

A riolittufa - mint műtárgyalkotó kőzet - mállásának vizsgálata

Kónya Béla Tamás

Képzőművészeti Egyetem, kőszobrász-restaurátor, kobeta@gmail.com

Kopecskó Katalin

BME, Építőmérnök és Mérnökgeológia Tanszék, katalin@eik.bme.hu

Forgó Lea Zamfira

Mott MacDonald Magyarország Kft, lea.forgo@mottmac.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: Magyarországon nagy hányadban találkozunk magmás eredetű tufa műemlékekkel, amelyek pusztulása a hazai műemlékvédelem jelenleg is fontos kérdése. Szakszerű műtárgy-helyreállítást és megóvást csupán alapos állapotfelmérés és ismeretanyag birtokában végezhetünk. A kutatás kitűzött célja, hogy a nemzetközi és hazai tapasztalatok figyelembe vételével rámutasson a riolittufa anyagát veszélyeztető tényezőkre. Összegezni kellett a kőzet keletkezésével és magyarországi előfordulásával kapcsolatos ismereteket, a jellemző és egyedi felhasználási lehetőségeket, valamint a kőzetre jellemző mállási folyamatokat és a mállás megjelenési formáit. Néhány kiválasztott ásványtani vizsgálat bemutatta, hogy a mállási jelenség egy kőzettömb esetében is kimutatható. Különböző Eger környéki helyről származó minták vizsgálatával sikerült rámutatni arra, hogy viszonylag kis előfordulási helyen belül is rendkívül változatos lehet a kőzetanyag összetétele.

Kulcsszavak: riolittufa, mállási folyamatok, állapotfelmérés, ásványtani vizsgálat, restaurálás

1 BEVEZETÉS

Képzőművészeti és kultúrtörténeti értékeink alapanyagát nagy számban kőzetek alkotják. A kőzetek sokszínűsége nem teszi lehetővé azt, hogy azonos megmunkálási, illetve restaurálási módszereket alkalmazzunk a különböző eredetű és állapotú műtárgyhordozó kőzetek esetén. Csupán alapos ismeretanyag birtokában tudunk szakszerű műtárgy-helyreállítást és megóvást végezni, amely gondos és egyedi vizsgálatokat igényel.

A műtárgy-vizsgálatoknak ki kell terjedniük a kőzet anyagát veszélyeztető tényezőkre; a fizikai, kémiai, biológiai károsodásokat előidéző folyamatokra.

Magyarországon a döntő többségben levő mészkő mellett nagy hányadban találkozunk magmás eredetű tufa műemlékekkel is. A sárospataki, a visegrádi, az egri, a somlói vár, valamint a hozzájuk kapcsolódó műtárgyak, például a feldebrői altemplom oszlopkötegei is példázzák, hogy a vulkáni tufából készült műtárgyak pusztulása a hazai műemlékvédelem jelenleg is fontos kérdése. Ennek okán Kónya Béla Tamás a riolittufák mállásának vizsgálatát helyezte kőszobrász-restauratori szakdolgozatának középpontjába (témavezető: dr. Kopecskó Katalin, konzulens: Forgó Lea Zamfira).

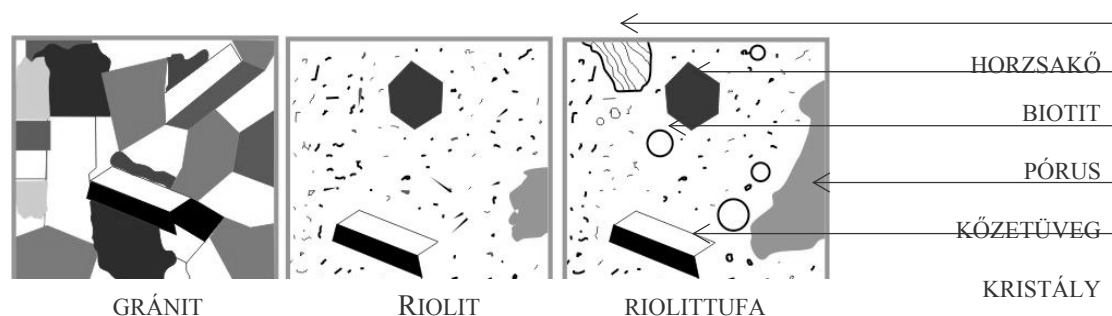
2 A RIOLITTUFA

2.1 A riolittufa keletkezése

A vulkáni kitörések során a Föld mélyének nyomása alól nagy sebességgel felszabaduló gőzök és gázok szétporlasztják a lávát, az útjukba kerülő szilárd kőzeteket szétroncsolják, és az így keletkezett különböző méretű öszletet a levegőbe repítik. A megszilárdult lávarészecskék és a vulkáni por a kitörés helyén, vagy attól távolabb leülepszik. A vulkáni tevékenység során a levegőbe szórt, majd onnan le hulló anyagokból, törmelékdarabokból piroklasztikus kőzet keletkezik. Vízen történő leülepedés során hidroklasztit kőzetek jönnek létre. Ebben az esetben gyakori a gyors lehűlés eredményeként kialakult nagyobb mennyiségű kőzetüveg. A piroklaszt és hidroklaszt kőzetek kémiai és fizikai tulajdonságaik alapján a magmás és az üledékes kőzetek között képeznek átmenetet.

A piroklasztitok és a hidroklasztitok fő kőzettípusait a kiömlési eredetű kőzetrész üledékes eredetű kőzetrészhez (pl. agyagkő, homokkő) képesti részaránya határozza meg. Ezek alapján megkülönböztethetünk tufát (> 75%), tufitot (> 25%) és tufás kőzetet (< 25%).

Szinte valamennyi kiömlési kőzettípusnak létezik piroklasztikus - vagy más néven vulkáni törmelékes - megfelelője. A kémiai összetétel alapján megkülönböztetünk savanyú riolit- és dácit-, semleges andezit-, illetve bázikus bazalttufát. A tufák anyaga és összetétele a kiömlési kőzetekével egyezik meg, azonban szerkezetük azoktól nagymértékben eltér (1. ábra).



1. ábra: Magmás kőzetek szövetszerkezete (Forgó, Török 2005)

A tufák ásványos összetételük, és törmelékanyaguk nagysága alapján is osztályozhatóak.

- Összetételük szerint - attól függően, hogy a kőzetüveg, a kristálytörmelék vagy a kőzettörmelék mennyisége van-e túlsúlyban - üvegtufát, kristálytufát és kőzettörmelékes tufát különböztethetünk meg (Schmid 1981). Az üvegtufában a vulkánkitörés során apró cseppekre szétrobbant láva gyors lehűlésével és megdermedésével keletkezett kőzetüveg dominál. A kristálytufában szabad szemmel is jól elkülöníthetők az ásványszemcsék és kristálytöredékek. Kőzettörmelékes tufáról akkor beszélhetünk, amikor a vulkáni üledékben a törmelékdarabok részaránya legalább 50%-ot tesz ki.
- A törmelékanyag mérete nagyon változatos. A vulkáni portól a kőzettömbökön keresztül egészen az úgynevezett vulkáni bombáig terjedhet. Amennyiben a törmelékanyag mérete kisebb 2 mm-nél, portufáról, ha 2 mm és 64 mm közötti lapillis tufáról, és ha 64 mm-nél nagyobb, vulkáni breccsáról beszélünk (Füchtbauer & Müller 1970).

2.3 A riolittufa kialakulása és felhasználása Magyarországon

Legfőképp Észak-Magyarországon, a Mátra-hegység keleti és északi előterében, a Tokaji-hegység számos helyén és a Bükkalján fordul elő egy változatos összetételű, a földtörténeti harmadidőszak alsó és középső miocén szakaszában keletkezett kőzetfajta, amelyet összefoglaló néven riolittufának hívnak. Ezt a kőzetet az ásványi összetétel kismértékű változásától függően néhol dácit-, riódácit- és trachittufának is nevezik (Fodor & Kleb 1986).

Három felerősödött szakaszban zajló, úgynevezett riolittufa szórás különíthető el, amely a Mecsekben, a Dunántúli-középhegységben, az Északi-középhegységben és az Alföldön is nyomon követhető. Az első periódus körülbelül 20 millió évvel ezelőtt a Gyulakeszi riolittufa szórás, más néven „alsó riolittufa” kitöréssel kezdődött, amely közel 30-100 méter vastagságú réteget eredményezett. A második szakasz 17 millió évvel ezelőtt a Tari dácittufának is nevezett „középső riolittufa” szórás, amely 15-50 méter vastagságú. A harmadik periódus a középső miocén földtörténeti-kor végén, 13 millió éve volt. Ez a szürke színű Galgavölgyi riolittufa, vagy más néven felső riolittufa szórás, amely legfeljebb 30 méter vastagságú (Hámor 2001).

A riolittufa száraz állapotban jól faragható, fűrészeléssel darabolható, kis testsűrűségű kőzet. Felhasználása helyi jelentőségű, leginkább a lelőhely környékére korlátozódik. Kis szilárdsága miatt távolabbi tájakra nem szállítják. Nagy porozitásánál fogva vízfelvevő képessége jelentős. Fagyra érzékeny lehet. Könnyen keletkezik benne agyagásvány, amely mállásra teszi hajlamossá, ezért gyakran festették, illetve vakolták a belőle készült kültéri faragványokat. Kovásodott, ellenállóbb változatai kedvelt építőkövek. Nagy horzsakő- és üvegtartalmú változatát beton adalékanyagként, továbbá a mély- és vízépítésben trasszként használják fel (Fodor & Kleb 1986).

Szomolya közelében található a bükkaljai kőkultúra máig vitatott rendeltetésű emlékei, a süvegcu-korhoz hasonló riolittufa kúpokba vájt kaptárkövek. Egyes feltételezések szerint - és az utókor elnevezése is erre utal - a méhészkedést segíthették, de ősi szakrális helyek is lehettek. A faluban és a környező településeken egyaránt több riolittufába vájt barlanglakás is fellelhető, amely nemcsak a szegény, hanem a tehetősebb parasztok számára is általános lakhelyül szolgált. A helyi kőfaragó mes-

terek előszeretettel használták a riolittufát az egyházi építkezések során templomépítéshez, oszlop, oszlopfő, kereszt, egyházi szobor, valamint síremlék faragására.

A mátrai és a bükki riolittufa felhasználás leglátogatottabb műemléke az Eger városában található vár, valamint a török építészet legészakabbra található emléke, Kethüda dzsámi minarete. A Zempléni-hegység vulkáni tevékenységéhez köthető a füzéri várrom, és a sárospataki Rákóczi vár építőköve.

3 A RIOLITTUFA JELLEMZÉSE ÁSVÁNY- ÉS KÖZETTANI TULAJDONSÁGAI ALAPJÁN

A riolittufa földtani keletkezéséből eredően rétegzett, változatos megjelenésű, egymástól különböző részekből álló, heterogén, savanyú kőzet. Az üde riolittufa színe többnyire világosszürke, sárgásszürke. Sárga, fehéres-sárga horzsakődarabok, kvarcsemcsék és fénylő, táblás kifejlődésű földpátok figyelhetők meg benne. Egyes változataiban fehér, sárgásfehér kaolinzárványok, illetve kisméretű, fénylő, fekete biotitpikkelyek találhatók. Nagy hézagterfogata miatt jelentős vízmennyiséget is tárolhat. A riolittufák fizikai szempontból úgy modellezhetők, hogy három kőzetalkotót különítünk el egymástól. A riolittufában, mint minden kőzetféleségben előfordul egy, általában a többi kőzetalkotóhoz képest nagy mennyiségű, egységes kifejlődésűnek tekinthető *alapananyag*. Ez akkora mennyiséget jelent, hogy a többi kőzetalkotó nem egymással, hanem az alapananyaggal kapcsolódik, így az összes egyéb kőzetalkotó tulajdonképpen zárványként kezelhető (Marek 1975).

A tufában található lávatörmelék-darabok elnevezése méret alapján lehet akár mogyoró nagyságú lapilli (2 mm - 64 mm) vagy vulkáni bomba (> 64 mm). A riolittufában a meghatározó ásványok a kvarc, a földpátok és a biotit. Az alapananyag többnyire horzsakő darabokat tartalmaz, de más lávatörmelék darabokkal is kiegészülhet. A riolittufa könnyen összetéveszthető az andezit-, illetve a dácittufával. A világos árnyalatú andezittufától a kvarc mennyisége, a dácittufától a szabad szemmel észlelhető horzsakő jelenléte alapján lehet megkülönböztetni. A tufák amorf üveges szövetében a kötőanyag szerepét agyagásványok töltik be, amelyek a részecskék közötti és a részecskéken belüli oldatáramlások során is kiválhatnak. A riolitos tufákban főként szmektit, illit és kaolinit agyagásvány található. Agyagásvány azonban a tufák mállása során is keletkezik, így ez a bomlás egyik fokmérője is lehet. Képződhet az üveges szövet, a szilikátos ásványok és a magmából kitorló törmelékdarabokból álló piroklasztok bomlása során is (Egloffstein 1998).

A kőzetek időállósága szempontjából az egyik legmeghatározóbb jelentőségű fizikai jellemző a porozitás. Attól függően, hogy a tufákat felépítő vulkáni por és törmelék vízbe, vagy szárazföldre hullott-e le, a tufák szerkezete lehet finoman vagy durván hézagos. Porozitásuk viszonylag tág határok között, 10-60% változik. A mállási folyamatok közben kialakult pórusok által mállási porozitás jön létre.

A pórusok alakja, nagysága, térfogata, egymással való kapcsolata, valamint a pórusfelület nagymértékben befolyásolja a kapilláris vízfelvételt, a kőzet látszólagos porozitását, valamint nedvesség- és fagyérzékenységét is. Ebből következik, hogy a pórustér jellemzői és a pórusok eloszlása jelentősen befolyásolja a kőzet fizikai pusztulását. Ez azonban azt is jelenti, hogy különböző eredetű, de hasonló porozitási tulajdonságokkal rendelkező kőzetek, egymáshoz hasonló mállási jelenségeket mutathatnak (Fitzner & Basten 1994).

4 A RIOLITTUFA MÁLLÁSI FOLYAMATAI

Mállás akkor következik be, ha a kőzet és a környezete közötti energiaegyensúly megbomlik. A mállás fogalmán a kőzetek közvetlen, emberi beavatkozás nélküli pusztulását értjük. Közvetve azonban az ember is hozzájárul a kőzetek mállásához. Az iparosodás és városiasodás előrehaladását megelőzően a levegő és a csapadék főként az aktív vulkánok közelében tartalmazott oldott vegyületeket. A kőre szabad ég alatt, még a városokon belül is túlnyomórészt por rakódott. A kőzetekben főleg a gyengén savas csapadék, a fagy és a felületükön megtelepedő élőlények tehettek kárt. A zárt belső terekben lévő műtárgyakat a gyertyák, fáklyák égésterméke is szennyezhetette (Forgó 2003).

Az iparosodás idővel maga után vont a fosszilis tüzelőanyagok egyre növekvő felhasználását. Olyan kémiai vegyületek is bekerülhetnek így a levegőbe, amelyek az esővízben oldódva híg savat képeznek (SO₂, SO₃, NO_x, HCl), és közvetlenül idézik elő a legtöbb kőzetfajta pusztulását. Ezzel a műalkotások nemcsak az esztétikai értékükből veszítenek, hanem nagymértékű károsodás esetén szerkezeti stabilitásuk is csökkenhet.

A magmás kőzetek ásványai közül a kvarc áll leginkább ellen a mállási folyamatoknak. Az ásványokkal az oxigén, a széndioxid és a víz reakcióba lép, ezáltal új ásványok képződhetnek. Az elváltozott kőzet az erózió hatására széteshet, majd újra lerakódhat, esetleg oldatban marad. Mállás során a kőzetfelszín szöveti tulajdonságai, ásványos és kémiai összetétele, valamint a póruster jellege is megváltozhat. A tömörebb kövek főként a külső kőzetfelszínen, ezzel szemben a porózus kövek, mint például a riolittufa, akár 10-15 cm mélységben is károsodhatnak (Roth 1997). A mállási folyamatok soha nem elkülönülten zajlanak. A károsodás létrejöttének oka igen összetett, a víz jelenléte azonban rendszerint döntő szerepet játszik. A műtárgy anyagát képző kőzet mállásának tulajdonsága a kőfajta lelőhelyétől, a bánya kitermelési rétegétől, kőzettani jellemzőitől, a külső befolyások - úgymint földrajzi fekvés, éghajlat, évszak, műemlék tájolása - mellett a kialakítás módjától és a megválasztott faragási iránytól is függ.

A kőzet mállásának eredete alapján kémiai, fizikai és biológiai mállást különböztet meg a tudomány (1. táblázat). Magmás eredetű kőzeteknél a fizikai mállás játszik döntő szerepet.

1. táblázat: Mállási módok eredetük szerint (Forgó 2007)

KÉMIAI	FIZIKAI	BIOLÓGIAI
<ul style="list-style-type: none"> ○ VÍZFELVÉTEL (HIDRATÁCIÓ) ○ A MOLEKULA VÍZ HATÁSÁRA TÖRTÉNŐ FELBOMLÁSA (HIDROLÍZIS) ○ OXIDÁCIÓ 	<ul style="list-style-type: none"> ○ FAGYHATÁS ○ SÓK HATÁSA ○ HŐ OKOZTA MÁLLÁS (IN-SZOLÁCIÓ) ○ NEDVESSÉG OKOZTA MÁLLÁS 	<ul style="list-style-type: none"> ○ AZ ÉLŐLÉNYEK ÉLETTANI SZEREPÉBŐL EREDŐ MÁLLÁS (BIOMECHANIKAI) ○ AZ ÉLŐ SZERVEZETEK-BEN LÉVŐ VEGYI FOLYAMATOKBÓL EREDŐ MÁLLÁS (BIOKÉMIAI)

4.1 Kémiai mállás

A kőzetek ásványi vagy kémiai összetevőinek átalakulása a kémiai mállás, amely nemcsak a kőzet felszínén, hanem annak mélyebb rétegeiben is lejátszódik, és új ásványi összetételt is eredményezhet. Általában két folyamat, az oldódás és a vízben oldhatatlan anyagok kiválása, azaz kicsapódás jellemzi.

A kémiai mállást legfőképp a klimatikus tényezők befolyásolják. A víz és egyéb ionok átáramlanak a kőzet felületén és mozognak a kőzet pórusaiban. Az oldás mértékét a külső kőzetfelszín, a belső felépítés jellege, állapota, a hőmérséklet és az oldott anyag szennyezettsége befolyásolja. A magmás eredetű kőzetalkotó ásványok átalakulásában túlnyomórészt szilikátos- és oxidációs mállási folyamatok vesznek részt. Szilikátos málláskor az oxidációs folyamatok során az ásványok kisebb-nagyobb egységekre bomlanak szét, amely az ásványok stabilitását csökkenti.

Az egri Szent-Rozália kápolna előtt található tufa feszület restaurálása során a műtárgy erős agyagásványosodását tapasztalták, amely összefüggésben volt mállékonyságával (Jakab 2001).

4.2 Fizikai mállás

A fizikai mállás a kőzet ásványos és vegyi összetételének lényeges átalakulása nélkül zajlik le. A vulkáni tufákat alkotó alapanyag heterogenitása a beágyazódott kőzet- és kristálytörmelékkel hozzájárul a fizikai málláshoz, vagyis aprózódáshoz. Ezek nem csak fellazulást eredményeznek, hanem látható makroszkopikus és mikroszkopikus repedéseket, másodlagos pórusokat hozhatnak létre, amelyek felgyorsíthatják a kőzet aprózódását okozó folyamatokat.

A tufák változatos összetételűek. A kőzet eltérő hőtágulású összetevői, másként reagálnak a hőmérséklet-változásra, amelyek feszültséget ébreszthetnek a műtárgyban. A napsugárzás, azaz az inszoláció által okozott hőmérséklet ingadozás hatással van a kőzetek felületére. Az erős nappali felmelegedés és az azt követő éjszakai lehűlés feszültséget teremthet a kőzetek ásványszemcséi, valamint az átmelegedett kőzetfelszín és az alatta található hidegebb kőzetmag között is. Ezt a jelenséget fokozza az is, ha a világos és sötét árnyalatú ásványfajták keverednek a kőzetben. A tufák és a márványok igen érzékenyek a hőhatással szemben. A kőzeteknél a víztartalom jelentős hatással van a hőtágulás mértékére (Weiss 2004).

A vízmolekulák az ásványok felületén könnyen megtapadnak. A víz feszítő nyomással előrehaladva ékszerűen képes tágítani a szemcsék közötti vagy az azokon belüli réseket. A porózus, nagy belső fe-

lületű kövek a gáz halmazállapotú víz hatására tágulási és zsugorodási folyamatokon mehetnek keresztül. A tufákban tovább erősödhet ez a hatás a duzzadó agyagásványok hatására, amelyek nemcsak a határfelületükön kötik meg a vizet, hanem kristályrácsuk rétegei között is (Weiss 2004).

A folyékony-száraz és nedves-száraz állapotok váltakozása során bekövetkező tágulás és összeszűkülés a kőzet „kifáradását” idézheti elő, amely viszonylag lassan bekövetkező szöveti fellazulást, valamint a kőzetfelszínnel párhuzamosan elváló kőzetlemezeket eredményezhet (Sneathlage & Wendler 2000). Ennek a folyamatnak a hatása a könnyen bomló vulkáni üveget tartalmazó kőzetekben erőteljes, és a kőzetek árnyékos részein a magasabb állandó víztartalom miatt intenzívebb lehet, mint a nap-sütötte részeken. A tarnamériai vulkáni tufából faragott Nepomuki Szent János szobor állapotfelmérése során a festett felület alatt elvált kőzetlemezeket tapasztaltak, kocogtatás hatására homokórához hasonlóan pergő szemcsék hullottak ki (Tóth 1990).

A fagyhatás a fagypont körüli hőmérséklet-ingadozásnál, azaz a fagyási és oladási ciklus váltakozása során a legjelentősebb. Alacsony szilárdságú, porózus kőzet esetén a pórusok ismétlődő fagyás-olvadás hatására tágulni kezdenek, és így egyre több vizet beengedve a kőzet pórusainak egyre nagyobb nyomást kell elviselniük. A kőzetkárosodás mértéke a kihülés sebességétől, a fagyás-olvadás változásának gyakoriságától, a víz ásványianyag-tartalmától és a vízzel telített pórusok arányától függ. A fagyhatás a kőzet éleinek és sarkainak leválását, levelesedését eredményezheti (Balogh 1991).

A sók fagyhoz hasonló kőzetre gyakorolt károsító hatása már régóta ismert. A sók nagy nedvességelnyelő-képességgel rendelkezhetnek, azaz igen higroszkóposak lehetnek. Könnyen oldódhatnak, és kémiai reakciókat indíthatnak be. Kiválhatnak kőzeten belül és azok felszínén is, de a kőzeten belüli megjelenésük veszélyesebb. A sók származhatnak emberi tevékenységből, légszennyezésből, savas esőből, talajvízből, mikroorganizmusok anyagcseréjéből, vagy ezek egymás közötti reakcióból (Wedekind 2005). A kőzet természetes sótartalma mellett a kémiai mállás termékeként a kötőanyagból, illetve konzerváló- és tisztítószer alkalmazásával is képződhetnek sók. Sókiválás általában a kőzet pórusainak felszínén, azaz párolgási felületén észlelhető. A sóterheléssel egy időben tapasztalható mállási jelenségek általában: a fellazult kőzetszövet, a szemcsék kipergése és a kőzetlemezek elválása a kőzetfelszíntől. Műemlékeken a helytelenül alkalmazott kőpótlás vagy habarcs is előidézhethet sókiválást. A vulkáni tufák esetében a talajból kapilláris módon felszívódott víz jelenthet problémát, mert a nedvesség állandósulhat, és a sók könnyen feldúsulhatnak.

4.3 *Biológiai mállás*

A biológiai mállás szervesen kapcsolódik a fizikai és kémiai folyamatokhoz. A biológiai eredetű hatásokra visszavezethető kőzetszövet-fellazulást, a repedések és üregek megnagyobbodását biomechanikai mállásnak nevezzük. A jelenség oka az, hogy a különböző gombafonalak, növényi szárazak, gyökerek a növekedésük során feszítő hatást gyakorolhatnak a kőzet szöveteire. Ezen kívül, a kőzetanyagból származó szerves anyagokat az élő szervezetek, mikrobák, mint szubsztrátot (tápanyagot) képesek hasznosítani (Kocsányiné Kopecskó 1990).

Az anyagcseretermékek hatására történő mállás a biokémiai mállás. A növényi szervezetek a szerves tápanyagok felvételéhez szerves savakat termelhetnek, és a gyökérlégzés során széndioxid keletkezhet. A szerves vegyületek aktiválhatják az alumínium- és vasoxidokat. A mikroorganizmusok önmagukban főként esztétikai szempontból okoznak problémát, és általában a mállás során kialakult egyéb negatív tényezők (kéregképződés, sókristályosodás, ásványok oxidációja) jelenlétében fejthetnek ki káros hatást (Balogh 1991).

Az élő szervezetek megtelepedése számára kedvező környezetet nyújthatnak a porózus tufák. A riolit-tufából készült hevesi Szentmártoni Ónodi Borbála, Szentmártoni Ónodi Jakob és Fáy Borbála szarkofág alakú síremlékeinek felületét a restaurálást megelőzően nagy mennyiségű, több cm²-es zuzmótelepek és mohák által alkotott szigetek borították. A Magyarországon található zuzmók azonban nem azokba a fajokba tartoznak, amelyek zuzmósavukkal a kőzetek ásványianyag-tartalmát roncsolják. Noha a zuzmók kizárólag a kőzet felületén található szerves anyagokból (pl. madárürülék) élnek, a jelenlétük esztétikai szempontból hátrányos. A mohák viszont közvetett károsítók. Hajszálpredésekben telepsznek meg, és nagy mennyiségű vizet képesek megkötni, amelynek a fagyás-olvadás ciklus következtében fizikai mállást idézhetnek elő (Kónya és Kisapáti 2005).

Történelmi habarcsok gyakran tartalmazhatnak szerves összetevőket, pl. borjúszőrt, szalmát, kenderkócot, tejet, kazeint, túrót. Ez érzékenyebbé teszi az ezzel érintkező kőzetet is a mállási folyamatokkal szemben. A főként javításhoz használt cement a szilikátos alapanyagú kőzeten szintén kedvez a mikrobiológiai károsítók megjelenésének.

5 A RIOLITTUFA MÁLLÁSÁNAK MEGJELENÉSI FORMÁI

5.1 Felületi kőzetanyag veszteséssel járó mállási formák:

A mállási jelenségek eredetük és megjelenési formájuk szerint több csoportba sorolhatók, amelyen belül további károsodási jelenségeket különböztethetünk meg (Forgó 2007).

A *hátrálás* az a jelenség, amely során a kőzet eredeti felszínével párhuzamosan, egységesen fejlődik vissza (2. ábra). A műtárgy sarkai és élei lekerekednek, és szemcsekipergés, kéregvesztés is történhet. A *relief* jelenség a riolittufa esetében olyan anyagvesztéssel járó hátrálás, ahol a kőzet szöveténél ellenállóbb piroklaszt (pl. horzsakő) kiemelkedik a műtárgy felszínéről (3. ábra). Ennek az ellenkezője is előfordulhat, azaz az ellenállóbb alapanyagban üregek képződnek a piroklasztok kimállásával (4. ábra). *Letörés* a kőzet szerkezetéből adódóan, vandalizmusból kifolyólag vagy természeti hatásra, például gyökerek feszítő erejének következtében is megtörténhet.

5.2 Kőzetanyag oldásával járó mállási formák:

Különböző ásványok, például biotit oxidációja során a vas (Fe) hatására a kőzetben színcsere, *elszíneződés* jöhet létre (5. ábra). Tűz hatására is történhet színváltozás.

A riolittufa felszínén, vagy a kőzetszövet fellazult zónáiban *sókiválás* történhet (6. ábra). Intenzitástól függően megjelenhet a kőzet felületét borító foltként, apró kristályok vagy nagyobb kristálycsomók formájában. A kőzetoldatok hatására a felszínhez kötődő tömör lerakódások, *mállási kéreg* alakulhatnak ki (7. ábra). Vastagságuk néhány mm-től több cm-ig is terjedhet. Sötét színű mállási kéreg a kőzet felületén felhalmozódó szennyeződések megkötődése során az esőtől védett helyeken alakulhatnak ki. Világos mállási kéreg a napsütötte felületeken jelenhet meg.

A kőzetanyag felületének *szennyeződése* lehet emberi tevékenységből származó, például érintéstől okozott zsírosodás, firkalás (graffiti), vagy állati eredetű, például madárürülék, csiganyál (8. ábra). Növényi eredetű szennyeződés a *biológiai bevonat* (9. ábra). Az alacsonyabb rendű élőlények jelenlétének hatására oxalát képződhet, így patina keletkezhet a kőzet felületén. A magasabb rendű növények a nedvesebb helyeken jelenhetnek meg.

5.3 Kőzetanyag fellazulási és leválási formák, törés:

A riolittufa kőzetalkotóinak mállással szembeni ellenálló-képessége eltérhet egymástól. Ez a *szelektív mállás* (Török 2004) (10. ábra). Ennek eredményeként a kőzetfelület érdessé válik, a nagyobb kötőanyagdarabok több cm³ nagyságrendben leválnak.

A *pikkelyesedés* során apró, vékony kőzetlemezek válnak el a kőzetfelszíntől, amelyek jelentkezhetnek egymás mellett, vagy többszörösen, rétegesen egymáson (11. ábra). Nagyobb felületű, több cm vastagságig terjedő kőzetlemezek válnak el a kőzetfelszínnel párhuzamosan a *levelesedés* során (12. ábra). Ez a jelenség is jelentkezhet többszörösen halmozott formában.

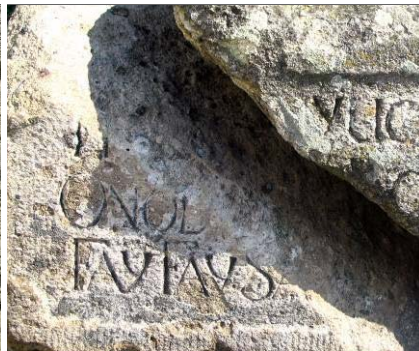
A meggyengült kőzetben megjelenő repedés önmagában nem jár anyagvesztéssel (13. ábra). Lehet a kőzetszövetben kialakult szerkezeti hiba, de a kőzetszövettől függetlenül is létrejöhet.



2. ábra: Szentmártoni Ónodi Borbála síremléke (1790?)



3. ábra: Egri vár, bejárati portál előtti falazat, részlet



4. ábra: Szentmártoni Ónodi Borbála síremléke (1790?)



5. ábra: Egri várfal részlet



6. ábra: Egri Ferences templom kapuzatának lábazata



7. ábra: Egri Ferences templom kapuzatának lábazata, részlet



8. ábra: Egri dombormű a 17. sz. elejéről, részlet



9. ábra: Szentmártoni Ónodi Borbála síremléke (1790?)



10. ábra: Egri vár, bejárati portál utáni falazat, részlet



11. ábra: Egri Ferences templom kapuzatának lábazata



12. ábra: Egri várfal részlet



13. ábra: Feszület Mater Dolorosa ábrázolással, Eger

6 ÁSVÁNY- ÉS KÖZETTANI VIZSGÁLATOK

6.1 *A vizsgált riolittufa kőzetminták*

A vizsgálat tárgyát a Szentmártoni Ónodi Jakob és Fáy Borbála síremléke (szarkofág, 1790?), egy noszvaji barlanglakás, valamint Egerben található Líceum épületének lábazati részének kőzetmintája képezte. A mállási jelenségek okainak megértéséhez, a rendelkezésre álló kis mintamennyiségből röntgendiffrakciós felvételeket, valamint kőzettani vékonycsiszolatokat készítettünk. A vizsgálati módszerek a következők voltak.

6.2 *Röntgendiffrakciós vizsgálati módszer*

A röntgendiffrakciós porvizsgálat a fázisanalitikai vizsgálati módszerek körébe tartozik. Diffrakciós módszerrel a mintában jelenlévő kristályos állapotú fázis vagy fázisok vizsgálhatók. A tiszta, referenciafázisokról felvett és adatbázisba rendezett, ujjenyomatszerű röntgendiffraktogramok segítségével többfázisú minták elemzése lehetséges. Bár a vizsgálat alapvetően a minta kristályos alkotóinak minőségéről és mennyiségéről ad felvilágosítást, az anyagban a rendezettség alacsony foka vagy hiánya esetén röntgenamorf vagy amorf fázisok is előfordulhatnak, amelyekről nem a jellegzetes, vonalas diffrakciós képet kapjuk. A röntgenamorf vagy amorf fázisok az alapvonal általában nem egyenletes megemelkedését, az úgynevezett amorf gyűrűt hozzák létre. Vulkáni tufák esetén mindig számolnunk kell az amorf (kőzetüveg) ásványi fázisok jelenlétével.

6.3 *Sztereomikroszkópos vizsgálati módszer*

A sztereomikroszkópos vizsgálat a kőzetek szöveti jellemzőinek gyors és egyszerű minőségi leírását teszi lehetővé. A vizsgálat során a kőzetet alkotó komponensek típusát, a szemcsék és kristályok méretét, formáját és állapotát, a kötőanyag jellegét és arányát jellemezzük. Egyes kristályok kialakulási módjáról (pl. földpátok növekedési fázisai) és az ásványok mállottsági fokáról is kaphatunk információt. A mállást a mikroszkópos vizsgálatoknál az ásványok elváltozása jelezheti. Ilyenkor leggyakrabban foltokban történő elszíneződések, a szegélyek elmosódása, valamint ásványokat átszelő hasadási vonalak észlelhetők. Olyan pórusok, repedések és deformációk figyelhetők meg, amelyek folyadékok és gázok áramlását teszik lehetővé.

6.4 *A vizsgálatok kiértékelése*

A mállás során kialakuló változások kezdetben csak műszeres vizsgálatokkal állapíthatók meg, szabad szemmel csak akkor észlelhetők, amikor a kőzet szövetében már lényeges romlás következett be. Az ásványtani vizsgálatokhoz vett minták egy része a Szentmártoni Ónodi Borbála síremlékből származik (2. ábra, 4. ábra). A műemléket az 1790-es években riolittufa kőzetből faragták.

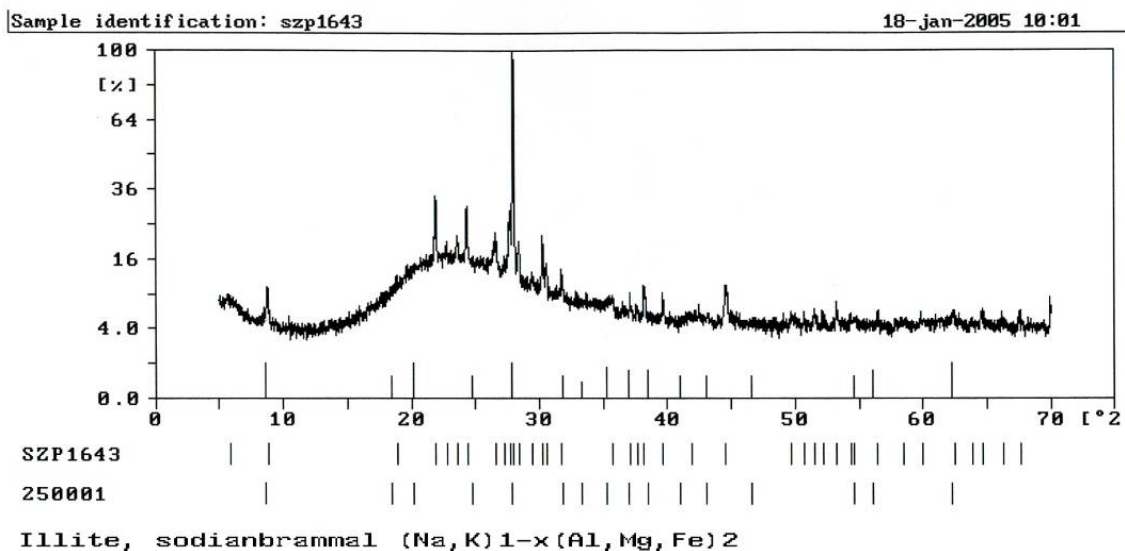
A vizsgálatok további mintái Noszvajról származnak. Egy riolittufa barlanglakás mellett, annak kialakítása során létrehozott kőrakást találtunk. Az onnan gyűjtött kötőanyag megfelelően bizonyult a mállási kéreg és az üdőbb kőzetmag közötti különbségek vizsgálatához.

Az Ónodi szarkofágból származó minta röntgendiffrakciós vizsgálata az ásványos összetételben vermikulit (duzzadó klorit), valamint illit (agyagásványok) jelenlétét mutatta ki. A diffraktogramokon az alapvonal megemelkedése látható, amely az üveges anyagok (kőzetüveg) jelenlétére utal (14. ábra).

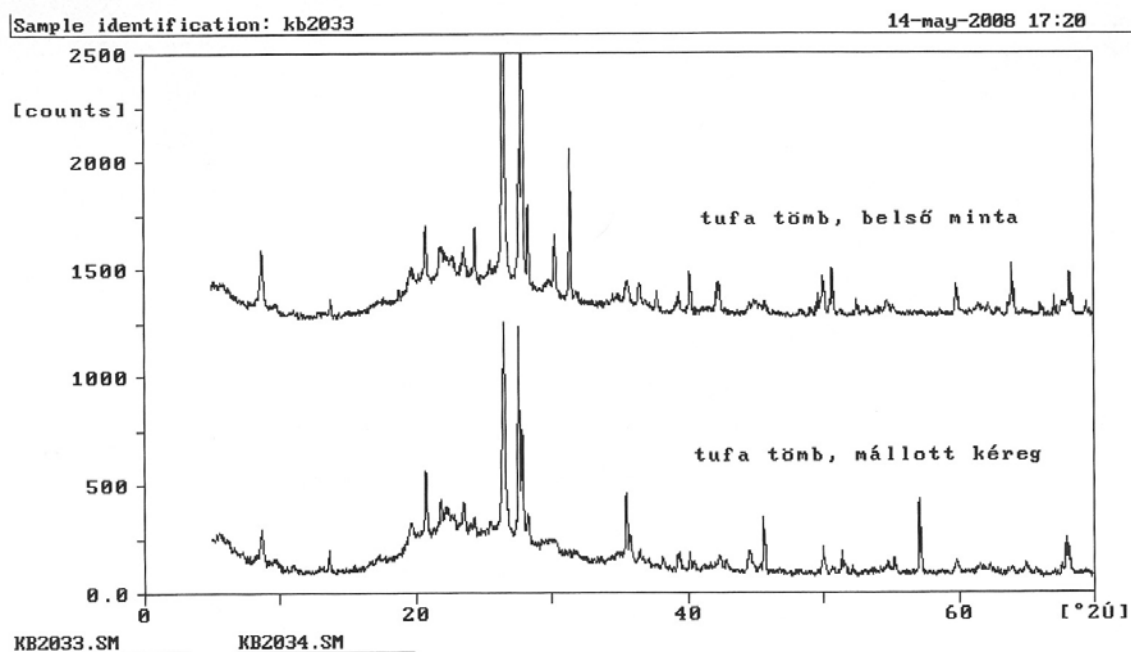
A Noszvajról származó minták röntgendiffrakciós eredményei alapján az üde tömbminta alapanyagában montmorillonit agyagásvány van jelen. A duzzadásra hajlamos montmorillonit tartalom veszélyes, mert víz hatására megnövekedett térigényével feszíti a kőzet szerkezetét, és így növeli a mállási hajlamot. A kőzetdarab kérgéből származó minta röntgendiffrakciós vizsgálata duzzadó klorit agyagásvány (vermikulit) jelenlétét mutatja, az Ónodi szarkofágból származó mintához hasonlóan. Az egyéb, eredeti kőzetalkotó ásványok (földpátok) röntgendiffrakciós intenzitása, a mállás miatt, a kéregben kisebb a kőzetmag mintájához képest. A mintában zeolit (mordenit) jelenléte is kimutatható. A diffraktogramokon megjelenő üveges vagy röntgenamorf anyagokra jellemző alapvonal megemelkedés a kőzetüveg jelenlétével magyarázható (15. és 16. ábrák).

Röntgendiffrakciós vizsgálat készült még az Egerben található Líceum épületének lábazati részéből származó mintából. A vizsgálat alapján ennek a riolittufának az ásványtani összetétele eltér a korábbi (Ónodi szarkofágból származó és a Noszvajról származó) minták eredményeitől. Az üveges anyagok jelenlétére utaló diffrakciós alapvonal megemelkedés az előző két mintához képest nem jelentős (17. ábra). Az elvégzett röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján megbizonyosodhatunk arról, hogy viszony-

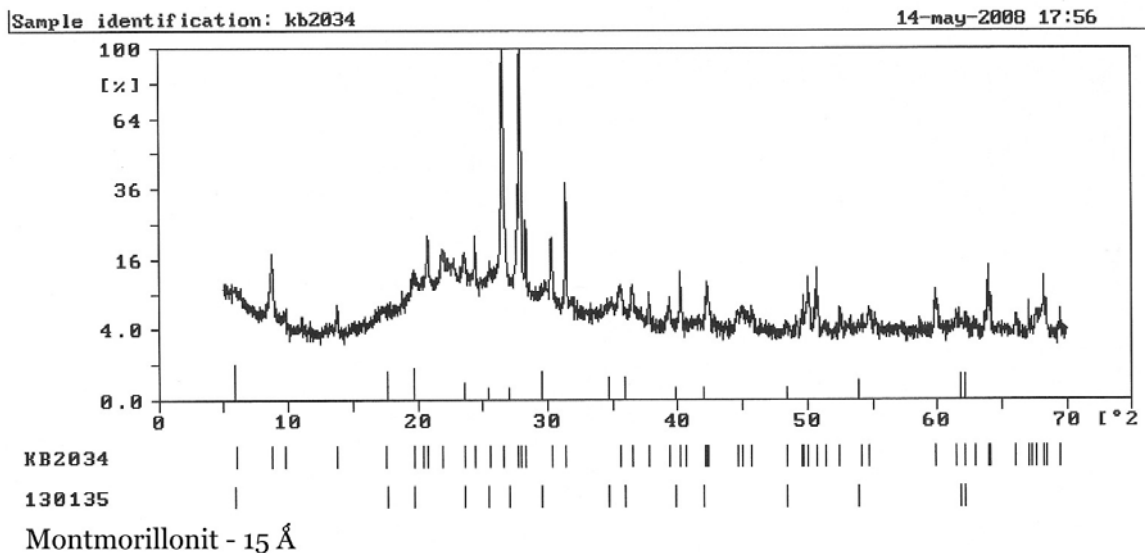
lag kis előfordulási területen belül, a riolittufák ásványtani tulajdonságaikat tekintve rendkívül változatosak. Ez azt jelenti, hogy mállási folyamataik és időállóságuk is nagymértékben különbözhet.



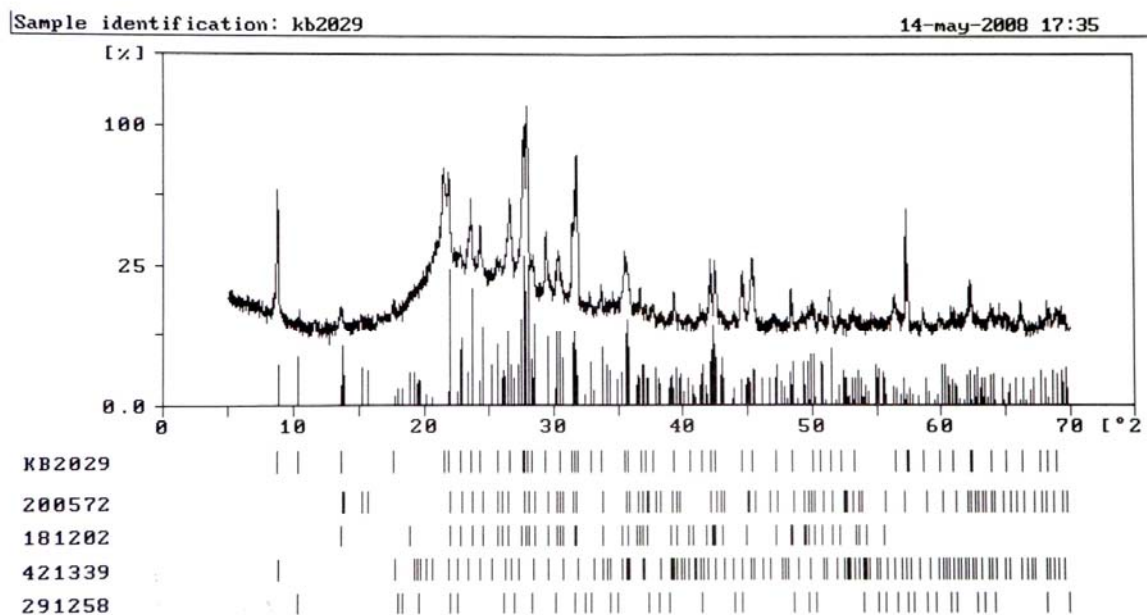
14. ábra: Az ónodi síremlék mintájának röntgendiffraktogramja, az illit diffrakciós vonalaival



15. ábra: A noszvaji barlanglakás tömb- és kéregmintáinak összehasonlító röntgendiffraktogramja

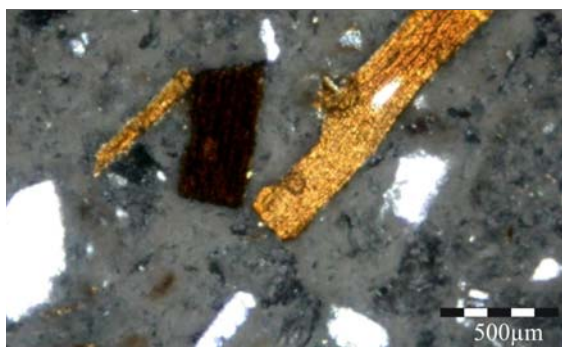


16. ábra: A noszvaji barlanglakás mintájának diffrakciós mérése, belső tömbminta, a montmorillonit diffrakciós vonalaival

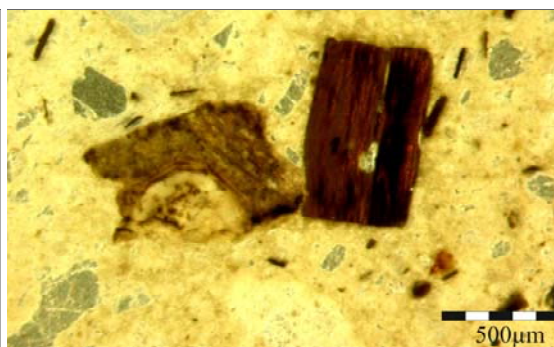


17. ábra: Az egri Líceum falából származó minta röntgendiffraktogramja
Magyarázat: 200572: albit (földpát), 181202: anorthit, 421339: biotit, 291258: Fe-hornblende

A Noszvajról származó kőzetmintából és az Ónodi szarkofág mintájából készült vékonycsiszolatok vizsgálata Sztereo SMZU mikroszkóppal, világos (18. ábra, 20. ábra) és sötétlátóteres (19. ábra, 21. ábra) megvilágítással történt. Az eredeti nagyítás 25-szörös. Az Ónodi szarkofág vékonycsiszolatáról készült felvételen barnás aranyárga árnyalatú, erősen mállott biotit, és jó megtartási állapotú kvarc látható (18. ábra, 19. ábra).



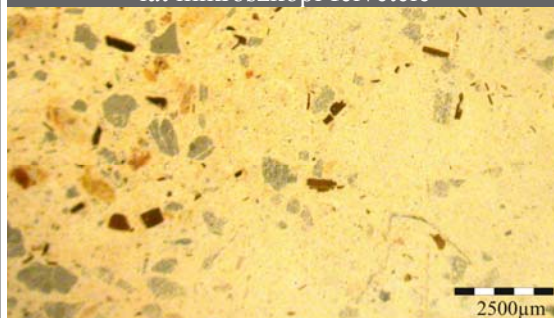
18. ábra: A Szentmártoni Ónodi Borbála sír-
emlék kőzetmintájából készült vékonycsiszolat
mikroszkópi felvétele



19. ábra: A Szentmártoni Ónodi Borbála sír-
emlék kőzetmintájából készült vékonycsiszolat
mikroszkópi felvétele



20. ábra: A noszvaji barlanglakás kőzet-
mintájából készült vékonycsiszolat mikro-
szkópi felvétele



21. ábra: A noszvaji barlanglakás kőzetmin-
tájából készült vékonycsiszolat mikroszkópi
felvétele

A noszvaji kőzetmintából készült vékonycsiszolaton kéregképződés figyelhető meg. Míg a felvételek bal oldali részén viszonylag üde ásványok láthatók, addig a jobb oldalon a mállott zóna figyelhető meg. A biotit részaránya 3-4% körüli, átlagos mérete 0,2mm. A biotitnak a mállott zónában zöldes árnyalatú, klorit agyagásvánnyá történő átalakulása figyelhető meg. A horzsakő közettörmelék részaránya megközelítőleg 35-40% az alapanyagban. A horzsakő viszonylag nagy, mérete 1,75 mm és 0,15 mm közötti, átlagmérete 0,5 mm. A vékonycsiszolat alapján jó állapotban van a szanidin kálföldpát, amelynek aránya 3-4% körüli. A kvarc szemcsék viszonylag nagy mennyiségben fordulnak elő. Épek, szögletesek, átlagos méretük 0,25mm. Az albit és az anortit plagioklász szintén jó állapotú, átlagos méretük 0,40 mm (20. ábra, 21. ábra).

7 ÖSSZEFOGLALÁS

A riolittufa legfontosabb kőzetalkotói a horzsakövek, a változatos színű közettörmelék, valamint a porfíros elegyrészek, amelyek közül a biotit és kvarckristályok fordulnak elő a leggyakrabban. A riolittufa színe általában világosszürke vagy, sárgásszürke. Erősen mállékony kőzet, mert összefüggő pórusrendszere és az agyagásványok jelenléte víz és fagy hatására érzékennyé teszi a kőzetet. Néhány kiválasztott kőzetanyag ásványtani vizsgálata bebizonyította, hogy a mállási jelenség egy közettömb esetében nemcsak a kéregben, hanem a közettömb belsejében is megfigyelhető, valamint három különböző (Eger környéki helyről származó) minta vizsgálata rámutatott arra, hogy viszonylag kis előfordulási helyen belül is a kőzetanyag ásványos összetétele rendkívül változatos lehet.

A riolittufa mállása során létrejött elváltozások különböző intenzitással jelennek meg a kőzet felületén, és egymást átfedve együttesen is előfordulhatnak. A műtárgyak környezetének vizsgálata fontos, mert a műemlékek pusztulási folyamatában a velük érintkező közegnek, a talajnak és a levegőnek kiemelt szerepe van. Ezekon keresztül érkeznek azok a vegyi és biológiai tényezők, amelyekre a mállás legtöbb oka visszavezethető. Mindemellett a műtárgyak a korábbi hibás beavatkozások következtében is károsodhatnak. A mállási jelenségek dokumentálásából és a kőzet vizsgálatából származó ismeretek a műemlékek helyreállításának és tartós megóvásának feltételei.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:

Köszönetet mondunk a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének, hogy lehetővé tette a laboratóriumi vizsgálatokat. Köszönettel tartozunk dr. Török Ákosnak (BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék) a vékonycsiszolatok kiértékelésében nyújtott segítségével, valamint Galambos Évának (Magyar Képzőművészeti Egyetem) az áldozatkész közreműködésért.

IRODALOMJEGYZÉK:

- Balogh Kálmán (1991) *Szedimentológia I. kötet*, Akadémia kiadó, Budapest. pp. 25-50., 370-374.
- Egloffstein, Petra (1998) *Vulkanische Tuffsteine als Werksteine an historischen Bauwerken in Ungarn und Deutschland*. Köln: von Loga. 154.
- Fitzner, Bernd & Basten, D. (1994) *Gesteinporosität – Klassifizierung, messtechnische Erfassung und Bewertung ihrer Verwitterungsrelevanz*. In: SNETHLAGE, R. (ed) Jahresberichte Steinerfall – Steinkonzervierung 1992, Ernst & Sohn, Berlin. 19-32.
- Fodor Tamásné, Kleb Béla (1986) *Magyarország mérnökgeológiai áttekintése*, Műszaki Kki, Bp. 199.
- Forgó Lea Zamfira (2003) *Műemléki kövek károsodása és restaurálása*, BME Épületszerkezeti Konstruktóri ismeretek, Budapest. 2 p.
- Forgó Lea Zamfira (2007) *Vulkáni tufák konzerválása*. PhD tézisfüzet a tanszéki vitára. BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, Bp. 14.
- Füchtbauer, Hans & Müller, German (1970) *Sediment-Petrologie Teil II.: Sedimente und Sedimentgesteine*. Schweizerbart, Stuttgart. 726.
- Hámor Géza (2001) *Genesis and evolution of the Pannomnian Basin*. In: Haas, J. (ed) *Geology of Hungary*, Eötvös Kiadó, Bp. 193-242.
- Jakab Magdolna (2001) *Egri Szent Rozália-kápolna állapotfelmérése és restaurálása – dokumentáció*. Kulturális Örökségvédelmi Hivatal, Bp.
- Kónya Béla Tamás – Kisapáti Ivett (2005) *A hevesi Szentmártoni Ónodi Borbála, Szentmártoni Ónodi Jakob és Fáy Borbála szarkofág alakú síremlékei - restaurálási dokumentáció*. Magy. Kép. E., Bp.
- Kocsányiné Kopecskó K. (1990) *Eger-környéki riolittufa műemléki kőanyag felületi mállásának vizsgálata*. Budapesti Műszaki Egyetem, Vegyészmérnöki Kar, Diplomamunka. 104.
- Marek István (1975) *Közetek kőzetfizikai minősítése*. Doktori ért., BME Ásvány- és Földtani T., Bp.
- Roth, Michael (1997) *Kőkonzerválás és a kővédőszerekkel szemben támasztott követelmények*. *Építőanyag* 49/1: 16-20.
- Schmid, Rolf (1981) *Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments*, *International Journal of Earth Sciences*. 794-799.
- Snethlage, Rolf & Wandler, Eberhard (2000) *Chemical Compounds for Conservation of Natural Stone*. Ludwig Maximilian Universität München, Fakultät Geowissenschaften, Munich.
- Tóth Kálmán (1990) *Tarnamérai Nepomuki Szent János szobor restaurálása - dokumentáció*. KÖH.
- Török Ákos (2004) *Műemléki kőzetek állapotromlásának külső jegyei – 1. rész*. *Kő* 6/4: 27-29.
- Wedekind, Wanja (2005) *Jordan, Petra*. In: *Heritage at Risk 2004/2005*, ICOMOS. 151-156.
- Weiss, Thomas; Strohmeyer, Daniel; Kirchner, Dirk; Sippel, Judith & Siegesmund, Siegfried (2004) *Weathering of stones caused by thermal expansion, hygric properties and freeze-thaw cycles*. 10th Int. Cong. on Deterioration and Conservation of Stone, Stockholm. pp. 83-90.