

A székesfehérvári Magyar Király Szálló kőzetdiagnosztikai vizsgálata a légszennyezés függvényében

Farkas Orsolya

BME Vegyész- és Biomérnöki Kar, orsi0803@freemail.hu

Török Ákos

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

ÖSSZEFOGLALÁS: Székesfehérvár belvárosában, a sétálóutca elején található a 19. század elején épült Magyar Király Szálló. Az egyemeletes, korai klasszicista műemlék épület feltehetőleg Pollack Mihály tervei alapján készült. Az 1870-es évek elejétől szállodaként működött, jelenleg felújítják, ami lehetőséget biztosított a kőzetdiagnosztikai vizsgálatokra. Az 1947 óta csak kisebb felújításokon áteső épület erkélyének durva mészkő kőanyagát elemzi a cikk, kitérve a környezeti hatásokra, amelyek közül főleg a kőzetekben a légszennyezettség hatására végbemenő változásokat vizsgálja. Az épület történetének kereteit felhasználva a diagnosztikai vizsgálatok közül a mállási jelenségek feltérképezése mellett helyszíni roncsolásmentes vizsgálatok készültek. Az erkély korlát kőballusztereinek állapotát Schmidt-kalapács és Duroszkóp segítségével, víztartalmát pedig helyszíni nedvességméréssel lehetett megállapítani. A laboratóriumi elemzések alapján (csiszolatok polarizációs mikroszkópiája, röntgen diffrakció, derivatográf) a kőanyag összetételét, valamint a környezeti hatások hatására bekövetkező szöveti és ásványtani átalakulásokat lehetett meghatározni.

Kulcsszavak: műemlék, durva mészkő, diagnosztika, légszennyezés, gipsz

1 BEVEZETÉS

Székesfehérvár Budapesthez viszonyítva kisebb forgalommal és több komponens tekintetében kisebb városi légszennyezettséggel jellemezhető. A város területén néhány mészkőből épült műemlék található, amelyek részletes a légszennyezés hatását is elemző, kőzetdiagnosztikai vizsgálta eddig még nem készült el. A jelen cikk a város területén található egyik legszebb épület kőanyagának vizsgálata alapján kívánja bemutatni a légszennyezésnek látszólag kevésbé kitétt kőanyagban végbemenő változásokat. Ez azért is fontos, mert a budapesti erősen szennyezett levegőjű városi környezetben található durva mészkőből álló műemlékeket már korábban vizsgálták (Lácay 1944, Kertész 1988, Török 2002, 2003), így a jelen vizsgálatok alapján lehetőség nyílik a két terület összehasonlítására. A kőszerkezetek ilyen jellegű elemzése azért célszerű, mert az uralkodóan kalcit anyagú mészkő jóval érzékenyebben reagál az időjárási viszonyokra és a légszennyeződésre, mint az egyéb kőzetváltozatok. A környezeti hatásoknak köszönhetően, tehát eltérő mértékű fizikai változásokat mutat.

A kőanyag állapot felmérése a vizsgált épületnél, a műemléki jelleg miatt, csak roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazásával volt lehetséges. Ezek közül a felületi szilárdság meghatározására a Schmidt kalapácsot és a Duroszkópot lehetett alkalmazni. Az előbbit a hazai kőzetminősítési gyakorlatba Kleb (1971) vezette be, majd ezt követően műemléki kőanyagok állapotának leírásra is használták (Török 2002, Gálos 2003, 2005). A módszer betonok minősítésére is alkalmas (Borján 1981, Szilágyi & Borosnyói 2008). A Duroszkóp alkalmazása kevésbé elterjedt, de viszonylag sík kőzetfelületek gyors „felületi szilárdság” mérésénél jól alkalmazható (Gálos 2003, Török 2004, 2010). Mindezen módszerek mellett a porózus mészkő relatív nedvesség tartalmát is célszerű volt elemezni. A helyszínen gyűjtött kisméretű minták laboratóriumi elemzéséből a mállás hatására bekövetkező szöveti változásokat és ásványtani átalakulásokat kívántuk nyomon követni.

A székesfehérvári Magyar Király Szálló 1806-1810 között épült, Schmidegg Tamás megbízásából az egykori postaház helyén (Bibó, 1989). Az épületen számos átépítést hajtottak végre az elmúlt két-

száz évben. Ezek közül jelentősebbek az 1916-os, 1937-38-as, illetve az 1965-67-es átalakítások voltak (Farkas és Török 2009). Jelenleg is folynak a felújítási munkálatok, melyek az épület korszerűsítése, belső modernizálása mellett a műemlékvédelmi helyreállítást is szem előtt tartják. A műemlék jellegű épület közeteiben légszennyezettség hatására végbemenő változásokat az elmúlt fél évszázadban lejátszódó folyamatok alapján határozhatjuk meg.

2 LÉGSZENNYEZETTSÉG, SZÉKESFEHÉRVÁRI ADATOK

A légszennyezés gázokat, szilárd részecskéket és aeroszolókat tartalmaz, amelyek károsak lehetnek az emberi egészségre, élő szervezetekre, talajra, vízre és a környezet más elemeire egyaránt. A hazai és nemzetközi légszennyezettségi mérőállomások leggyakrabban a nitrogén-oxidokat (NO_x , NO , NO_2), a szénmonoxidot (CO), a kén-dioxidot (SO_2), az ózont (O_3) és a szálló port (PM_{10}) mérik (1. ábra).



1. ábra: CO évi eloszlása ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben), jól látható, hogy a fűtési szezonban magasabb koncentrációt mértek (adat forrás: www.ktm.hu)

A légszennyezők az épületek közetanyagaira is negatív hatást gyakorolnak. Az esztétikai hatások közül a köfelületek feketedése a leggyakoribb. Az építmények élettartam szempontjából a káros ásványtani, és fizikai változások a legfontosabbak. A nitrogén-oxidok nedvesség jelenlétében savas kémhatásuk miatt erősen korrodálják a fémeket az építőanyagokat, de ennek hatása a közetekre még nehezen igazolható kísérleti úton. Ezzel szemben a SO_2 kénsavat képez a levegő páratartalmával, az így kialakuló „savas eső” pedig közvetlenül károsítja a közeteket, különösen a mészköveket. Az ózon nagy koncentrációban korrodálja a fémeket, építőanyagokat, gumit és műanyagokat. A PM_{10} magas előfordulása (2. ábra) pedig jelentős porréteget képez az épületeken, és a gipszkristályok növekedését segíti elő a közetekben. Korábban azt is kimutatták, hogy a kipufogó gázokból származó részecskék elősegítik a mészkövek mállását, hiszen katalizálják a közet felületén a gipszképződést (Ausset et al. 1999). Azt is igazolták, hogy egy komplex kémiai folyamat eredményeképpen különösen porózus mészkövek esetében lehet nagy mértékű gipszképződéssel számolni (Rodriguez-Navarro & Sebastian 1996). Mindez a hazai durva mészkőből épült műemlékeken is jól megfigyelhető (Török 2002, 2003).



2. ábra: PM₁₀ évi eloszlása (µg/m³-ben) (adat forrás: www.ktm.hu)

Viszonylag kis lakossága és kisebb gépjármű forgalma ellenére Székesfehérvár a porszennyezettség tekintetében az egyik legnagyobb koncentrációt mutató magyar város. A székesfehérvári trendek a más városokban megfigyelhető trendekkel azonosak. A reggeli és az esti órákban a legmagasabbak a mért koncentrációk, ami a gépjárműforgalom napi ingadozásával magyarázható (3. ábra). Az utóbbi évtizedekben és években az antropogén hatások jóval nagyobb mértékűek, mint a korábbi évszázadokban.



3. ábra: Nitrogén-oxidok napi ingadozása (µg/m³-ben) (adat forrás: www.ktm.hu)

3 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

3.1 Helyszíni vizsgálatok

A helyszíni vizsgálatok során első lépésként a kőkiosztási rajz elkészítését követően a szabad szemmel megfigyelhető mállási formák jellemzése és térképi ábrázolása készült el. Az egyes köelemek Schmidt-kalapáccsal és Duroszkóppal mért visszapattanási értékekből a relatív szilárdságot és ezáltal a kőzet megtartási állapotát lehetett meghatározni. A mérésekhez Digi-Schmidt Schmidt kalapáccsot használtunk. A köelemek víztartalmi jellemzőit nedvességméréssel lehet megadni. A nedvességméréshez GANN Hydromette UNI 1 elektromos mérőműszert alkalmaztunk, B50-es fejjel.

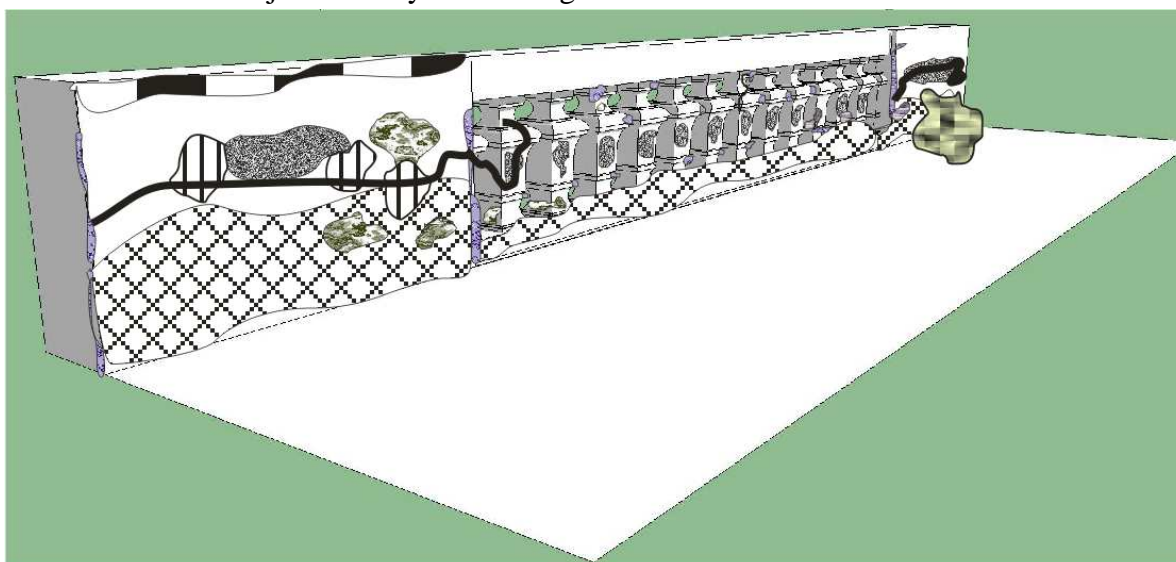
3.2 Laboratóriumi vizsgálatok

A laboratóriumi vizsgálatok során azonosítottuk a kőzetekben előforduló ásványokat. A kőzetek ásványi összetételét mikroszkópos, röntgendiffrakciós és derivatográfus elemzéssel állapítottuk meg. A vékonycsiszolatok sóskúti mészkövet alkotó ásványok nagymértékű jelenlétét mutatták ki. A röntgendiffrakciós felvételen az egyes csúcsok különböző ásványokra jellemzőek. A csúcsok helyei alapján határozhatjuk meg az ismeretlen mintában található ásványokat. A vizsgált mintában főleg kalcit, kvarc és gipsz ásványokat mutattunk ki. A derivatográfus elemzéssel a jelzett anyagok mennyiségét is meg tudtuk határozni, sőt szerves szén kis mennyiségben való előfordulását is tapasztaltuk.

4 KÖZETFIZIKAI TULAJDONSÁGOK VÁLTOZÁSA

4.1 Mállási formák

A vizsgált erkély durva mészkőből készült balluszterein változatos mállási jelenségeket lehetett beazonosítani (4. ábra). A helyszínen megfigyelt mállási jelenségeket alapvetően 4 csoportba sorolhatjuk: kőzetanyag elvesztése, elszíneződés/felhalmozódás, elkülönülés, repedések/deformáció. Alapvetően megfigyelhető jelenség volt, hogy a vizsgált felület alsó egyharmadában igen nagy mértékű volt a biológiai aktivitás. A kőzetanyag elvesztése főleg a balluszterek lábánál jelentkező kitérőekben nyilvánul meg. Az elszíneződés a vizsgált felület egészén megtalálható, a balluszterek „nyakánál” pedig vastag porréteg ül. A korábbi átalakítások során keletkezett javítások nyoma a vizsgálataink során szintén látható volt.



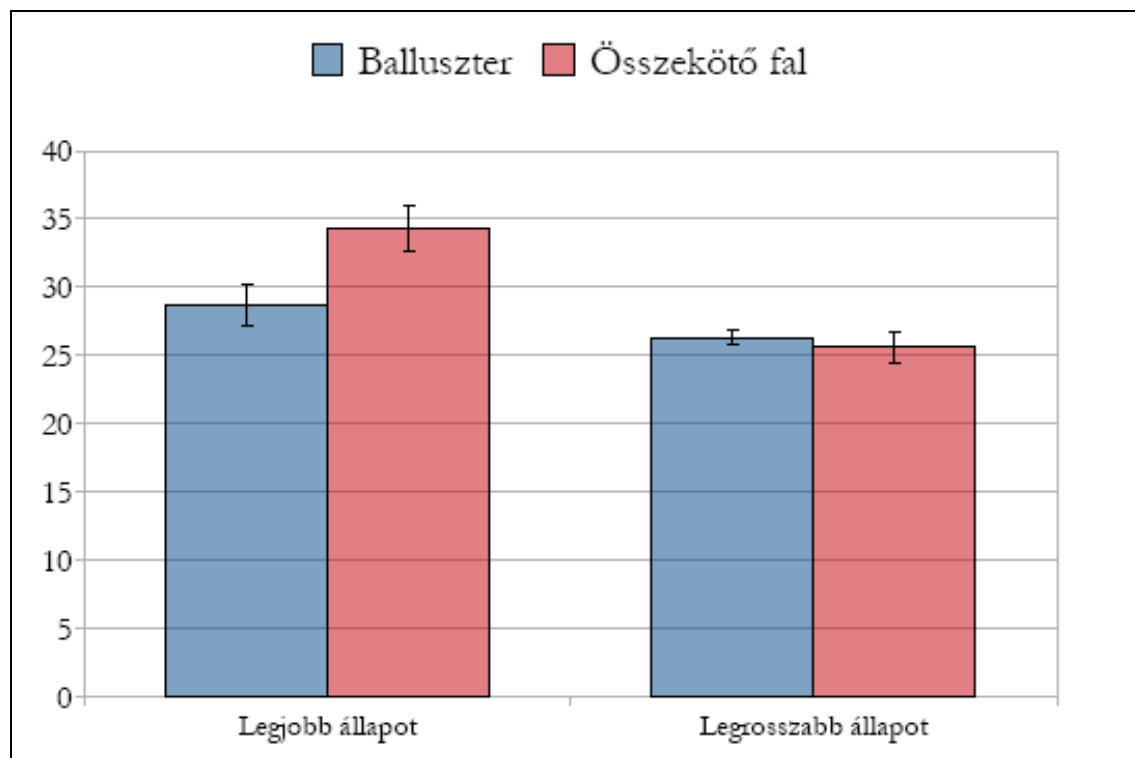
	Biológiai zóna		Javítás		Fehér kéreg
	Szürke kéreg		Élek, sarkok csorbulása		Növényzet
	Kőregleválás		Szemcsekipergés		Repedés

4. ábra: Mállási térkép az erkély középső részéről a főbb mállásformák feltüntetésével

4.2 Szilárdság

A visszapattanási értékeket mérő Schmidt-kalapács és Duroszkóp eredményei hasonlóak, a durva mészkőre jellemző szilárdsági eredményeket mutattak. Az adatok alapján az egyes részek állapota között nem tapasztalható nagy különbség, a kőballusztrád részei egyformán rossz állapotban vannak, a legrosszabb és a legjobb eredményeket mutató balluszterek között sem találtunk nagy eltérést (5. ábra).

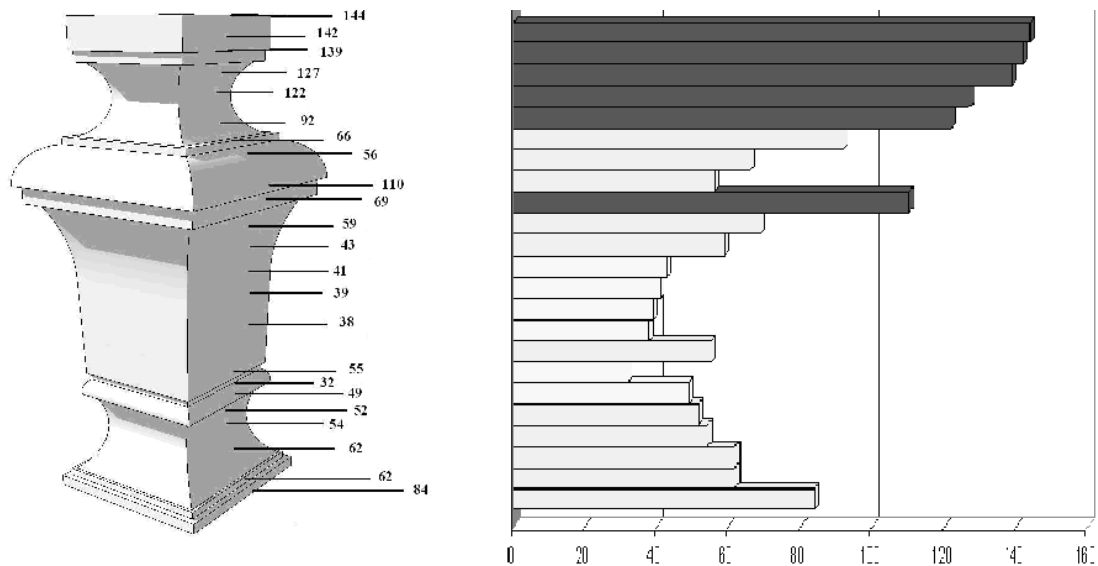
A minimum, maximum, szórás és átlagértékek a mállás előrehaladására jellemző adatok, amelyek mérés esetén nagyobb a szórás és alacsony az átlagérték, ott mállottabb a felület. Az előre várt értékekhez képest a vizsgált elemek közül az egyik összekötő fal volt a legrosszabb állapotban, nem pedig a balluszterek egyike. Ez azzal magyarázható, hogy a legelőrehaladottabb mállási eredményeket adó részen korábbi javítások nyomai voltak.



5. ábra: A legjobb és legrosszabb állapotban lévő balluszterek és összekötő falak Schmidt kalapács visszapattanási értékeinek összehasonlítása

4.3 Nedvességtartalom

A méréseink során a szokásos megfigyelésekhez képest eltérő adatokat kaptunk, ami a felső bádogborítás miatt alakult ki. A nedvességmérésből ugyanis nem az látszik, hogy az alsó részen a legmagasabbak a nedvességértékek, hanem a felső egyharmadban (6. ábra). Ez azzal magyarázható, hogy a bádogborítás gyakorlatilag dunsztolja a követ, és így a víz nem tud felül elpárologni. Természetesen az alsó részen is magasabb értékeket kaptunk, az alulról felfelé terjedő biológiai zóna aktivitása miatt.

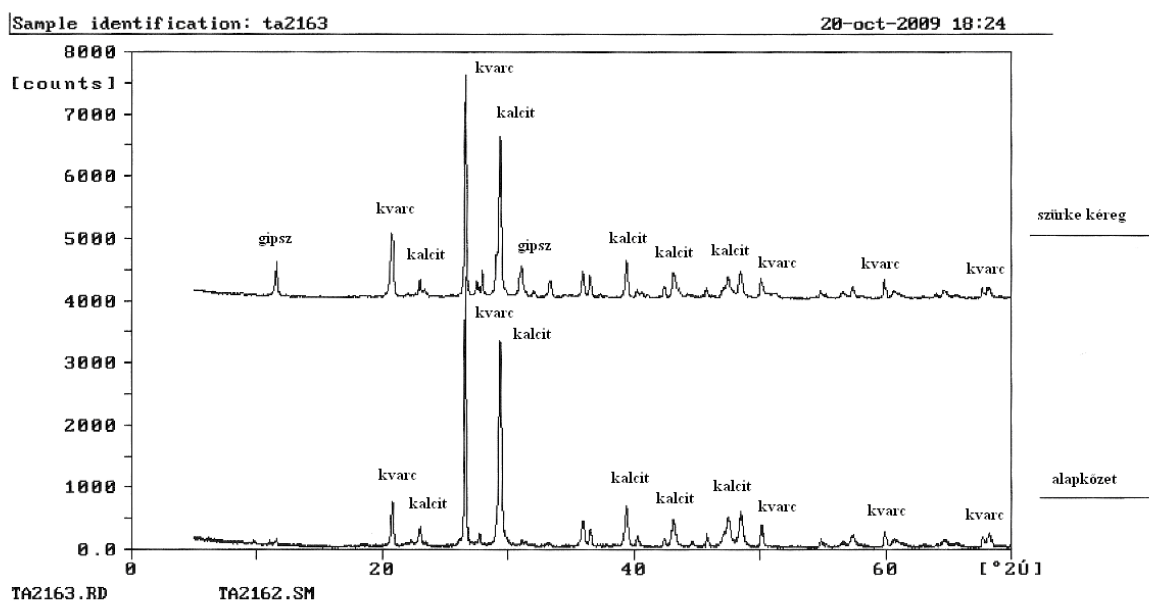


6. ábra: Az egyik baluszteren mért relatív nedvesség értékek és ezek grafikus ábrázolása (sötét oszlopok jelzik az átázott részeket)

5 ÁSVÁNYTANI-FIZIKAI VÁLTOZÁSOK

A laboratóriumban vizsgált, több balluszterről is származó mintákban főleg kalcit, kvarc és gipsz ásványokat, illetve kis mennyiségű szerves szén megjelenését mutattunk ki. A gipsz és a szerves szén fellelhetősége légszennyezésre utalnak. A mikroszkópos felvételeken egyértelműen látható a légszennyezetségi hatására bekövetkező gipszesedés a kalcit tartalmú mészkövekben.

A szürke kéregben kimutatható mennyiségű elemi szén a közlekedésből vagy a széntüzelésből származhat. A gipsz a légköri eredetű kén-oxidok és ezekből képződő savak valamint a mészkő kalcitjának reakciója során alakul ki. Az ásvány, elsősorban a mészkő felületén, de porózus mészköveknél beljebb, a mélyebb rétegekben is megjelenik. Az, hogy nemcsak a szürke kéregben, hanem az alapkőzetben is van gipsz a mikroszkópos felvételek mellett a röntgendiffrakciós vizsgálatok során is megállapítható.



7. ábra: A szürke kéreg és az alapkőzet röntgendiffrakciós felvételének összehasonlítása

A szürke kéreg és a sárgás alapkőzet összehasonlításából az látszik, hogy a kéregben a gipsz feldúsult a kalcit rovására (7. ábra). Ebből és a vékony-csiszoltos elemzésekből arra lehet következtetni,

hogy valószínűleg a gipsz nem csak a durva mészkő felületén alakul ki, hanem a pórusok falán is ki-kristályosodik, részben csökkentve a kőzet porozitását, vízfelvevő képességét. Ez a jelenség a mállási kéreg képződéséhez vezet, amely jellegzetes elváltozási formája a hazai durva mészköveknek.

6 EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Székesfehérváron az ülepedő por koncentrációja rendszeresen nagy, ami hozzájárul a kőfelületek elszíneződéséhez, lefeketedéséhez. A por továbbá katalizátorként szolgál, így elősegíti a gipszkristályok növekedését. A gipsz tehát a légszennyezés hatására megjelent olyan másodlagos ásvány a mészkőben, amely a kőzet porózus jellegéből következően nem csak a felületen, hanem mélyebben a pórusokban is jelentkezik. A nem tömeges megjelenésű gipsz mellett, a nem ásványokhoz kötött, azaz nem karbonátos eredetű szén is kimutatható volt a helyszínen vett mintákból. Ez a szén szintén a légszennyezésre utal és elsősorban a kipufogógáz eredetű korom szemcsékhez köthető. A csiszolatos vizsgálatok alapján a gipszkristályok áttetsző fehér színe helyett szürke szín tapasztalható, amely a kristály növekedés során bekebelezett a kristályba zárványként beépülő porszemcséknek tulajdonítható.

A durva mészkőből készült balluszterek a szöveti jelek és a kőzetalkotók alapján a Sósúti mészkőre hasonlítanak. A történeti források is ezt támasztják alá, hiszen a levéltári adatok alapján igazolható, hogy a szálloda építéskor kőanyagot szállítottak Székesfehérvárra. A vizsgált kőzetfelület fizikai tulajdonságai közül a szilárdsága a durva mészkőre jellemző szilárdsági eredményeket mutatja.

Az erkély elemeinek felújítására a nagyfokú károsodásuk miatt leginkább a teljes kőcsere módszere javasolható, a sérült és károsodott felületek pótlása nehezen megvalósítható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk a kutatómunkában és a cikk megírásához szükséges vizsgálatok elvégzésében segítséget nyújtó tanszéki dolgozóknak. A laboratóriumi vizsgálatokért Dr. Kopecskó Katalinnak és Kovács S. Bélánénak vagyunk hálásak. Dr. Görög Pétertől, Szemerey-Kiss Balázstól és Farkas Zsoltól technikai segítséget és támogatást kaptunk. A vizsgálatokhoz az OTKA K63399 sz. pályázata nyújtott támogatást.

HIVATKOZÁSOK

- Ausset P., Del Monte M. Lèfevre R.A. 1999. Embryonic sulphated black crusts on carbonate rocks in atmospheric simulation chamber and in the field: role of carbonaceous fly-ash. *Atmospheric Environment*, **33**, 1525-1534
- Bibó I. 1989. A székesfehérvári Velence Szálló, *Műemlékvédelmi és Építészettörténeti Szemle*, **XXXIII/3**, 215-223
- Borján J. 1981. *Roncsolásmentes betonvizsgálatok*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Szilágyi K., Borosnyói A. 2008. A Schmidt-kalapács 50 éve: múlt, jelen, jövő. Módszerek és szakirodalmi összefoglalás. *Vasbetonépítés* 2008/1, 10-16.
- Farkas O., Török Á. 2009. Magyar Király Szálló, A székesfehérvári szálló története és kőzetdiagnosztikai vizsgálata. *Kő* **XI/4**, 38-42.
- Gálos M. 2003. Kőzet-szilárdsági tulajdonságok meghatározása roncsolásmentes vizsgálati módszerrel. *Építőanyagok*, **55**, 2, 55-57.
- Gálos M. 2005. Az Egri Minaret felújításával kapcsolatos kődiagnosztikai vizsgálatok. *Kő*. **VIII/1**. 23-27.
- Kertész P. 1988. Decay and conservation of Hungarian building stones. In: Marinos P.G., Koukis G.C., (eds.), *The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments, and Historical Sites*, Proc. of International Symposium of IAEG, Athens, Balkema, Rotterdam, **II.**, 755-761.
- Kleb B. 1971. Kőzetminősítés Schmidt kalapáccsal építésföldtani térképezés keretében. *Földtani Közlöny*, **101/1**, 55-61.
- Láczay O. 1944. *A természetes építőkövek elmállása és a mállás elleni védelem*. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 72 p.

- Rodriguez-Navarro C., Sebastian E. 1996. Role of particulate matter from vehicle exhaust on porous building stones (limestone) sulfation. *The Science of the Total Environment*, **187**: 79-91.
- 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 (Eds.), *Natural Stones, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*. Geological Society, London, Special Publications, 205, 363-379.
- Török Á. 2003. Durva mészkőből épült műemlékek károsodása légszennyezés hatására. In: Török Á. (szerk.) *Mérnökgeológiai Jubileumi Konferencia*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 287-301.
- Török Á. 2004. Műemlékek közeteinek anyagvizsgálata. *Anyagvizsgálók lapja* 2004/1, 3-4
- Török Á. 2010. In Situ Methods of Testing Stone Monuments and the Application of Nondestructive Physical Properties Testing in Masonry Diagnosis. In: Bostenaru Dan M., Přikryl R., Török Á. (eds.) 2010. *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*. Springer, Dordrecht, 177-193.