐIPARI GYÁRBERENDEZÉSEK

Vállalatunk gyártmányai az építő és építőanyagipar-gépesítését szolgálják.

Gépeinket és szolgálatainkat széles körben igénybeveszik az építőipar területén.

A korszerű technológia alkalmazásával és kivitelben készült gyártmányainkat számos külföldi országba is exportáljuk.



Főbb gyártmányaink:

- Különböző vibrátorok,
- beton-, habarcskeverők,
- betonvasgók és hajlítók,
- különböző ürtartalmú silók,
- cementmérő és adagoló berendezések,
- sinkuli,
- panelszállító berendezések,
- betonkonténerek,
- építőipari daruk,
- építőipari gyorsfelvonók,
- gélapátok,
- mobil gőzfejlesztők,
- vasbetonaljgári berendezések,
- betongyarak, stb.

Export szállításaink:

- | | |
|------------------|------------------|
| ● Bulgária, | ● Kuba, |
| ● Csehszlovákia, | ● Lengyelország, |
| ● India, | ● Románia, |
| ● Irak, | ● Szíria, |
| ● Jugoszlávia, | ● Szovjetunió, |
| ● Kína, | ● Vietnam, stb. |



ÉM Építőgépjavitó és Gépgyártó Vállalat

Budapest, XI., Galvani út 44 • Telefon: 258—802 268—654, • Telex: 966

Gyártmányainkkal, valamint azokhoz kapcsolódó építésgépesítési kérdések megoldásában megrendelőink részére tájékoztató szolgálataink és szakembereink minden időben rendelkezésre állnak.