

MAGYAR MŰEMLÉKI KŐANYAGOK HŐHATÁSRA FELLÉPŐ VÁLTOZÁSAINAK KŐZETFIZIKAI VIZSGÁLATA

Hajpál Mónika

BME, Hőfizikai Laboratórium, hajpal@lab.egt.bme.hu

Összefoglalás: Épített műemlékeink tüzeseteinél azok kőanyaga a hő hatására a következő legszembetűnőbb változásokat mutatja: színváltozás, repedések, héjszerű leválások. A belső pórusszerkezet megváltozása, repedések keletkezése minden kőzettípusra jellemző. A kőzet póruseloszlása jelentősen befolyásolja a károsodás jellegét és nagyságát. A hő hatására fellépő változások a különböző időjárási hatásokkal (eső, fagy) ötvözve erőteljesebb károsodást eredményezhetnek. A kutatás a legtipikusabb magyar műemléki kőanyagok hő hatására fellépő változásainak megismerésére irányult, kőzettani és kőzETFIZIKAI vizsgálatokat alkalmazva. A vizsgálatokhoz használt kőzettípusok a következők voltak: durva mészkő, forrásvízi mészkő, tömött mészkő, homokkő és riolittufa. A minták hőterhelése, hevítése egy elektromos kemencében homogén, különböző hőfokon történt. Az ásvány-, kőzettani elemzést követően a leglényegesebb kőzETFIZIKAI jellemzők (testsűrűség, porozitás, ultrahang terjedési sebesség, közvetett húzó-, egyirányú nyomószilárdság) meghatározására került sor.

kulcsszavak: műemléki kőanyag, tűz, hőhatás

1. Bevezetés

A tüzesetek alkalmával a műemlékek kőzetanyagában hirtelen és visszafordíthatatlan károsodás keletkezhet. E romboló hatás vizsgálatának jelentőségét fokozza az is, hogy az Európai Unióban naponta egy műemléképület esik a tűz martalékává (COST C17 2001). Az utóbbi években, felismerve a téma fontosságát több irányban indult meg a kutatás. Kezdetben csak a kőzetek makroszkópikus változásait írták le (Chakrabarti et al. 1996), míg napjainkban pedig már az alapkutatás, a legismertebb kőzETFIZIKAI jellemzők meghatározása mellett (Hajpál 2002, Hajpál és Török 2004, Török és Hajpál 2005) a mikroszkópikus változások egyes kőjellemezőire (pl. porozitás) gyakorolt hatásának megismerésére irányulnak (Hajpál et al. 2006).

Az alapvető kőzETFIZIKAI jellemzők ismerete elengedhetetlenül szükséges a károsodott műemléki kőanyagok restaurálásánál. Bár e cikk keretén belül csak néhány magyarországi kőzettípus vizsgálati eredményeinek bemutatására nyílik mód, de a nemzetközi együttműködések segítségével más országok műemléki kőanyagát is vizsgálva egy általánosabb, átfogóbb képet kaphatunk a kőzetek hőhatásra bekövetkező változásairól.

2. Módszertan

Cél volt olyan eltérő kőzettípusok kiválasztása, melyek kedveltek és gyakori felhasználásúak műemléképületeknél. Így a kísérletekhez homokkövek (ezüsthelyi, balatonrendesi), mészkövek (tardosi tömött, budakalászi forrásvízi, sóskúti durva) és riolittufa (egertihaméri) került beszerzésre.

A próbatestek kialakítását (4 cm átmérőjű 2:1 és 1:1 arányú hengerek) és a minták előkészítését követően a kőzetek hevítésére került sor egy villamos, elektronikus hőmérsékletszabályozó szekrényvel ellátott kemencében 6 különböző hőmérsékleten (150, 300, 450, 600, 750, 900°C-on). Ezután következtek a kőzettani és kőzetfizikai vizsgálatok.

A kőzetfizikai vizsgálatok részét képezte a testsűrűség és porozitás meghatározása, melyet roncsolásmentes jellemzők (duroszkóp visszapattanás és ultrahang terjedési sebesség) mérése követett és végül a szilárdsági tulajdonságok (közvetett húzó és egyirányú nyomószilárdság) vizsgálata következett (Hajpál 2001).

3. Ásvány- kőzettani jellemzés

3.1 Balatonrendesi homokkő

Vöröses lilás színű, finom-középszemű, vastag pados homokkő. Kötőanyaga vasas-agyagos, kaolinit, hematit és goethit ásványokkal jellemezhető. Feltárásaiban megfigyelhető, hogy a vastag, méteres padjai keresztarétegzettek. A rétegsor alján és tetején konglomerátumok találhatóak, a rétegsor közepső harmadában pedig kőzetlisztes betelepülések fordulnak elő. Építőkönek leginkább a homokkő padokat bányászták. Jellemzően lábazati kőként, kerítésekhez, támfalakhoz használják.

A perm korú (Balatonfelvidéki Homokkő Formáció) kőzet felhasználására jó példa a felsőörsi prépostsági templom, a révfülöpi templomrom, a balatonalmádi római katolikus templom, a balatoni partvédő művek, a balatonfüredi katolikus „Piros”-templom és az alsóörsi református templom.

3.2 Ezüsthelyi homokkő

Fehér színű, finomszemű kvarchomokkő. A Hárshegyi Homokkő Formációba tartozó homokkövek Ezüst-hegyi kőfejtőben található változata kovás, kaolinites kötőanyagú, de megjelenik benne a glaukonit is. Vékony, néhány centiméteres, deciméteres rétegeit burkolókönek, járólapnak, lábazati kőnek bányásszák.

Felhasználásra megemlíthető a budapesti Fővárosi Állatkert Elefántháza, a kismarosai Ciszterci Nővérek Boldogasszony Háza monostora, a budapesti városmajori plébániatemplom, a budapesti Rózsadombi Krisztus Király Lelkészség temploma, valamint a budapesti Szent Vince plébániatemplom.

3.3 Süttöi forrásvízi mészkő

A krémszínű forrásvízi mészkő vagy travertino néven is ismert lyukacsos kőzet már a római idők óta kedvelt építő- és díszítőkö. Legelterjedtebb a Budai-hegységben, ahol a mai termálforrások elődjeiből, melegvíz-feltörésekből csapódott ki a pleisztocén kor idején. A kiválást elősegítették az algák, növények, melyek szerkezete gyakran felismerhető a kőzetben. Lyukacsos, de a lyukak felülete vastag átkristályosodott tömör mészkőből áll, így a kőzet jó szilárdságú. Kedvelt díszítő- és építőkö, mert jól megmunkálható, fűrészelhető, faragható, tömött részei csiszolhatók és fényezhetők is. Felhasználására példa Budapesten a Halászbástya, a Királyi vár, Országház, BME kerítése.

3.4 Sós-kúti durva mészkő

A felsőmiocén szarmata emeletben, csökkenő sósvízű beltenger partszegélyi részén lerakódott, ősmaradványokban gazdag, bioklasztos kőzet. Sárgásszürke színű, durva szövetű, helyenként porózus, sok Mollusca héjtöredék lehet fel benne. A kőzet általában tömeges és rétegzetlen megjelenésű. Kedvelt építőkö, nagy tömbökben fejthető, fűrészelhető, jól faragható.

Felhasználták a budapesti Lánchíd, az Alagút. Az Országház, Opera, Tudományos Akadémia, Bazilika, Citadella, BME, Nagyvázszyi Kinizsi-vár lakótornya, simontornyai Ozorai Pipo-féle várkastély építésénél.

3.5 Tardosi tömött mészkő

Vörös színű, pados, rétegzett kifejlődésű, nagy szilárdságú, tömött szövetű, kagylósan törő kőzet. Jól csiszolható és fényezhető, ezért kedvelt díszítőkö. A tömött mészkő leggyakrabban szobrok készítésére, burkolásra, lépcsőelemek, oszlopok stb. készítésére használatos.

3.6 Egertihaméri riolittufa

A miocén korú, robbanásos vulkanizmus által felszínre került riolittufa elterjedt hazai kőzettípus. Törtfehéres színű, törmelékes szövetű kőzet, melyben nagy fehér horzsakövek, kvarc és biotit ásványok látszanak. Porózus, jól faragható, de kevésbé időálló, mint a kovás homokkövek. Észak-Magyarországon kedvelt és gyakran használt építőkö. Az egertihaméri riolittufa évszázadok óta a térség jellemző építőköve. A kőzet blokkvágásnál képződött porát és őrleményét a város alatti pincék és üregek tömedékelésére használták.

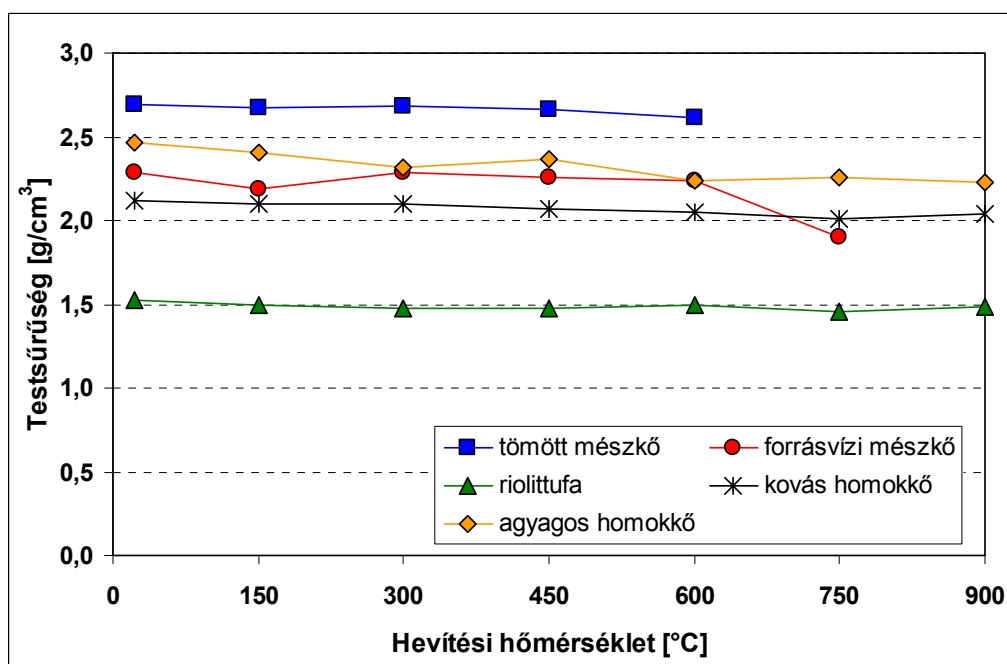
Felhasználták az egri várszékesegyház, a kassai dóm, a sárospataki Rákóczi vár építésénél.

4. Vizsgálati eredmények

A vizsgált kőzettípusok eltérő szövetszerkezettel rendelkeznek, ezért a hevítésre különbözőképp reagálnak.

4.1 Tetsűrűség és porozitás

A hevítési hőmérséklet emelésével a vizsgált kőzettípusok tetsűrűsége eltérő mértékben, de csökken. A legkisebb, közel 2%-os csökkenést a riolittufánál figyelhetjük meg, míg a legjelentősebb kb. 21%-os a balatonrendesi homokkőre jellemző (1. ábra).

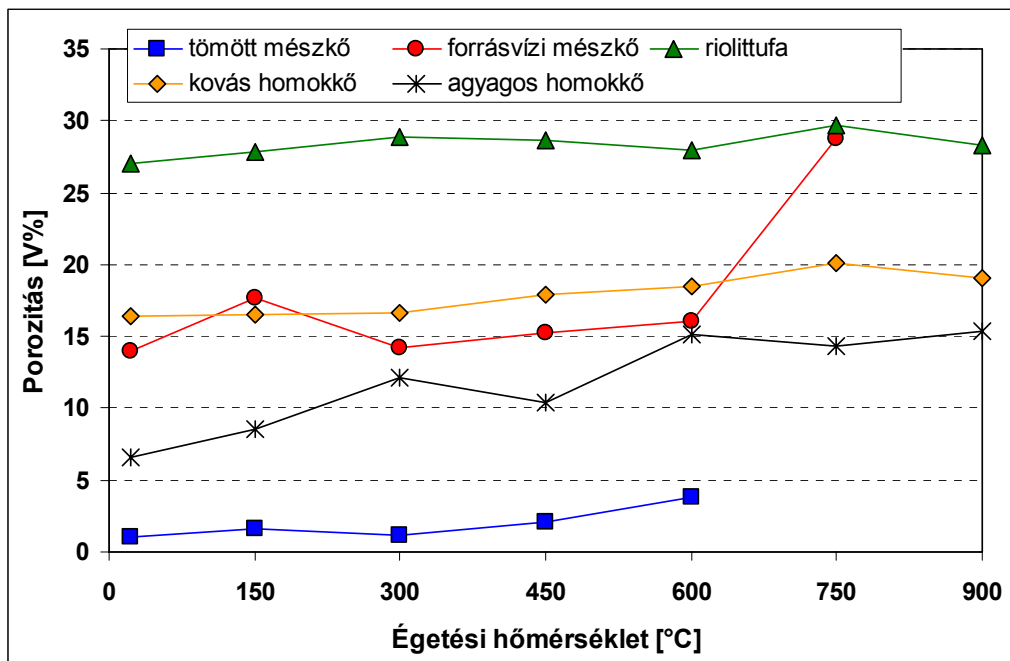


1. ábra. A tetsűrűség változása a hőmérséklet hatására.

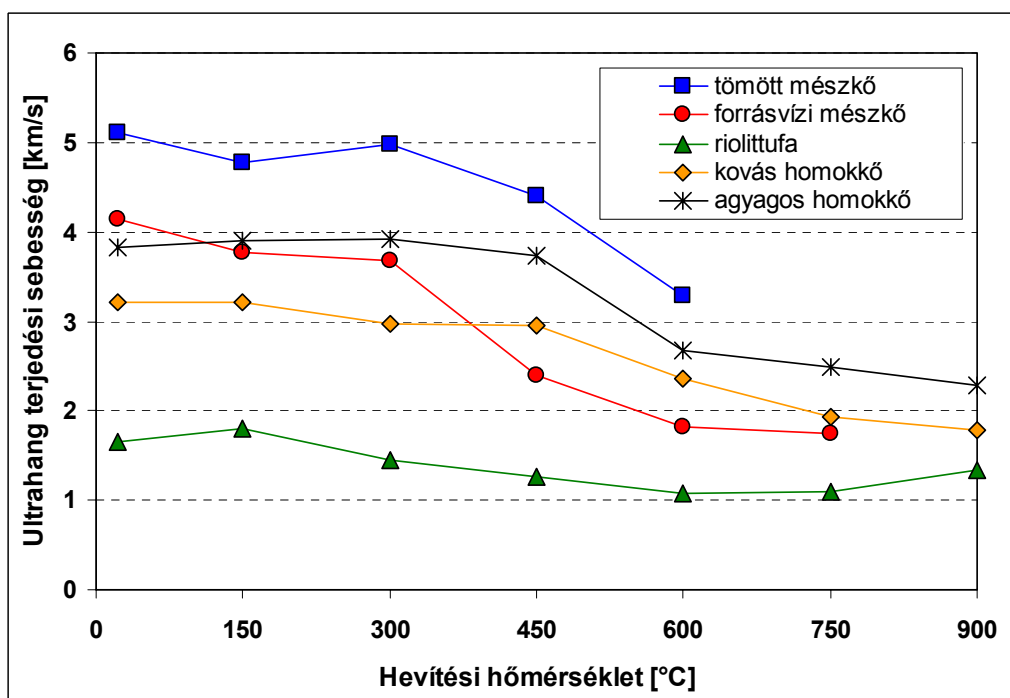
Ennek megfelelően a porozitás nő a hevítési hőmérséklet emelésével (2. ábra). A tartos tömött mészkő próbatestjei már a 750°C-os hevítés során szétrobbantak, a forrásvízi mészkő minták pedig a 900°C-os hevítést követően mentek tönkre, így azoknál a tetsűrűség és porozitás meghatározására nem kerülhetett sor.

4.2 Ultrahang terjedési sebesség

E vizsgálati eredmények a kőzet belsejében bekövetkező szerkezeti változások, pl. repedések keletkezésére engednek következtetni. Az ultrahang terjedési sebesség értékeinek csökkenése már a 300°C-os hevítési hőmérsékletnél is megfigyelhető. Ez a mészkőveknél volt a legszembetűnőbb (3. ábra).



2. ábra. A porozitás változása a hőmérséklet hatására

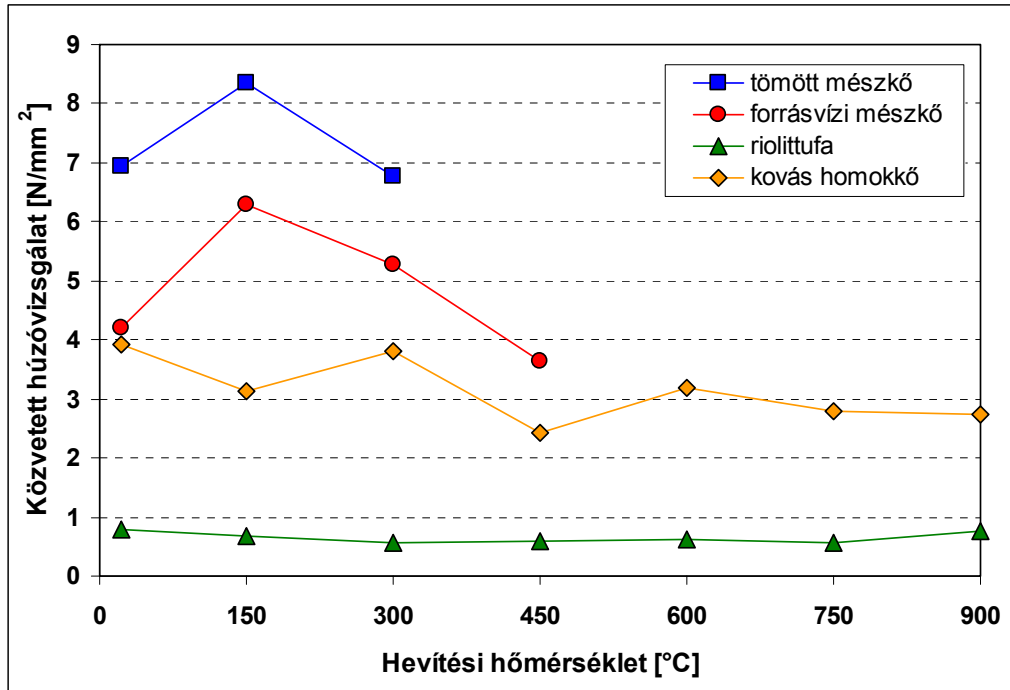


3. ábra. Az ultrahang terjedési sebesség változása a hőmérséklet hatására.

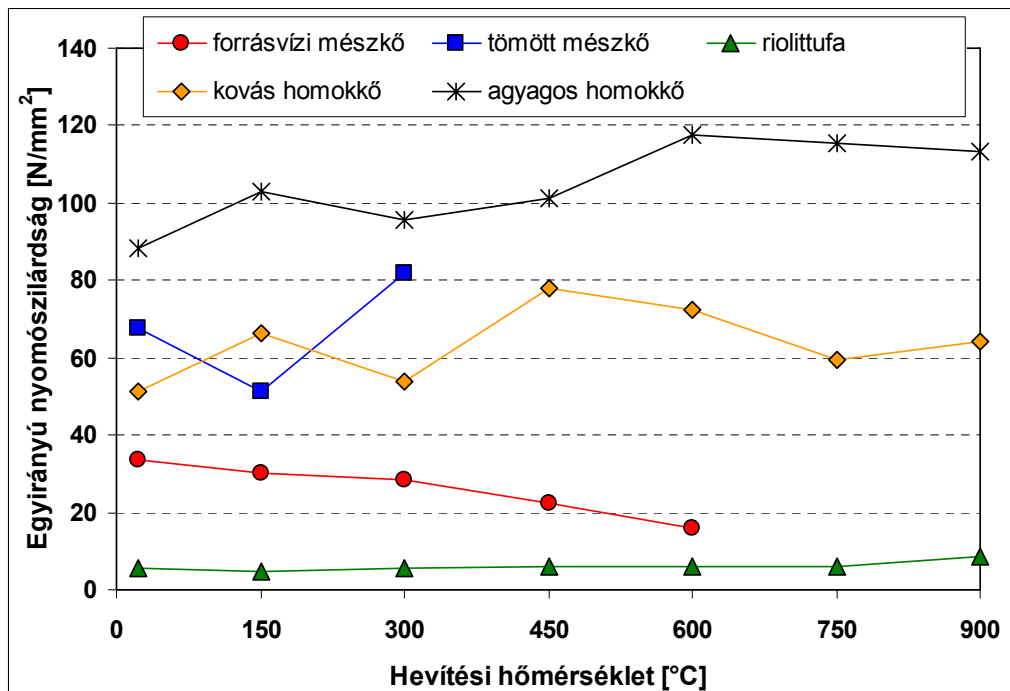
4.3 Közvetett húzó- és egyirányú nyomószilárdság

A hevítés hatására a kőzetek szilárdsága is megváltozott, mely oka a kőzetalkotó ásványokban bekövetkező változásokkal, repedések keletkezésével magyarázható (4. ábra). A hevítési hőmérséklet emelésével a tendencia a riolittufánál egyértelműen a

nyomószilárdság növekedését, míg a forrásvízi mészkőnél annak csökkenését jelenti. A tardosi tömött mészkő szilárdsága agyagásványtartalmának köszönhetően először nő, de a hevítési hőmérséklet emelésével rideg viselkedést mutat, a repedések kialakulása a kőzet gyors tönkremeneteléhez vezet (5. ábra).



4. ábra A húzószilárdság változása a hőmérséklet hatására.



5. ábra A nyomószilárdság változása a hőmérséklet hatására.

6. Következtetések

A hevítés hatására minden kőzettípusnál makroszkópikus változásokat lehetett megfigyelni. A legdrasztikusabb változás a mészköveknél a 600°C-os hevítési hőmérséklet felett jelentkezett. A karbonátok hőbomlásának köszönhetően csak a minták kis hányadát lehetett a hevítést követően vizsgálatoknak alávetni. A tardosi tömött mészkő 10 próbatestje közül 9 a hevítés alatt a kemencében szétrobbant. A forrásvízi mészkő minták ugyan átvészelték a hevítést, de a kemencéből kikerülve a laborhelyiségben pár óra alatt reakcióba léptek a levegő nedvességtartalmával és szétporladtak. Hasonló reakció volt megfigyelhető más, kalciumtartalmú kőzettípusnál a magasabb hőmérsékleten történő hevítést követően, pl. meszes homokköveknél (Chakrabarti et al. 1996, Török és Hajpál 2005).

A hevítés hatására bekövetkező színváltozás minden kőzettípusnál megfigyelhető volt. Az egertihaméri riolittufa egyértelmű vörösödést mutatott a vas oxidációjának következtében. A forrásvízi és durva mészkő mintákra inkább a feketedés volt jellemző, valószínűleg azok szervesanyagtartalma okozta a színváltozást. Ezt a feltételezést a hevítésnél észlelhető záptojás szaga is alátámasztja. Az eredetileg már vöröses színű kőzetekre (tardosi tömött mészkő, balatonrendesi homokkő) a sötétebb árnyalatok megjelenése volt jellemző (Hajpál et al. 2006).

A hevítési hőmérséklet emelésével fellépő porozitás növekedés mértéke függ a kőzet tömörségétől. Az eredetileg kis porozitású, tömör típusok (tardosi tömött mészkő, forrásvízi mészkő) mutatják a legnagyobb változást, ellentétben az igen porózus riolittufával. Általában nem is az igen porózus anyagokkal van a probléma tüzeseteknél. A tömör kőzeteknél a belső szerkezet bomlik meg az egyes kőzetalkotó ásványok egyenlőtlen hőtágulása következtében.

A fent említettek alapján megállapítható, hogy az egyes kőzettípusok hőállóságát befolyásolják azok kőzetalkotó ásványai, a szövet- és pórus szerkezet, de az egyes ásványok szemnagysága és a szemcse-kötőanyag-pórus arány is.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az OTKA Posztdoktori Ösztöndíjat (D45932), valamint a magyar-spanyol (E-39/04) és magyar-portugál (P-18/03) bilaterális kormányközi együttműködést, melyek segítették a kutatást.

Hivatkozások

- Chakrabarti B., Yates T., Lewry A. 1996. Effect of fire damage on natural stonework in buildings. *HConstruction and Building Materials*, 10 (7), 539-544
- COST-C17 2001. Memorandum of Understanding for the implementation of a European Concerted Research Action designated as COST C17 „Built Heritage: Fire Loss to Historic Buildings”, 17p.
- Gomez-Heras M., Alvarez de Buego M., Fort, R., Hajpál, M., Török Á., Varas M.J. 2006. Evolution of porosity in Hungarian building stones after simulated burning. In: Fort, R., Alvarez de Buego M., Gomez-Heras M. & Vazquez-Calvo C. (Eds): *Heritage Weathering and Conservation*, Taylor & Francis/Balkema, London. Vol. I, 513-519.
- Hajpál M. 2001. Égetés hatására fellépő változások vizsgálata homokköveknél. *Ph.D. értekezés* 136p.
- Hajpál M. 2002. Changes in Sandstones of Historical Monuments Exposed to Fire or High Temperature. *Fire Technology* 38 (4) 373-382
- Hajpál M., Török Á. 2004. Mineralogical and colour changes of quartz sandstones by heat. *Environmental Geology* 46, 311-322.
- Török Á., Hajpál M. 2005. Effect of temperature changes on the mineralogy and physical properties of sandstones. A laboratory study. *Restoration of Buildings and Monuments* 11 (4) 211-218.