

BETONOK VIZZÁRÓSÁGÁNAK NÖVELÉSE A KÖTŐANYAG JAVÍTÁSA UTJÁN

Bevezetés

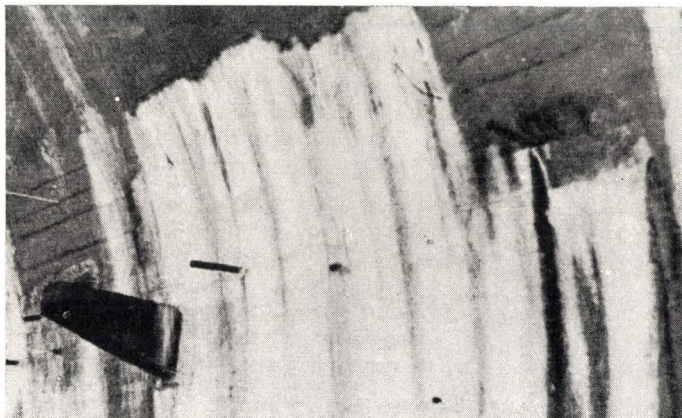
A beton vízzáróságának kérdése a hazai mélyépítőipari gyakorlatban eddig nem nyert olyan megoldást, amely az utóbbi évek növekvő szükségletét megnyugtatóan kielégítette volna. Bár sok kutató foglalkozott a beton vízzáróságával, a javasolt megoldások ali-alig terjedtek el az iparban. Ennek oka elsősorban az, hogy a javasolt eljárások vagy növelték a betonkészítés költségeit, vagy hazailag elő nem állítható, ill. hazánkban nem gyártott tömítőszereket ajánlottak.

1. Betonkorrozíós tünetek a földalatti vasút építményein

Figyelembe véve egyes kutatók által már eddig megvizsgált területeket és az elért eredményeket, nem kerestünk olyan megoldásokat, amelyek valamilyen különleges vegyi készítmény adagolásával javítják a beton vízzáróságát. Ugyanakkor néhány külföldi és hazai kísérleti eredmény ismeretében különös súlyt fektettünk a természetes ásványi anyagokra, ezek közül is elsősorban a bentonitra. Tettük ezt annál is inkább, mert egyes külföldön forgalombahozott és igen ajánlott, tetszetős névvel ellátott tömítőanyag „márkák” mögött sok esetben a közönséges bentonitot találni, azt az anyagot, amely hazánkban értékesítési gondokat okozó nagy mennyiségben fordul elő.

Kísérleteink irányának megválasztásánál eleve számoltunk azzal, hogy ezen a területen előítéleteket kell legyőznünk. Minden betonszabályzatban megtalálható az adalékanyag agyagtartalmára vonatkozó tiltó utalás. Ezen túlmenően bizonyos hazai kísérletek, amelyek e témával foglalkoztak negatív eredménnyel zárultak vagy csak csekély eredményt és nagy bizonytalanságot tudtak felmutatni. Más, hasonló témájú hazai kísérletek azonban figyelemre méltó eredménnyel jártak. Újabban felvetődött a kérdés, vajon a finom részek jelenléte minden esetben kedvezőtlenül befolyásolja-e a beton és habarcs tulajdonságait? Az elmúlt pár évben számtalan kísérletet végeztek és megállapították, hogy bizonyos agyagok gondosan megválasztott mennyiségben való adagolása esetén kedvező betontulajdonságokat lehet elérni. Az agyagok közül különösen a nagy montmorillonit tartalmú agyagféleség, a bentonit került az érdeklődés középpontjába.

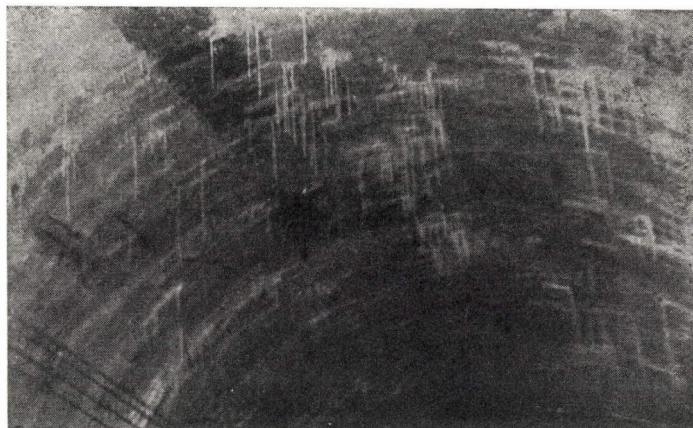
A továbbiakban, mielőtt a bentonit hatását ismertetnénk, röviden foglalkozunk a betonkorrózióknak a földalatti vasút építményein tapasztalható megjelenési formáival, majd az agyagásványoknak a habarcsban és a betonban



1. kép

való szerepével. Az átfedések csökkentése végett a már más helyen sokszor előadott általános problémákat igyekszünk elkerülni vagy csak vázlatosan ismertetni.

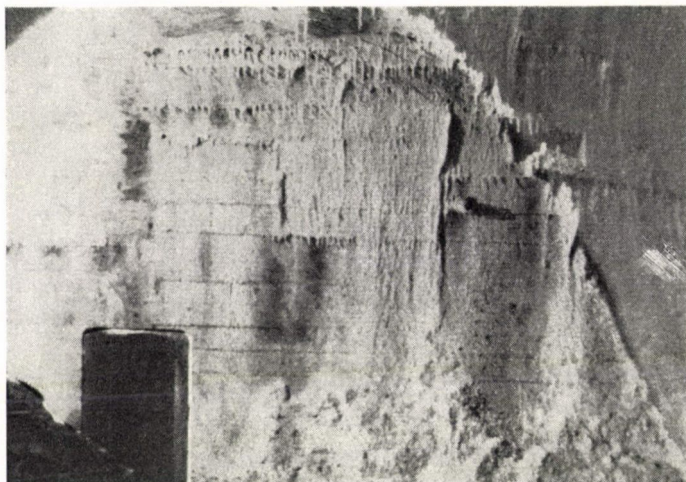
Az első öt éves tervben nagy iramban megindult építkezések között azokat, amelyek feltétlenül igényelték volna a vízzáró beton egyszerű, a gya-



2. kép

korlatban könnyen bevezethető technológiáját, — ennek híján voltak kénytelenek megvalósítani. Ebből természetesen károk keletkeztek, amelyek a nagyfontosságú létesítmények élettartamának csökkenésében a későbbiek során

lesznek érezhetőek ; bizonyos félre nem érthető jelek azonban már ma is mutatják a tönkremenetel kezdetét. Ezek a jelek legkézzelfoghatóbban a földalatti vasút egyes betonépítményein látszanak, ahol a nagy víznyomás miatti átszivárgás következtében betonkorrózió tünetei mutatkoznak. Itt beigazolódott, hogy a betonkorrózió elleni védelem szempontjából nem elégséges a szulfátálló cement használata ; a korróziós hatások összetettsége, különbözősége eleve kétségessé teszi, hogy egy adott korróziófajttal szemben ellenálló cement valamennyi korróziófajta ellen védelmet nyújtson akkor, amikor az agresszív talajvíz szüntelenül átszivároghat a betonon.



3. kép

Ilyen esetekben a beton korrózióállóságát csak mint a vízzáróság függvényét lehet felfogni.

A földalatti vasút esetében például különösen számolni kell olyan összetételű vizekkel, amelyek viszonylag nem nagy SO_4 tartalom mellett rendkívül alacsony össz-keményességgel bírnak. Ezek a lágy vizek a betonon való átszivárgás közben nagymennyiségű meszet — a cement szabad meszét — oldanak ki. A betonkorrózió ezen fajtájánál érzékelhető leginkább a beton vízzáróságának szükségessége ; nem kevésbé azonban a szulfátkorrózió eseténél, ahol a párolgó betonfelületek melletti koncentráció következtében rendkívüli nagy SO_4 tartalom alakul ki, az eredeti SO_4 tartalom többszöröse.

Az elmondottak bizonyítására szolgáljon néhány fényképfelvétel a földalatti vasút egyes műtárgyairól. Nem az a célunk, hogy a földalatti vasút műtárgyainak korróziójáról részletes tájékoztatást és elemzést adjunk. A közölt felvételeket és adatokat csupán a vízzáróság növelésére vonatkozó javaslatainkhoz használjuk fel. (A felvételeket Kővári Gy. készítette.)

Az I. kép állomási alagút oldalfala. 300 kg/m^3 S 54 cement adagolású $0,70\text{--}1,00$ m vastag betonszerkezet. A víz időnként agresszív CO_2 -t tartalmaz, 500 mg/l körüli állandó SO_4 tartalom mellett. A rétegvíz nyomása $8\text{--}10$ m. v. o. magasság.

A fehér kiválás a cementből kilúgozott mész. Elemzéseink 2–4 mg/l alumíniumot is kimutattak a mészben, amely a cement bomlásának további lépcsőjét jelzi.



4. kép

A 2. kép előregyártott betonidomkövekből falazott boltozat. A falazáshoz használt cementhabarcsban átszivárgó víz a fugák alatt stalaktitok alakjában rakja le a cementből kioldott meszet.



5. kép

A 3. kép vonalalagút és ideiglenes táró csatlakozását mutatja be. A cementadagolás 300 kg/m^3 S 54 cement. A betonon átszivárgó víz a cementből kioldott meszet különböző formákban adja le.

A 4. kép agresszív CO_2 hatására bekövetkezett mészkiválást ábrázol.
A cementadagolás 300 kg/m^3 S 54 cement.



6. kép

Az 5. képen boltozat és lezárófal csatlakozása látható, állomási pajzskamránál. A cementadagolás 300 kg/m^3 tatali 500-as p. c. A mészkiválásokat 2–3 N. kf. összkeménységű víz átszivárgása okozza.



7. kép

A 6. képen látható, hogy a nagy víznyomás hatására a „vízzáró” vakolat egyes helyeken letöredezik. Még az ép vakolaton is átgyöngyözik a víz és mészkiválasztást okoz a cementből. Az eredetileg 10–15 mg/l CaO-t tartalmazó víz mészkoncentrációja a betonon való átszivárgás után 300–400 mg/l-re emelkedik.

A 7. kép azt ábrázolja, hogy szulfátkorrózió hatására a belső (párolgó) falfelületek hámlásnak indulnak. A cementadagolás 300 kg/m³ S 54 cement. Feltevés szerint az eredeti 2500 mg/l SO₄ koncentráció a lassú szivárgás közbeni „bepárolódás” következtében, a belső felület közelében megemelkedik.

A 8. képen látható, hogy szulfátkorrózió hatására a belső felület helyenként rétegeződik, felpúposodik. A cementadagolás 300 kg/m³ S 54 cement. SO₄ koncentráció: 2500 mg/l.



8. kép

A bemutatottak után nyilvánvaló, hogy a jövőben mindenképpen keresni kell a vízzáró beton készítésének gyakorlatban egyszerűen megvalósítható útját.

2. Az agyagok vázlatos ismertetése

A mérnöki gyakorlat agyagoknak nevezi mindazon talajfajtákat, amelyeknek a Casagrande f. vizsgálattal meghatározott „folyási” és „plasztikus” határnak megfelelő víztartalmak különbsége meghaladja a 15%-ot. Ugyanakkor az Atterberg-féle osztályozás szerint a talajban levő agyagfrakciót a 0,002 mm-nél kisebb szemnagyságok jelentik. Ez a két fizikai jellemző igen leszűkíti az agyagok jellemzését, mert nem számol az agyagok legfontosabb jellemzőjével, az ásványi összetétellel. Az agyagok ásványi összetétele, az egyes ásványok fizikai és kémiai tulajdonsága, valamint ezek kölcsönhatása döntően befolyásolja az agyagok viselkedését.

Ásványi összetétel szempontjából az agyagásványokat legújabbban Nemecz Ernő csoportosította:

A. Kétdimenziós atomkötegekből felépített ásványok;

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| I. Kaolin csoport, | III. Csillám csoport, |
| II. Montmorillonoid csoport, | IV. Hidrocsillám (illit), |
| V. Kevert szerkezetek. | |

B. Egydimenziós atomkötegekből felépített ásványok ;

Attapulgit csoport

Sepiolit csoport.

C. Amorf ásványok.

Az agyagásványok jellemző tulajdonságait elsősorban az uralkodó ásványcsoport tulajdonságai szabják meg. Felhasználás szempontjából azonban az uralkodó ásványcsoport mellett igen lényeges lehet a többi — kiegészítő — ásványok tulajdonsága. Ez különösen a bentonitok építőipari felhasználására jellemző és részben magyarázza egyes azonos lelőhelyekről származó bentonitok egymástól eltérő tulajdonságait.

A bentonit definíciójánál elsősorban a montmorillonitot kell kiemelni, mint uralkodó ásványt. Hogy hány % montmorillonittartalom mellett nevezhető bentonitnak egy agyag, arra nézve különböző nézetek találhatók az irodalomban ; általában az 50%-ot lehet mértékadónak elfogadni, bár megjegyezzük, hogy ennél alacsonyabb montmorillonittartalom mellett is találunk olyan agyagokat, amelyek a bentonitok legjobb tulajdonságainak hordozói.

A bentonitok ismertetésénél nem törekszünk teljességre, mivel a részletes ismertetés egyrészt meghaladná jelen tanulmány kereteit, másrészt a kitűzött cél szem előtt tartásával a bentonitok néhány más ipari felhasználás szempontjából lényeges tulajdonsága e helyen elhanyagolható.

Építőipari felhasználás szempontjából a bentonit duzzadóképesége, kationcsereképessége és plaszticitása döntő.

A vízfelvételrel kapcsolatos duzzadóképeség többé-kevésbé minden agyagfajtának jellemzője. Az egyes agyagok vízfelvétele és duzzadása közötti nagy különbségek az uralkodó agyagásvány kristályszerkezetével, fajlagos felületével és szemmagyságával magyarázhatók.

Különös figyelmet érdemel a kristályszerkezet. Az agyagásványok többsége által felvett vízmennyiség főként a makrokapillárisokban helyetfoglaló kapilláris vízből és a felületekhez kötött adszorpciós vízből tevődik össze. Ezeknél az agyagoknál a vízfelvételeből származó duzzadás elsősorban a szemmagyság és fajlagos felület függvénye. A bentonitoknál a vízfelvétel másik lehetősége is fennáll ; a montmorillonit kristályrácsában helyet foglaló, két egymásra rétegezett szilíciumtetraéder-háló közötti nagy távolság (10 Å) lehetővé teszi, hogy a két hálósík közé víz hatoljon be. A víz behatolása után a két hálósík még jobban eltávolodik egymástól, amely a síkokra merőleges irányú duzzadást eredményez. Azonban a montmorillonit duzzadása is különböző nagyságrendű lehet, aszerint, hogy a kristályfelületen megkötött ionok milyenek. Legnagyobb duzzadást az egyvegyértékű kationokat (Na, Li) megkötő montmorillonitok okozzák.

A megkötött ionok mélyensége alapján a montmorillonitok (és így a bentonitok) két nagy csoportját különböztethetjük meg ;

1. alkáli bentonitok
2. alkáli földfém bentonitok.

A két bentonittípus duzzadóképesége között nagyságrendi különbség van. Hazánkban természetes Na-bentonitok nem találhatók, a Ca-bentonitok viszont nagy tömegben fordulnak elő.

A montmorillonit kationcsereképesége módot nyújt arra, hogy Ca-bentonitok vegyi kezelése útján Na-bentonitot nyerjünk.

A kationcserélőképesség alatt többvegyértékű kationoknak kisebb vegyértékű kationokkal való kicserélhetőségét értjük.

A Ca-bentonit-hoz vizes közegben adagolt Na_2CO_3 hatására a Ca és Mg kicserélődik és a kicserélhető kationok arányában Na-bentonit keletkezik. A folyamat megfordítható és bizonyos körülmények között bekövetkezhet az Na-bentonit Ca-bentonittá való visszaalakulása vízleadás és a kolloid tulajdonságok csökkenésének kíséretében.

A cementtel való kölcsönhatás szempontjából ez a folyamat jelentős, ezért adott helyen még foglalkozunk vele.

A betonhoz adagolt bentonit viselkedése szempontjából jelentős még a bentonit filmképző sajátága. A filmképzés jelentősége elsősorban az öntődei formázóhomokokhoz való felhasználás szempontjából fontos, nem nehéz azonban felfedezni az analógiát a formázóhomokok kötőanyagát képező bentonitfilm és cementhabarcsba juttatott bentonit által a cement, ill. homokszemcsék köré vont film között. Filmképzés szempontjából a hazai bentonitok két nagy csoportba oszthatók:

A tokajhegyaljai bentonitok olyan összefüggő, megszakítás nélküli filmet képeznek a homokszemcsék között, amely kiszáradás után is megtartja folytonosságát. Az istenmezei, bándi, nagy-tétényi bentonitok filmjei viszont száradáskor megrepedeznek.

3. Cement — agyag — vízrendszerek

Az agyag és cement együttes viselkedésének tanulmányozására kedvező lehetőséget nyújtanak a nagy hígítású agyag-cement-víz szuszpenziók, ill. habarcsok. Ilyen keverékeket gyakorlatban injektálási munkáknál is használnak.

Az injektáló folyadékoktól megkövetelt tulajdonságok két irányúak. Egyrészt magától a folyadéktól kell megkövetelni olyan tulajdonságokat, amelyek a besajtolhatóság optimális követelményeit hivatottak kielégíteni, másrészt az anyag megszilárdulása után bizonyos fizikai követelményeknek kell, hogy megfeleljenek. Az első csoportba tartozik a stabilitás és viszkozitás, a másodikba a szilárdság és vízzáróság.

Stabilitás alatt az injektáló folyadék ülepedési hajlandóságát értjük. Stabil az az injektáló folyadék, amely adott vízadagolás mellett a folyadékfelszíntől a mélypontig azonos fajsúlyú, tehát a szilárd részek nem ülepednek le.

A cement vagy cement-homok szuszpenziók stabilitása nem számottevő az injektálásnál alapul vett $v/c = 1,00$ mellett.

Tiszta cementszuszpenziók is $0,55-0,65$ v/c körül ülepednek és $v/c = 1,00$ mellett már $28-34\%$ -os ülepedés mérhető.

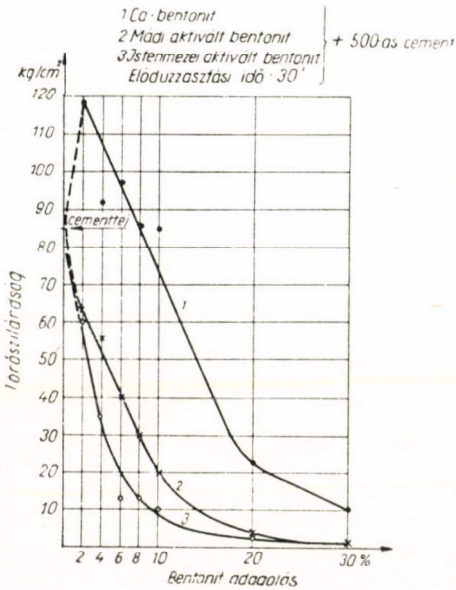
Bentonit hozzáadásával az ülepedés mértéke lényegesen csökken. Bentonittal stabilizált cementszuszpenzióknál meg lehet figyelni, hogy a bentonit adagolás stabilizáló hatása már $2-3\%$ aktivált bentonitnál mutatkozik. A bentonit stabilizáló hatását egyébként a mélyfúrás is kihasználja öblítőiszap javítására.

A stabilizáló hatás magyarázatánál Stokes-törvényéből kell kiindulni. Eszerint az ülepedés sebessége

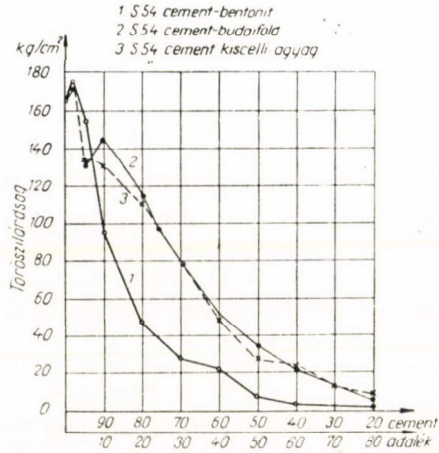
$$v = \frac{gd^2(\rho_1 - \rho_2)}{18\eta}$$

ahol g : a nehézségi gyorsulás
 d : a részecske átmérő
 ρ_1 : a részecske fajsúlya
 ρ_2 : a közeg fajsúlya
 η : a közeg viszkozitása.

A koloidális méretű bentonit testecskékre Stokes-törvénye már nem érvényes; ezen testek mozgásánál a hőmozgás és a részecskék között fellépő erők nagyobbak lehetnek, mint a nehézségi erő. Ilyen módon a koloidális részecskék között helyet foglaló cement-szemcsék akadályozva vannak ülepedésükben, esetleg (a koloidális részecskék súlyarányának függvényében) egyáltalán nem ülepednek.



1. ábra



2. ábra

A viszkozitás csökkenés ugyancsak a koloidális testek jelenlétére magyarázható. Ha a cement, vagy homokszemcsék egy része nem egymáson surlódva mozdul el, hanem részben koloidális testek közbeiktatásával, a belső súrlódás értékére nézve a koloidális testek belső súrlódása lesz mértékadó. Itt is a koloidok részarányának függvényében fog kialakulni a belső súrlódás eredője.

Cement-agyag-vízrendszerek szilárdságára bemutatunk néhány régebbi kísérleti eredményt, amelyeket a földalatti vasútnál végeztek.

Az 1. ábra cement-bentonit szuszpenziók ($v/c = 1,00$) szilárdságát mutatja be 28 napos korban (Kelemen—Medgyesi kísérletei), a 2. ábra pedig cement-bentonit-homok keverékeinek szilárdsági értékeit mutatja, ugyancsak 28 napos korban (Járay kísérletei). A kis bentonit adagolásoknál mutatkozó szilárdságnövekedés és a vízzáróság területén mutatkozó igen kedvező eredmények tették különösen indokolttá, hogy megvizsgáljuk a bentonit szerepét, — most már a legkiterjedtebb alkalmazás, — a betontechnológia szempontjából.

4. Bentonit a betonban

J. Endell a bentonit építőipari alkalmazásáról írott cikkében már kitér arra, hogy a betonba juttatott bentonit, amely a cement súlyszázalékában nem több 2–4%-nál, növeli a beton vízzáróságát és szilárdságát. Bizonyos cikkek utalásai arra is engednek következtetni, hogy az Egyesült Államokban is felhasználják a bentonitot betonkiegészítő anyagként.

Említésre méltó még Weiss György korábbi kísérlete: megállapítása szerint kedvező adagolás esetén 15%-os szilárdságnövekedés érhető el a betonban, viszont túl adagolás esetén a szilárdságcsökkenés rohamos.

Fentiek ismeretében végeztük el a következő kísérleteket, amelyek folyamán különböző fajta bentonitokat különböző módszerekkel kevertünk a betonba.

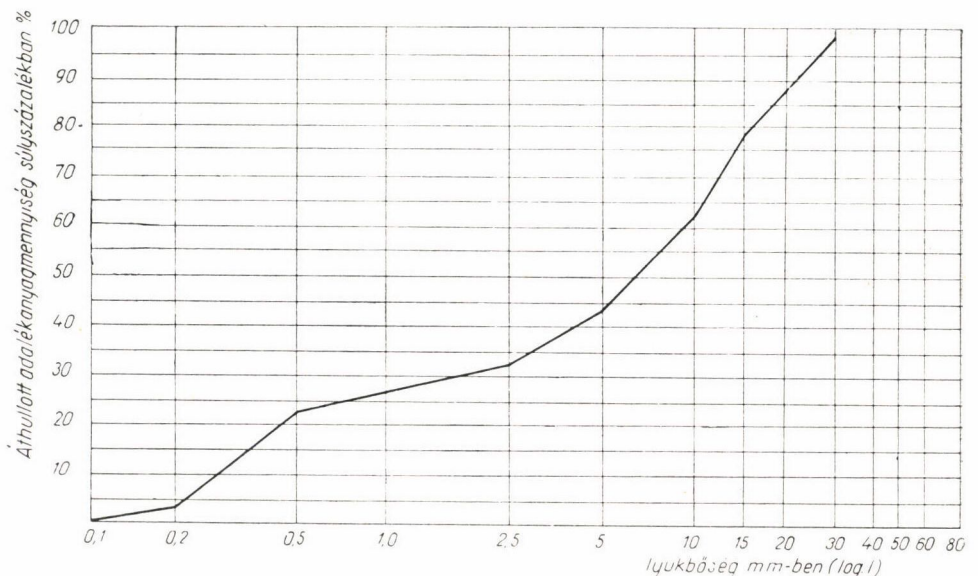
Ezekkel a kísérletekkel a célunk a beton vízzáróságának és korrózióállóságának nagymértékű megnövelése anélkül, hogy a beton más előnyös tulajdonságait rontanánk. A gyakorlati tapasztalatok ismertetésénél a földalatti vasút építési tapasztalataira támaszkodunk. Miután előzőkben vázlatosan tárgyaltuk a bentonitokat, az anyagok ismertetése után a beton szilárdságával, duzzadásával és zsugorodásával, valamint a vízáteresztéssel foglalkozunk.

A kísérleteket az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Beton- és Vasbetonépítési Laboratóriumában és a Földalatti Vasút Vállalatnál végezték.

a) Az anyagok és a kísérletek leírása

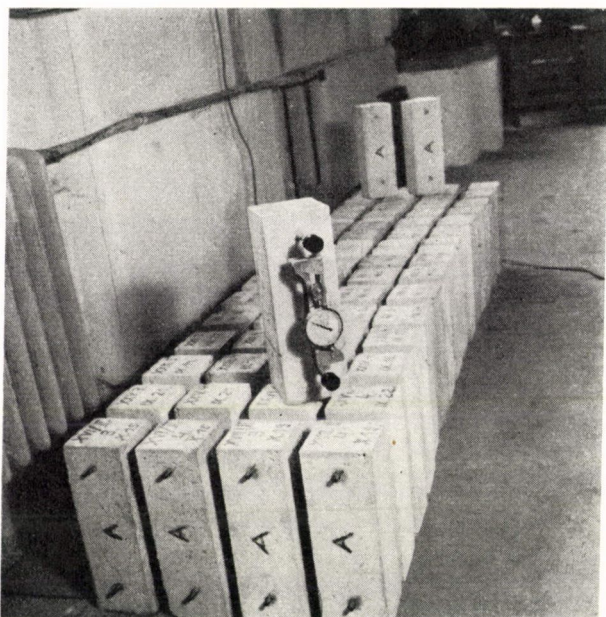
A bentonit-betonok kötőanyagául C 500-as portlandcementet használtunk.

Az adalékanyag dunai homokos kavics. Finomsági modulusa: 5,17. Az adalékanyag maximális szemmagysága 30 mm. (Lásd a 3. ábrán levő szem-



3. ábra

szerkezeti diagrammot.) Ezen adalékanyagösszetétel megfelelt a Beton és Vasbetonépítési Laboratóriumban tárolt osztályozatlan dunai homokos kavics 30 mm alatti része összetételének. Megjegyezzük, hogy 300 kg/m^3 cementadagolás és $D_{\max} = 30 \text{ mm}$ esetén az átlagos optimális finomsági modulus 5,70. A vízzárás szempontjából ajánlatos homokban dúsabb adalékot alkalmazni, amit a finomhomok arány emelésével, illetve a finomsági modulus 10%-al való csökkentésével szokás a gyakorlatban megvalósítani. Ilyen szempontból a kiválasztott adalék megfelel a beton vízzárósági követelményeinek,



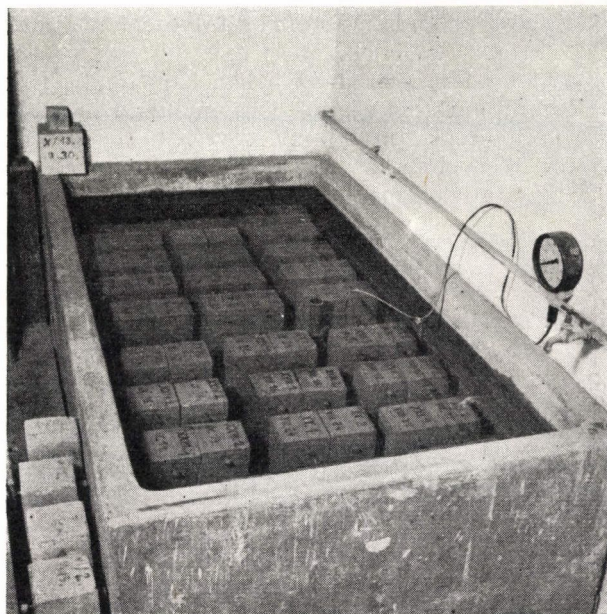
9. kép

bár a homok finomhomok (0,25 mm alatti) tartalma nem éri el a 10%-ot, (8–9%). Mivel a kísérletek a földalatti vasút építési szempontjaira és általában a gyakorlati kivitel lehetőségeire épültek, kézenfekvőnek és igen gazdaságosnak látszott a rostálatlan dunai-homokos kavics alkalmazása.

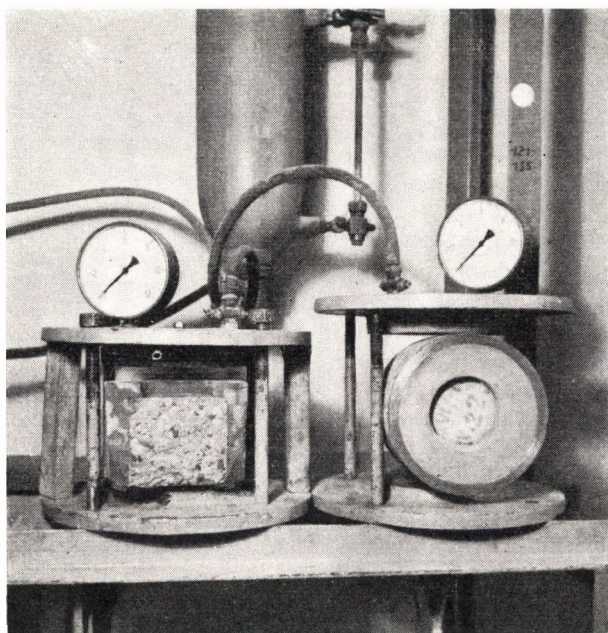
A cementadagolás 300 kg/m^3 .

A beton konzisztenciája enyhén plasztikus. A roskadás 1–3 cm, a bedolgozás kézzel történt.

A beton utókezelése és tárolása: A próbakockákat és a vízzárósági testeket 100% relatív nedvességtartalmú klimakamrában tároltuk a törés, illetve vizsgálat napjáig. A duzzadás-mérésekhez a próbatesteket három napos kortól $18-20 \text{ C}^\circ$ hőmérsékletű vízben tároltuk. A zsugorodási testeket három napos kortól a laboratórium egyik helyiségében helyeztük el, minden utókezelés nélkül (szárason). Ennek a helyiségnek a hőmérséklete $18-26 \text{ C}^\circ$ között, a levegő relatív nedvességtartalma pedig 55–77% között ingadozott.



10. kép



11. kép

Az alkalmazott bentonitok :

Ca-bentonit: Tiszta kalciumbentonit, az ún. bentonit „0” minőség, istenmezei és bándi bentonit 1:1 keveréke. Montmorillonit tartalma 42%.

Aktivált-bentonit: Tiszta mádi bentonit szódás keveréke („fúrós” bentonit). Montmorillonittartalma 50%.

Bentonit V: Aktivált bentonit, mád-komlóskai bentonit szódás keveréke. Montmorillonittartalma 60%.

Bentonit W: Természetes Na-bentonit. Amerikai Wyoming-bentonit 694-es.

A százalékos bentonit adagolások a cement súlyára vonatkoznak.

A bentonitot kétféle módon adagoltuk: Amikor külön nem jelezzük, akkor a keverővízben előzetesen 24 óráig áztattuk a bentonitot és így adtuk a betonkeverésnél a betonba. A „szárazon adagolt” jelzés azt jelenti, hogy a cementtel szárazon elkevertük a bentonitport.

A keverés kollerozás után tízszeres átszítással történt.

A betonszilárdságokat általában 7, 14, 28 és 90 napos korban állapítottuk meg, 15 cm élhosszúságú betonkockák töréséből. A diagramokban jelzett értékek átlagszilárdságok, 3–3 kocka átlagát jelentik.

A beton zsugorodását és duzzadását 2–2 db $12 \times 12 \times 36$ cm-es hasáb két párhuzamos oldalán néztük, két-két mérőbütyök segítségével. Az alakváltozásokat 254 mm mérőhosszú Huggenberger deformméterrel mértük. A műszer érzékenysége $0,01/1000$. (A zsugorodó hasábokat és a mérőműszert a 9. kép szemlélteti. A duzzadásméréshez tárolt próbatestek a 10. képen láthatók.

A vízzáróság vizsgálatára 2–2 db 12 cm magas hatszögletes (8 cm élhosszúságú), illetve köralapú (16 cm átmérőjű) próbatest készült. A próbatesteket általában 28 napos korban vizsgáltuk.

A vizsgálat módja: Az első fokozatban felmentünk 10 atmoszférára, óránként 1 atm-val emelve a víznyomást és feljegyeztük azt a nyomást, amely alatt a szabad felületen a víz gyöngyözni kezdett. A második fokozatban 24 óráig 10 atm. nyomás alatt mértük az átszivárgott vízmennyiséget.

(A vizsgálati berendezés és a próbatestek a 11. képen láthatók.)

b) *A bentonit-betonok vízzárósága*

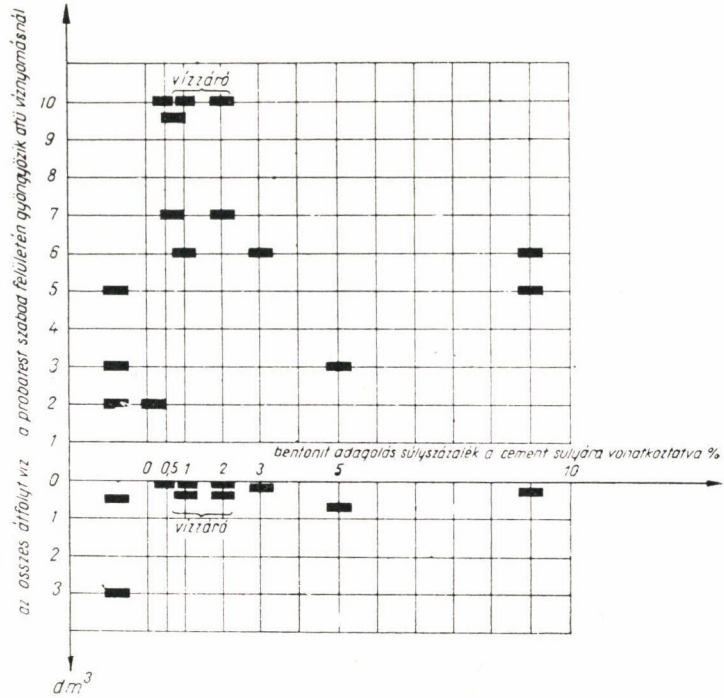
Átfogóbb vizsgálatot a Ca-bentonittal és az aktivált bentonittal végeztünk. A bentonit-V és bentonit-W kisebb mennyiségben állt rendelkezésünkre, ezért ezekkel csak pár összehasonlítható vizsgálatot végeztünk. A 4. ábrán láthatók a Ca-bentonit betonok eredményei.

A betonok vízzáróságának számszerű értékelésére a szakirodalom nem ad jól áttekinthető és összehasonlítható számítást. A vízzárósági vizsgálatok szokásos kiértékelése az első átszivárgás mellett fellépő nyomást, s az átszivárgott víz mennyiségét veszi figyelembe. Ez a módszer nem ad pontos összehasonlítási lehetőséget a betonok vízzárósága között, mert az átszivárgási nyomás nagysága és az átszivárgott víz mennyisége olyan kétváltozós összefüggést ad, amely a mennyiségek különbözősége miatt csak szemléletes, de nem abszolút kiértékelési lehetőséget nyújt.

Könnyebb összehasonlíthatóság céljából a betonok vízáteresztőképességének megállapítására, átvettük a talajmechanika számítási módszerét,

amely Darcy-törvényén alapul. Eszerint egy talajmintán az átfolyó víz sebessége a hidraulikus nyomással egyenesen arányos

$$v = k \cdot i = k \frac{h}{l}$$



4. ábra

ahol a v az átfolyási sebesség

i a hidraulikus gradiens, amely $= \frac{h}{l}$;

h a nyomásmagasság

l a minta hossza

k a vízáteresztő-képességi együttható. Jelentése: az egységnyi hidraulikus nyomás hatására fellépő átfolyási sebesség (cm/sec).

A k tényezőt használja a talajmechanika a talajok vízáteresztő-képességének megjelölésére, ugyanebben a formában kívánjuk e helyen felhasználni a betonok vízáteresztő-képességének jellemzésére.

Vizsgálati módszerünket ezért úgy választottuk meg, hogy az átszivárgási nyomás megállapítása után 24 órán keresztül valamennyi próbatestet 10 atmoszféra víznyomás mellett vizsgáltuk és csak ez idő alatt mértük az átszivárgó víz mennyiségét.

A Darcy-féle összefüggésből a jelen vizsgálati módszerre alkalmazott képlet a következő :

$$k = \frac{Q \cdot l}{F \cdot t \cdot h}$$

ahol k a vízáteresztő képességi együttható (cm/sec)

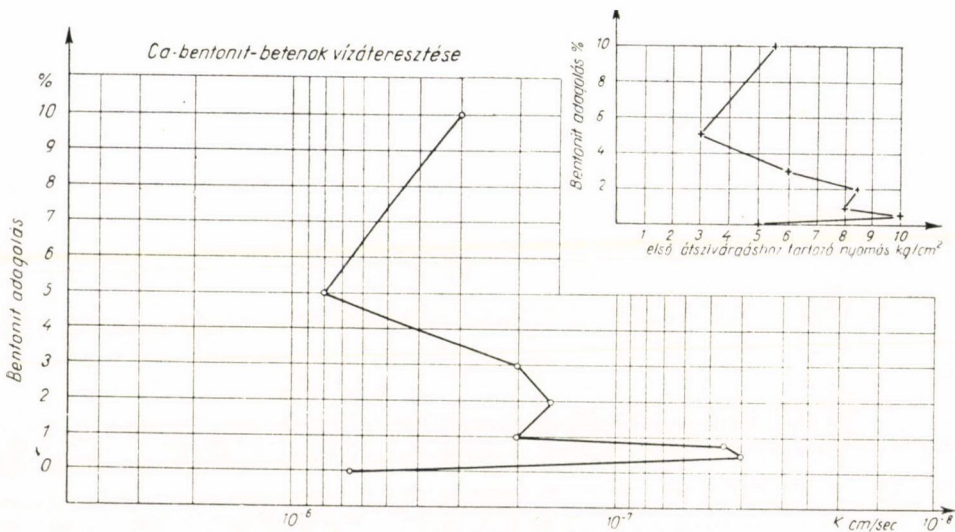
Q az átfolyt víz mennyisége (cm³)

l a minta hossza (cm)

F a minta keresztmetszete (cm²)

t az átfolyás időtartama (sec)

h az állandó víznyomás (cm)



5. ábra

Az 5. ábrán bemutatjuk az ily módon kiszámított „ k ” értékek és a Ca-bentonittartalom közötti összefüggést. A szemilogaritmusos koordinátarendszerben ábrázolt görbe abszolút értelemben összehasonlítást ad a betonok vízáteresztő képességéről, míg az ábra jobb oldalán feltüntetett görbe a „ k ” grafikont kiegészítendő, az átfolyási nyomásokat tünteti fel.

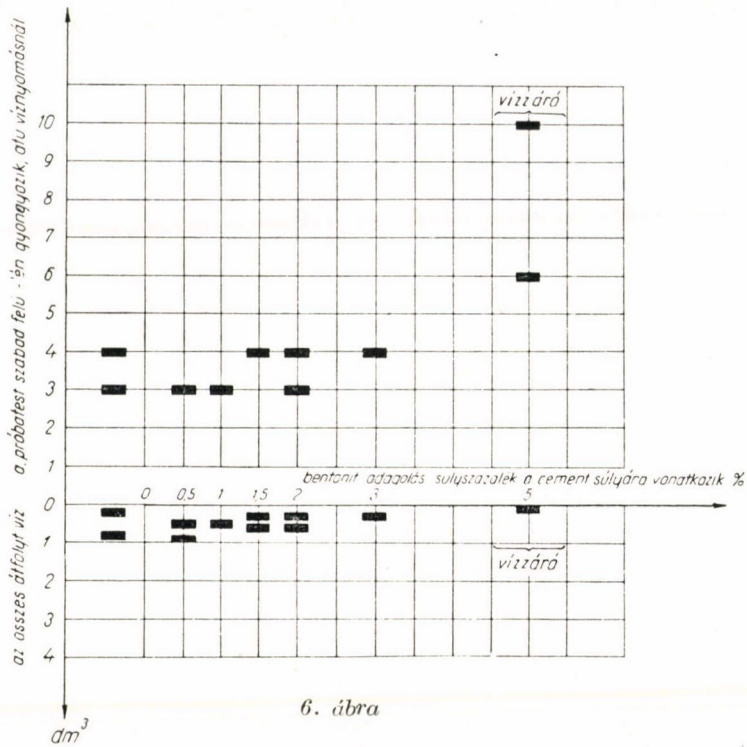
Megállapítható, hogy 10%-ig minden adagolás jobb eredményt adott (kivéve az 5%-os), mint a tiszta p. c. betonok. Különösen a 0,5–2% közötti szakasz érdemel figyelmet. Ilyen adagolás mellett a próbatestek 6–10 atmoszféra nyomásig vízzárónak bizonyultak. A számszerű eredményeket az I. táblázat mutatja. A „szárazon adagolt” bentonit előnyösebbnek látszik, mint a keverővízben adagolt. Erre mutat az I. táblázat utolsó két kísérlet-sorozatának (0,75%) keverővízben adagolt és 0,75% szárazon adagolt összehasonlítása, valamint a II. táblázat eredményei.

I. Táblázat
Ca-bentonittal készült betonok vízzárósága

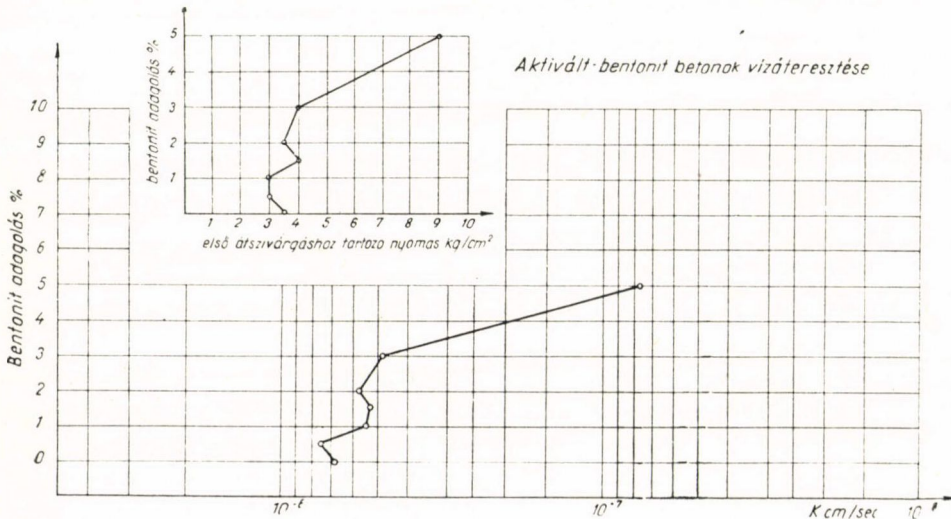
Bentonit adagolás %	Azon víznyomás, amelynél a próbatest szabad oldalán a gyöngyözés megindult atü	A fokozatosan emelkedő, majd 24 óráig 10 atü víznyomással terhelt próbatesten átszivárgott összes vízmennyiség cm ³
0	2	2980
	5	540
0,5	10	25
	10	40
1,0	6	300
	10	50
2,0	7	240
	10	24
3,0	6	230
	6	110
5,0	3	580
	3	710
10,0	5	250
	6	270
0,75	7	19
	4	55
0,75 szárazon adagolt	10	2
	10	0

II. Táblázat
Bentonit betonok vízzárósága száraz keverés esetén

Bentonit minőség	Bentonit adagolás %	Azon víznyomás, amelynél a próbatest szabad felületén a gyöngyözés megindult atü	A fokozatosan emelkedő, majd 24 óráig 10 atü víznyomással terhelt próbatesten átszivárgott összes vízmennyiség cm ³
„Ca”	0	5	23
	1	7	41
	2	5	23
	3	10	5
„A”	0	9	1
	1	10	0
	2	5	5
	3	6	5
„V”	0	4	10
	1	5	1
	2	8	0
	3	6	3
„W”	0	3	30
	1	7	3
	2	8	3



Az aktivált-bentonit vizsgálati eredményeit a 6. ábra és a III. táblázat mutatja. A 7. ábrán ugyancsak feltüntetjük a „k” értékek grafikonját. A vizsgálatok szerint 3%-ig az aktivált-bentonit a vízzáróságot lényegesen nem növelte. A legjobb eredményt az 5%-os adagolással értük el.



III. Táblázat
Aktivált bentonittal készült betonok vízzárósága

Bentonit adagolás %	Azon víznyomás, amelynél a próbatest szabad oldalán a gyöngyözés megindult atü	A fokozatosan emelkedő, majd 24 óráig 10 atü víznyomással terhelt próbatesten átszivárgott összes vízmennyiség cm ²	
0	4	850	
	3	220	
0,5	3	490	
	3	820	
1,0	3	540	
	3	530	
1,5	4	300	
	4	580	
2,0	3	340	
	4	600	
3,0	4	330	
	4	310	
5,0	10	30	
	10	35	
	6	120	
	teljesen vízzáró		0

A kísérletekből megállapítható :

A betonban Ca-bentonit 1—2%-os adagolásával jelentős vízzáróságot lehet elérni,

IV. táblázat
Ca-bentonit betonok zsugorodása és duzzadása

Jel	Bentonit %	Mín.—max. hőm. C°	Rel. nedv. %	Zsugorodás mm/m			Duzzadás mm/m		
				28	60	90	28	60	90
+	0	17—23	55—75	(0,20)	(0,28)	(0,31)	(0,01)	(0,02)	(0,02)
○	0,5	17—23	55—75	(0,23)	(0,32)	(0,36)	(0,01)	0,01	0,01
●	1,0	17—23	55—75	(0,25)	(0,35)	(0,40)	0,04	0,05	0,05
×	2,0	17—23	55—75	(0,24)	(0,30)	(0,34)	0,06	0,06	(0,02)
△	3,0	17—23	55—75	(0,20)	0,32	0,36	0,04	0,04	0,04
□	5,0	17—23	55—75	(0,19)	(0,30)	(0,34)	(0,04)	0,03	0,03
▲	10,0	17—23	55—75	(0,28)	(0,37)	(0,42)	(0,01)	(0,01)	(0,02)

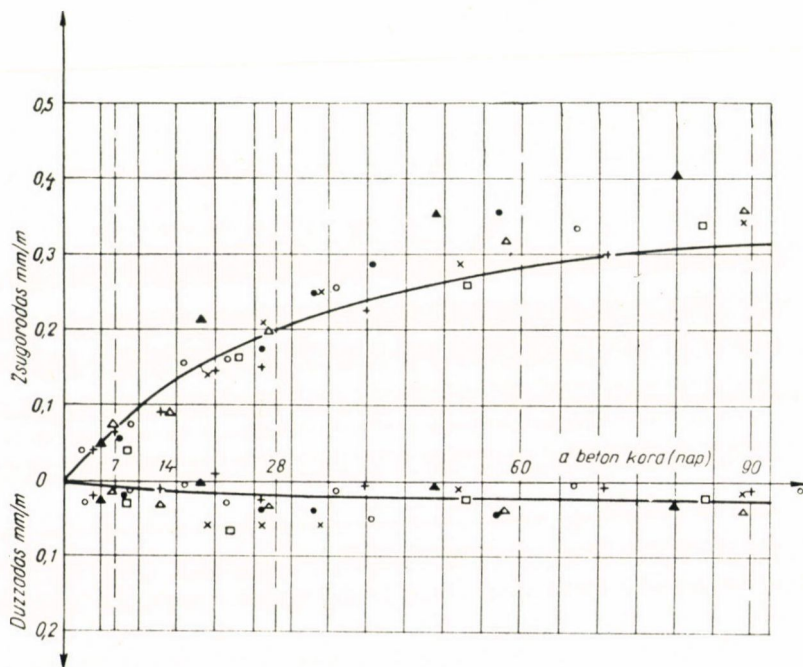
a Ca-bentonit adagolása előnyösebb a vízzáróság szempontjából, mint az aktivált-bentonité,

a szárazon adagolt bentonit vízzáróbb betont eredményez, mint az a módszer, amikor a keverővízben előzetesen 24 óráig áztatják a bentonitot.

Felmerül a kérdés, hogy miért csökken a vízzárás a nagyobb százaléku bentonit adagolásánál, illetve miért vízáteresztőbbek az aktivált bentonitot, illetve Na-bentonitot tartalmazó betonok. A friss betonban a bentonit a vízfelvétel alatt megduzzad. A duzzadás mértéke és így a keletkező pórusok mérete nagyobb lesz aktivált bentonit adagolása esetén, mint a Ca-bentonitnál. Az aktivált-bentonitnál a cement hidratációja alatt keletkező szabad mész okozta kationcsere térfogatesökkenést (ülepedés) okoz. A szilárduló betonban azonban már térfogatesökkenésre nincs lehetőség, így a kötött víz egy része pórusvízzé alakul át, vagyis a vízzáróság a nagyobb pórustartalom miatt csökken. Ugyanakkor a Ca-bentonit használatánál lényegesen kisebb zárt pórusok keletkeznek; a pórusokban helyetfoglaló víz pedig változatlanul bentonit-hoz kötött (adszorpciós vagy kristályközi) víz marad.

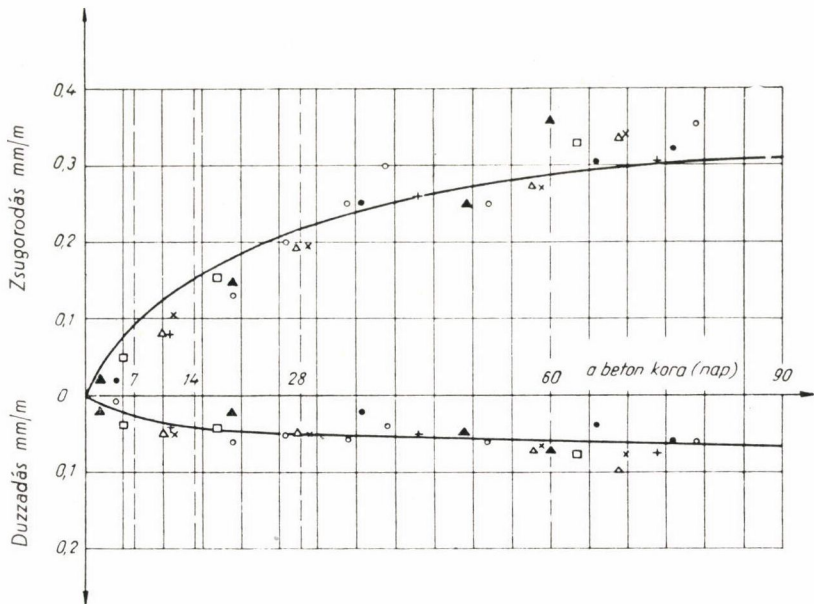
c) A bentonit betonok zsugorodása és duzzadása

A kísérletek célja a szilárdulás alatt a beton bentonit-adagolástól függő alakváltozásainak megismerése. A Ca-bentonittal készült betonok alakváltozásait a 8. ábra és a IV. táblázat, az aktivált bentonittal készültékét a



8. ábra

9. ábra és az V. táblázat mutatja. A kísérletek szerint 2–3%-os bentonitadagolásig az alakváltozások növekedése nem nagymértékű. Ez a tény különösen abból a szempontból megnyugtató, hogy vasbeton szerkezetekben sem jelenthet duzzadás vagy zsugorodás szempontjából veszélyt az 1–2%-os bentonit adagolás.



9. ábra

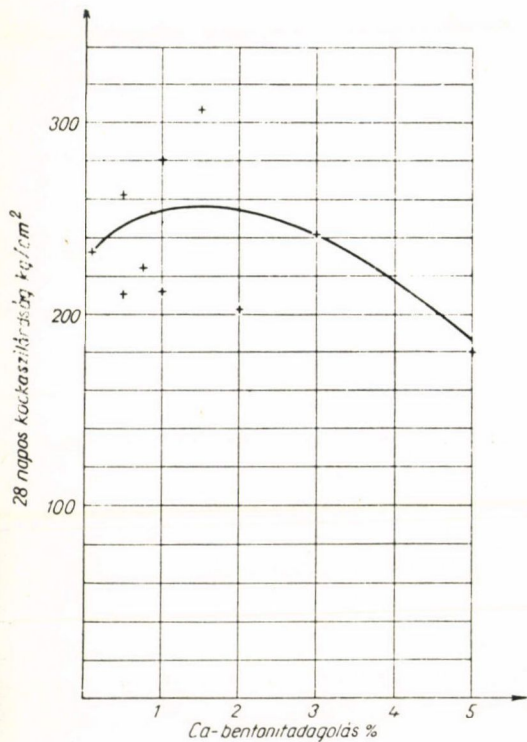
V. táblázat

Aktívált-bentonit betonok zsugorodása és duzzadása

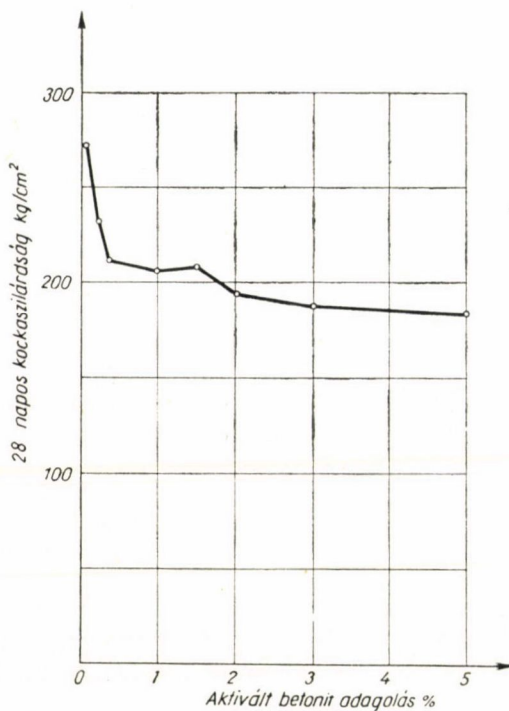
Jel	Bentonit %	Mín.—max. hőm. C°	Rel. nedv. %	Zsugorodás mm/m			Duzzadás mm/m		
				28	60	90	28	60	90
+	0	17—23	55—75	(0,22)	(0,29)	(0,31)	0,05	(0,06)	(0,07)
○	0,5	17—23	55—75	(0,22)	(0,33)		0,05	(0,05)	
●	1,0	17—23	55—75	(0,22)	(0,32)		(0,03)	(0,05)	
×	1,5	17—23	55—75	0,20	0,27		0,04	0,06	
△	2,0	17—23	55—75	0,19	0,28		0,05	0,07	
□	3,0	17—23	55—75	(0,22)	0,32		(0,05)	0,07	
▲	5,0	17—23	55—75	(0,22)	0,36		(0,04)	0,07	

d) A bentonit betonok szilárdsága és szilárdulása

A habarcsok tárgyalásánál összehasonlítottuk a Ca-bentonit és a Na-bentonit hatását a szilárdságra. A betonnal folytatott kísérleteink lényegében megerősítik az előző jelenséget és az előző következtetéseinket. A 10. ábra és a VI. táblázat szerint a Ca-bentonit kismértékű adagolása a szilárdság



10. ábra



11. ábra

VI. táblázat

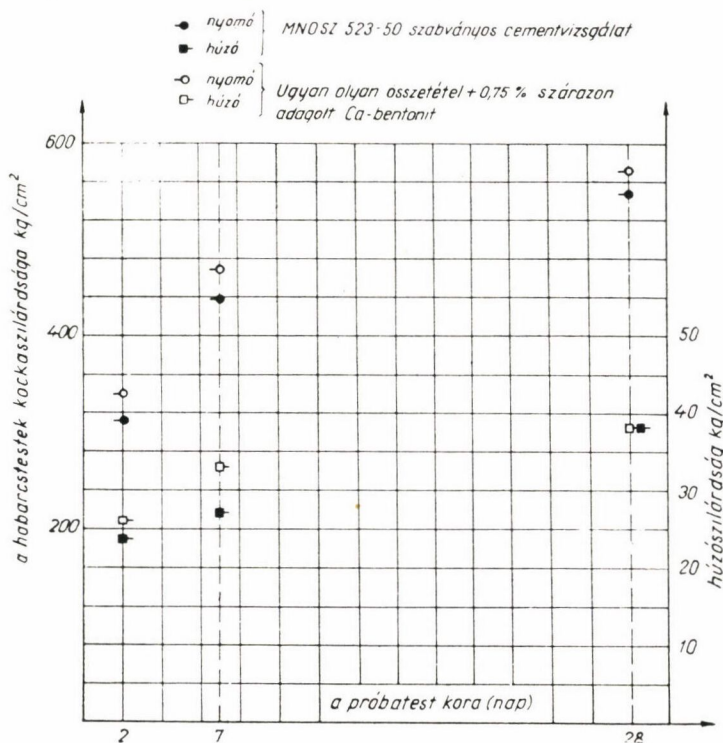
Ca bentonit hatása a szilárdságra

Jel	Bentonit adagolás %	A beton roskadása cm	Vízement-tényező $\frac{V}{C}$	Százalékos összehasonlító szilárdság	
				28 napos	90 napos
+	0	2,0	0,65	100	100
○	0,5	1,5	0,65	113	95—92
●	1,0	1,5	0,65	120—91	109—77
×	2,0	1,0	0,65	87	72
△	3,0	2,0	0,65	104	89
□	5,0	2,0	0,65	78	72
▲	10,0	1,0	0,65	72	60

VII. táblázat
Aktivált bentonit hatása a szilárdságra

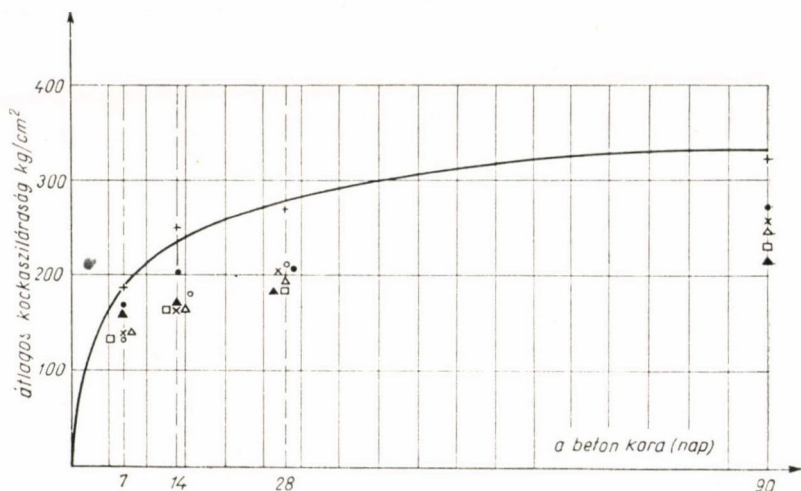
Jel	Bentonit adagolás %	A beton roska- dása cm	Vizcement- tényező $\frac{V}{C}$	Százalékos összehasonlító szilárdság		A készítés ideje (1955)
				28 napos	90 napos	
+	0	2,0	0,65	100	100	VIII. 30
○	0,5	1,0	0,65	78	—	X. 21
●	1,0	1,0	0,65	77	85	XI. 7
×	1,5	0,5	0,65	77	81	IX. 14
△	2,0	1,0	0,65	71	76	IX. 16
□	3,0	1,0	0,65	69	72	IX. 20
▲	5,0	0,5	0,65	68	68	IX. 22

szempontjából megengedhető, sőt növeli is a szilárdságot. Az aktivált bentoni-
adagolása esetén a szilárdság csökken (lásd 11. ábra és VII. táblázat). A 112
ábra szabványos cementvizsgálat eredményeinek összehasonlítása azonos



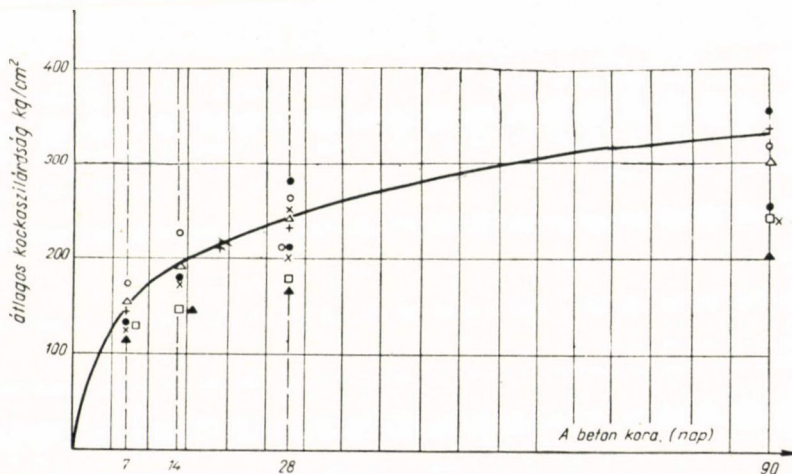
12. ábra

keverésű, 0,75% szárazon adagolt Ca-bentonitos habarcsok szilárdságával. Itt az tapasztalható, hogy ilyen kismértékű Ca-bentonit adagolása a húzószilárdság szempontjából is előnyös. A szilárdulás folyamatát a 13., 14. és



13. ábra

15. ábrák szemléltetik. Különösen a 15. ábrán látható, hogy a bentonit a szilárdulás folyamatát lassítja. A lassulás az aktivált-bentonitnál nagyobb mértékű és csupán 3%-nál nagyobb bentonitadagolásnál figyelemre méltó.



14. ábra

Tekintettel arra, hogy az optimális adagolás ez alatt keresendő, a bentonitnak a szilárdulást lassító hatása gyakorlatilag elhanyagolható. Az aktivált-bentonit szilárdságesökkentő hatását a vízzárósághoz fűzött feltételezé-

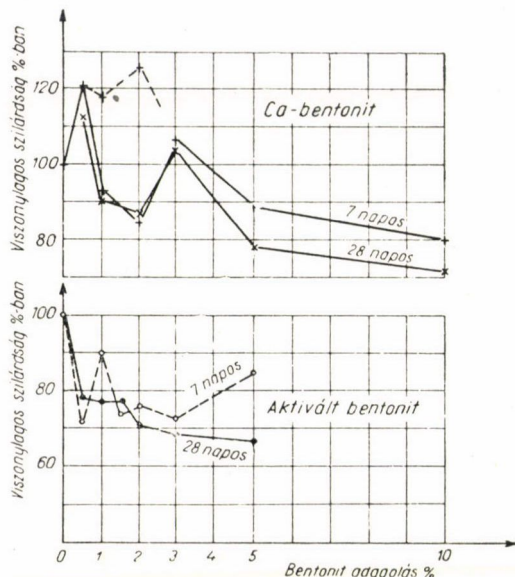
VIII. Táblázat
 Bentonit betonok szilárdsága
 (Cement és bentonit előzetes szárazuton való összekeverésével)

Bentonit fajta	Bentonit adagolás %	Kockaszilárdság kg/cm ²	Átlagos szilárdság kg/cm ²	Százalékos szilárdság
Összehasonlító próbatestek átlagszilárdsága (lábatlani 500-as p. c. felhasználásával bentonit nélkül)			220	100
Ca-bentonit	1	213 207 222	214	97
	2	220 236 257	237	108
	3	213 222 233	223	102
Aktivált bentonit	1	264 281 291	279	127
	2	222 190 193	202	92
	3	222 214 194	210	95
Vizépítési bentonit	1	196 203 200	200	91
	2	240 257 258	252	114
	3	219 227 219	222	101
Wyoming 694 bentonit	1	210 211 233	218	99
	2	196 200 218	205	93

sünnkel magyarázzuk. A nagyobb pórustérfogat, amely aktivált-bentonit adagolása esetén keletkezik, a szilárdságot is csökkenti.

Az ellenőrző kísérletek szerint a szárazon adagolt bentonit a szilárdság szempontjából sem mutatkozott előnytelenebbnek, mint a keverővízben 24

óraig áztatott. (Erre vonatkozó eredmények a VIII. táblázatban találhatóak.) Ezt azért kívánjuk kihangsúlyozni, mert a száraz adagolás a vízzáróság szempontjából igen előnyös lehet.



15. ábra

e) Bentonitos betonok tulajdonságaiból levonható néhány következtetés

A szilárdság és vízzáróság alakulása az adagolt bentonitok egyes típusainál kedvező, más típusoknál nem.

A bentonit adagolás növekedésével bizonyos határon túl a szilárdság rohamosan esik, a vízzáróság pedig nem változik, ill. ugyancsak esik vagy egyes kiugró esetekben emelkedik.

A jelenség magyarázatát keresve több magyarázat adódhat. Az aktivált-bentonitok hatására bekövetkező arányos szilárdságesökkenés okát nem nehéz megtalálni. A betonba juttatott aktivált-bentonit nagy duzzadóképesége folytán viszonylag nagy pórusokat képez a betonban. A porozitás növekedése már önmagában is magyarázza a szilárdságesökkenést; ezen túlmenően azonban ezek a pórusok nagyobb részben csupán vízzel vannak telítve; a cement szabad meszével kémiai kölcsönhatás lép fel, ennek eredménye az, hogy az aktivált (Na-) bentonit kationcsere következtében Ca-bentonittá alakul vissza. Ezt a jelenséget térfogatesökkenés kíséri. A már megszilárdult betonban azonban a pórusok határoló felületei teljesen kialakultak, itt további összehúzódásra nincs lehetőség. A bentonit tehát „úszik” a térfogatának többszörösét kitevő nagyságú pórusban és semmiféle hatást nem fejt ki szilárdsági szempontból kis adagolások esetében. Nagyobb adagolások mellett még kedvezőtlenebb a helyzet. A nagyobb mennyiségű bentonit sok cementszemcsét képes bevonni összefüggő bentonitfilmmel. Ezek a cementszemcsék már csak önmagukban képesek hidratálódni anélkül, hogy részét képeznék az összefüggő betontömbnek, mivel ebben akadályozza a bentonitfilm.

Nem változtat ezen az állapoton a kationcsere reverzibilis folyamata sem, hiszen a bentonit filmképző sajátságát nem befolyásolja az aktiválás vagy ennek hiánya. Így elméletileg olyan bentonit adagolás is adódik (függetlenül, hogy aktivált vagy Ca-bentonittal dolgoztunk), amely mellett zérus szilárdságot nyerünk. Ehhez tartozó bentonit adagolás annál a százaléknál fog jelentkezni, ahol a fajlagos felületek alapján számított összes bentonit-felület egyenlő az összes cement felülettel. Emellett, nagyobb aktivált bentonit adagolásnál nem elhanyagolható a kationcsere közben a cementtől elvont méz hatása, ill. annak hiánya hidratációnál. Ugyanakkor aktivált bentonit-adagolásnál a vízzáróság nem alakul kedvezőtlenebbül, mint a közönséges betonoknál, sőt 3% felett javulás is érzékelhető. Ez elsősorban a bentonit zárt pórusokat képező tulajdonságával magyarázható. Olyan esetekben, amikor a szilárdságnak kisebb a jelentősége (például injektálási munkáknál) és fontos az aktivált-bentonit stabilizáló és viszkozitáscsökkentő hatása, — aktivált-bentonit használata indokolt.

Más helyzet adódik akkor, ha a betonba Ca-bentonitot adagolunk. A Ca-bentonit kisebb duzzadáképeségénél fogva kis, zárt pórusokat hoz létre a betonban. Kis adagolásnál ezek a pórusok egymástól viszonylag távol helyezkednek el, s bennük helyetfoglaló bentonit bizonyos kiékelő hatást fejt ki a cementszemesék között, amely egy adagolási határon belül szilárdságnövekedést okoz.

Különös figyelmet érdemel az a körülmény, hogy a kedvezőbb eredmények akkor jelentkeznek, amikor a Ca-bentonitot szárazon keverjük a cementtel és ezt a keveréket használjuk betonkészítésre. Ebben az esetben a bentonit nem kapja meg a teljes duzzadáshoz szükséges vízmennyiséget, így magától a cementtől von el vizet hidratáció közben. A hidratációnál történő vízelvonás kedvező hatása közismert. A száraz keverés előnye még az is, hogy pl. bentonittartalmú vízépítési cement gyártása esetén a bentonit adagolás már a cement gyártása közben megoldható.

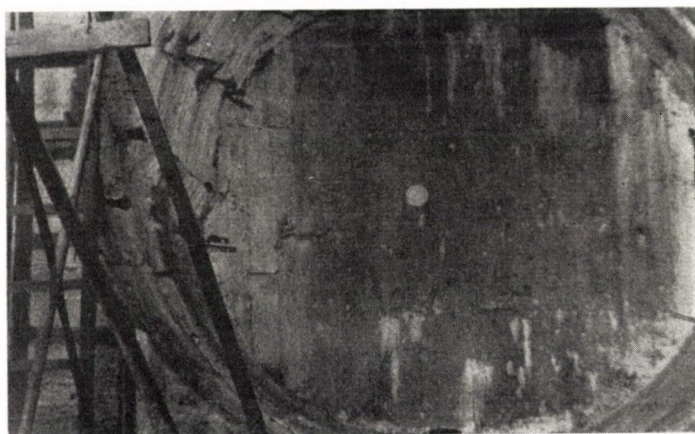
5. Bentonit-betonok gyakorlati alkalmazása

Miután a laboratóriumi kísérletek első sorozata igazolta, hogy Ca-bentonit adagolás milyen kedvezően befolyásolja a beton vízzáróságát és szilárdságát — a további laboratóriumi kísérletekkel most már párhuzamosan — a Földalatti Vasút Vállalat megkezdte a munkahelyi kísérleteket is, illetve a bentonitos beton gyakorlati alkalmazását.

Az alkalmazás célja kétféle volt. Az esetek egyik részében a kísérletképpen megépített bentonitos beton falazatnak önállóan kellett biztosítani a vízzárást. Más esetekben pedig már üzemszerűen, azért alkalmaztuk a bentonitos betont, hogy a bitumenes vagy vaslemez szigetelés esetleges meghibásodása esetén a megtámasztó bentonitos vasbeton köpeny biztosítsa a vízzárást.

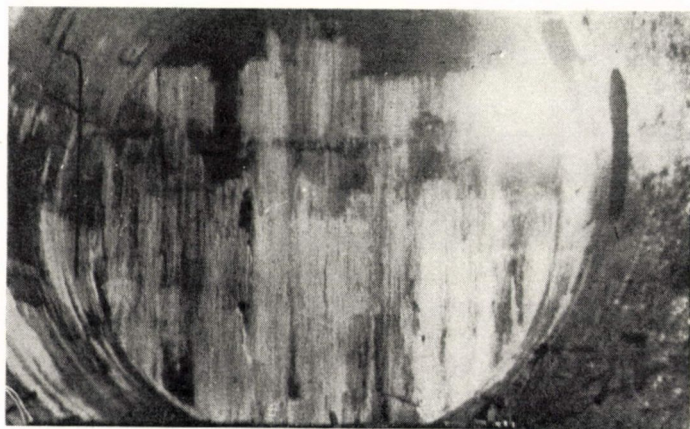
Először egy betonból épült vonal-alagút lezáró homlokfal betonjába adagoltuk a bentonitot, azzal a céllal, hogy a homlokfalat gyakorlatilag vízzáróvá tegyük. Az építés budai márgában történt, erős vízfolyás mellett a kőzet repedésein befolyó víz agresszív CO_2 -t és 500 mg/l SO_4 -et tartalmazott. Beton készítéshez minden különösebb előkészítés nélkül a szokásos dunai homokoskavicsot használtuk m^3 -ként 300 kg S 54 -es cementadagolással. Közvetlen a keverés előtt a keverővízbe — a cement súlyszázalékában kifejezve

0,75% Ca-bentonitot tettünk. Erről a homlokfalról négy hónappal később készült a 12. sz. fénykép. Bedolgozási hibáktól kiindulón a fényképen is láthatók a cementből kioldott mésztől fehér foltok. Ezek a vízátzivárgást



12. kép

eláruló foltok azonban lényegesen kevesebb helyen jelentkeznek és kevesebb kioldott meszet mutatnak, mint azonos kőzet és vízviszonyok mellett készült párhuzamos vonal-alagút bentonit nélküli homlokfaláról készült 13. sz. fénykép.



13. kép

Ebben az esetben az adalékanyag, cementadagolás és cementminőség is azonos volt, csupán a 0,75%-os Ca-bentonit nem volt a betonban. Ez a felvétel egy hónapos vízkimosás eredményét mutatja. Csaknem az egész homlokfalat el-takarja a vastagon lerakott kioldott mész.

E munka során készült próbakockák is igazolták a laboratóriumi eredményeket.

Az építőiparban a jobb és olcsóbb műszaki megoldásokat, az újat kereső mérnöknek ritkán adódik meg az a lehetőség, hogy minden külön költség nélkül az előbb ismertetett módon egymás mellé állíthasson egy régi és egy új anyagot, két technológiát és ilyen egyértelműen be lehessen mutatni a kettő közötti különbséget. Kétségtelen ennek a kedvező körülménynek, — az első sikeres munkahelyi alkalmazásnak, — döntő szerepe volt abban, hogy a Földalatti Vasút Vállalat további bentonitos beton szakaszok építését határozta el abból a célból, hogy gyakorlati példákon vizsgálja meg: csupán Ca-bentonit adagolással a földalatti beton műtárgyak szigetelése megoldható e?



14. kép

Egy másik kedvező összehasonlítási lehetőség adódott az egyik szellőző alagútunk szigetelésénél. A szellőző alagút fekete szigeteléssel lett ellátva és ennek folytatásában betömedékelésre váró betontárobán a fekete szigeteléshez csatlakozva megépítettünk egy 20 cm-es bentonitos vasbetonköpenyt 3 méter hosszban és ezt lezártuk egy kb. 1 méter vastag bentonitos beton homlokfallal. Így lehetőségünk adódott ugyanazon szigetelési körülmények között hosszú időn keresztül összehasonlítani egy fekete szigeteléssel készült szakaszt, egy bentonitos betonköpennyel szigetelt szakasszal. A bentonitos beton készítése ebben az esetben szintén a szokásos dunai homokos kavicsal, valamint C 500-as cementhez adagolt 0,75% Ca-bentonittal történt. A 14. sz. fénykép a szigetelés előtti betonfelületet mutatja, ahol észrevehetőek a vízfolyásokat jelző fehér foltok.

A bentonitos vasbetonköpeny elkészülte után a zsugorodásból és a záradéknál a nem tökéletes bedolgozásból eredő hézagokat Ca bentonittal, illetve C 500-as cementtel utólag kiinjektáltuk. Az elkészült bentonitos vasbetongyűrűről készült a 15. sz. kép.

A vasbetonköpeny készítésénél helyenként a nem plasztikus beton használata miatt bedolgozási hibák mutatkoztak. Ezeken a bedolgozási

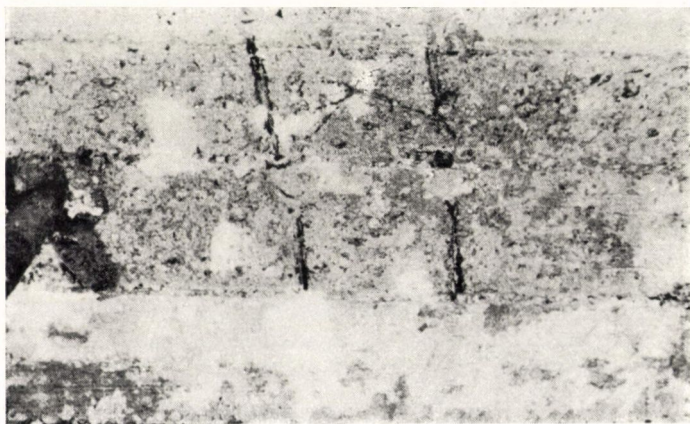
helyeken egy-két nap múlva az átszivárgó vizet a cementből kioldott mészerakódások mutatták. Egy ilyen átszivárgási helyről készült a 16. sz. felvétel.

Ezeket a bedolgozási hibákat úgy javítottunk, hogy átfúrtuk a vasbetonköpenyt, injektáló csövet helyeztünk el és Ca-bentonittal injektáltunk. Az injektálást C 500-as cementtel fejeztük be.



15. kép

A bentonitos beton egy másik alkalmazásáról készült a 17. és 18. számú kép. A 17-es felvétel egy vaslemezzel („kistübinggel”) burkolt és téglagyűrűkkel merevített tárot mutat. A kistübingek bordáinál erősen befolyó vizet több kísérlet ellenére sem lehetett elzárni.



16. kép

A vízfolyások megszüntetése miatt a kistübingtáróba a téglagyűrű előzetes elbontása után 30 cm-es bentonitos betongyűrűt építettünk be. Itt már az előző alkalmazások tapasztalatait hasznosítva igyekeztünk plasztikus betont bedolgozni, valamint a munkahézagokat, csatlakozásokat tovább



17. kép

betonozás előtt gondosan letisztítani. A 18. kép mutatja, hogy erős vízfolyás ellenére a bentonitos betonból készült 30 cm-es gyűrű gyakorlatilag vízállónak bizonyult. A bentonitos beton készítése szokásos dunai homokos kavicsból,



18. kép

C 500-as cement és 0,75% Ca-bentonittal történt. A Ca-bentonit adagolása nem a keverővízben történt, hanem „szárazon” betonkeverés előtt a cementbe való keveréssel.

6. Bentonitos betonok gyakorlati alkalmazásának eddigi tapasztalatai

1. Bitumenes és vaslemez szigeteléseket megtámasztó vasbetonköpenyek építésénél jól alkalmazható a bentonitos beton, mivel további biztonságot jelent ezen szigetelési módoknál azáltal, hogy a szigetelést megtámasztó bentonitos vasbetonköpeny vízzárósága, szilárdsága nagyobb az eddigi alkalmazott betonnál.

2. A bentonitos beton alkalmazásánál különös gonddal kell ellenőrizni a beton bedolgozását, plasztikus állapotú beton alkalmazásával azonban a bedolgozási hibákat teljesen ki lehet küszöbölni. Még az ilyen kis %-ban történő bentonit-adagolás is könnyebbséget jelent a bedolgozásnál.

3. Csatlakozások és munkahézagok különös gonddal letisztítandók, mert a legtöbb esetben itt jelentkeznek a vízátzivárgások. A csatlakozások és munkahézagoknál jelentkező szivárgások kiküszöbölésére a felületek gondos letakarításán túlmenően a jövőben 1–2 mm-es fém- vagy műanyaglemez elhelyezését tartjuk szükségesnek.

4. A gyakorlatban a bentonit összekeverésének a kísérleteknél alkalmazott két módja lehetséges; a bentonitos betonok széleskörű alkalmazása esetén feltétlenül a cementgyárakban kell összekeverni e két anyagot.

5. Költségtöbbletet a bentonitos beton alkalmazása gyakorlatilag nem jelent, mivel az eddigi tapasztalatok szerint ilyen csekély százalékban való Ca-bentonit adagolás anyag és munkabéreköltsége 1 m³ betonra vonatkoztatva minden esetben 2 forint alatt volt.

Összefoglalás

A betonok vízzáróságának növelésére kismennyiségű bentonit adagolás megfelelőnek látszik.

A bentonit minőségek közül a Ca-bentonit alkalmazása ajánlatos.

A Ca-bentonit mennyisége a cement súlyára vonatkoztatva legfeljebb 2% lehet.

A Ca-bentonit „száraz adagolása” adja a legjobb eredményeket.

A kísérletek eredményeinek kiértékelése alapján vízépítési cement előállítását javasoljuk, amely cement és kismennyiségű bentonit keverékéből áll. Ezt a két anyagot a cementgyárban kell szárazon összekeverni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. *Dr. Barna János*: A bentonitok ipari felhasználása. (MTI 1954.)
2. *Dr. Barna János*: Hazai bentonitok tulajdonságai a felhasználás és előkészítés szempontjából. (Bányászati Lapok 1956.)
3. *Endell*: Bentonit im Baugewerbe. (Die Bautechnik 1953.)
4. *Földváriné, Vogl Mária*: Agyagásványok kémiai és fizikai vizsgálata. (Földtani Közlemény [1954])
5. *Gráj*: Olajbányászati kémia. (Nehézipari Kiadó 34. sz.)
6. *Kézdi*: Talajmechanika.