

## **OTKA (PD 112-955)**

### **Záró szakmai jelentés (2014.09.01. - 2016.08.31)**

#### **Cím: Műemléki kőanyagok restauráló habarcsainak időállósága**

A kutatás a hazai restaurátori gyakorlatban alkalmazott kőkiegészítő habarcsok (más néven restauráló habarcsok) különböző körülmények közötti alkalmazhatóságát vizsgálta. A kutatás során két, a hazai műemlékeknél gyakran alkalmazott miocén durva mészkő alapvető tulajdonságait (kőzetfizikai, mechanikai, szöveti, stb.) vettem össze több restauráló habarcs típussal. A vizsgált habarcsok a következők voltak:

1. gyári kőkiegészítő habarcsok (gyári ~ a kereskedelmi forgalomban kapható ásványos összetételű – 3 típus),
2. laborban összeállított (módosított) összetételű gyári habarcsok [Szemerey-Kiss és Török 2015a, 2015b],
3. kizárólag ásványos összetételű (kötő- és töltőanyagú) habarcs készítése és vizsgálata is megtörtént.

A gyári restauráló habarcsok közül 3 olyan típust elemeztem<sup>1</sup>, mely a kereskedelmi forgalomban kapható és a restaurátor gyakorlatban leginkább használatos<sup>2</sup> termék.

A hazánkban kapható restaurátor habarcsok és az egyedileg készített habarcsok különböző tulajdonságait hasonlítottam össze a hazai műemlékeken legtöbbször alkalmazott, sóskúti bányából származó, miocén korú mészkövek azonos tulajdonságával. A vizsgálatok alapját legtöbb esetben az MSZ EN szabványok adták, mint: EN 12407:2000 – szövettani elemzés, EN 1936:2007 – sűrűség és porozitás, EN 1015-11:2000 – egyirányú nyomószilárdság és hajlítószilárdság, EN 1542 – tapadószilárdság, EN 12371:2001 – időállósági vizsgálatok - fagyasztás.

A vizsgálatokhoz összesen 794 db próbatest készült habarcsból, melyekhez az összehasonlító vizsgálatokhoz ~0,68 m<sup>3</sup> sóskútról származó kőzettömb került kialakításra különböző méretű vágó- és fúrógépekkel [Szemerey-Kiss és

---

<sup>1</sup> ismertebb forgalmazók: Keim, Remmers, valamint a Quick-mix termékcsalád Terzith nevű ásványos alapú restaurátor habarcsát használtam a vizsgálatokhoz.

<sup>2</sup> A kereskedelmi forgalomban kapható restauráló habarcsok közül (úgy mint, öntő, magképző, aljzat, stb.) azokat teszteltem, melyekkel a műemlékeink javát restaurálják napjainkban, valamint restaurálták az utóbbi évtizedekben.

Török 2016a].

Az általánosan elfogadott szilárdsági vizsgálatokat betonoknál és habarcsoknál többnyire 3, 7, 14, 28, 45 és 90 napos mintákon végzik, ritkán találkozunk ennél hosszabb időt reprezentáló eredménnyel. A pusztán Portland cement kötőanyagú, kis porozitású betonok esetében nincs jelentős különbség a 28. napon és az idősebb mintákon mért mechanikai tulajdonságok között (180, 360, stb. nap után). Az ösztöndíj lehetőséget biztosított arra, hogy a habarcsok hosszú távú (a mintatestek készítésétől számított 360 és 720 napos) viselkedését is meghatározzam, és olyan méréseket, időállósági vizsgálatokat is el lehetett végezni, ahol a habarcsok és kőzetek együttes viselkedését tudtam szimulálni laborkörülmények között – pl. fagyasztás-olvadás ciklusok ismételt alkalmazásával [Szemerey-Kiss és Török 2016b, 2017]. Utóbbi tesztsorozat eltér a szokásos EN 12371:2001 szabványtól abban a pontban, hogy összedolgozott két különféle anyagot (habarcsot és kőzetet) együttesen vizsgáltam, melyet eddig még nemzetközi szinten kevesen elemeztek.

Az eredmények azt igazolták, hogy a habarcsok tapadó szilárdságát (EN 1015-12:2000) a kőzet tulajdonságai mellett a környezeti hatások is befolyásolják [Szemerey-Kiss és Török 2016a]. A felület érdessége, a kőzet porozitása, nedvességtartalma is befolyásolja a végső szilárdsági, mechanikai és időállósági tulajdonságokat. A habarcsok tulajdonságát és a kőzet/habarcs együttes viselkedését továbbá előkezelés (száraz/nedves, előkezelt) hatását is elemeztem. Szabványos módon laborkörülmények között is készültek tapadási vizsgálatok [Szemerey-Kiss és Török 2014]. A fagyasztás az összedolgozott kő és restaurátor habarcsra nem egyformán hatott, valamint a különböző habarcsoknak is eltérő tapadószilárdságát lehetett kimutatni a fagyasztási ciklusok függvényében.

A műemlékvédelem nem feltétlenül jelenti azt, hogy a restaurátori beavatkozás során az eredeti, kiegészítendő alapkőzetnél időtállóbb (kisebb porozitású, nagyobb szilárdságú, stb.) habarcsot építsen be az eredeti kőzet szövetébe. Amennyiben a kiegészítésnek nincs statikai jelentősége, akkor az alapkőzetnél időállóbb anyag beépítése károsan hat az eredeti formák megőrzésére és értelmezhetőségére. Amikor viszont szerkezeti szerepe van a habarcsnak, akkor a környezet nedvesség terhelésétől és sótartalmától függően kell csökkenteni a porozitást és növelni az időállóságot, szilárdságot [Martinez-Martinez and Arizzi 2016].

A kutatás során sikerült a habarcsminták időállóságát is meghatározni. Jelentős eredményt mutatott a habarcsok készítésének és tárolásának körülményeinek vizsgálata, a környezet hatásának széles körű elemzése is. Mint kiderült a felhasználást és a későbbi tulajdonságokat jelentősen befolyásolja a készítés/tárolás körülménye – többek között a környezet hőmérséklete és páratartalma [Szemerey-Kiss és Török 2017].

Az elvégzett vizsgálatok eredményei igazolták a mészke és a habarcs közötti inkompatibilitás lehetséges okait és megadták a restaurálás során a lehetséges hibaforrásokat is. Az ösztöndíj segítségével olyan hosszú távú vizsgálatokra és időállósági tesztekre volt lehetőségem, amely túlmutat a szabványos vizsgálatokon, így jól jelzik a restauráló habarcsok tulajdonságainak hosszú távú, akár több évre kiterjedő változásait. Ennek gyakorlati jelentősége a műemlékvédelemben van, hiszen a beépítésre kerülő habarcsok kompatibilitása a kőzettel és a habarcsok időállósága meghatározó a műemlékek hosszú távú állagmegóvásában.

***Hungarian Scientific Research Fund (PD 112-955)***

***Final technical report (2014.09.01. – 2016.08.31)***

***Title: Durability of restoration mortar of stone monuments.***

The research focused on the applicability of repair mortars (also called restoration mortars) under various conditions. The properties of repair mortars were compared with the properties of two porous limestone types that are commonly used in Hungarian monuments. The mechanical parameters, physical properties and textural characteristics of the limestone and repair mortars were assessed. The studied mortars included:

1. Commercially available repair mortars (3 types).
2. Compositionally modified commercially available repair mortars (Szemerey & Török 2015a, 2015b).
3. New mixtures of mineral based (binder and aggregate) repair mortar.

First group of tested ready-to-mix mortars included three main brands such as Keim, Remmers and Terzith, which are commonly used in the restoration practice in Hungary. The second group of mortars contained modified ready-to-mix mortars of the first group. In this case limestone sand was added as

additional aggregate to the mortars. The last group of mortar encompasses mortars that were prepared by using mineral based binders and mineral based aggregate.

The properties of above listed mortars were compared with the ones of Sós-kút porous limestone. Sós-kút limestone is a Miocene porous limestone, that is widely used in the monuments in Hungary. Comparative analyses included standardized (European Norm – EN) and non-standardized laboratory tests. The most important ones are: EN 12407:2000 lithological description, EN 1936:2007 – density and porosity, EN 1015-11:2000 – uniaxial compressive- and flexural strength, EN 1542 – adhesion, EN 12371:2001 – durability against frost.

794 test specimens of mortar were made and test results were compared with the porous limestone samples obtained from Sós-kút. Altogether ~0,68m<sup>3</sup> of stone was processed (drilled, cut) for the tests (Szemeréy & Török 2015a).

Strength tests of concrete and other mortars with Portland cement binders are usually made after 3, 7, 14, 28, 45 and 90 days of casting and studies representing longer time-span are rare. When Portland cement is the binder and the specimen has low porosity, the mechanical properties of 28-days old and older specimens are not significant.

Hungarian Scientific Research Fund provided a good opportunity to prepare samples and test the long-term (360-720 days after casting) behavior of repair mortars. It also allowed the study of the mortars under various environmental stresses such as changing humidity, temperature or freeze thaw cycles (Szemeréy & Török 2014, 2017b). The mortar stone interface was also studied not only by standards pull off test (EN 12371:2001) but with other means such as adherence tests of mortars to stone (EN 1015-12:2000). These test results indicate that binding of repair mortars to the stone surface is not only controlled by the lithology of the substrate but also influenced by environmental conditions (Szemeréy & Török 2017a). Surface roughness, porosity, moisture content is equally influences the strength, the mechanical properties and durability of mortar/stone bounds. The properties of pure mortars and the pre-treatment of stone surface (dry/wet/pre-treated) were also studied in details. The standardized pull off tests of mortar/stone interface was also made to assess the applicability of these tests. The effect of freeze-thaw cycles on stone/mortar interface were analyzed by complex test procedure and the results indicate that the binding strength of repair mortars

are very different (Szemerey-Kiss & Török Á 2017a).

In the monument protection the target is not to build in more durable mortars with higher strength than the stone itself, since with time the stone deteriorate faster than the repair material. To the contrary, lower durability and lower strength mortars are required unless the mortar has a load bearing role or the environment is loaded by salts or very moist (Martinez-Martinez & Arizzi 2016). The current program allowed the determination of mortar durability. An important finding of this research is that the preparation and curing conditions as well as the environmental conditions to which the casted samples are exposed significantly influence the properties of repair mortars (Szemerey-Kiss & Török Á 2017b). The results of these tests outlined the compatibility of porous limestone and repair mortars and emphasized the reasons why incompatibility issues can arise during repair works of stone monuments. The scholarship allowed to perform long-term durability tests that provided additional information compared to standardized test procedures. It allows assessing the year-long changes in the properties of mortars and also helping to understand these trends. The results of this research can be used in the daily restoration practice by providing information on the preservation of monuments by suggesting the appropriate and compatible repair mortars with the built stone heritage.

Az OTKA PD ösztöndíj alatt teljesített vállalások és eredmények:

- 1. Konferenciák,**
- 2. Publikációk,**
- 3. Poszter prezentációk,**
- 4. Kapcsolódó kutatások, egyéb eredmények**

### **1. Konferenciák:**

#### **Spanyolország**

**Előadással:** 2016. szeptember 21-23. Madrid, 5<sup>th</sup> International Conference of **Y**outh in **C**onservation of **C**ultural Heritage (**YoCoCu** 2016).

2016. szeptember 23. (péntek), Auditorium 400, Iperion Ch Planary Session/, 13.15-13.30, Cím: **Compatibility of mineral based repair mortars with Hungarian Miocene limestone**. Az előadás absztraktja a: Book of abstract pp. 248. oldalán tekinthető meg. A program pedig következő linken (utolsó oldal):

[http://www.museoreinasofia.es/sites/default/files/actividades/programas/oral\\_program\\_yococu.pdf](http://www.museoreinasofia.es/sites/default/files/actividades/programas/oral_program_yococu.pdf)

#### **Skócia**

**Részvétellel:** 2016. szeptember 6-10. Paisley (Skócia), 13<sup>th</sup> International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone.

[http://research-portal.uws.ac.uk/portal/files/397440/13th\\_ICDCS\\_Paisley\\_2016\\_VOL\\_I.pdf](http://research-portal.uws.ac.uk/portal/files/397440/13th_ICDCS_Paisley_2016_VOL_I.pdf)

#### **Ausztria**

**Előadással:** 2015. április 12-17. Bécs, European Geosciences Union (EGU), General Assembly 2015. április 15 (szerda), Session ERE 6.2, Room R14. (10:30-10:45)

Cím: **Comparison of mechanical properties of repair mortars and porous**

## ***limestone.***

Megtekinthető az absztrakt:

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/EGU2015-13880.pdf>

## **Csehország**

**Részvétel:** 2015. március 23-24. Prága, ICEGSE, XIII. International Conference on Earthquake, Geological and structural Engineering (WASET.org)

## **2. Publikációk:**

Szemerey-Kiss B, Török Á (2015a) ***Water absorption and porosity of repair mortars used in loss compensation in Hungary.*** Geophysical Research Abstracts, 17:EGU2015-13671.

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/EGU2015-13671.pdf>

Szemerey-Kiss B, Török Á (2015b) ***Comparison of mechanical properties of repair mortars and Hungarian porous limestone.*** Geophysical Research Abstracts, 17:EGU2015-13880. 2015. április 12-17.

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/EGU2015-13880.pdf>

Szemerey-Kiss B, Török Á (2017a) ***Failure mechanisms of repair mortar stone interface assessed by pull-off strength tests.*** Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 76:159-167,

<https://www.springerprofessional.de/failure-mechanisms-of-repair-mortar-stone-interface-assessed-by-/11684122>

Szemerey-Kiss B, Török Á (2016) ***Long-term mechanical changes of repair mortar used in restoration of porous limestone heritage.*** In.: 13<sup>th</sup> International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, ed: Huges J, Howind T, 599-607

[http://research-portal.uws.ac.uk/portal/files/397440/13th\\_ICDCS\\_Paisley\\_2016\\_VOL\\_I.pdf](http://research-portal.uws.ac.uk/portal/files/397440/13th_ICDCS_Paisley_2016_VOL_I.pdf)

Szemerey-Kiss B, Török Á (2017b) ***The effects of the different curing conditions and the role of added aggregate in the strength of repair***

*mortars*. Environmental Earth Sciences, 76:284,  
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12665-017-6597-6>

[6] Szemerey-Kiss B, Török Á (2014) *Utilisation of repair mortar for the loss compensation of Hungarian porous limestones*. Építőanyag, Journal of Silicate Based and Composite Materials, 66:109-112  
[http://epa.oszk.hu/02200/02231/00036/pdf/EPA02231\\_epitoanyag-2014\\_4\\_20.pdf](http://epa.oszk.hu/02200/02231/00036/pdf/EPA02231_epitoanyag-2014_4_20.pdf)

### ***Felhasznát irodalom:***

Martinez-Martinez J, Arizzi A (2016) *Recovering the architectural heritage of the Nueva Tabarca island (Spain) by studying the durability of original and repair mortars*. In: Science and Art: A Future for stone, ed: Hughes J, Howind T, 545-551  
[http://research-portal.uws.ac.uk/portal/files/397440/13th\\_ICDCS\\_Paisley\\_2016\\_VOL\\_I.pdf](http://research-portal.uws.ac.uk/portal/files/397440/13th_ICDCS_Paisley_2016_VOL_I.pdf)

### **3. Poszter prezentációk:**

#### **Ausztria**

European Geosciences Union (EGU), General Assembly 2015. Bécs, 2015. április 12-17.

Cím: ***Comparison of mechanical properties of repair mortars and porous limestone.***

megtekinthető:

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/EGU2015-13880.pdf>

#### **Spanyolország**

5<sup>th</sup> International Conference of **YO**uth in **CO**nservervation of **CU**ltural Heritage (YoCoCu 2016), Madrid, 2016. szeptember 21-23. .

- Agárdi F, Szemerey-Kiss B, Török Á (2016) Loss compensation of



marble, laboratory experiments and practical considerations.  
Book of abstracts pp- 6.

- Szemerey-Kiss Török Á (2016): Long-term mechanical changes of repair mortar used in restoration of porous limestone heritage

### **Jegyzet-rész:**

A BME, Építőmérnöki Karának, Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén oktató „A rekonstrukció anyagai” című MSC tantárgyon belül egy fejezet rész a restauráló habarcsokkal foglalkozik, melynek társszerzője vagyok.

Rekonstrukció anyagai. Műegyetemi jegyzet-részlet. Neptun kód: BMEEOEMMAT4

<http://em.bme.hu/BMEEOEMMAT4>

[http://www.eat.bme.hu/eat/oktatas/feltoltesek/BMEEOEMMAT4/eoemmat4\\_rekonstrukcio\\_anyagai-2015.pdf](http://www.eat.bme.hu/eat/oktatas/feltoltesek/BMEEOEMMAT4/eoemmat4_rekonstrukcio_anyagai-2015.pdf)

### **4. Kapcsolódó kutatások, egyéb eredmények**

**TDK** – Társtémavezetője voltam Szíjártó Anna, egyetemi hallgató TDK dolgozatának (BME, Építőanyag és Mérnökgeológia Tanszék).

A dolgozat **III. helyezést** ért el a 2014-es BME - TDK konferencián.

**OMDK** – – Társtémavezetője voltam Agárdi Fanni, egyetemi hallgató dolgozatának (MKE, Restaurátor Tanszék).

A dolgozat **I. helyezést** ért el az országos döntőn. Helyszín: Pécs, 2017.

**OMDK** – – Társtémavezetője voltam Kosik Márk, egyetemi hallgató dolgozatának (MKE, Restaurátor Tanszék).

A dolgozat helyezést nem ért el az országos döntőn. Helyszín: Pécs, 2017.

### **Szakdolgozat - Témavezetés:**

1. Agárdi F (2016) Márvány kiegészítésének elvi és gyakorlati lehetőségei. Szakdolgozat, (megvédve: 2016.06.). Témavezetők: Káldi R, Szemerey-Kiss B.
2. Kosik M (2016) Fúrás ellenállás mérése kezelt és kezeletlen természetes és mesterségesen előállított kőzeteken – MKE, szakdolgozat, (megvédve: 2016.06.) Témavezetők: Török Á, és Szemerey-Kiss B.