

Az utóbbi években világszerte egyre többet foglalkoznak a természetes kőzetek konzerválási, védelmi kérdéseivel. Ennek oka részben az emberiség ama felismerésében rejlik, hogy műalkotásait és természeti környezetét — amelyekben a természetes kőzetek szerepe igen jelentős — úgy kell megvédenie, hogy azok a napjainkban fennálló helyzetben, lényeges további romlás nélkül maradjanak meg az utánunk következő generációk részére. Másik oka pedig az a gyakorlati tapasztalat, hogy az iparosodás és városiasodás következtében egyre agresszívbbé váló légkörben a kőanyagok az eddig megszokottnál lényegesen nagyobb mértékben romlanak és így pl. a műalkotások nemcsak esztétikai értéküket veszítik el, hanem a kövek romlása következtében állékonyságukat, stabilitásukat is. Így a kővédelem kérdései világjelentőségre tettek szert.

A védelem szükségességét már évszázadokkal ezelőtt felismerték a különlegesebb, kőből készült műalkotások esetén: ide sorolhatjuk pl. az athéni Parthenon színezését, a középkori Vence zsiros kőbevonatait. Ezek azonban még nem voltak tudatosan, általános használatra kiválasztott szerek. Az ipari fejlődés a XIX. században kívánta meg először nagyobb mértékben a kővédelem tudományos elemzését.

Kezdetben a méztej, a vízüveg alkalmazására történtek kísérletek, majd a kőzetan fejlődésével a kőzetre megfelelő készítmények kikísérletezésére került sor. Angliában a magyar Szerelmey a fluátos (fluorszilikátos) kezeléssel lett elismert vállalkozó, de alkalmaztak baritvizes (báriumhidroxidos) kezelést, szerves anyagokat (pl. testalin) vagy egyszerű, a kőzettel reakcióba nem lépő bevonatokat (pl. parafin) is.

Egészen nagyjából a 2. világháborúig terjedő időben egyedi próbálkozások eredményeképpen változóan sikeres kezelések jellemezték a helyzetet: általános használatra egyetlen szer vagy vegyülettípus sem került.

A 2. világháború idején kifejlődött vegyipar a kőzetkezelésben is új fejezetet nyitott, elsősorban a szerves szilíciumvegyületek, az epoxigyanták és egyéb műanyagok (pl. metakrilát, akrilát, stb.) kifejlesztésével. Ezen anyagok egyes, különleges tulajdonságai (pl. víztaszítás) addig ismeretlen hatással voltak a kőzetekre és így a kezelőszerek világszerte elterjedtek különböző minőségben és változatos neveken, általában titokban tartott vegyi összetétellel.

Egyes negatív tapasztalatok hamar bebizonyították, hogy ehhez a tevékenységhez is szükséges a *tudományos alapok* feltárása a kőzetan vonatkozásában is, és ennek alapján lehet az alkalmazás feltételeit és a kezelés ellenőrzési

módjait kidolgozni. A következtetéseknek, megítéléseknek egyik legnagyobb műszaki nehézsége ugyanis az, hogy a mállási folyamat önmagában is igen lassú: a kőzet tönkremenetele a felszínen vagy beépítve évtizedek, esetleg csak évszázadok alatt ér el látható, szemlélettel is észlelhető mértéket. A laboratóriumi, gyorsított időállósági folyamatokkal (ún. „öregítési” vizsgálatokkal) való vizsgálatok a mállási folyamat szabatos ellenőrzését kívánják meg és a laboratóriumi vizsgálatokat helyszíni vizsgálatokkal kell hitelesíteni. Mivel a mállási folyamat a kőzetminőség és a környezet közös függvénye, a hitelesítést klímaegységként és kőzetként külön-külön kell elvégezni.

Mivel a kezelőszerek felhasználása már nemzetközinek mondható, szükségesnek látszik, hogy azok minősítése ne országonként változó vizsgálati módszerekkel történjék, hanem a vizsgálatok eredménye összehasonlítható legyen. Ezért már évekkel ezelőtt felmerült egy nemzetközi előírásrendszer kidolgozásának kívánalma.

A kővédelem szükségessége nemzetközi viszonylatban a műemlékek kőanyagán vált érezhetővé, a természeti objektumok védelmével csak kevés helyen (pl. az Egyesült Államok nemzeti parkjaiban) foglalkoztak. Így az építőipari laboratóriumok nemzetközi szövetsége (RILEM), valamint a műemlékek és múzeumok nemzetközi tanácsa (ICOMOS) közös munkabizottságot hívott életre a nemzetközi vizsgálati ajánlás kidolgozására. Ez a bizottság 1972 óta működik és előreláthatólag 1978-ban fejezi be munkáját. A bizottság munkájában Magyarország a Budapesti Műszaki Egyetem két képviselője (Zádor M., Kertész P.) révén vesz részt, így az előírásban szereplő vizsgálati módszerek nem idegenek az új magyar építési kőanyag szabványrendszertől (MSZ 18280—18296) sem.

Magyarországon a védendő kőzetválaszték (különösen a műemléki kőanyagoknál) lényegesen eltér az egyéb európai, vagy e kérdéssel foglalkozó tengerentúli területek közetegyüttesétől. A hazai klímátikus körülmények sem egyeznek meg az e téren gazdagabb tapasztalatokat gyűjtött országok körülményeivel. A hazai védelmi feladatok nagyrészt az Országház építésével indultak meg, a felhasznált durva mészkő konzerválására már a századforduló után néhány évvel történtek kísérletek.

A két világháború közötti Magyarországon már a kísérletek sorát végezték el különböző vegyi anyagokkal (1), de a tapasztalatok általában negatívak voltak. Így a kérdéssel részletesen foglalkozó Vendl Aladár (2) negatívan értékelte a kővédelem lehetőségét és ennek nyomán

a kérdés hosszú időre lekerült a napirendről. A magyar műszaki és földtani szakemberek nem figyeltek fel eléggé a felszabadulás után az új anyagok megjelenésére és csak Zádor M. munkássága (3) nyomán kezdtek el e kérdéssel foglalkozni.

A hazai durva mészkő, vulkáni tufa, tömött és forrásvízi mészkő problémáival szemben világszerte jobbra a homokkő, a gránit, a márvány és a francia típusú durva mészkő kőzetfajtáira gyűltek a tapasztalatok, de bebizonyosodott, hogy ezek nem alkalmazhatók közvetlen a magyar viszonyokra.

A hazai műemléki kőanyagok védelmi kérdései az Országos Műemléki Felügyelőség hatáskörébe tartoznak, a kutatásokat a BME Építészettörténeti és Elméleti Intézete irányítja, a műegyetememen kívül kutatásokat végez az Építéstudományi Intézet is.

A kőzetvédelem szempontjából külön feladatot jelentenek azok a földtani természetvédelmi objektumok, amelyek mállása nagyobb intenzitású. A Központi Földtani Hivatal, valamint az Országos Természetvédelmi Hivatal e kérdés gazdája, megbízásukból kutatásokat végez a Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat, valamint a BME Ásvány- és Földtani Tanszéke is.

A KFH megbízásából a tanszék kutatási tevékenységet vállalt Budapesten két dolomit-objektum (a Libegő alsó állomásának sziklaalakzata, valamint a Balog Ádám utcai természetvédelmi terület) és az ipolytarnóci lábnyomos homokkő konzerválási kísérletei mellett a kérdés egészének, földtani szempontból való értékelésére és továbbkutatására.

A kitűzött feladat

A kitűzött közvetlen cél a nevezett objektumok védelmére vonatkozó javaslat készítése volt. Ennek keretében vizsgálni kellett a kőzet és a mállás jellegét,

- meg kellett határozni a valószínűen alkalmazható kezelőszerek közül az optimálist,
- meg kellett állapítani a kezelés után annak hatásosságát,
- konkrét vizsgálati eredmények alapján kellett javaslatot tenni az alkalmazandó kezelésre.

A kérdés megoldásához legelőször is azt kellett tisztázni, hogy mi várható el egy kezeléstől. Kezelésre akkor van szükség, ha a szabad felszínű kőzet

- jelenlegi állapotában nem felel meg a vele szemben támasztott (pl. szilárdsági, esztétikai, felületállandósági) követelményeknek,
- a mállási tényezők hatására olyan változásokat szenvedhet el, amelyek az előző bekezdésben említett követelmények jövőbeni teljesülését akadályozzák.

A kezelés lehet olyan, amely a kőzet állapotát javítja, a kőzetet szilárdítja oly módon, hogy a további szilárdságrömlést is jelentősen korlátozza. Ez a *szilárdító kezelés* elsősorban a kőzet

megromlott tulajdonságait változtatja, részben „helyreállítja”.

A második esetben olyan kezelés lehetséges, amely a további mállási folyamat intenzitását csökkenti, általában úgy, hogy a mállási tényezőket tartja távol a kőzettől. Mivel a hazai éghajlaton a mállás általában a kőzet felszínközeli részébe belépő vízzel függ össze (fagy, vegyi anyagok, élőszervezetek megtelepedése), egy *víztaszító kezeléssel* a mállás tényezői távol tarthatók, anélkül, hogy a kőzet tulajdonságait, küllemét, szilárdságát megváltoztatnánk.

A szükséges kezelés jellegének megállapításához a kőzetnek és mállási folyamatának alapvizsgálatokkal való jellemzése előfeltételként jelentkezett.

Alapvizsgálatok

A kőzetek mállásával könyvtári irodalom foglalkozik, ezek azonban általában nem vizsgálják a változás kőzetzfizikai jellegét és a mállási elváltozások függését a felszíntől való távolságtól. A mállási folyamat a hagyományos mikroszkópiával csak egészében elemezhető, a kémiai elemzési módszerekkel sem követhetjük egyszerűen a helyi kémiai és ásványtani változásokat. Így a BME Építészettörténeti és Elméleti Intézetével, valamint a SOTE elektronmikroszkópiai laboratóriumával (Ortsik É.—Vargha T.—Zádor M.) együttműködve megkezdjük a kőzetmállás kérdéseinek *elektronmikroszkópiai* tanulmányozását.

Első lépésként az építőkőként legtöbb nehézséget jelentő szarmata durva mészkövek ép és mállott felületét tanulmányoztuk, majd vizsgáltuk a kezelőanyag elhelyezkedését a kőzetfelületen. A felvételeken a kőzet szövete, illetőleg annak fellazulása jól tanulmányozható, de nem állapítható meg egyértelműen a mállástermékek kémiai vagy ásványtani jellege. Jól megfigyelhető a víztaszító hártály elhelyezkedése és jellege, ez utóbbiakból már a kezelés hatásosságára is egyértelmű következtetés vonható le. A szilárdító bevonat elhelyezkedését még nem lehetett egyértelműen megállapítani.

További lépésként az elektronmikroszkópiai vizsgálatokat ki kell terjeszteni a felületi anyagok (elsősorban a mállástermékek) elemzésével és a felvételi technika fejlesztésével meg kell ismerni a kőzet-kezelőanyag kölcsönhatását a szilárdítás folyamán.

A *kezelés hatásosságának* megítélésére sajátos vizsgálati rendet kellett kidolgozni. A nemzetközi előírások még nem kerültek kiadásra, hazai előírásunk nincsen. A vizsgálati rendet a dolomitos kőzeteken azok heterogén és gyakran minavételre alkalmatlan jellegük miatt elsősorban helyszíni megfigyelésekre alapítottuk, míg a lábnyomos homokkő vizsgálatára — részben a dolomitos kőzeteken végzett vizsgálatok tapasztalatai alapján — laboratóriumi vizsgálati rendet dolgoztunk ki. A vizsgálatok során olyan jelzőtulajdonságokat kell meghatározni, amelyek a kőzet szempontjából lényegesek és amelyek a mállás (vagy annak laboratóriumi mo-

dellezése) során észlelhetően megváltoznak és kezeléssel befolyásolhatók. A jelzőtulajdonságok, a kezelőszerek és az alkalmazandó modell-folyamatok megválasztása egyben megszabja a vizsgálatához szükséges próbatestek mennyiségét.

Kísérletek a dolomitos kőzetekben

A Libegőnél lévő dolomitalkizatok és a Balog Ádám utcai természetvédelmi terület kőanyaga lényegében azonos. Mindkét területen az a probléma, hogy a dolomit felületállandósága nem biztosított, a felületközeli repedezett vagy porló kőzetelemek összefüggése gyengül a kőzet többi részével és a felületről anyag távozik el.

Mikroszkópi vizsgálattal megállapítható, hogy a porlás lényegében a dolomitmikrokristályok egymással való kötésének fellazulása, a repedések pedig mind a kötési felületeken, mind pedig az ásványok hasadási felületén húzódnak. A kőzet kezelése akkor lehet hatásos, ha a romló vagy részben megszűnt kötéseket mesterségesen helyreállítjuk. Így a kezelés elsősorban szilárdítás lehet, de a további mállási folyamat korlátozása miatt felmerül a víztaszító felület kialakítása is.

A kutatási munkához hagyományos és szilikonos *vegyszereket* használtunk fel a következők szerint:

szilárdító anyagok nátronvízüveg (33, 66, 100% töménységgel)
magnéziumfluát
fehércementpép
mésztej

víztaszító anyagok Szilikofóh
szilorklakk

A Balog Ádám utcai természetvédelmi területen a kőzeten négy jellegzetes felületet választottunk ki a kezelések céljára, amelyeket részekre osztva láttunk el különféle kezeléssel. A kezelést az 1976. év őszén végeztük, az első ellenőrző megfigyelésre az 1977. év nyarán került sor. A kísérleti, közel függőleges helyzetű felületek a következők voltak:

1. Fehér, kissé porló, mállott dolomit
2. Lilás, breccsás, kissé porló dolomit
3. Fehér, egybefüggő, felületén repedezett dolomit
4. Töredezett, repedezett porló dolomit (üreg belsejében, esőtől védve).

A téli periódus elmúltával végzett megfigyelés alapján a még nem málló, csak repedezett dolomiton (3) a kezelt és kezeletlen felület között nem volt különbség észlelhető. A teljes egészében mállásnak indult, illetve porló dolomiton (4) valamennyi kezelés hatástalan volt, annak ellenére, hogy e felületet a csapadék közvetlenül nem érte.

A közbenső állapotú 1. és 2. kőzetfelület, valamint egyes külön kezelt kőzettömbök víztaszító kezelése nem volt hatásos, de a szilárdító kezelés a kezeletlen felülethez viszonyítva jelentősen csökkentette a mállást. A vízüveg a felületen önálló hártvaként helyezkedett el, a mésztej és fehércementes kezelés pedig lényegesen megváltoztatta a felület megjelenését.

Az eredményekből az a következtetés volt levonható, hogy az önállóan alkalmazott víztaszítás eredménytelen, a szilárdításhoz viszont a kísérletekhez alkalmazott viszonylag egyszerűen beszerezhető anyagok nem megfelelőek.

Laboratóriumban a *víztaszítás mértékének és szilárdságnövekedésének* meghatározása vált szükségessé. A víztaszítás változását a tanszéken, részben a BS 3286:1969 brit szabvány alapján kidolgozott módszerrel határoztuk meg a kezelt felületen keresztül való kapilláris vízfel szívás megfigyelésével. A szilikofóbos kezelés a kissé repedezett, porló dolomitban mintegy 10%-kal csökkentette a felületi vízfelvételt, általában mintegy 0,0033 g/cm² megszilárdult kezelőszel felvétele után.

A szilárdítás mértékét a dolomitpróbatetekén nem sikerült egyértelműen meghatározni. Mivel a nem porló, de repedezett dolomitok szilárdságára a repedésmenti nyírószilárdság-csökkenés jellemző, a kőzet tömegéhez vagy felületéhez képest jelentéktelen mennyiségű kezelőanyag is képes a felületközeli repedésekben a kötés helyreállításával szilárdságnövelésre. A próbatetszilárdsági vizsgálatokban ez a változás nem észlelhető megfelelően, míg a felületi szilárdsági vizsgálatok (pl. Brinell-keményesség) pontszerű jellege miatt csak a helyi szilárdságváltozást jelzi. A továbbiakban a dolomitra is alkalmazható új szilárdítóanyaggal (pl. Sandsteinverfester) való helyszíni kezelés mellett ki kell dolgozni a dolomitra is alkalmazható szilárdságvizsgálati eljárást.

Az ipolytarnóci lábnyomos homokkő védelmi kísérletei

A vizsgált homokkő kötése kovasavas, porozitása csekély. A felületközeli pórusokban tárolódó víz okozza repedésképződésével a kötőanyag mállását, illetőleg a kötőanyag-szemcse kötésének fellazulását. Az általános feladatoktól eltérően ebben az esetben vízszintes szabad felületű kőzetet kell konzerválni úgy, hogy a tetővel védett lábnyomos alakzat a lehetőség szerint változtatás nélkül maradjon meg.

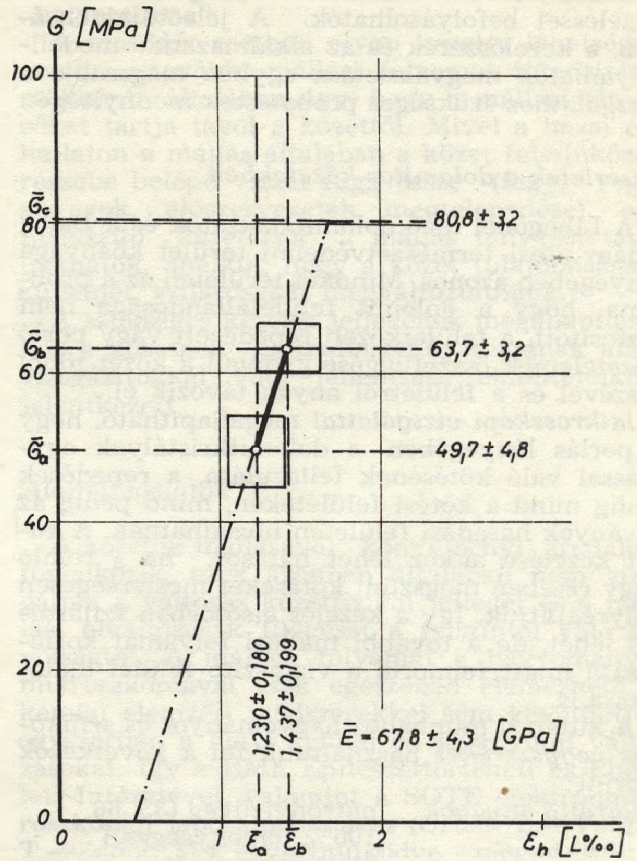
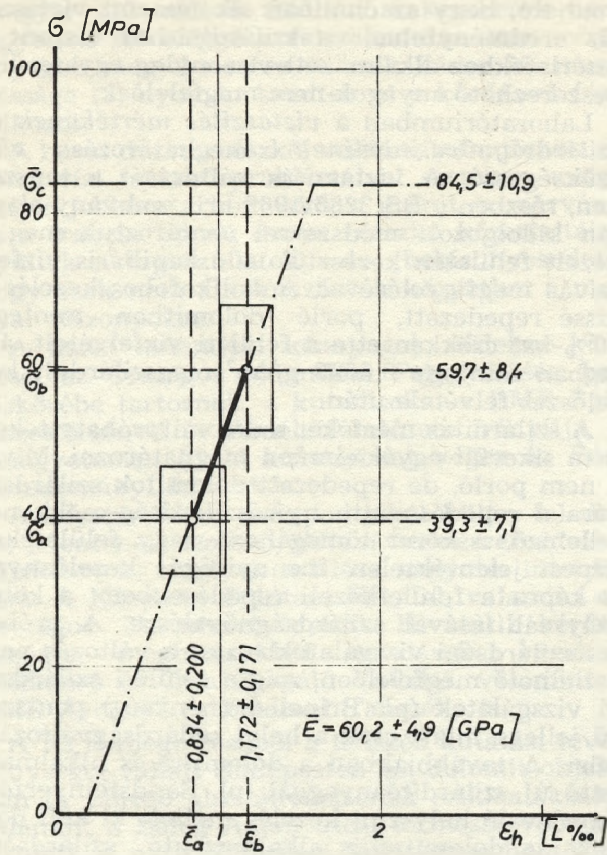
A lábnyomos homokkő védendő felülete a kutatás jelenlegi állapotában nem volt hozzáférhető, csak egyes, elszigetelt pontokon lehetett azt megtekinteni. Egy korábbi kutatási fázisban ugyanis az egész értékes felületet műanyagfóliával borították le és arra több deciméteres vastagságú földréteget helyeztek el. Így a homokkőfelület felfelé való vízleadását megakadályozták és a fólia alatt vízreteg képződött, a felületközeli kőzetrészt állandóan telítési állapotban tartva. Így a kőzet — fagyhatár fölött húzódo — felülete részben morzsalékosná vált. Ennek mértéke, valamint a szóbeli közlés szerint valamikor elvégzett parafinos kezelés hatása a kutatás e fázisában nem volt megállapítható. A védelmi kísérleteket a lábnyomos homokkő szintjével azonos kőzettani jellegű kőzetet végeztük.

A kezelés során a kőzetfelületen nem látszik célszerűnek víztaszító bevonatot alkalmazni,

Alakváltozási átlaggörbék

légszáraz állapotban $n=5$

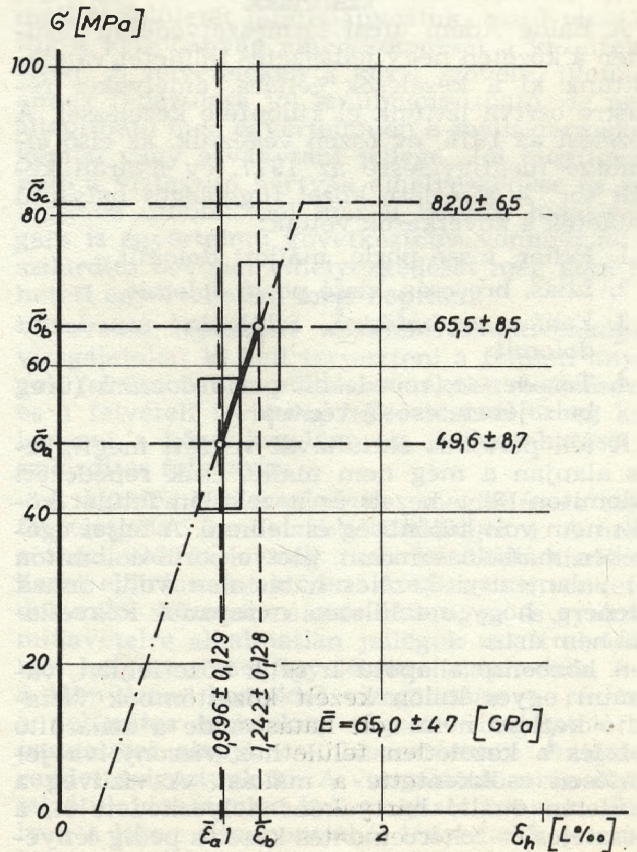
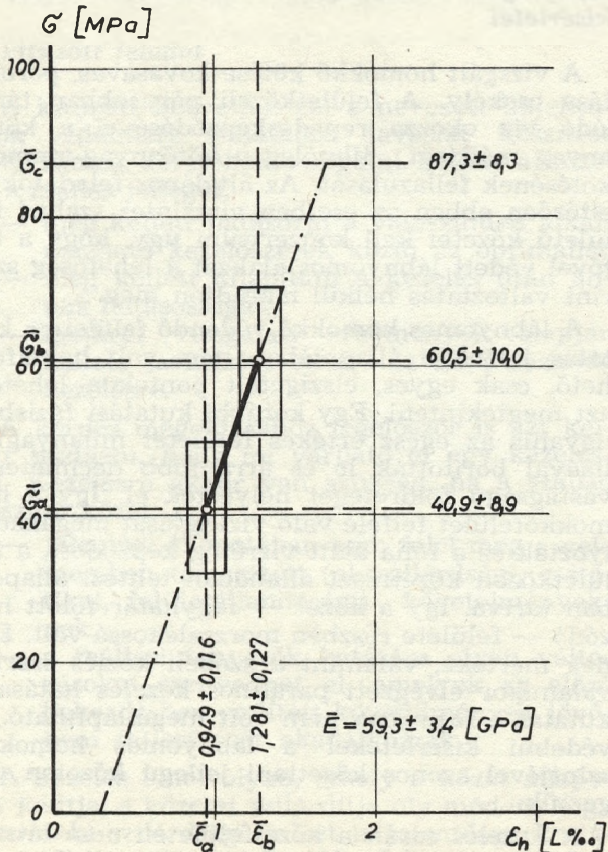
vízrel telített állapotban $n=5$



Sandsteinverfestiger – OH kezelés után

légszáraz állapotban $n=5$

vízrel telített állapotban $n=5$



Homokkő Ipolytarnóc

mert ez esetlegesen kéregképződéshez vezethet, amellet, hogy vízszintes felületen a víztaszítás a kővédelem szempontjából általában nem is hatásos. Így irodalmi tanulmányozás, valamint eddigi tapasztalataink alapján a Magyarországon is hozzáférhető víztaszító hatás nélküli Sandsteinverfestiger OH-Wacker vegyszerrel folytattuk le kísérleteinket. Ennek előnye az, hogy nem száraz felületre felhordva is kellően hatásos, a nedvesség a szilárdulást elősegíti.

A vegyszer olyan szilikonvegyület, melyből végső soron SiO_2 válik ki és kötésbe lép a kőzettel. Ez homokkő esetén a kőzet természetes kötéseivel azonos jellegű kötésekkel eredményezhet.

A kezelés hatásosságának ellenőrzésére végzett vizsgálatokat a tanszéken kidolgozott rendszerint végeztük, arra a megfontolásra alapítva vizsgálatunkat, hogy a kezelt és kezeletlen kőzetek közötti tulajdonságváltozást kell elemeznünk alapállapotban és a környezetre jellemző időállósági modellfolyamatok elszenvedése után. Így valamennyi vizsgálatot úgy hajtottuk végre, hogy a különböző kezelés után, vagy különböző állapotokban lévő próbatesteken meghatároztuk a kiválasztott jelzőtulajdonságokat és azok értékét az MSZ 18289—T értelmezésében az alapállapotú kőzet tulajdonságához viszonyítottuk. Így az egyes vizsgálatokat egyenértékű részpróbatest-csoportokon hajtottuk végre.

Jelzőtulajdonságként a testsűrűséget, ultrasebességet, az egyirányú nyomóvizsgálat paramétereit, valamint a Brinell keménységet alkalmaztuk légszáraz és vízzel telített állapotban, valamint vízfelszívás után.

A *testsűrűséget* henger alakú, szabályos próbatesteken határoztuk meg. A testsűrűség értékében jelentkezik a vízfelvétel és kezelőszerfelvétel hatása is.

A *longitudinális ultrahanghullámok terjedési sebességét* a henger alakú próbatest két véglapja között határoztuk meg.

A henger alakú próbatesteken *egyirányú nyomóvizsgálatot* végeztünk és ennek során felvettük az erőirányú alakváltozási görbét. Az átlaggörbék az 1. ábrán közöljük légszáraz és

vízzel telített, kezeletlen, valamint teljes felületükön bevont próbatestekre vonatkozóan.

A kőzetpróbatestek sík véglapjain meghatároztuk a *Brinell keménységet* kezelt és kezeletlen próbatesteken minden vizsgálati állapotban.

A *vizsgálatok kiinduló és viszonyító állapota a légszáraz állapot volt*. A *viztelítést* a próbatesteknek légköri nyomáson, teljes vízelborítással végeztük.

A *vízfelszívási vizsgálatot* úgy hajtottuk végre, hogy a henger alakú próbatesteket függőlegesen, 5 mm mélységig vízbe állítottuk a tömegállandóság eléréséig. A *fagyasztási vizsgálatot* klímazsekrényben végeztük. A nátrium- és magnéziumsulfátos *kristályosítás* után az ellenőrző vizsgálatok a kimosott, légszáraz állapotú próbatesteken kerültek végrehajtásra.

A vizsgálatok egy részét — összehasonlítás céljából — *kezeletlen* próbatesteken végeztük. Teljes *felületi kezelés* esetén a próbatestet teljes egészében behelyeztük a Sandsteinverfestiger OH kezelőszerbe és 24 óráig ott tartottuk, a további vizsgálatokat annak teljes megszilárdulása után végeztük. *Véglapkezelés* esetén a függőlegesen álló próbatestet 15 másodpercre bemártottuk a kezelőszerbe 10 mm mélységig és a további vizsgálatokat annak teljes megszilárdulása után végeztük. A teljes kezeléssel átlagban $0,014 \text{ g/cm}^2$ szilárd állapotú kezelőszer került a kőzetfelületre. Megállapítható volt, hogy az egyes próbatestek annál több kezelőszeret vettek föl, minél kisebb volt a testsűrűségük. Mivel a kőzet mállása testsűrűségcsökkenésben is jelentkezik, ez a jelenség éppen a mállottabb darabok jobb szilárdítását eredményezi.

Az elvégzett vizsgálatok eredményeit és viszonyszámait az I—IV. táblázatok tartalmazzák. Ezek eredménye összességében jelzi azt, hogy a *lábnyomos homokkő szilárdítására a Sandsteinverfestiger OH vegyszer javasolható*.

Az *egyirányú nyomóvizsgálat* eredményeképpen — habár a kezelőszer mennyisége a kőzet térfogatához képest csekély — a *nyomószilárdság* átlagértéke mind légszárazon, mind pedig vízzel telítve magasabb a kezelt kőzeten. Az

I. táblázat

Testsűrűség g/cm^3	Kezeletlenül	Teljes felületi kezeléssel	Véglapkezeléssel
Átlagérték (szórás) százalék			
valamennyi próbatestre légszárazon	2,205 ($\pm 0,044$)		
légszárazon vízzel telítve	2,205 ($\pm 0,037$) 100,0 2,258 ($\pm 0,025$) 102,4		
légszárazon	2,205 ($\pm 0,042$) 100,0	2,219 ($\pm 0,039$) 100,6	
légszárazon vízzel telítve	2,205 ($\pm 0,062$) 100,0	2,219 ($\pm 0,056$) 100,6 2,262 ($\pm 0,036$) 102,5	
légszárazon vízfelszívás után	2,205 ($\pm 0,021$) 100,0 2,241 ($\pm 0,027$) 101,6		
légszárazon vízfelszívás után	2,205 ($\pm 0,065$) 100,0		2,205 ($\pm 0,065$) 100,0 2,225 ($\pm 0,055$) 100,1

Ultrahangsebesség km/s	Kezeletlenül	Teljes felületi kezeléssel	Véglapkezeléssel
Átlagérték (szórás) százalék			
valamennyi próbatestre légszárazon	3,790 ($\pm 0,375$)		
légszárazon	3,778 ($\pm 0,213$)	100,0	
vízzel telítve	3,982 ($\pm 0,121$)	105,3	
légszárazon	3,739 ($\pm 0,142$)	100,0	3,760 ($\pm 0,268$) 100,6
légszárazon	3,686 ($\pm 0,238$)	100,0	3,953 ($\pm 0,214$) 107,2
vízzel telítve			4,015 ($\pm 0,111$) 108,9
légszárazon	3,928 ($\pm 0,228$)	100,0	
vízfelszívás után	3,930 ($\pm 0,125$)	100,1	
légszárazon	3,625 ($\pm 0,340$)	100,0	
vízfelszívás után			3,730 ($\pm 0,375$) 102,9 3,973 ($\pm 0,230$) 109,6

III. táblázat

	Kezeletlenül	Teljes felületi kezelés után
<i>Nyomószilárdság MPa</i>		
átlagérték, átlagjavító érték, százalék		
légszárazon	84,5 \pm 10,9 100,0	87,3 \pm 8,3 103,3
vízzel telítve	80,8 \pm 3,2 95,6	82,0 \pm 6,5 97,0
<i>Rugalmassági modulus GPa</i>		
átlagérték és átlagjavító érték		
légszárazon	60,2 \pm 4,9 100,0	59,3 \pm 3,4 98,5
vízzel telítve	67,8 \pm 4,3 112,6	65,0 \pm 4,7 107,9

IV. táblázat

<i>Brinell keménység kp mm²</i>	Kezeletlenül	Véglapkezelés után
Átlagérték (szórás) százalék		
légszárazon	84,6 ($\pm 21,5$) 100	100,0 ($\pm 31,7$) 118,2
vízfelszívás után	75,1 ($\pm 24,4$) 100	91,3 ($\pm 41,2$) 121,6
25 fagyciklus után	77,2 ($\pm 26,7$) 100	99,2 ($\pm 39,2$) 128,5
nátriumsulfátos kristályosítás után	83,0 ($\pm 23,2$) 100	100,0 ($\pm 31,7$) 120,5
magnéziumsulfátos kristályosítás után	100,0 ($\pm 35,0$) 100	101,6 ($\pm 32,4$) 101,6

alakváltozásra jellemző rugalmassági modulus átlagértéke mind szárazon, mind vízzel telítve alacsonyabb a kezelés utáni állapotban. Az alakváltozási görbékről az állapítható meg, hogy kezelt állapotban a *b* és *c* pontokban mért alakváltozás szórása alacsonyabb lett. Az alakváltozásra a szilárdsággal ellentétben a próbatest egészének viselkedése jellemző és így az alkalmazott, helyi jellegű kezelés befolyása kisebb.

Az ultrahangsebesség értéke valamilyen módon szintén összefüggésben van a kőzet szilárdságával. Ez a változás észlelhető a mérési eredményeken is, ahol a víztartalom sebességnövelő hatása is közrejátszik.

A kezelés felületi jellege miatt a legjobban a felületi szilárdságot kifejező *Brinell keménység* mutatja ki a szilárdság növekedését. A kezelés hatása egyértelműen mintegy 20–30 %-os keménységnövekedéssel jelentkezik. Nem egyértelmű a magnéziumsulfátos kristályosítás után nyert eredmény, ahol a kezelt és kezeletlen próbatestek keménysége közel azonosnak adódik.

További teendők

Az eddigi munkálatokkal egyértelműen sikerült lezárni a lábnyomos homokkő konzerválási kísérleteit. A budai dolomit szilárdítására még kísérleteket kell végezni. A további kutatások főirányai a következők:

1. Tovább kell gyarapítani és finomítani ismereteinket a felületi mállási jelenségekről, és szabatosan meg kell határozni a mállástermékek jellegét és a mállás közfizikai és kőzetkémiai kísérő jelenségeit. Ezekhez kapcsolódva elemezni kell a kezelőanyag elhelyezkedésének módjait a kőzetfelületen és annak közelében, meghatározva felhordott védelem jellegét és hatását, valamint beépülését.

2. Mivel a mállás jellege és a védelem optimális módja kőzetenként különbözik, szükséges az eddigi célvizsgálatok mellett a fontosabb hazai kőzettípusok általános vizsgálata több kezelő-

szerrel. A fontosabb kőzetfajták közül célszerűnek látszik egy mállásra hajlamos homokkő (pl. Keszthely környéki pannóniai homokkő), egy (sósokúti típusú) durva mészkő és egy vulkáni tufa (Eger—Bogács vidékéről) teljes vizsgálata. E kőzeteken folytatott kísérletek alapján lehet a hazánkban célszerűen alkalmazható kezelőanyagokat is kiválasztani.

1. *Láczy O.*: A természetes kőzetek elmállása... Budapest, 1942.
2. *Vendl A.*: A kőzetek pusztulása és megvédése. Természettudományi Közlöny, 75. 1943.
3. *Zádor M.*: Műemlékek korszerű felületvédelme. Acta Technika 1972.