

# Műemléki kőkiegészítő anyagok mechanikai viselkedésének változása a felhasználás körülményeinek függvényében

Szemerey-Kiss Balázs

BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, szemerey@gmail.com

Török Ákos

BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, torokakos@mail.bme.hu

**ÖSSZEFOGLALÁS:** Kőzetből épült műemlékeink restaurálásánál a kőkiegészítő anyagok alkalmazása és alkalmazhatósága a műemlékvédelmi és időállósági szempontból döntő jelentőségű. Jelen cikk a hazai viszonyok között leggyakrabban használt kőkiegészítő habarcsok laboratóriumi vizsgálatát mutatja be. Kitér az egyes habarcsok és habarcs-kőkeverékek mechanikai tulajdonságának változására és bemutatja ezek vízfelvételi és időállósági tulajdonságait. Laboratóriumi mérések alapján elemeztük a különböző anyagok mikroszkópos szöveti tulajdonságait és a főbb szöveti alkotókat.

*Kulcsszavak: Kőkiegészítő anyagok, mechanikai tulajdonságok, nyomó-, és hajlító szilárdság, ásványtan*

## 1 BEVEZETÉS

### 1.1 Kőkiegészítő habarcsok

A technika fejlődésével mindinkább előállíthatók olyan kőkiegészítő anyagok, amelyek nem csak megszólalásig hasonlítanak az eredeti kővekre, de kőzetfizikai paramétereik is nagyon hasonlítanak a természetes kőzetekéihez. Ezen anyagok nagyon hasonlíthatnak a természetes kőzetkehez, de a gyakorlatban nem feltétlen úgy viselkednek, mint a természetes kőzetek (Kriston, 2000). Komoly gyakorlati problémákat okozhat, ha a kőkiegészítő anyagokat a gyári receptura szerint alkalmazzuk a kőkiegészítő anyag és a kőzet tulajdonságait és kölcsönhatását nem elemezve. Hazai restaurátori gyakorlatban alkalmazott, gyári, előírt összetételű, kültéri, zsákolt habarcsok mechanikai viselkedése számos körülménytől változhat, módosulhat. A nem házilag összeállított restauráló habarcsokkal nem számolva, az ilyen termékek szinte kizárólag külföldről érkeznek hazánkba. A forgalmazott termékeket külföldi laboratóriumokban állítják össze, érthető módon, figyelmen kívül hagyva a hazai kőállomány eltérő szöveti jellegét és kőzetfizikai tulajdonságait. Az elsődleges különbséget a különböző szövetszerkezet okozza (1. ábra), amely nem csak eltérő megjelenéshez, de különböző fizikai tulajdonságokhoz is vezet, úgy mint eltérő porozitás, vízfelszívás, páraáteresztés, stb.



**1.ábra** Eltérő szövétű sóskúti durvamészke próbatestek (képek bal oldalán) és kőkiegészítő habarcsok (képek jobb oldalán) különböző szövetszerkezete. A jobb oldali kép páron a mészke és a kőkiegészítő habarcs nagyobb hasonlóságot mutat.

Mindezek alapján belátható, hogy a helytelenül alkalmazott habarcsok nem csak esztétikai, hanem mechanikai problémákat is okozhatnak, tovább növelve a távolságot az eredeti kőzet és a kiegészítő habarcs között. A jelen cikkben bemutatott vizsgálatok célja ezen szöveti és mechanikai különbségek bemutatása és a különböző gyártótól származó kőkiegészítő habarcsok fontosabb tulajdonságainak egységes szemléletű elemzése.

## 1.2 Speciális kőkiegészítő habarcsok

A kereskedelmi forgalomban kapható kőkiegészítő habarcsok közül vizsgálataink során a legáltalánosabb, talán legtöbbször használt termékeket vizsgáltuk, törekedve a teljességre a gyártók tekintetében. Léteznek magképző, speciális öntőhabarcsok, vagy például eltérő szemmagysággal forgalomban lévő termékek is. Ezen anyagok elemzésére nem tér ki a cikk, a vizsgálatok kizárólag a legtöbbször használt, a leggyakrabban előforduló kötítüstípusokhoz használt általános habarcsokra koncentráltak.

## 2 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

### 2.1 Mintaelőkészítés, mérési elvek

A mérésekhez csak ásványos összetételű, Magyarországon forgalomban lévő, előírt összetételű, gyári, színezett, kültéri, zsákos kiserelésű anyagokat használtunk. Kísérleteink jelen eredményei a hazai durvamézőkővekhez alkalmazott habarcsok és azok külön-külön, valamint együttes viselkedésére koncentráltak. A próbatestek elkészítéséhez szükséges anyag mennyiséget a forgalmazó cégek biztosították számunkra. A kőkiegészítő anyagokból és a különböző arányban összeállított kőkiegészítő anyag-közúzalék keverékből próbatestek készültek el. Gyémántkorongos vágógéppel alakítottuk ki a megfelelő méretű kísérleti mintákat. A kísérletekhez az adalékanyag a sókúti bányából származó kőőrlemény volt, melynek szemmagysága a szabványos 1—2 mm között változott. Az adalékanyag tömegszázalékos arányban 10-30-50% tett ki a kevert mintáknál.

A jelen cikk a további kőkiegészítő anyagokkal és módszerek vizsgálatával, valamint történeti leírásokkal nem foglalkozik, ezt egy korábbi írás mutatja be (Szemerey és Török, 2008). A cementes kiegészítések vizsgálata is a fent említett cikkben, illetve Pecchioni et al. (2005) publikációjában leírt módszerek alapján lehetséges.

A vizsgálati metodikában néhány esetben eltérünk a magyar és a nemzetközi szabványoktól, mivel véleményünk szerint ezen kőkiegészítő habarcsok alkalmazása során fellépő gyakorlati problémákra jobban fókuszáló kísérletekkel lehet modellezni a restaurátori felhasználást. Azért hogy az eredmények összevetethetők legyenek a szabványos vizsgálatokkal, az ilyen nem szabványos mérések mellett kísérlettől, ezekkel párhuzamosan a szabvány szerinti elemzést is elvégeztük. Így részben eltértünk a fagyasztási vizsgálatoknál is a szabványtól, hiszen a szabvány szerint a ciklusok között telíteni kell a próbatesteket, azonban az életszerűség kedvéért párhuzamosan olyan kísérletsorozatot is lefuttattunk, ahol a mintákat nem telítettük teljesen vízzel. Úgy gondoljuk, hogy épülethomlokzatok, műemlékek esetében ritkán fordulhat elő a frissen felhordott habarcsok esetén, hogy bedolgozás után a fagyveszélyes időben minden nap átáztassa az eső a teljes telítésig, vagy a teljes keresztmetszetig a homlokzatot. A vizsgálatokat a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia laboratóriumában végeztük.

### 2.2 Vizsgálatok

A különböző típusú mészkövek vízfelszívását (MSZ EN 1015-18) összevetettük a gyári adatokkal elkészített megszilárdult „műkövek” adataival, valamint bővítettük a kört azzal, hogy a gyári adatokon felül további adalékanyagot kevertünk a szárazhabarcsokhoz.

A roncsolásos vizsgálatokhoz három különböző méretű szabványos próbatestet használtunk. A henger alakú próbatestek 5 cm átmérőjű és 10 cm magasságú, a próbahasábok 4cm átmérővel és 16 cm hosszal, a kocka alakú próbatestek pedig 3x3cm élhosszal készültek el. A különböző típusú próbatesteket a megfelelő szabvány szerinti hajlító és nyomó (MSZ 16000/3) vizsgálatoknak vetettük alá DigiMess M-10-es akkreditált készülékkel. A próbatesteken végzett nyomó- és hajlító vizsgálatok a készítés napjától számított 3., 7., 14., 28. és 90. napon készültek. A kőanyagok és a habarcsok szöveti jellemzőit vékonycsiszolatok alapján, Olympus BH-2 típusú mikroszkóp alatt elemeztünk, majd dokumentáltunk (MSZ EN 12407:2000). Meghatároztuk a minták testsűrűségét is az MSZ EN 1015-10 szabvány figyelembevételével.

A sóskúti durva mészkő típusok és a kőkiegészítő habarcsok anyagsűrűségét piknométerrel határoztuk meg. A piknométeres sűrűség meghatározása az ismert módszer (MSZ EN 1936:2000) és képlet segítségével történt.

A mérések során a folyadék szerepét tetraklór-etilén oldat váltotta ki, hogy a habarcsok ne lépjenek reakcióba a vízzel. Természetesen a megfelelő adatokkal számolva, víz helyett a tetraklór-etilén hőmérsékletfüggő sűrűségét felhasználva. A mérési eredményeket több mérés átlagaként adjuk meg.

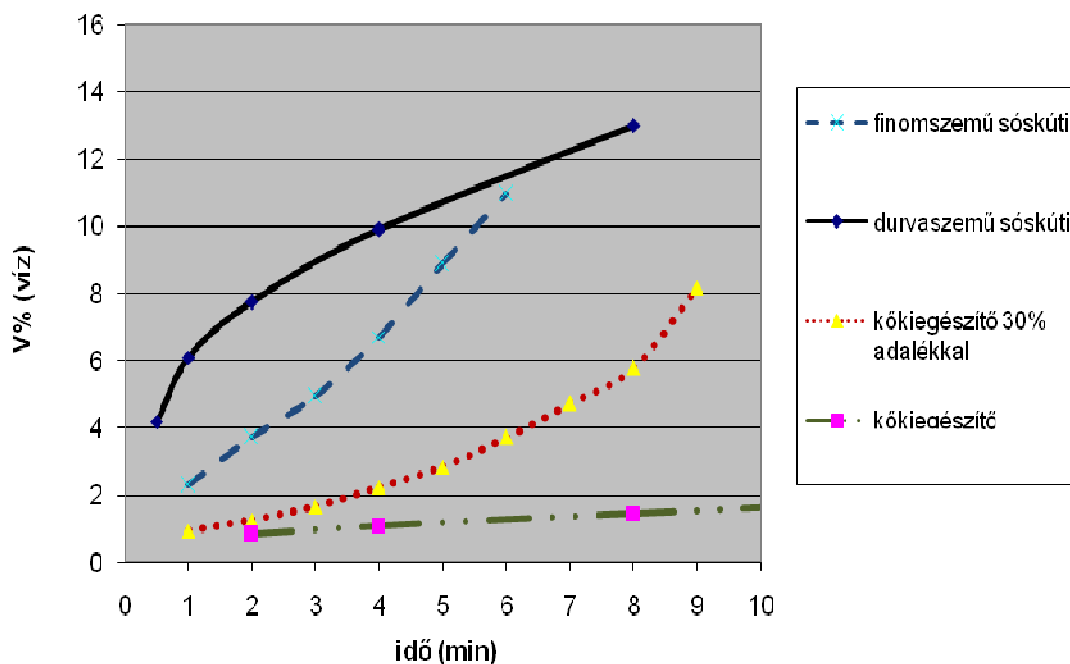
Az időállóság modellezésére a bedolgozott habarcsot egyrészt digitalizált szárítószekrényben tároltuk (8 órát 40°C-on, majd 20°C-on), másrészt fagyasztottuk. A szabványos fagyasztás (50 és 100 ciklus) mellett, egy a gyakorlathoz közelebb álló szabványon kívüli fagyasztásnak is kitéttünk egy sorozat próbatestet. Ekkor a fagyasztás ciklusszáma megegyezett a habarcs korával, illetve az újra fagyasztás előtt nem telítettük a próbatesteket vízzel, hanem a bennük lévő, a készítéshez használt nedvesség mennyiségét tároltuk, majd az így kapott próbatesteket fagyasztottuk.

### 3 EREDMÉNYEK

#### 3.1 Roncsolásmentes vizsgálatok

A mérések alapján megállapítható volt, hogy még a legtöbb adalékanyaggal (m50%) elkészített minták vízfelvétele is kisebb mértékű, mint a durvamészkő próbatestek. Függetlenül a porozitás mértékétől, a szöveti jellemzőktől, a természetes mészkövek kapilláris vízfelszívását a habarcsokhoz adagolt mármár tűréshatárt átlépő mennyiségű adalékanyaggal (zúzottkő) sem tudtuk olyan mértékben megnövelni, hogy az közelítsen a durva mészkövek vízfelvételi tulajdonságaihoz. Az 1. ábrán látható szöveti különbségek a durva mészkő és a habarcsokból elkészített próbatestek között ezek alapján fizikai eltérésekhez is vezetnek. A vízfelszívás mértéket a két eltérő szövetű durva mészkőre, kőkiegészítő anyagra és 50%-os arányú kőzúzalékot tartalmazó kőkiegészítő habarcsra a 2. ábra mutatja be. Jól megfigyelhető, hogy a kőkiegészítő anyag vízfelvételét a hozzáadott kőzetadalék megnöveli. A porozitás növelésére a kőkiegészítőknél általában szükség van, amelyet hozzáadott kőzúzaléktól függetlenül is egyéb ásványos adalékszerrel is el lehet érni elérni (Galetakis és Raka, 2004).

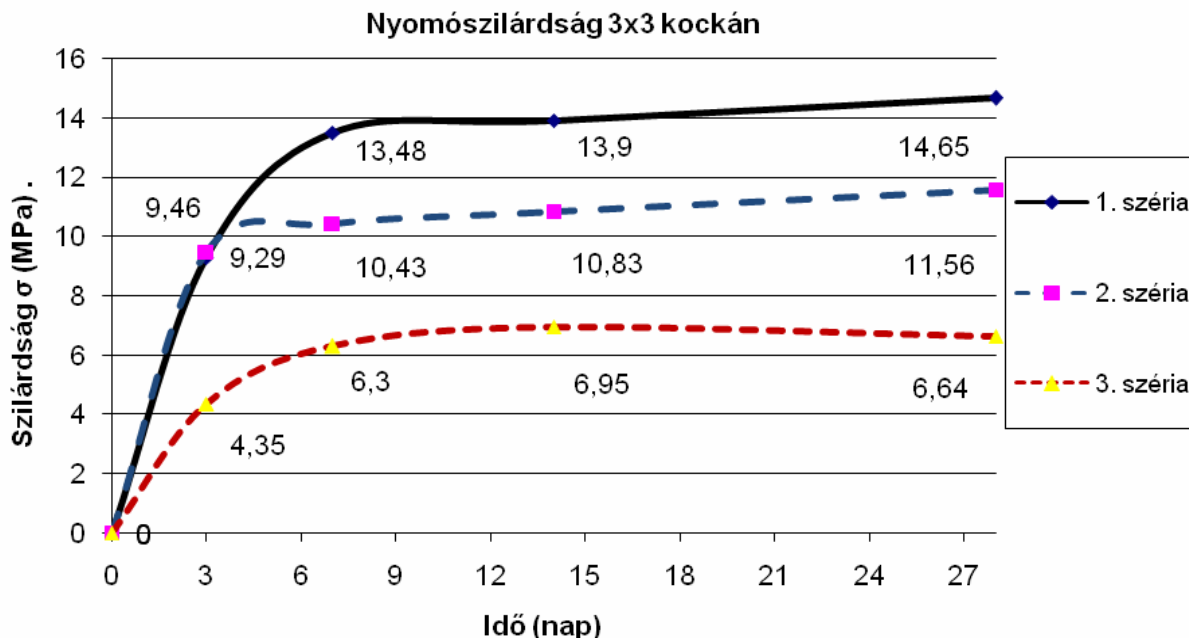
#### Vízfelszívás



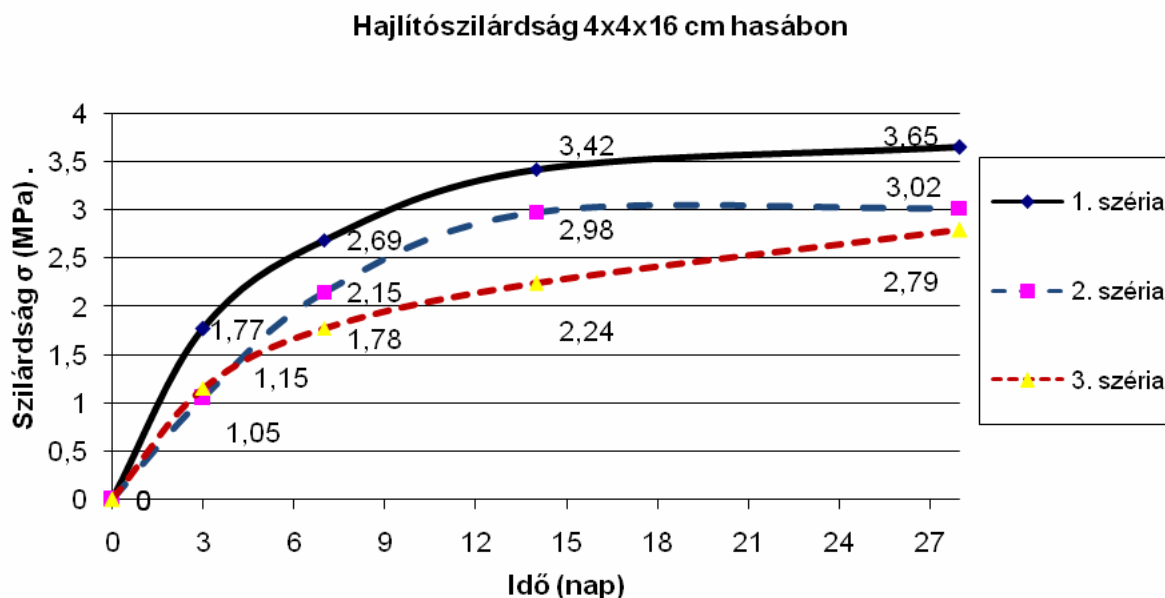
2. ábra: Vízfelszívás természetes kőzetekben valamint kőkiegészítő habarcsban és kőzúzalékkal kevert kőkiegészítő anyagban (90 nappal a készítés után)

## 3.2 Roncsolásos vizsgálatok

A próbatesteken végzett nyomó- és hajlító vizsgálatok adatait összefoglaló ábrák mutatják (3-4. ábra). A diagramok jól tükrözik a szilárdság csökkenését az adalékanyag tartalom növelésével. Fontos megjegyezni, hogy a szilárdságcsökkenés nem egyenesen arányos az adalékanyag százalékos arányával. Míg a nyomószilárdság fokozatosan csökken a habarcszhoz adagolt töltőanyag mértékével, addig a hajlítószilárdság mérhetően kisebb mértékben csökkent. Ehhez hasonló jelenséget írtak le már korábban is (Lapsa, 2000).



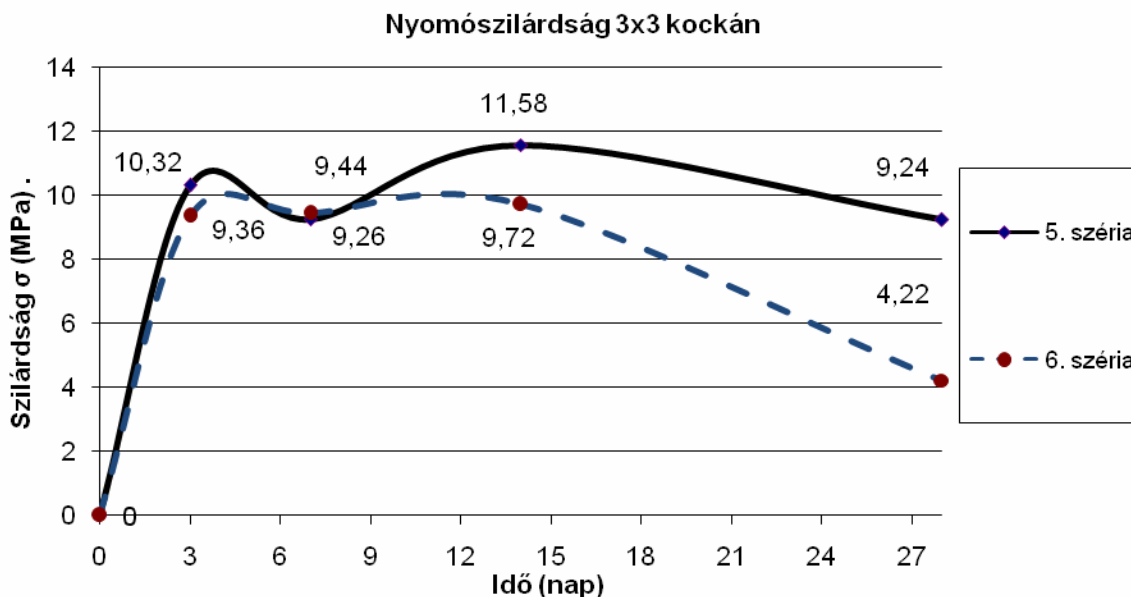
**3. ábra** Kőkiegészítő habarcsok nyomószilárdságának változása az idő és a hozzáadott közüzalék mennyiségének függvényében. A gyári adatok alapján elkészített habarcs (1. széria), 30% töltőanyaggal elkészített habarcs (2. széria), valamint 50% töltőanyaggal elkészített habarcs (3. széria)



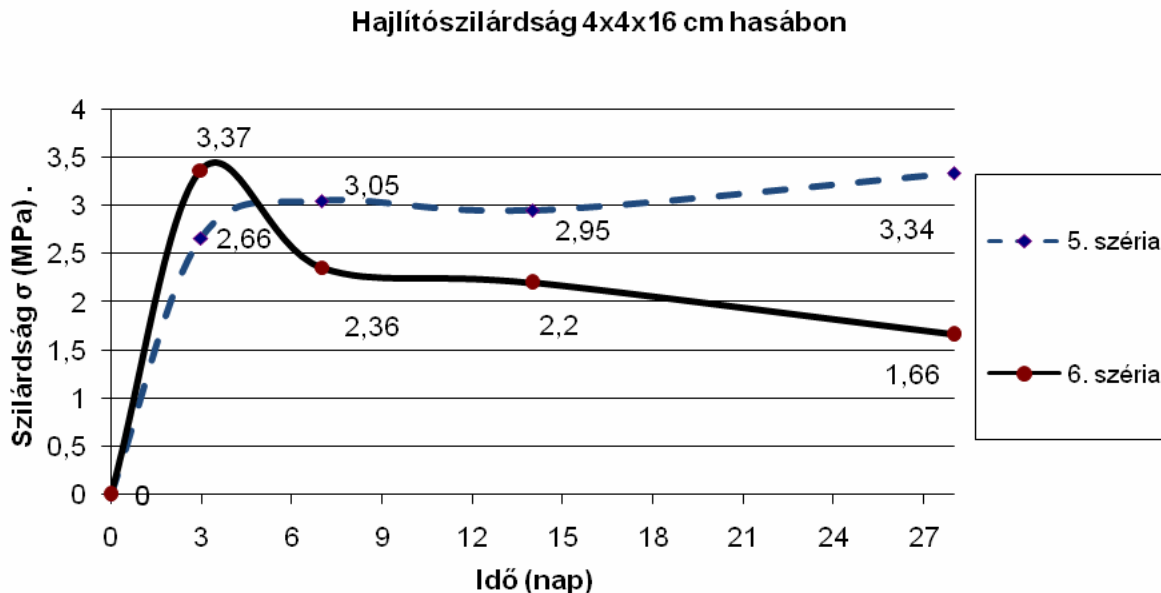
**4. ábra** Kőkiegészítő habarcsok hajlítószilárdságának változása az idő és a hozzáadott közüzalék mennyiségének függvényében. A gyári adatok alapján elkészített habarcs (1. széria), 30% töltőanyaggal elkészített habarcs (2. széria), valamint 50% töltőanyaggal elkészített habarcs (3. széria)

A töltőanyag adagolásán kívül szintén fontos szilárdságcsökkenést okoz az utókezelés elmaradása, valamint az extrém körülmények között alkalmazott habarcs. A szabványos fagyasztásnak (50 és 100 ciklus) kitett próbatestek (6. széria), valamint egy a gyakorlathoz közelebb álló szabványon kívüli fagyasztásnak tettük ki, ahol a próbatesteket nem telítettük teljesen vízzel (5. széria). Az így előkészített

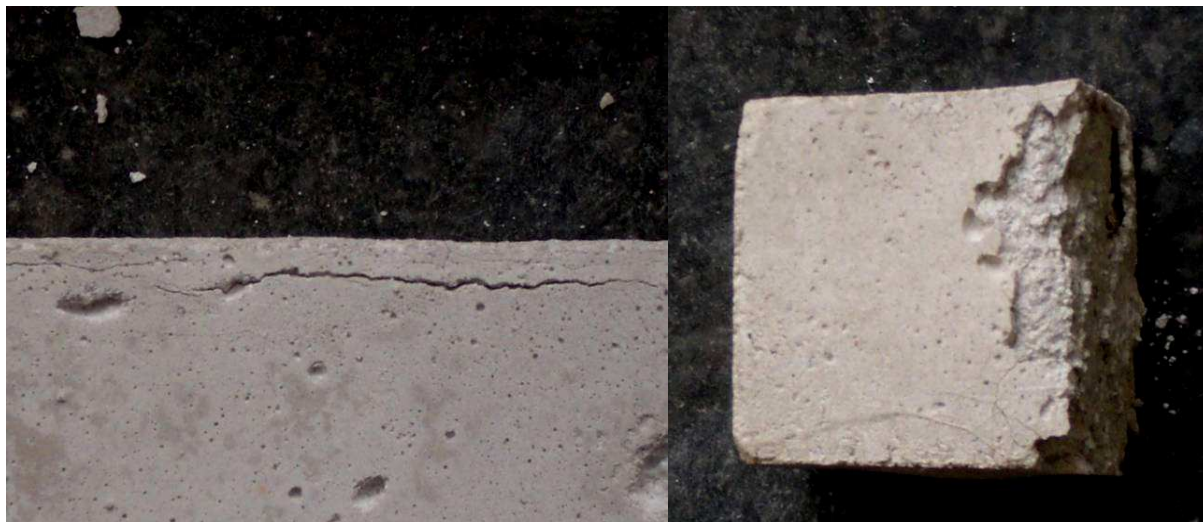
próbatesten mérte szilárdsági értékeket az 5. és a 6. ábra mutatja. A fagyasztásra felhasznált próbatesten 50 ciklus után felületi repedéseket, lemezes leválásokat lehetett tapasztalni (7. ábra). A 100 ciklusra tesztelt próbatestek szilárdsági paramétereit meghatározni már nem lehetett, mivel a próbatestek teljesen szétestek, szétmorzsolódtak (8. ábra).



**5. ábra** Fagyasztóból kivett próbatestek szilárdsági értékei az egyik kőkiegészítő anyagra vonatkoztatva az idő függvényében (gyári adatokkal készített próbatestek, 5. széria nem szabványos fagyasztás, 6. széria szabvány szerinti fagyasztás, kísérlet leírását ld. bővebben a szövegben)



**6. ábra** Fagyasztóból kivett próbatestek szilárdsági értékei az idő függvényében (gyári adatokkal készített próbatestek, 5. széria nem szabványos fagyasztás, 6. széria szabvány szerinti fagyasztás, kísérlet leírását ld. bővebben a szövegben)



**7. ábra.** 50 fagyasztási ciklust „átélt” 4x4x16cm-es hasáb, illetve 3x3cm-es mintakocka



**8. ábra.** 100 fagyasztási cikluson átesett 4x4x16cm-es hasáb, illetve 3x3cm-es mintakocka. Ezek a próbatestek (7-8- ábra) a szabványos fagyasztóládában voltak tárolva, azaz állandóan telítve lettek vízzel, minden egyes fagyasztás előtt. Szomorúak lennének, ha az műemlékeinken használt kőkiegészítők 2-3 év (évi 25 fagy ciklussal számolva) alatt így „lemorzsolódnának”.

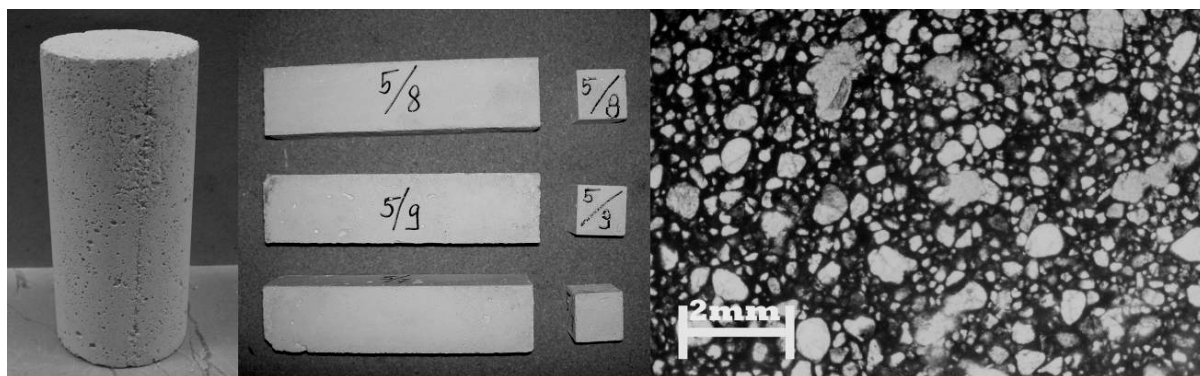
Három különböző gyártó termékének anyagsűrűségei a következők voltak:  $2,71 \text{ g/cm}^3$ ,  $2,67 \text{ g/cm}^3$  valamint  $2,52 \text{ g/cm}^3$ . A két különböző szövetű sóskúti típusú kőzettel is elvégeztük a méréseket és az eredmény:  $2,61 \text{ g/cm}^3$  (durvaszemű) és  $2,68 \text{ g/cm}^3$  (finomszemű) lett.

### 3.3 Szöveti jellemzők

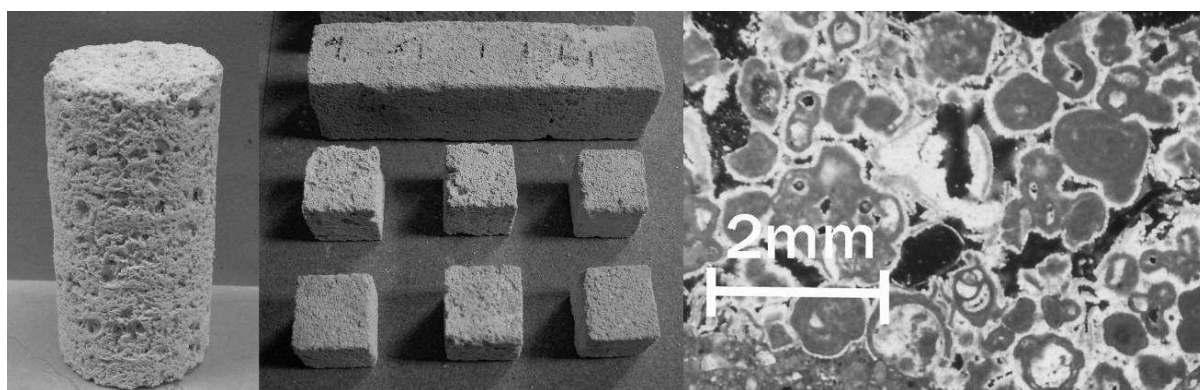
Szöveti összehasonlításból kiderül, hogy a mikroszemcsés durvamész-kő pórusai is nagyobbak, mint a gyári receptúra szerint elkészített habarcsoké. A vékonycsiszolatok alapján a 2mm-es mézskőörleményes adalékanyaggal sem lehet teljesen megközelíteni a természetes kőzetek szöveti jellegét. A bekevert mézskő szemcsék eloszlása egyenletes, de a habarcs anyag mint kötőanyag alkotja a szövet vázát. Ezen belül inkább mikropórusok jelentkezésével lehet számolni (9. ábra). Ez jelentős mértékben eltér még a legfinomabb szemszerkezetű durva mézskő szövetétől annyiban, hogy abban a mikropórusok mellett megjelennek makro pórusok is. A durva mézskőben a szemcséközi porozitás mellett szemcsén belüli ún. intrapartikuláris pórusok is találhatóak, ami további eltérést mutat a kőkiegészítő habarcsok szövetétől (10. ábra).

Megállapítható, hogy a kőkiegészítő anyagok többnyire azon “biogén” eredetű, fiatal miocén, part-szegélyi képződményeinkkel mutatnak hasonlóságot, melyek néhol finomhomokos kifejlődéssel képződtek. Ezek közül a sóskúti, budafoki, biai bányákból származók a legismertebbek (Kleb 2006), de hasonló kifejlődésű kőzeteket ismerünk a Fertőrákos térségéből és a Lajta-hegységéből is (Török et al. 2004).

A kísérletekhez felhasznált durva mézskő változatok szöveti jellegükben nagyon hasonlítanak azokhoz a durva mézskő típusokhoz, amelyeket részletesen elemezték korábban (Török 2002, Pápay és Török 2007), így uralkodóan ooidos grainstone szövetűek (10. ábra) és bioklasztos peloidos-grainstone packstone szövetűekkel jellemezhetők.



9. ábra Kőkiegészítő habarcsból készített próbatestek, illetve annak vékonycsiszolata (Terzith)



10. ábra Durvaszemcsés sóskúti mészkőből készült próbatestek, illetve annak vékonycsiszolati képe

#### 4 KÖVETKEZTETÉSEK

A laboratóriumi vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a tesztelt - a hazai durvamészkövek restaurálásához használt külföldi habarcsok - vízfelvétele lényegesen eltér porózus durvamészkövekéétől, annál jóval csekélyebb. A vízfelvétel mértéke növelhető kőzúzalék hozzáadásával, de ez a növekedés még a túlzott kőadalékanyag felhasználás esetén is csak töredéke a természetes kőzet vízfelvételeének. Az anyagsűrűségi elemzés alapján ez a különbség nem olyan szembetűnő, hiszen a tesztelt habarcsok anyagsűrűségei a durva mészkő anyagsűrűsége közeli értéket mutattak. Mindezek alapján igazolható, hogy az eltérés a különböző szöveti jellegnek és pórusrendszernek tulajdonítható.

Az időállósági és szilárdsági vizsgálatok alapján a tisztán előállított kőkiegészítő anyagok nyomó szilárdsága kezdeti ingadozást követően általában 25-30 fagyasztási ciklus után, csökkenni kezd. Hajlítószilárdság esetén szabványos fagyasztási kísérlet során néhány ciklus után lehetett szilárdság csökkenést észlelni.

Tapasztalati tény, hogy a habarcsok felhasználási körülményei szintén nagymértékben meghatározzák azok közetfizikai paramétereit, ezért a jövőbeli kutatási célként ezen értékek meghatározása és helyszíni tesztelése várható.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönettel tartoznak Dr. Lublőy Évának, Rónaky Viktóriának, Emszt Gyulának, Pálinkás Bálintnak a vizsgálatokban nyújtott segítségükért.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Galetakis M., Raka S. 2004 Utilization of limestone dust for artificial stone production: an experimental approach. *Minerals Engineering* **17**: 355-357
- Kleb B. 2006. *Mérnökgeológia*, Műszaki kiadó, Budapest, 51
- Kriston L. 2000. *A kő és vakolatrestaurálás alapismeretei*. MKE, Budapest, 113-119
- Lapsa V.A. 2000. Technological anisotropy of artificial Stone and practical use of this phenomenon, *Mechanics of Composite Materilas*, **36**(5): 399-402
- Lindqvist J.E. (ed) 2009. Repair mortars for historic masonry. Testing of hardened mortars, a process of questioning and interpreting. *Materials and Structures*, **42**:853-865
- Pecchioni E., Malesani P., Belucci B., Fratini F. 2005. Artificial stone utilised in Florence historical palaces between the XIX and XX centuries *Journal of Cultural Heritage* **6**: 227-233
- Pápay Z., Török Á. 2007: Evaluation of the efficiency of consolidants on Hungarian porous limestone by non-destructive test methods. *Central European Geology*, **50**/4: 299-312.
- Szemerey-Kiss B., Török Á., 2008. Műemléki plasztikus kőkiegészítő anyagok jellemzői és felhasználhatósága, in Török Á., Vásárhelyi B. (szerk.) *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2008, Műegyetemi kiadó, Budapest, 203-214*
- Török Á 2002: Oolitic limestone in polluted atmospheric environment in Budapest: weathering phenomena and alterations in physical properties. In: Siegesmund, S., Weiss, T., S., Vollbrecht, A (ed.), *Natural Stones, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*. Geological Society, London, Special Publications, **205**, 363-379.
- Török, Á., Rozgonyi N, Prikryl, R., Prikrylová, J. 2004: *Leithakalk: the ornamental and building stone of Central Europe, an overview*. In: Prikryl, R. (ed), *Dimension stone*. Balkema, Rotterdam, 89-93.