

## Vulkáni tufák konzerválása

Forgó Lea Zamfira

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

Török Ákos

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

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A vulkáni tufák elterjedt, ámde többnyire mállásra hajlamos építőkövek, így megóvásuk és konzerválásuk a műemlékvédelem fontos kérdése. Három kőszilárdító szer (kovasavészter, rugalmas kovasavészter és akrilgyanta) hatását hasonlítottuk össze laboratóriumi körülmények között. Öt tufaváltozatot; két hazai (eger-demjéni és eger-tihaméri) mellett három németországi (weiberni, habichtswaldi és rochlitz) tufatípust vizsgáltunk. Ásványtani, kémiai és kőzetfizikai vizsgálatokat végeztünk természetes és konzervált állapotú mintákon. Az elemzések eredményeként kimutattuk, hogy míg a rugalmas kovasavészter alkalmas a leginkább a vulkáni tufák konzerválására, az akrilgyantának számos hátrányos hatása van.

*Kulcsszavak:* vulkáni tufa, mállás, konzerválás, kovasavészter, akrilgyanta

### 1 BEVEZETÉS

A műemléki kőanyagok védelme és megóvása régóta foglalkoztatja a tudományt, és heves vitákat okozva meg is osztja a szakembereket. A hazai gyakorlat számos módszert ismer és használ a műemléki kőanyagok védelmére, de ezek egy része inkább hagyományok alapján, mint tudományos megalapozottsággal került a szakma látókörébe. A korábbi rossz tapasztalatok tanulsága alapján célszerű, hogy alkalmazásuk előtt a kezelendő kőzetre vonatkozóan, tudományos igénnyel vizsgáljuk a kőkonzerváló szerek hatását. Ennek szellemében készült el a jelen cikk, amely a vulkáni tufák tulajdonságainak mállás hatására bekövetkező változását írja le és különböző kezelőszerek hatását elemzi.

A vulkáni tufák közös jellemzője a nagy porozitás, a nedvességre, gyakran a fagyra való érzékenység, a jó hőszigetelő képesség és az eredendően csekély szilárdság. A tufa mindezek okán főképp helyi jelentőségű. Hátránya azonban egyben előnye is; könnyű megmunkálhatósága miatt – hiszen akár kézi eszközökkel is faragható –, népszerűsége messze korokig visszanyúlik.

A vulkáni tufák révén olyan nagyszabású emlékek maradhattak ránk, mint a világörökség részeként számon tartott Kappadókia (Törökország) kőbe vájt barlanglakásai, ókeresztény templomai és sírkamrái, vagy a Húsvét-szigetek (Chile) monumentális moai szobrai, melyek korát és eredetét napjainkig rejtély fedi. A római kultúra egykor népszerű kőzetét a Forum Romanum egyes részei (de Casa et al. 1994) és a szintén védettség alatt álló Pompeii városa őrzik. A világörökség részét képező kölni dómot (Kertész 1987) és a berlini Kaiser-Wilhelm emlékezés temploma tufáit már évtizedek óta kőzetkonzerválási módszerekkel védik (Weber 1993). Kassa orsós városszerkezetének történeti magját a gótikus dóm képezi, amely riolittufa felhasználásával épült.

Hazánk területén is számos vulkáni tufából készült műemléket láthatunk. Míg Somló várához sötét-szürke színű (Török et al. 2007), a szigligeti várhoz pedig egészében barna bakonyi bazalttufát használtak fel, addig a nagyvázsonyi Kinizsi vár csupán helyenként tufa falazatú (Egloffstein 1998). A Tihanyi-félsziget jellegzetesen egyedi, szürkésbarna bazalttufa lakóházait világörökségi listára jelölték. Visegrádon a környékbéli bányákból kitermelt andezittufa és -agglomerátum falazókóként és egyszerűbb faragványok anyagaként egyaránt megtalálható a fellegvárban (Bozóki 2006), a királyi palotában (Buzás 1990, Kertész 1990) és a ferences kolostorban is (Halász és Mordovin 2002). A siroki várrom alatt máig járható az a kazamatarendszer, amelyet a várhegy könnyen faragható dácittufájába vájtak (Egloffstein 1998). A feldebrői altemplom zömök oszlopkötegei a mátrai és bükkői tufa-felhasználás történeti hagyományáról tanúskodnak, mint ahogyan leglátogatottabb vidéki műemlékünk, az egri vár és Európa legészakibb minaretje is (Kleb 1978, Gálos 2005). A bükkaljai kőkultúra máig vitatott funkciójú emlékei a riolittufába vájt kaptárkövek, amelyek szolgálhatták a méhészkedést, de ősi szakrális helyek is lehettek (Baráz 1999). A Tokaji-hegység riolitos vulkanizmushoz köthető tufája a füzéri várrom és a sárospataki Rákóczi vár (Egloffstein 1998, Simon 2005) építőköve is.

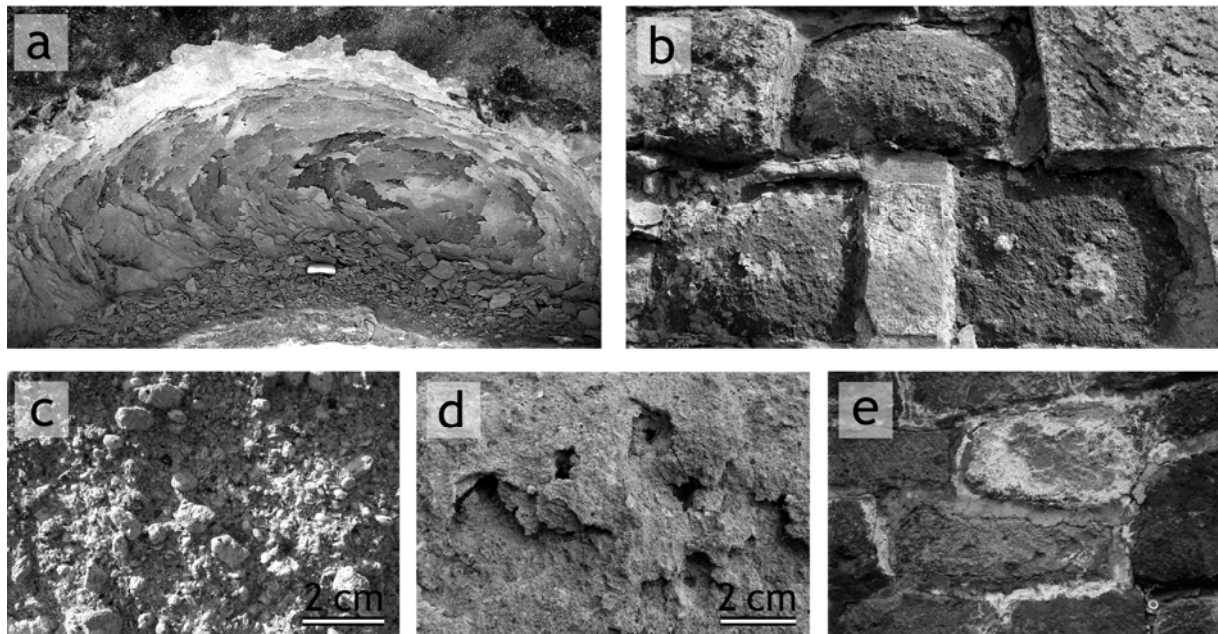
## 2 MÁLLÁSI FORMÁK

A mállás a kőzeteknek a külső földövekkel (légkör, vízburok, bioszféra) való érintkezési felületén létrejövő elváltozása. Az építőkövek mállása függ a kőzet tulajdonságaitól, így a kőzetfajta lelőhelyétől, a bánya kitermelési rétegétől, a tagoltságtól és a kőzettani jellemzőktől. A külső tényezők, úgymint földrajzi fekvés, tengerszint feletti magasság, éghajlat, évszak, építmény fekvése, esetleges légszennyezés vagy sóterhelés mellett a kőzetfelület kialakítása (vastagság, kiválasztott faragási irány, érdeség) és a beépítés módja (a kitettség, a hőmérséklet ingadozása, a kőzetben tárolódó víztartalom mennyisége és annak ingadozása) is meghatározza a mállás mértékét (Láczy 1944).

A mállási formákat a Fitzner-féle német rendszert (Fitzner et al. 1996, Fitzner & Heinrichs 2002) használva, eredetük és megjelenési formáik alapján osztályozhatjuk. A rendszer szerint négy fő csoportot különböztetünk meg: a felületi kőzetanyag elvesztésével járó kőzetpusztulás (pl. hátrálás, relief, letörés), a kőzetanyag oldásával járó mállási formák (pl. elszíneződés, sókiválás, kérgesedés, felületi lerakódás, biogén bevonat), a kőzet felületének fellazulási és leválási formái (pl. szelektív mállás, darabos leválás, pikkelyesedés, levelesedés, szemcsekipergés), továbbá a repedések és kőzet-deformációk (pl. elhajlás) csoportját.

Németországi és magyarországi tufák vizsgálata alapján Egloffstein és munkatársai (1996) szerint a legtipikusabb mállási módozatok a szemcsekipergés, a szelektív mállás, a pikkelyesedés és a levelesedés. Megemlítik, hogy a sók is roncsolják a tufák szövetszerkezetét, amiért a zeolittartalmú piroklasztitok esetében a zeolitok alkáli- és mészkáli ionjai is felelősek. A habichtswaldi bazalttufák jellemző mállási képei a szemcsekipergés, különböző repedések képződése, a pikkelyesedés, a levelesedés és a darabos leválás (Steindlberger 2002).

Hazánkban az egri vár területén felhasznált vulkáni tufákra legjellemzőbb mállási formák – a fent említettekhez hasonlóan – a differenciált mállás (1.c ábra), a szemcsekipergés (1.b ábra), a pikkelyesedés és a levelesedés (1.a ábra). A történeti falazatokon jellemző továbbá a kéregképződés különböző formáinak (1.d ábra), a sókiválásnak (1.e ábra) és a biogén bevonatoknak a megjelenése. A konzervált felületeken elszíneződés mutatkozhat. Az egri vár nagy horzsakőtartalmú tufái intenzívebb és így mélyebb mállást és változatosabb mállási jelenségeket mutatnak, mint a cementáltabb típusok (1.b ábra, Török et al. 2005).



**1. ábra.** Vulkanai tufák jellemző mállási formái:

- a, többszörös levelesedés (lenn egy szemüvegtok szolgál méretarányul, Zelve, Törökország)
- b, a kevésbé ellenálló tufatípus az eredeti felszínhez képest visszahátrál szemcsekipergés és levelesedés következtében, egyes kőzetblokkok sarkai pedig lekerekednek (egri vár)
- c, differenciált mállás: az ellenállóbb horzsakövek az alapanyag üvegével összenöve reliefszerűen ki-preparálódnak, míg a kristályos részek kiperegnek (egri vár)
- d, a kőzetfelszíntől elváló mállási kéreg (egri vár)
- e, sókicsapódás a kőzetfelszínen (pénzérme szolgál méretarányul, egri vár)

### 3 DUZZADÁSCSÖKKENTŐ ÉS KÖSZILÁRDÍTÓ SZEREK

Az agyagos kötőanyagú kőzetek jellegzetes problémája az agyagásványok nedvesség hatására fellépő duzzadása, és az ennek kapcsán jelentkező pikkelyesedés és leveledés (Hilbert 1999). Német kutatók a duzzadás mérséklésére bifunkcionális alkil-ammónium molekulákat tartalmazó anyagot fejlesztettek ki. Az ammónium-csoportok hidrolízis útján elfoglalják az agyagásványok cserélhető negatív kötőcentrumait. Molekulaláncokat képeznek a szemben lévő tetraéder-rétegek között, helyettesítik az alkáli- és mészkáli ionokat, és megakadályozzák a hidrátburkok kialakulását (Snethlage et al. 1996).

Duzzadáscsökkentőt alkalmaztak pl. a szikszói református templom riolittufa kőkapuján (S. Asztalos 2001) és a kínai agyaghadserg (Utz 2004) konzerválásánál.

Kovasavészter alapú szereket már több mint 30 éve sikerrel alkalmaznak kőszilárdításra (Boos 2004). Felhasználásuk elsősorban szilikátos alapanyagú kőzetekre (pl. homokövek, vulkanitok) javasolt. Nagyobb pórusméret, mállás során keletkezett mikro-repedések és mállási kéreg alatti fellazult zónák esetén a hatékonyságuk behatárolt (Hilbert 1999).

Kovasavészter-rendszert használtak többek között a padovai Loggia Cornaro (Fassina et al. 2004), a bécsi Stephansdom (Hilbert 1999), a berlini Brandenburgi kapu és Kaiser-Wilhelm emlékezés temploma (Weber 1993), a drezdai Zwinger és a kölni dóm konzerválásához (Von Plehwe-Leisen et al. 2004). A világörökségi Moai szobrok (Húsvét-szigetek) kovasavészteres kezelése hosszú távon is sikeresnek mondható (Lazzarini et al. 1996).

A rugalmas kovasavésztert német kutatók együttműködése során fejlesztették ki, és 1995-től kezdve használják (Boos et al. 1996, Grobe et al. 2001, Wendler 2001). A rugalmas kovasavészter kiválása során nagyobb géllapocskák keletkeznek, mint a hagyományos kovasavészterek esetében. Ezek a szerek jól alkalmazhatók nagyobb, 300  $\mu\text{m}$ -ig terjedő mikrorepedésekkel átjárt, fellazult zónák, tágabb porusterek és durvább szövetrészek áthidalására is (Boos 2004).

Rugalmas kovasavésztert alkalmaztak pl. a kínai agyaghadserg (Utz 2004) konzerválásánál. Pfeifferkorn és Siedel (2001) azt mutatták ki, hogy bár a drezdai kastélykápolna homokkővé a hagyományos kovasavészterek hatása nem volt elfogadható, a rugalmas kovasavészter megfelelően bizonyult.

Az akrilok főbb típusai az akrilsav, a metil-akrilát, az etil-akrilát, a meta-akrilsav, a metil-metakrilát és a butil-akrilát. Polimerizáció során poliakrilátok és polimeta-akrilátok keletkeznek belőlük (Luskin & Meyers 1964, Amoroso & Fassina 1993). A legismertebb és kémiai legstabilabb akrilgyanta a polimetil-metaakrilát (PMMA, plexiüveg). Oldószeres rendszerként 5-15 százalékos hígítással alkalmazzák. Az akrilát szilárdító hatását az oldószer elpárolgása után fejt ki, filmet képezve a kezelt felületen (Snethlage 1984). Elsősorban mészbázisú kőzetekre (mészke és márvány) ajánlják, kisebb hiányhelyek vagy rések kitöltésére és lezárására.

Akrilgyantás kezelést alkalmaztak többek között a kölni tanácsháza portáljának szobrain (Möllenkamp 1996). Eredményes konzerválásra a lausanne-i katedrális példa (Furlan & Félix 2000), a világörökségi Angkor Vat (Kambodzsa) templomain viszont helyre kell hozni a szakszerűtlen kezelés által okozott károkat (Leisen & von Plehwe-Leisen 2005). Opreanu (2002) arról számol be, hogy Romániában újabban általánosan kerülik az akrilgyanta alkalmazását. Auras (2000) a mühlhauseni Marienkirche kapcsán megemlíti, hogy a kovasavészterek az akrilgyantáknál hatékonyabbnak mutatkoztak a mészkőön. Ettl és munkatársai (2006) viszont márvány próbafelületen sikeresebb szilárdítást értek el akrilgyantával, mint kovasavészterrel.

### 4 LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETEK

A tufa felhasználásával készült műemlékek és műtárgyak védelmének egyik módja a konzerválószer alkalmazása. Bányából származó, eltérő összetételű és időállóságú vulkáni tufákon, laboratóriumi körülmények között végzett kísérleteink fő célja annak meghatározása volt, hogy miként változnak a tufák közzetfizikai tulajdonságai a különböző kezelőszerek hatására. A hazai, miocén korú eger-demjéni és eger-tihaméri dácittufa mellett Németországból származó, negyedidőszaki, weiberni fonolittufa, Habichtswald területéről származó miocén bazaltlapilli és perm időszaki, rochlitz riolittufa mintákat vizsgáltunk (1. ábra). A kőzetmintákat előzetesen az agyagásványok higroszkópos duzzadását csökkentő szerrel kezeltük, majd három különböző kőszilárdító szert (hagyományos kovasavészter, rugalmas kovasavészter, polimetil metakrilát gyanta) alkalmaztunk.



2. ábra. A vizsgált tufák lelőhelyei.

Az alkalmazott konzerválószerkei technikai adatait az 1. táblázat, a vizsgálati módszerek, szabványok és műszerek felsorolását, a felhasznált minták, illetve próbatetek számát és méretét, valamint a tufák közettani irányítottságához igazodó merőleges koordináta-rendszer szerint vizsgált irányait (x: foliáció iránya, y: lineáció iránya, z: az előzőekre merőleges irány) a 2. táblázat foglalja össze. A konzerválószerkei hatásmechanizmusát és a vizsgálati módszerek leírását Forgó (2008) részletezi.

1. táblázat. A felhasznált konzerválószerkei technikai adatai.

Kezelőszer	Duzzadáscsökkentő	Kőszilárdító	Kőszilárdító	Kőszilárdító
Jelölés	AH	Hagyományos kovasavészter KSE I	Rugalmas kovasavészter KSE II	Akrilgyanta PMMA
Hatóanyag	0,2 mol/l tenzid (butildiammóniumklorid)	75 m% orto-kovasavészter	~ 40 m% orto-kovasavészter	25 % polimetilmetaakrilát
Oldószer	víz	25 m% etanol	~ 60 m% etanol	75 % xilol
Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ]	1 (20 °C)	0,94	0,92 (20 °C)	0,95 (20 °C)
Szín	színtelen	színtelen vagy enyhén sárgás természetes	színtelen vagy enyhén sárgás természetes	enyhén sárgás
Katalizátor [pH]	6+1 / 8,3			n.a.
Molekulaméret	nem ismert	1,2–6 nm (átlagosan 3 nm)	1,2–6 nm	24 nm
Környezetre káros melléktermék	Nincs	Nincs	Nincs	n.a.
Száradási idő	2 hét	2-3 hét	3 hét	n.a.
Megjegyzések	duzzadáscsökkentő	egykomponensű nem hidrofób	egykomponensű nem hidrofób-rugalmas ~ 30 % gélikiválási arány	Kétkomponensű hatóanyag: ~ 5 %

**2. táblázat.** Az alkalmazott vizsgálatok áttekintése.

Vizsgálat	Műszer / Szabvány / Módszer	Minták / Pró- batestek szá- ma	Próbatestek mé- rete [mm]	Vizsgált irányok
Makroszkópos leírás	Szemrevételezés	10	változó	
Polarizációs mikroszkópia	Leica DMRX	> 15	25 • 40 • 0,03	x, y, z
Pásztázó elektronmikroszkópia	Hitachi S 2300, LEO 1530	> 20	változó	
Röntgen-diffrakció	Phillips PW 1800	5	nem értelmezett	
Minőségi szintjelző	MSZ 18282-4:1988	450	Ø 40 • 20	x, y, z
Látszólagos porozitás	MSZ EN 1936:2000	150	Ø 40 • 20	x, y, z
Póruseloszlás	Carlo Erba 2000	> 20	~ Ø 10 • 15	
Testsűrűség	MSZ EN 1936:2000	20	65 • 65 • 65	
Párafelvétel	Feutron KPK 400	20	Ø 15 • 50	x
Kapilláris vízfelvétel	MSZ EN 13755:2002	20	65 • 65 • 65	x, z
Ultrahang terjedési sebesség	MSZ EN 14579:2005	450	Ø 40 • 20	x, y, z
Közvetett húzószilárdság	DIN 22024:1989	450	Ø 40 • 20	x, y, z

## 5 EREDMÉNYEK

### 5.1 Makroszkópos leírás

Az eger-demjéni bányából származó ártufa világosszürke színű. Horzsakövei világosszürke színűek, nyújtottak, maximum 2 cm hosszúak. Kőzetdarabot alig találni benne. Fekete biotitjainak mérete igen változatos. Az üveges alapanyagban található pórusai szabad szemmel is láthatók. Szövege enyhén irányított (3. táblázat, 3. ábra).

Az eger-tihaméri tufa világosszürke, néhol sárgás, mállásra hajlamos alapanyagú. A színe nedvesség hatására sötétedik. Szálas horzsakő lapillijeinek alakja és mérete változatos, színük többnyire fehér, elvértve sárga. Szövetében kis, fehér színű földpátok lelhetők fel. Biotitban dús. A biotitok mérete az apró, pontszerűtől 2 mm-ig változik. A tufa kvarctartalma is jelentős, jól fejlett, sajátalakú és félig sajátalakú szemcséi 2 mm-ig fordulnak elő. Pórusai jól láthatóak. A kőzetre nem jellemző az irányítottság, sem az osztályozottság. Olyannyira puha, hogy szabad kézzel is morzsolható (3. táblázat, 3. ábra).

A weiberni tufa mállásra hajlamos, sárgás krémszínű, finomszemcsés szövetű kőzet. Kicsiny horzsakövei többnyire sárgásak. Sötét kvarchomokkő és agyagpala xenolitok is előfordulnak benne. Piroklasztjai többnyire szürkék és barnák, alakjuk és méretük változatos (mm – cm nagyságrend). Gyakoriak benne a csillám fenokristályok, de előfordulnak földpátok is. Pórusai láthatóak, kőzettani irányítottság vagy osztályozottság szabad szemmel nem észlelhető (3. táblázat, 3. ábra).

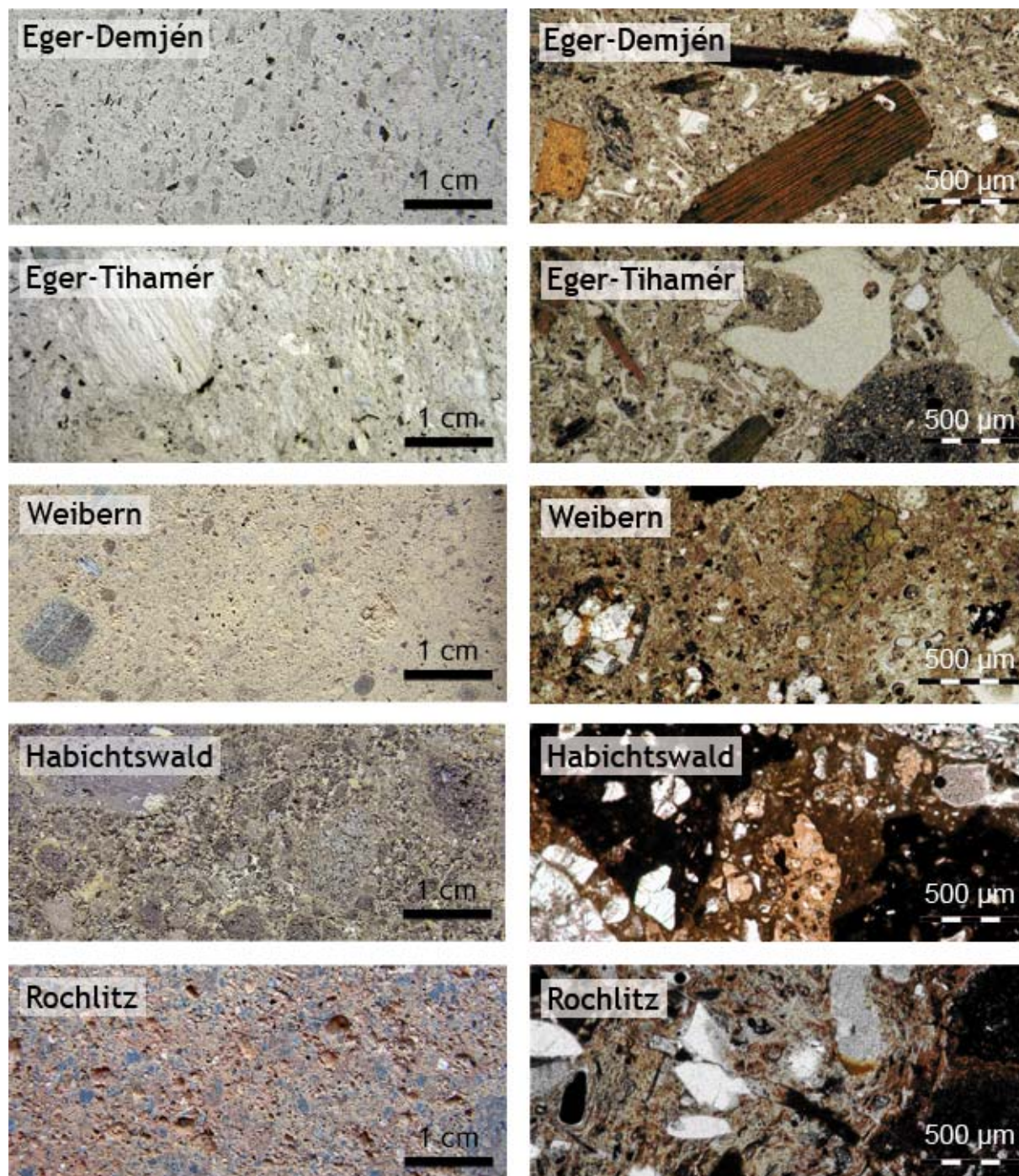
**3. táblázat.** A vizsgált magyar és német bányákból származó kőzetfajták makroszkópos jellemzése (Forgó et al. 2006 nyomán).

Típus	Jellemzők	Horzsakő	Litoklaszt	Biotit	Kvarc	Keletkezés
Eger-Demjén	Szürke – krémszínű, időálló tufa	12 %-ig 2 cm-ig	1 %	3 %, 3 mm-ig	1 %, 2 mm-ig	Elsődleges
Eger-Tihamér	Szürke – krémszínű, mállásra hajlamos tufa	20 % 6 cm-ig	2 %, barna, szürke	3 %, 3 mm-ig	2 %, 2 mm-ig	Elsődleges
Weibern	Világosbarna – krémszínű, mállásra hajlamos tufa	10 %, < 7 mm, több- nyire sárga	12 %, 2-15 mm, barna, szürke	3 %	homok- kőklasztok- okban	Elsődleges
Habichtswald	Sötétzöld – szürkésbarna, időálló tufa	7 %, 1,5 cm-ig, sárga	> 60 %, 4 cm-ig, sötét, zöld	–	–	Elsődleges
Rochlitz	Vörös, porfiros, időálló tufa	–	Riolit elő- fordulhat	<< 1 % elvértve	> 30 %, 3 mm-ig	Elsődleges

A habichtswaldi lapillitufa bazaltos összetételű, szürkés-zöldes színű, időálló kőzet. A vitrofios palagonitos vulkáni por alapanyagban sárga horzsakődarabok, és szürkésbarna piroklasztok húzódnak. A változatos megjelenésű piroklasztok és xenolitok akár 4 cm méretűek is lehetnek. Fenokristályok

formájában gyakoriak az olivincsomók és a piroxének. Különböző méretű pórusai szabad szemmel is érzékelhetőek, a kőzetben irányítottság nem tapasztalható (3. táblázat, 3. ábra).

A rochlitzzi kőzet a hús- és a téglaszíneihez hasonlatos, jellegzetesen vörös színű, főként kvarc- és piroxénből álló, porfiros szövetű ignimbrit. Az alapanyag vörös árnyalata mellett a földpátok enyhén vörös színe is hozzájárul a kőzet különös árnyalatához. A finomszemcsés alapanyagban irányított, üveges összetevők vehetők ki, melyek mérete 10 mm-ig terjed. A kőzet maximum 1,5 cm-es lapilliket tartalmaz. A kvarc fenokristályok akár 3 mm-esek is lehetnek. Opak ásványok elvétve észlelhetők. Pórusai szabad szemmel is láthatóak, a kőzetszövetre jellemző az enyhe irányítottság (3. táblázat, 3. ábra).



**3. ábra.** A vizsgált tufák makroszkópos és polarizációs mikroszkópos képe (áteső fényben).

### 5.2 Szöveti jellemzők

Az eger-demjéni ignimbrites összesült tufa kovásodott, üveges alapanyagában üvegszilánkok, apróbb plagioklászok, idiomorf és hipidiomorf kvarc és üde, méretes, némileg irányított biotitok láthatók. A felvételen a lineáció iránya vízszintes (3. ábra).

Az eger-tihaméri dácittufa alapanyaga üveges vulkáni hamu. A kvarc kristályok sajátalakúak vagy félig sajátalakúak. A kép felső részén található kvarc kristály szegélye rezorbeált. Az apró földpátok és biotitok mellett egy sötét színű, zárványos kőzetdarab is megfigyelhető. A felvételen nem állapítható meg irányítottság (3. ábra).

A weiberni tufa mikrokristályos mátrixát a röntgenelemzések alapján zeolitok cementálják (4. táblázat). A vékonycsiszolati felvételen kvarchomokkő xenolit és sötét, bazaltos piroklaszt látható. Xenomorf plagioklászok és fehér, idiomorf, kerekded, izometrikus leucit-kristályok is megfigyelhetők. A szintelen, prizmás és ikres nefelint intragranuláris repedések hálózzák át, szegélye rojtos. A mintában augit, biotit, alkáli piroxének és titanit is előfordulnak. A kőzet szövete enyhén irányított (3. ábra).

A habichtswaldi tufa finomszemű, bazaltos vulkáni üvege agyagásványosodott. Sötét színű, zárványos bazalt kőzetdarabjai olivineket tartalmaznak, valamint klinopiroxén kristálytöredékeket. A peridotit xenolitban az olivin dominál, de emellett piroxén és ércásvány is található benne. A kőzet szövetében xenomorf, zárványos plagioklász fedezhető még fel, valamint egirin, augit, biotit és hornblende is előfordul benne (3. ábra).

A rochlitz piroklasztit enyhén irányított, mikrokristályos, folyásos szövetében finoman eloszló vasoxidos, -hidroxidos komponensek (hematitos vagy limonitos) és hosszúkás kőzetüveg-szilánkok láthatók. Az ásványok gyakran törmelékesek. A kvarcsezemcsék többnyire idiomorfak és hipidiomorfak. A földpátok kaolinitos átalakulást mutatnak, a csillámok kifakultak, kilúgozódtak. A mikroszkópos megfigyelés alapján a kőzet összesült ártufa (3. ábra).

### 5.3 Ásványi összetétel

A vizsgált kőzetek röntgendiffrakció segítségével meghatározott ásványi összetételét a 4. táblázat foglalja össze. Mindegyik tufára jellemző az üveges alapanyag. Gyakori az agyagásványok jelenléte, valamint zeolitok is kimutathatók.

#### 4. táblázat. Ásványi összetétel a röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján.

Tufatípus	Fő komponensek: uralkodó (++) , gyakori (+)
Eger-Demjén	kőzetüveg (++) , albit-anortit (+) , szanidin (+) , kvarc , biotit
Eger-Tihamér	kőzetüveg (++) , albit-anortit (+) , kvarc (+) , biotit (+) , szmektit
Weibern	kőzetüveg (+) , szanidin (+) , albit , csillám , zeolit
Habichtswald	kőzetüveg (+) , olivin (+) , klinopiroxén (+) , szmektit
Rochlitz	kőzetüveg , kvarc (++) , kaolinit (+) , hematit

### 5.4 A kezelőszerek kiválása

A vizsgált kőzetek természetes állapotát és az egyes kezelőszerek kőzeten belüli kiválásának és megtapadásának módját pásztázó elektronmikroszkóppal lehetett legjobban jellemezni.

A 4.a ábra természetes állapotú, konzerválószerrel nem kezelt habichtswaldi tufamintát mutat. A képen gázfelszabadulás következtében kialakult pórusokat, szmektitos póruskitöltést zsugorodási repedésekkel és egy mikrorepedést láthatunk. A hagyományos kovasavészterrel kezelt rochlitz tufaminta részlegesen kitöltött pórusaiban jól láthatók a kovasavészter szilárdulás közben kialakult zsugorodási repedései (4.b ábra). A rugalmas kovasavészteres kezelés hatását mutatja be a weiberni tufa pásztázó elektronmikroszkópos képe (4.c ábra). A kezelőszere itt filmbevonatot és pórusokat összekötő kovasavgél hidakat képez. Mindemellert kevesebb zsugorodási repedést láthatunk, mint a hagyományos kovasavészternél (4.b ábra). Az akrilgyantás kezelésre példa az eger-demjéni tufa képe (4.d ábra), ahol az akrilgyanta apró, különálló darabokat képez a kőzet felületén.

### 5.5 Látszólagos porozitás és testsűrűség

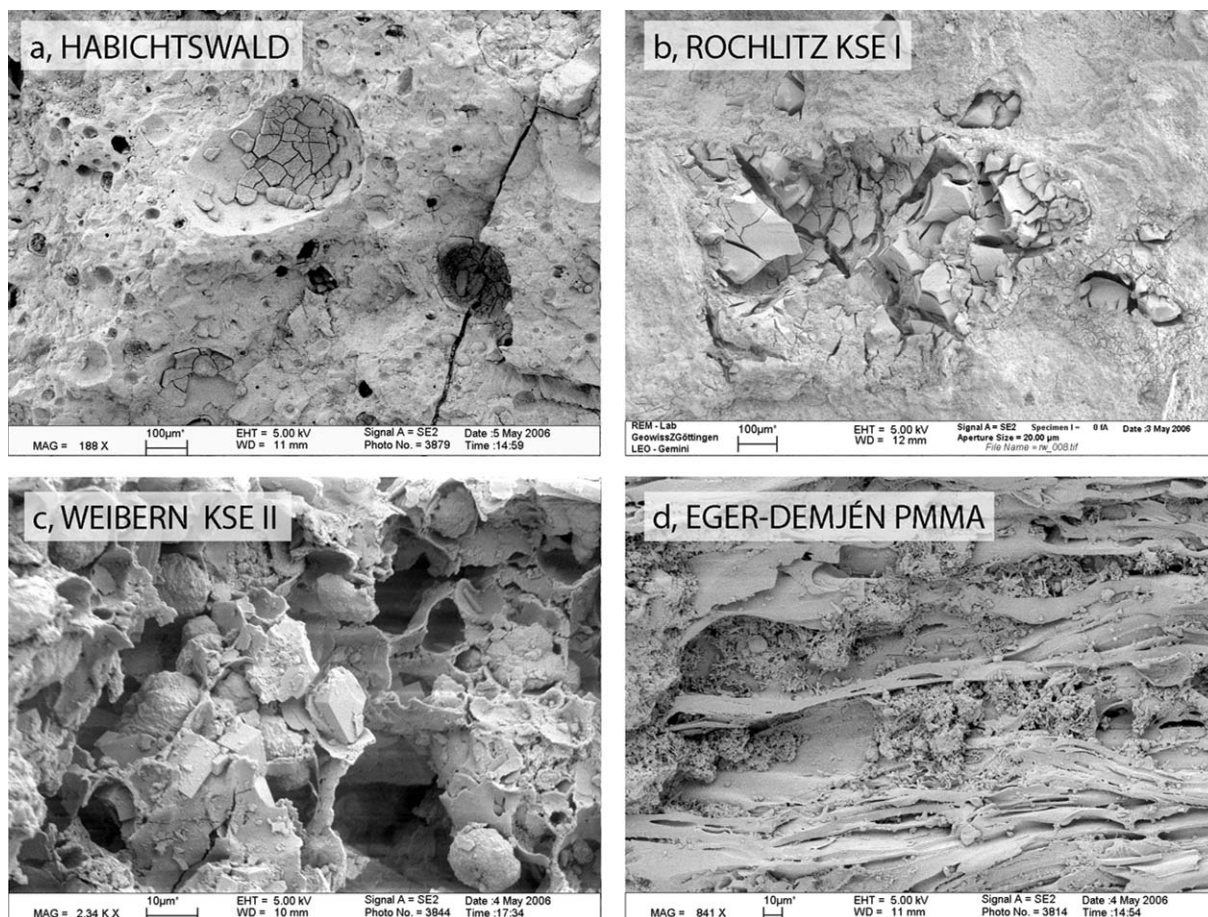
A vulkáni tufák látszólagos porozitása jelentős. A vizsgált piroklasztitok közül legkevésbé a habichtswaldi (22%), leginkább a weiberni tufa (43%) porózus. A magyarországi tufák látszólagos porozitása csaknem azonos (35% és 36%). A konzerválószerrel csökkentették a kezelt tufák látszólagos porozitását. A kezeletlen állapothoz viszonyítva a csökkenés mértéke – a kezelőszerek KSE I, KSE II és PMMA sorrendjében – a következő: az eger-demjéni tufánál 26%, 19% és 21%, az eger-tihaméri tufa-

nál 23%, 17% és 21%, a weiberni tufánál 27%, 16% és 14%, a habichtswaldi tufánál 26%, 11% és 10%, valamint a rochlitzi piroklasztitnál 26%, 18% és 12% (5. táblázat).

A kisebb látszólagos porozitású tufák nagyobb testsűrűségűek, és fordítva. Ennek megfelelően a habichtswaldi tufának a legnagyobb ( $2,2 \text{ g/cm}^3$ ), a weiberninek a legkisebb a sűrűsége ( $1,4 \text{ g/cm}^3$ ). Míg az eger-demjéni tufa látszólagos porozitása csupán 3 százalékkal kisebb az eger-tihamériénél (5. táblázat), a sűrűsége 8 százalékkal nagyobb (5. táblázat).

Vákuumos víztelített állapotban a kőzetek testsűrűsége jelentősen megnövekedett a légszáraz állapothoz viszonyítva. A kőszilárdító szeres kezelések különböző mértékű testsűrűség-változást, többnyire növekedést okoztak. A kezeletlen állapothoz viszonyított változások VT, KSE I, KSE II és PMMA sorrendben az eger-demjéni tufánál 19%, 6%, 1% és 0%, az eger-tihaméri tufánál 17%, 9%, 4% és 3%, a weiberni tufánál 29%, 12%, 8% és 8%, a habichtswaldi tufánál 7%, 2%, 1% és 2%, valamint a rochlitz piroklasztitnál 9%, 4%, 2% és 0% (5. táblázat).

A testsűrűség változása a konzerválás hatására a weiberni tufánál volt a legnagyobb, ezt követte az eger-tihaméri, az eger-demjéni és a rochlitz piroklasztit. A sort a habichtswaldi lapillikő zárta, ez utóbbi tufa testsűrűsége változott meg a legkevésbé a kezelést követően. A vízzel telített állapothoz viszonyítva a konzerválószerrel kezelt állapotban az eger-demjéni kőzet testsűrűség-változása volt a legnagyobb. Ennél kisebb változás volt tapasztalható a weiberni, az eger-tihamér, a rochlitz, és végül a habichtswaldi kőzet testsűrűségében.



**4. ábra.** Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek.

- a, Természetes állapotú habichtswaldi tufa: gázfelszabadulás következtében kialakult pórusok, szmektités póruskitöltés zsugorodási repedésekkel, mikrorepedés.
- b, Hagyományos kovasavészterrel kezelt rochlitz tufa: a részlegesen kitöltött pórusban jól láthatók a kovasavészter szilárdulás közben kialakult zsugorodási repedései.
- c, Rugalmas kovasavészterrel kezelt weiberni tufa: a kezelőszer filmbevonatot és pórusokat összekötő kovasavgél hidakat képez, miközben kevesebb zsugorodási repedés látható.
- d, Akrilgyantával kezelt eger-demjéni tufa: a kezelőszer apró különálló darabokban tapad meg a kőzet felületén.



### 5.6 Póruseloszlás

A higany-porozimetriás mérések tanúsága szerint a vizsgált tufák porozitása széles pórusugár-tartományt ölel fel. A különböző bányákból származó kőzetek közül csupán a habichtswaldi tufa volt mikroporozus, a többi kőzet esetében a kapilláris pórusok túlsúlya volt tapasztalható (5.e és 5.f ábrák).

Az 5.e ábra példaként az eger-demjéni dácittufa póruseloszlásának megváltozását mutatja be a konzerválás hatására. A mikropórusok széles pórusugár-tartományt ölelnek fel, és viszonylag egyenletes eloszlásúak. A póruseloszlás maximuma az 1  $\mu\text{m}$  körüli tartományba esik, azaz a kisméretű kapilláris pórusok a leggyakoribbak. A konzerválás hatását különbség-diagrammokon ábrázoltuk. A különböző konzerválószer hatása egymáshoz hasonló tendenciát mutat. Míg az 1  $\mu\text{m}$  körüli pórusugár-tartományban csökkenést, a 0,1 és 0,63  $\mu\text{m}$  közötti tartományban növekedést figyelhetünk meg. Mindez arra vezethető vissza, hogy a viszonylag nagy pórusok jelentős változáson mennek keresztül, másrészt a túlsúlyban lévő pórusok nagyobb szerepet játszanak. A 0,1  $\mu\text{m}$  mérettartomány alatti póruscsökkenés valószínűleg a kísérleti módszer folyamánya. A vákuum alatti telítés során ugyanis a konzerválószer a nagyon kisméretű pórusokba is bejutnak, amik így elzáródhatnak. Ezek a pórusok kapilláris úton nem lehetnének elérhetőek (Wendler et al. 1996).

### 5.7 Pára- és kapilláris vízfelvétel

A természetes kőzetek és a kezelt tufák párafelvételi vizsgálati eredményeit az 5. táblázat és az 5.g ábra mutatja. A kezeletlen eger-demjéni, eger-tihaméri és rochlitz minták párafelvétele 95% relatív páratartalomnál közel 1,5 tömegszázalékot tett ki. A weiberni és habichtswaldi tufák párafelvétele ennek mintegy 3,5-szerese volt.

A konzerválószer a habichtswaldi bazalttufa kivételével minden tufa esetében megnövelték a higroszkópos nedvességfelvétel mértékét. A habichtswaldi tufa párafelvétele a rugalmas kovasavészter (KSE II) nem változtatta meg, a hagyományos kovasavészter (KSE I) 20 százalékkal, az akrilgyanta (PMMA) 10 százalékkal csökkentette azt. A többi minta párafelvétele a KSE II-vel való kezelés után növekedett meg a legszámottevőbben, és a PMMA konzerválástól a legkevésbé. Az Eger környéki tufák sokkal érzékenyebben reagáltak a kezelőszerekre, mint a németországi piroklasztitok. Esetükben a kezeletlen tufák párafelvétele a kőkonzerválás elvégzése után megtöbbszöröződött, és a kezelőszerek hatása közötti szórás is itt volt a legjelentősebb. Az eger-tihaméri tufa párafelvétele a KSE II konzerválás miatt a kezeletlen állapotban mért érték 4,6-szeresére emelkedett! Az eredendően nagy párafelvétele weiberni és habichtswaldi tufáknál a PMMA módosító hatása alig különbözött a KSE II-étől (5. táblázat, 5.g ábra).

A kezeletlen tufák x és z irányú vízfelvételei tényezői igen hasonlóak egymáshoz (5. táblázat). Míg a weiberni tufa kapilláris vízfelvétele volt a leggyorsabb, a leglassabban a habichtswaldi tufa próbatest szívta magába a vizet. A tufák eltérő viselkedését jól jellemzi, hogy a weiberni tufa vízfelvételei tényezője (w-érték) a rochlitzinak mintegy ötszöröse, a habichtswaldiénak mintegy nyolcszorosa. Az eger-demjéni tufa w-értéke az eger-tihamériének mintegy 3/4-e lett, azaz a magyarországi tufák közül a kisebb szilárdságú eger-tihaméri tufa vízfelszívása volt gyorsabb (5. táblázat).

A kőkonzerváló szerek közül a legkisebb változást a rugalmas kovasavészter (KSE II) idézte elő a kapilláris vízfelvételekben. Hatására a habichtswaldi tufa vízfelvételei tényezője mintegy 4/5-ére, az eger-tihaméri tufáé mintegy 2/3-ára, a rochlitz kőzeté bő 1/2-ére, az eger-demjéni és weiberni tufáké kevesebb, mint 1/2-ére csökkent. A hagyományos kovasavészter (KSE I) hatására a habichtswaldi kőzet w-értéke bő 1/2-ére, az eger-tihaméri és rochlitz piroklasztitoké 1/2-ére, az eger-demjéni tufáé bő 1/3-ára, a weiberni tufáé mintegy 1/4-ére csökkent. Az akrilgyanta (PMMA) a rochlitz kőzet kivételével drámai mértékben lassította a kapilláris vízfelvételt (5. táblázat).

A konzerválószer a habichtswaldi tufa vízfelvételei tulajdonságait befolyásolták a legkevésbé. Ezt követik az eger-tihaméri, majd a rochlitz és az eger-demjéni piroklasztitok. A legnagyobb változások a gyors kapilláris vízfelvétele weiberni tufa viselkedésében következtek be (5. táblázat).

### 5.8 Közvetett húzószilárdság és közzetani irányítottság

A természetes (N), vákuumosan víztelített (VT) és közzilárdító szerekkel kezelt (KSE I: hagyományos kovasavészter, KSE II: rugalmas kovasavészter, PMMA: akrilgyanta) állapotokra vonatkozó közvetett húzószilárdsági kísérleti eredményeket az 5. táblázat mutatja be. Minden egyes adat a koordinátarendszer három irányában kialakított 6  $\times$  6 próbatest (azaz 18 minta) kísérleti eredményének átlagát reprezentálja.

Légszáraz állapotban az eger-tihaméri tufa szilárdsága volt a legcsekélyebb. A weiberni tufa szilárdsága 2-szerese, a rochlitzki piroklasztit 3-szorosa, a habichtswaldi tufáé 3,3-szorosa, az eger-demjéni tufáé pedig 4-szerese volt a legkisebb szilárdságú eger-tihaméri tufának. Vákuumosan vízzel telített állapotban a habichtswaldi és az eger-demjéni tufáknak csökkent a legkevésbé a szilárdságuk (11, illetve 16 százalékkal). Míg a weiberni tufa a szilárdsága 1/4-ét, a rochlitzki kőzet több mint 1/3-át, az eger-tihaméri tufa pedig több mint 1/2-ét elveszítette (5. táblázat).

Az eger-demjéni tufa fajlagos szilárdságnövekedése volt a legkisebb a kőkonzerváló szerek hatására. Míg a KSE I bő 1/4-ével és a KSE II bő 1/6-ával növelte azt meg, a PMMA hatástalannak bizonyult. A habichtswaldi lapillikő szilárdságnövekedése nagyobb volt. A KSE I bő 1/3-ával, a KSE II 1/4-ével, a PMMA pedig szűk 1/5-ével nőtt meg. A weiberni tufa szilárdsága a KSE I hatására szűk 2/3-ával, a KSE II hatására 1/3-ával, a PMMA hatására 1/4-ével nőtt. A rochlitzki kőzet szilárdsága a KSE I-től másfélszeresére, a KSE II-től 4/3-ára, a PMMA-tól 7/5-ére nőtt. A kőszilárdító szerek az eger-tihaméri tufa szilárdságát növelték meg a legjelentősebb mértékben. A kovasavészterek itt 90% körüli szilárdságnövekedést eredményeztek, míg az akrilgyanta közel 50 százalékosat (5. táblázat).

Az elvégzett közvetett húzószilárdsági kísérletek a kőzet irányítottságát figyelembe vevő merőleges koordináta-rendszer három irányában mért szilárdságokat (x: foliáció iránya, y: lineáció iránya, z: az előzőekre merőleges irány) külön-külön elemezve is eltéréseket találhatunk. Az eredményeket az 5. táblázat arányszámokkal szemlélteti (az "x" irányú szilárdságot tekintve 100 százaléknak).

Az eger-demjéni tufa kőzettani irányítottsága a természetes és a kovasav-észterekkel kezelt állapotokban is szembeötlő. Míg az "x" irányú szilárdságnak a "z" irányú 68–75 százalékat tette ki, az "y" irányú szilárdság rendszerint a két érték közé esett. Az akrilgyanta hatására a húzószilárdsági értékek az "x" irányú húzószilárdsághoz viszonyítva mintegy 10 százalékkal maradtak el az "y" és "z" irányokban. A PMMA szilárdító hatása azonban alapvetően elhanyagolható (5. táblázat).

Az eger-tihaméri tufánál légszáraz és vákuumos víztelített állapotban az "y" irányú szilárdság volt a legkisebb, de a "z" irányú szilárdság is elmaradt az "x" irányútól. A konzerválószerek hatására az "y" és "z" irányú szilárdságok kiegyenlítődtek, és a KSE I hatására mintegy 20 százalékkal, a KSE II és PMMA kezelés hatására pedig 10 százalékkal maradtak el az "x" irányútól (5. táblázat).

A weiberni tufa "x" és "y" irányú közvetett húzószilárdságai egymáshoz hasonlóak voltak légszáraz és vákuumosan víztelített állapotban is. Számottevő eltérés csupán "z" irányban, légszáraz állapotban volt kimutatható (17%). A konzerválószerek hatása a kőzet irányítottsági tulajdonságaira egységes tendenciát mutatott. Kezelés után az "y" irányú húzószilárdsági értékek meghaladták az "x" irányú értékeket, míg a "z" irányú szilárdsági értékek kisebbek voltak az "x" irányúaknál (5. táblázat). Habár a kezelt mintákon így hasonló jellegű változások jelentkeztek, az intenzitásuk eltért. Leginkább a KSE I, legkevésbé a PMMA kezelés módosította a kőzettani irányítottsággal összefüggően a szilárdsági tulajdonságokat.

A habichtswaldi tufa közvetett húzószilárdsága az "x" irányban volt a legnagyobb, amitől az "y" és "z" irányú szilárdsági értékek kisebbek voltak, és egymáshoz hasonlítottak. Légszáraz állapotban az "x" irányú húzószilárdság 3/4-ét, vízzel telítetten pedig 2/3-át tették ki. A kőszilárdítás hatására az "y" és "z" irányú húzószilárdságok az "x" irányú értékektől a KSE I hatására mintegy 10, a KSE II hatására 20, a PMMA hatására 30 százalékkal tértek el (5. táblázat).

A rochlitzki mintáknál a légszáraz és a vákuumos víztelített állapotok "z" irányban mért szilárdságai voltak a legkisebbek, amelyek az "x" irányból kialakított próbatestek szilárdságának közelítőleg 2/3-át tették ki. Az "y" irányú húzószilárdságok ugyan kisebb mértékben, de szintén elmaradtak az "x" irányúaktól (12% és 18%). Megfigyelhető, hogy a konzerválószerek hatására a rochlitzki kőzet irányítottsága mérséklődött. Kezelés utáni állapotban az "y" irányú húzószilárdsági értékek megközelítették az "x" irányú értékeket. Bár a "z" irányú húzószilárdság elmaradt az előző irányokban mért értékektől, a különbség itt is mérséklődött a kezeletlen állapotokhoz képest (5. táblázat). Míg légszáraz és víztelített állapotokban a "z" irányú húzószilárdság az "x" irányúnak csupán a 2/3-át tette ki, addig a KSE I hatására ez az arány közel 4/5-ére, a KSE II és a PMMA hatására pedig közel 3/4-ére változott.

### 5.9 Ultrahang-terjedési sebesség

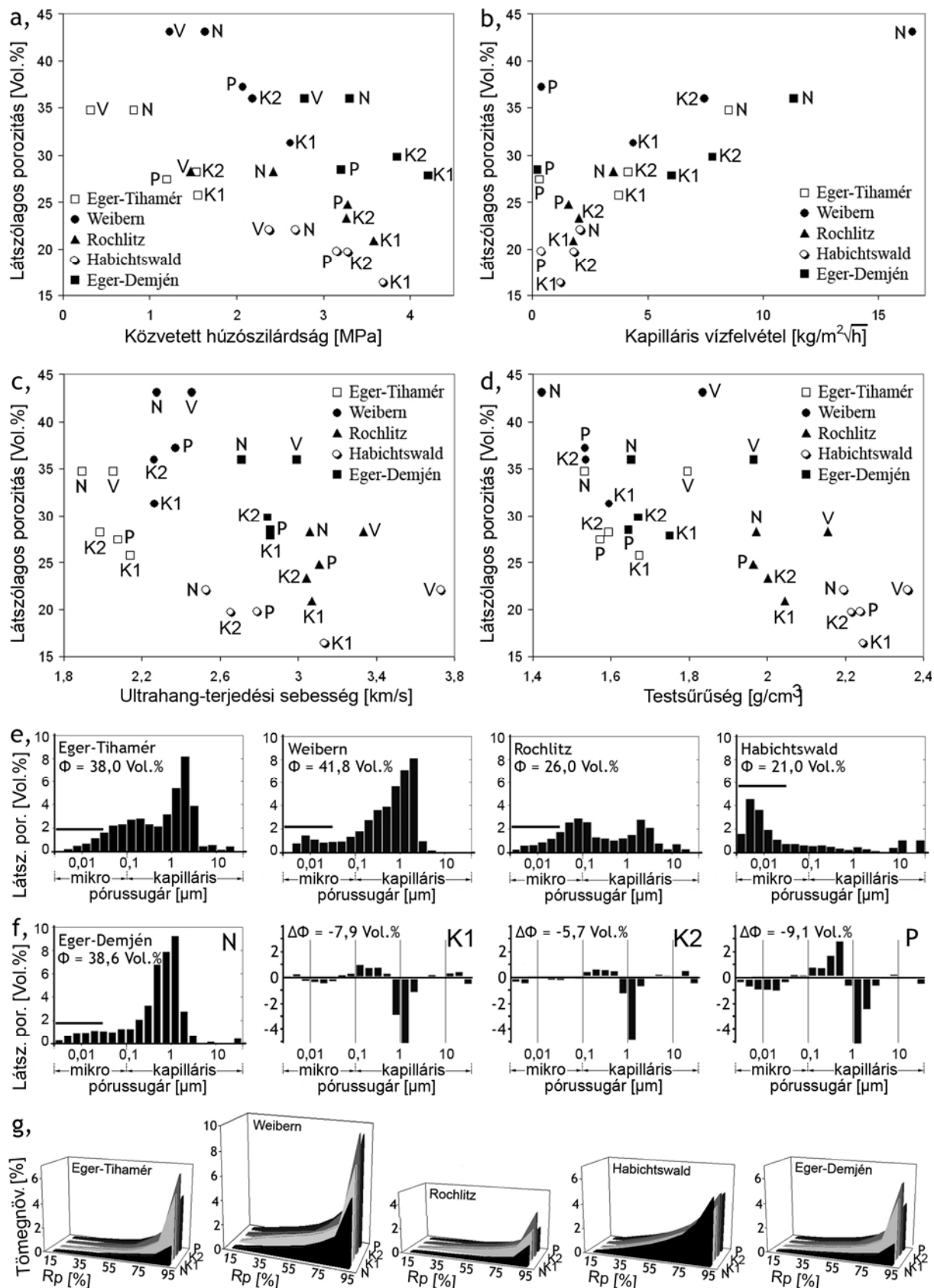
A vákuumos víztelítés hatására az ultrahang terjedési sebessége megnőtt a légszáraz állapothoz viszonyítva. A kőzetek kőszilárdító szerekkel való kezelése változó hatással volt az ultrahang terjedési sebességére. A bekövetkezett változások a VT, KSE I, KSE II és PMMA állapotok sorrendjében a következők voltak: az eger-demjéni tufánál 10%, 5%, 5% és 5%, az eger-tihaméri tufánál 8%, 13%, 5% és 10%, a weiberni tufánál 8%, 0%, -1% és 4%, a habichtswaldi tufánál 48%, 24%, 5% és 10%, valamint a rochlitzki piroklasztitnál 9%, 0%, -1% és 2% (5. táblázat).

A konzerválószeresek közül a rugalmas kovavészter (KSE II) okozta a legkisebb változást az ultrahang terjedési sebességében (-1–5%). Az akrilgyanta (PMMA) az ultrahang terjedési sebességének 2–10 százalékos növekedését idézte elő. A legnagyobb mértékű változás és a legnagyobb a szórás (0–24%) a hagyományos kovavészteres kezelés (KSE I) hatására jelentkezett (5. táblázat).

A vizsgált kőzetek többségénél az ultrahang terjedési sebessége vízzel telített állapotban átlagosan 8–10 százalékkal nőtt meg a légszáraz állapothoz képest. Kivételt képez a habichtswaldi lapillikő, amelynél közel 1,5-szeres értéknövekedést lehetett mérni. Míg a konzerválószeresek a rochlitz-i kőzet ultrahang terjedési sebességét gyakorlatilag nem változtatták meg, az eger-demjéni tufáét egységesen 5 százalékkal növelték. Noha a kovavészter kezelőszeresek hatása a weiberni tufa ultrahang terjedési sebességére szintén elhanyagolható volt, a PMMA okozott némi (4%) növekedést. Az eger-tihaméri és a habichtswaldi tufáknál a KSE II hatására 5 százalékkal, a PMMA hatására 10 százalékkal nőtt meg az ultrahang terjedési sebesség. Az utóbbi két kőzetnél a KSE I okozta a legnagyobb növekedést (13% és 24%) a konzerválószeresek közül. A legnagyobb szórás (5–48%) a habichtswaldi tufánál volt tapasztalható (5. táblázat).

**5. táblázat.** Látszólagos porozitás ( $\Phi$ ), testsűrűség ( $\rho_t$ ), párafelvétel 95 % relatív páratartalomnál ( $w_p$ ), kapilláris vízfelvételi tényező ( $w_k$ ), közvetett húzószilárdság ( $\sigma_h$ ), irányítottság (ir.) és ultrahang terjedési sebesség ( $v_{uh}$ ) nem konzervált (N: természetes/légszáraz, VT: vákuumos víztelített) és konzervált (KSE I: hagyományos kovavészter, KSE II: rugalmas kovavészter, PMMA: akrilgyanta) állapotokban (Forgó 2008, Stück et al. 2008).

	Eger-Tihamér		Weibern		Rochlitz		Habichtswald		Eger-Demjén	
$\Phi$ [Vol.%]	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
N	36,0	0,2	43,1	0,4	28,3	0,5	22,0	1,3	34,8	0,1
KSE I	27,9	0,7	31,3	0,9	20,9	0,9	16,4	0,4	25,7	0,0
KSE II	29,8	0,1	36,0	0,5	23,3	0,4	19,7	0,4	28,3	0,1
PMMA	28,5	0,6	37,3	0,2	24,8	0,2	19,8	0,9	27,4	0,3
$\rho_t$ [g/cm <sup>3</sup> ]	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
N	1,53		1,42		1,97		2,20		1,65	
VT	1,80		1,84		2,15		2,36		1,97	
KSE I	1,67		1,60		2,05		2,25		1,75	
KSE II	1,59		1,53		2,00		2,21		1,67	
PMMA	1,57		1,53		1,96		2,24		1,65	
$w_p$ [m%, %]	m%	%	m%	%	m%	%	m%	%	m%	%
N	1,4	100	5,3	100	1,5	100	5,2	100	1,6	100
KSE I	5,1	360	7,5	140	2,4	160	4,3	80	4,8	310
KSE II	6,5	460	9,5	180	3,5	230	5,0	100	5,8	370
PMMA	4,5	320	9,1	170	1,9	130	4,8	90	3,8	250
$w_k$ [kg/m <sup>2</sup> √h]	x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
N	11,34	11,09	16,45	16,28	3,51	3,21	2,10	1,87	8,54	8,85
KSE I	6,04	4,78	4,39	3,45	1,78	1,52	1,23	1,05	3,75	2,94
KSE II	7,81	7,44	7,46	7,00	2,04	1,78	1,82	1,50	4,18	3,11
PMMA	0,25	0,28	0,41	0,31	1,57	1,52	0,40	0,29	0,33	0,26
$\sigma_h$ [MPa]	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
N	0,81	0,14	1,64	0,22	2,42	0,28	2,68	0,91	3,30	0,57
VT	0,31	0,08	1,23	0,14	1,47	0,26	2,37	0,60	2,78	0,36
KSE I	1,56	0,34	2,62	0,41	3,58	0,61	3,68	0,96	4,21	0,72
KSE II	1,54	0,33	2,18	0,40	3,26	0,65	3,28	0,90	3,85	0,75
PMMA	1,20	0,14	2,08	0,19	3,28	0,90	3,15	0,66	3,21	0,51
ir. [%]	y	z	y	z	y	z	y	z	y	z
N	84	97	96	83	88	67	73	75	85	68
VT	70	92	100	96	82	68	64	68	90	75
KSE I	79	83	109	81	95	82	90	89	86	68
KSE II	90	87	107	93	102	77	80	86	88	74
PMMA	91	88	105	98	96	76	70	73	89	92
$v_{uh}$ [km/s]	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
N	1,90	0,06	2,28	0,02	3,06	0,02	2,53	0,12	2,71	0,06
VT	2,06	0,14	2,46	0,08	3,33	0,05	3,73	0,16	2,99	0,04
KSE I	2,14	0,06	2,27	0,07	3,07	0,06	3,14	0,19	2,86	0,06
KSE II	1,99	0,08	2,26	0,04	3,04	0,06	2,65	0,11	2,84	0,04
PMMA	2,08	0,09	2,37	0,05	3,11	0,10	2,79	0,17	2,86	0,07



**5. ábra.** Kőzetfizikai paraméterek természetes vagy légszáraz (N), víztelített (V) és konzervált állapotokban (K1: hagyományos kovasavészter, K2: rugalmas kovasavészter, P: akrilgyanta).

a, A látszólagos porozitás és a közvetett húzószilárdság kapcsolata.

b, A látszólagos porozitás és a kapilláris vízfelvétel kapcsolata.

c, A látszólagos porozitás és az ultrahang-terjedési sebesség kapcsolata.

d, A látszólagos porozitás és a testsűrűség kapcsolata.

e, Az eger-tihaméri és a vizsgált németországi tufák póruseloszlása.

f, Az eger-demjéni tufa eredeti póruseloszlása és a konzervált minták különbség-diagrammjai.

g, Tömegnövekedés párafelvétel következtében (Rp: relatív páratartalom).

## 6 KÖVETKEZTETÉSEK

### 6.1 *A látszólagos porozitás és a testsűrűség változása*

A weiberni tufa nagy látszólagos porozitása (43%), ezen belül a mikropórusok összesen a porozitás 7 százalékát adják. A közet kapilláris pórusainak nagy aránya indokolja a többi közetnél gyorsabb kapilláris vízfelszívó képességét. A kísérletek szerint a hagyományos kovasavészter 23–27 százalékkal csökkentette a tufák látszólagos porozitását. A rugalmas kovasavészter a habichtswaldi tufánál 11 százalékkal, a többi közetnél 16–19 százalékkal redukálta azt. Az akrilgyanta hatására a magyarországi tufák látszólagos porozitása jobban csökkent (21 százalékkal), mint a németországi tufáké (10–14 százalékkal). A kisebb porozitású tufák nagyobb sűrűségűek, ennek megfelelően a habichtswaldi tufának volt a legnagyobb a sűrűsége és a weiberninek a legkisebb. A sűrűség vízzel telített állapotban változott a leginkább. A konzerválószeretek közül a hagyományos kovasavészter befolyása bizonyult a legértelmezesebbnek, ezt követte a rugalmas kovasavészter, majd az akrilgyanta hatása.

### 6.2 *A póruseloszlás változása*

A kőszilárdító szerek a mikropórusok számának csökkenését és növekedését is okozhatják. Ha a póruseloszlást higanyporozimetriával határozzák meg, gyakran mindkét jelenséget azonosan magyarázzák. Ha a mikroporozitás csökken, azt az eltűnő pórusok totális elzáródásaként értelmezik. Ha a mikroporozitás növekszik, azt az eredetileg nagyobb pórusok részleges póruskitöltésével magyarázzák (Esbert & Díaz-Pache 1993).

A kezelőszerek hatására a mikropórusok tartományába eső pórusok mennyisége az eger-tihaméri és a weiberni tufák esetében megnőtt, ami összhangban van a párafelvétel emelkedésével. Habár a párafelvétel a kezelőszerek hatására az eger-demjéni és a rochlitzki közetek esetében is megnövekedett, a mikropórusok tartományában csupán csekély változás volt észlelhető, ami nem elégséges a fenti összefüggés alátámasztására. A mikropórusos habichtswaldi tufa esetén a mikropórusok mennyisége radikálisan csökkent, és a párafelvétel alig változott a kezelőszerek hatására.

A nagyobb kapilláris pórusok csökkentek, mivel a kezelőszerek részlegesen kitöltötték a pórustereket, és el is zártak pórusokat. Hilbert (1999) kovasavészterek hidrolízise folytán másodlagos porozitás keletkezését írta le. Ezek a mikron méretű másodlagos pórusok jól nyomon követhetők a higanyos porozimetria mérés eredményeiben.

### 6.3 *Pára- és kapilláris vízfelvétel*

A konzerválószeretekkel kezelt mikropórusos habichtswaldi tufa párafelvétele nem különbözött jelentősen a kezeletlenétől. A többi makropórusos tufa párafelvételét leginkább a rugalmas kovasavészter növelte meg, ezt követte a hagyományos kovasavészter, majd az akrilgyanta hatása. Az Eger környéki tufák reagáltak a legérzékenyebben a konzerválószeretekre. A rochlitzki közet párafelvételenek fajlagos változása jelentősebb volt a kezelőszerek hatására, mint a másik két németországi tufáé.

A KSE I és KSE II hatását egymással összevetve megállapítható, hogy jelentős eltérés csak a weiberni tufánál volt tapasztalható. Általánosságban kimondható, hogy a KSE I némileg nagyobb változást okozott a kapilláris vízfelvételben, mint a KSE II. Az eger-demjéni tufa kapilláris vízfelvétele a kovasavészterek jobban lassították, mint az eger-tihaméri tufáét. A PMMA a rochlitzki közet kivételével minden tufánál radikális vízfelvétel-csökkenést okozott. Ez alátámasztja azt az állítást, amely szerint az akrilgyanta hidrofób hatású (Roth 1997). Habár az akrilgyanta erőteljes vízháztartás-módosító hatása behatárolja a kültéri alkalmazhatóságát, zárt térben elhelyezett vulkáni tufa kisműtárgyakat már restauráltak sikeresen akrilgyanta felhasználásával (Osgyányi 2007).

A vizsgálati eredmények szerint a tufák foliáció irányában (x) mért vízfelvételi együtthatói rendszerint nagyobbak az arra merőleges irányban (z) mért értékeknél. Bár a konzerválószeretek lassították a vízfelvételt, sok esetben erősítették a közetszövet irányítottságának érvényesülését. Az irányítottság módosulása a közvetett húzószilárdsági vizsgálatoknál is nyomon követhető volt.

### 6.4 *Szilárdságváltozás*

Légszáraz állapotban az eger-tihaméri dácittufa szilárdsága volt a legkisebb. A weiberni tufa szilárdsága az előző kétszeresét, a rochlitzki közeté a háromszorosát, a habichtswaldi mintáé a 3,3-szorosát, az eger-demjéni közeté pedig a négyszeresét tette ki. Vízzel telített állapotban fajlagosan a legszilárdabb tufáknak csökkent a legkevésbé a szilárdságuk (Habichtswald 11%, Eger-Demjén 16%). A weiberni

tufa a szilárdsága egynegyedét, a rochlitzzi kőzet több mint egyharmadát, az eger-tihaméri dácittufa pedig több mint a felét elveszítette. Az eger-demjéni és eger-tihaméri minták ragyogó példái annak, mekkora különbségeket okozhat földrajzilag egymáshoz közel elhelyezkedő, hasonló eredetű és ásványi összetételű tufák szilárdságában az összesültség, illetve a cementáltság eltérő értéke.

A konzerválószerrek hatására arányaiban az eger-demjéni dácittufa szilárdságában következett be a legkisebb változás. Míg a KSE I közelítőleg egynegyedével és KSE II közelítőleg egyhatodával növelte a szilárdságát, a PMMA hatástalannak bizonyult. A habichtswaldi lapillitufa esetén a KSE I közelítőleg egyharmadával, a KSE II egynegyedével, a PMMA közelítőleg egyötödével növelte a szilárdsági értékeket. A weiberni tufa szilárdsága KSE I hatására közelítőleg kétharmadával, KSE II hatására egyharmadával, PMMA hatására egynegyedével nőtt meg. A rochlitzzi porfir szilárdsága a KSE I-től másfélszeresére, a KSE II-től négyharmadára, a PMMA-tól hététharmadára emelkedett. Az eger-tihaméri tufa szilárdságváltozása volt a legtekintélyesebb. Míg a kovasavészterek 90% körüli szilárdságnövekedést eredményeztek, az akrilgyanta másfélszeresére növelte a szilárdságot.

A szilárdságvizsgálat során tönkrement tufa próbatestek törésképeiből szemrevételezés útján is megállapítható volt, hogy az eger-demjéni kőzet szövete roncsolódott a legkevésbé légszáraz állapotban. A vízzel telített állapot kedvezett a kőzetanyag morzsolódásának, a tönkremenetel itt erőteljesebb volt az egyéb állapotok törésképeinél. A háromszög alakú kitérősek arra utaltak, hogy a vulkáni tufák kevésbé rideg volta miatt a közvetett húzószilárdsági kísérletek során a nyomási tönkremenetel is szerepet játszott.

### 6.5 Az irányítottság szerepe

A tufák anizotróp tulajdonságai eredhetnek a különböző minőségű vulkáni eredetű anyagok (alapanyag és litoklasztok) váltakozásából, a szemcsék irányítottságából, valamint az anyagváltakozás és a kristályok irányítottságának együttes hatásából. A lineáció oka lehet a szemcseirányítottság, az idiomorf-hipidiomorf ásványok irányítottsága és a különböző "kristálycsoportok" hosszanti elnyúlása (Strohmeier 2003).

A vizsgálatok alapján az eger-demjéni, a habichtswaldi és a rochlitzzi piroklasztitok anizotrópak, a szilárdsági értékek eltérése a különböző irányokban a 30 százalékot is elérte. Az eger-tihaméri és a weiberni kőzetek anizotrópiája enyhébb, a maximális eltérés a különböző irányok között maximum 20% volt.

A konzerválószerrek a legnagyobb szilárdságú kőzetek, az eger-demjéni és a habichtswaldi tufák esetében nem változtattak a foliáció és a lineáció viszonyán. A rochlitzzi tufában a pórusokba juttatott anyagok a foliációs jelleg dominanciáját eredményezték, és a szemcseirányítottság felerősödése a háttérbe szorította az idiomorf és hipidiomorf ásványok okozta lineációt. A weiberni kőzetnél az impregnálás hatására felerősödött az a tendencia, hogy a folyásos jelleget mutató kőzetszövetben a szemcsék a lineáció szerint is irányítottak voltak. A kezelőszerrek az eger-tihaméri tufa szemcséinek enyhe irányítottságát emelték ki a foliáció síkjában, és a lineáció elhanyagolhatóvá vált.

A vizsgált tufák kőzettani irányítottsága eltérő. Az eger-demjéni tufa kőzetszövete irányított, a foliáció és a lineáció is nyomon követhető. A rochlitzzi minta tulajdonságai légszáraz és vízzel telített állapotban is hasonlóak az előzőhöz. A konzerválószerrek viszont megváltoztatták a kőzet viselkedését, a foliáció síkjába eső értékek kiegyenlítődtek, és csupán a foliációra merőleges irányban volt mérhető számottevő eltérés. A kezelőszerrek ilyesfajta módosító hatása az eger-tihaméri kőzetnél is tapasztalható volt, de ekkor a lineáció iránya tért el a másik két irány egyenmű értékeitől. A habichtswaldi tufánál a foliációhoz kapcsolódó eltéréseket figyelhettünk meg. Bár az eger-tihaméri és weiberni tufák légszáraz állapotban csupán egy irányban mutattak jelentős szilárdságkülönbséget, vízzel telített állapotban az eger-tihaméri tufa szilárdsága a koordinátarendszer mindhárom irányában jelentősen eltért, a weiberni tufa esetén pedig a három irányban kiegyenlítetté vált. Míg a konzerválószerrek az eger-tihaméri tufa esetében egységesen a foliációt mutatták dominánssnak, a weiberni tufánál minden irányban eltérő értékeket kaptunk. Az utóbbi kőzetnél megjegyzendő, hogy bár az akrilgyanta esetében a tendencia megegyezett a kovasavészterek hatásával, a változás mértéke szinte elhanyagolható volt. Mindez feltételezhetően magyarázható azzal, hogy a kőzetbe juttatott kezelőszerrek molekulái részlegesen kitöltötték az irányított és eredetileg levegővel telt pórusokat a tufák összetett pórusrendszerében.

### 6.6 Az ultrahang terjedési sebességének változása

Az ultrahang terjedési sebességének növekedése a szemcsék kohéziójának erősödésére utal. Ezért logikus, hogy a szilárdítószerekkel kezelt minták ultrahang terjedési sebessége nőtt. Kracke és munka-

társai (2007) kovasavésztert és akrilgyantát vizsgáltak homokköveken. Azt találták, hogy az akrilgyanta jobban növelte az ultrahang terjedési sebesség értékét, mint a kovasavészter. Azt feltételezték, hogy ez az akrilgyanta (PMMA) esetén a pórustér részleges kitöltésére és a szer szemcséket összetapasztó hatására vezethető vissza. A vizsgált tufákon az ultrahang terjedési sebessége a kezelőszerek hatására jellemzően 10% alatt változott meg. Az ultrahang terjedési sebesség változásából önmagukban nem lehetett egyértelmű tendenciát megfigyelni. A testsűrűségi és közvetett húzószilárdsági értékekkel való együttes elemzés és következtetései a 6.7. fejezetben találhatóak.

### 6.7 A szilárdság, a sűrűség, a porozitás és az ultrahang terjedési sebességének kapcsolata

A természetes vagy légszáraz, a vákuumosan víztelített és a konzerválószerrel kezelt állapotok között lineáris kapcsolat állítható fel (Forgó 2008).

Minél kisebb egy kőzet porozitása, annál nagyobb a szilárdsága. A németországi vulkanitokat összevetve megfigyelhető, hogy a rochlitz-i és a habichtswaldi kőzetek kisebb mértékű porozitás-csökkenése is jelentős szilárdságnövekedést eredményez. Ezzel szemben a weiberni tufánál ugyanolyan mértékű szilárdságváltozás nagyobb porozitás-csökkenés mellett következik be (5.a ábra). A magyarországi tufák eltérően reagálnak a konzerválószerre. A legnagyobb változást a hagyományos kovasavészter okozza. Az akrilgyantával kezelt állapot kevésbé tér el a természetestől, mint a kovasavészterrel kezelt, ami összhangban van a szernek a kovasavészterekhez képest kisebb szilárdító képességével (5.a ábra).

Mint az általánosan ismert, a nagyobb szilárdság nagyobb ultrahang terjedési sebesség értékeket von maga után. A közvetett húzószilárdság a légszáraz állapothoz képest vízzel telített állapotban csökken, ugyanakkor az ultrahang terjedési sebessége nő. A magyarországi tufák ultrahang terjedési sebessége ingadozik a legkevésbé a szilárdság megváltozásával. A weiberni és a rochlitz-i piroklasztitok ultrahang terjedési sebessége szintén kevésbé érzékeny a szilárdító szerekre (5. táblázat).

Minél nagyobb a tufák látszólagos porozitása, a testsűrűségük annál kisebb. A tendencia minden tufánál hasonló. Csupán annyi jegyzendő meg, hogy a habichtswaldi és az eger-demjéni kőzetek értékeinek nagyobb a szórása, mint a többi tufáé. A legnagyobb változás a hagyományos kovasavészternek köszönhető, míg a másik két kezelőszert hasonló tartományba tolja el a megfelelő sűrűségi és porozitási értékeket. Ez utóbbi alól a nagy szórást mutató habichtswaldi bazalt lapillikő kivételt képez (5.d ábra).

Az az általános megállapítás, hogy minél kisebb sűrűségű egy kőzet, annál kisebb benne az ultrahang-terjedési sebessége, a vulkáni tufák vizsgálata során beigazolódott. A légszáraz állapot jár a legalacsonyabb, a vízzel telített állapot a legmagasabb sűrűségi és ultrahang terjedési sebesség-értékkel. A sűrűség változása az ultrahang terjedési sebességet a magyarországi tufák és a weiberni tufa esetében alig befolyásolja. A habichtswaldi tufa ultrahang terjedési sebességét erőteljesen érinti a sűrűség változása (5. táblázat).

A konzervált tufáknál a testsűrűség növekedésével együtt a közvetett húzószilárdság is növekszik. Vízzel telített állapotban a testsűrűség növekedése mellett a közvetett húzószilárdság csökkenése tapasztalható, hiszen a víz nem összenyomható és az erő hatása egyenletesen terjed. Az eger-demjéni tufára a KSE II kedvezőbb hatást fejt ki a többi kezelőszernél. A KSE I-hez képest ugyanakkora szilárdságnövekedési szint elérése kisebb sűrűségváltozás mellett következik be. A PMMA az eger-demjéni tufa szilárdságát nem növeli meg. Az eger-tihaméri kőzetet vizsgálva látható, hogy a KSE II csekélyebb sűrűségváltozás mellett majdnem azonos mértékű szilárdságnövekedést okoz, mint a KSE I. A PMMA hatása a sűrűség és a közvetett húzószilárdság viszonyára a KSE I-hez hasonlatos, viszont a változás mértéke jelentősen elmarad tőle. A weiberni tufára a konzerválószer megegyező hatást gyakorolnak. Míg a KSE II és a PMMA szilárdságnövelő hatása közelítőleg azonos, a KSE I-é jóval meghaladja azt. A habichtswaldi lapillikő mintáknál a KSE I a KSE II-höz hasonló sűrűség-növekedés mellett sokkal nagyobb szilárdságváltozást eredményez. A PMMA hatása a sűrűség- és szilárdságváltozás viszonyában némileg kedvezőbb a KSE II-énél. A rochlitz-i kőzetet vizsgálva a PMMA és a KSE II a sűrűség elhanyagolható mértékű változása mellett hasonló szilárdságnövekedést eredményez. A többi tufához hasonlóan a KSE I hatására következik be a legnagyobb sűrűség- és szilárdságváltozás (5. táblázat).

A habichtswaldi tufa szilárdsága, ultrahang terjedési sebessége és porozitása jóval nagyobb szórást mutat a többi vizsgált mintáénál (5. táblázat). A fent leírt összefüggések alapján a habichtswaldi bazalt lapillikőhöz és a weiberni fonolitufához hasonló kőzetek konzerválásakor mindkét kovasavészter változatai megvizsgálandók.

## 7 ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatok célja annak megválaszolása volt, hogy a különböző szövetű és ásványos összetételű tufák miképpen reagálnak a konzerválószerre, milyen fizikai változások mennek végbe a kezelések hatására, és végül melyek az adott tufára alkalmazható legmegfelelőbb kezelőszer.

Az alkalmazott kőszilárdító szerek hatására a vizsgált makroporozus tufák párafelvétele jelentősen megnövekszik, és kapilláris vízfelvétele nagymértékben lelassul. Míg a párafelvételt a rugalmas kovasavészter növeli a legnagyobb mértékben, addig a kapilláris vízfelvételi tulajdonságokat a hagyományos kovasavészter változtatja meg a leginkább. A víztaszító adalékok (szilán, sziloxán) nélküli kovasavésztereknél is számolnunk kell tehát a párafelvételi tulajdonságok megváltozásával. A vizsgált szerek közül az akrilgyanta hatása a legradikálisabb, ugyanis az elemzett tufák többségénél elhanyagolható mértékűvé csökkenti a kapilláris vízfelvételt.

A konzervált tufák közvetett húzószilárdságát, látszólagos porozitását és testsűrűségét a hagyományos kovasavészter változtatja meg a legnagyobb mértékben. A rugalmas kovasavészteres kezelés kisebb változást idéz elő, mint a hagyományos kovasavészter. Az akrilgyanta kevésbé változtatja meg mindkét kovasavészternél a vizsgált tufák fenti fizikai tulajdonságait.

A kőszilárdító szerek megváltoztathatják a vulkáni tufák közettani irányítottságával kapcsolatos tulajdonságait. A konzerválás hatására a kisebb szilárdságú közettípusoknál (eger-tihaméri, weiberni és rochlitzai tufák) anizotróp jellegű szilárdságnövekedést tapasztaltunk. Azaz, a közvetett húzószilárdsági paraméterek különböző mértékben nőttek meg a vizsgált irányokban a konzerválás hatására.

Az alkalmazott kőszilárdító szerek a vizsgált makroporozus tufák ultrahang-terjedési sebességét kis mértékben befolyásolják. Ezen tufáknál a vákuumos víztelítés és az alkalmazott kezelőszer okozta szilárdság- és sűrűségváltozás, valamint az ultrahang terjedési sebesség változása között lineáris kapcsolat mutatható ki (Forgó 2008).

A közetfizikai vizsgálatok alapján az eger-demjéni, eger-tihaméri és rochlitzai tufákhoz hasonló jellegű (savanyú piroklastikus, makroporozus) kőzetek konzerválására a rugalmas kovasavészter a legalkalmasabb. Az akrilgyanta kültéri alkalmazása vulkáni tufákra nem célszerű, mivel hajlamos filmréteget képezni a kőzetfelületen, és a kovasavészterekhez képest kisebb szilárdítóképessége mellett jelentősen megváltoztatja a kőzetek vízháztartását.

A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a vulkáni tufák konzerválására a kovasavészter különböző változatainak használata célszerűbb az akrilgyantáénál. A kövődő anyagok gyakorlati alkalmazása esetén nagy hangsúlyt kell fektetni arra, hogy előzetes laboratóriumi vizsgálatok és minta próbafelületek segítségével, mindig az adott kőzetanyagra szabottan válasszuk ki a védelemre leginkább alkalmas szert.

Műemléki jellegű épületek, szobrok, műtárgyak állagmegóvásakor a kőkonzerváló szerek nem csak pozitív hatást okozhatnak, ezért gyakorlati alkalmazásuk mindig gondos elővizsgálatot (laboratóriumi kísérletek, helyszíni próbafelületek) igényel.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk a DAAD-MÖB német-magyar kutatási projekteken való részvétel lehetőségéért (ny.sz.: UH/2607, UH/30), Dr. Siegfried Siegesmund projekt társvezető és a Göttingeni Egyetem munkatársainak együttműködéséért, az OTKA támogatásáért (ny.sz.: K63399), a Demjéni Érseki Kőbánya vezetőségének, a Dobó István Vármúzeum igazgatóságának és a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéke munkatársainak.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Amoroso, G. G. & Fassina, V. 1993. Stone decay and conservation. Elsevier, Amsterdam, 1-453.
- Auras, M. 2000. Entwicklungen in der Steinkonservierung 1990-2000. In: 10 Jahre Institut für Steinkonservierung e.V. Festschrift. Institut für Steinkonservierung, Mainz, Nr. 10, 17-34.
- Baráz Cs. 1999. Kaptárkövek a Bükkalján: sziklaméhészettől a magyar ősvallásig. Geographica Sacra I., Főnix Könyvműhely, Debrecen, 1-123.
- Boos, M. 2004. Korn für Korn: Natursteinkonservierung und Steinfestiger. Der Maler und Lackierermeister, 3,14-18.



- Boos, M., Grobe, J., Hilbert, G. & Muller-Rochholz, J. 1996. Modified elastic silicic-acid ester applied on natural stone and tests of their efficiency. In: Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (Riederer, J.). Möller, Berlin, Vol.2, 1179-1185.
- Bozóki L. 2006. A fellegvár leírása és építéstörténete. In: (Buzás G.) A visegrádi fellegvár. Visegrád Régészeti Monográfiái 6, 7-25.
- Buzás G. 1990. Visegrád, királyi palota – a kápolna és az északkeleti palota. Lapidarium Hungaricum 2, Akaprint, Budapest, 1-342.
- De Casa, G., Giglio, G., Lombardi, G. & Marottini, M. 1994. Characterisation and state of decay of the volcanic tuff of the tabularium in the Roman Forum, Italy. In: Lavas and volcanic tuffs: Proceedings of the international meeting. Easter Island, Chile, 25-31.10.1990 (Charola, A. E., Koestler, R. J., Lombardi, G.). Roma, 107-127.
- Egloffstein, P. 1998. Vulkanische Tuffsteine als Werksteine an historischen Bauwerken in Ungarn und Deutschland. Sven von Loga, Köln, 1-154.
- Egloffstein, P., Kertész, P. & Althaus, E. 1996. Vulkanische Tuffe als Werksteine: Zerfallprozesse und Konservierungsmöglichkeiten. In: Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Jahrbuch 1996. Ernst & Sohn, Berlin, 183-190.
- Esbert, R.M. & Díaz-Pache, F. 1993. Influence of petrographical characteristics in the penetration of consolidants in porous building stones. Mater construcc, 43, 25-36.
- Ettl, H., Pfanner, M. & Clauß, H. 2006. Das Kindergrabmal La Roche in Basel: Konservierung und Restaurierung von Carrara-Marmor. Restauro, 112/3, 174-181.
- Fassina, V., Pezzeta, E., Cherido, M., Naccari, A. & Melica, D. 2004. A survey on the behaviour of restoration materials of the Loggia Cornaro in Padova, after fifteen years. In: 10th International Congress on Deterioration and Conservation of stone, Stockholm (Kwiatkowski, D. & Löfven-dahl, R.)
- Fitzner, B. & Heinrichs, K. 2002. Damage diagnosis on stone monuments – weathering forms, damage categories and damage indices. In: Understanding and managing stone decay, Proceedings of the International Conference Stone Weathering and Atmospheric Pollution Network, 2001 (Přikryl, R. & Viles, H.). Charles University Prague, The Karolinum Press, Prague, 11-56.
- Fitzner, B., Heinrichs, K. & Kownatzki, R. 1996. Weathering forms: classification and mapping. In: Snehlage R. (szerk.) Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung I. Ernst and Sohn, Berlin, 41-88.
- Forgó L. Z. 2008. Vulkáni tufák konzerválása. PhD értekezés, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, Budapest, 1-100.
- Forgó, L. Z., Stück, H., Maróthy, E., Siegesmund, S., Török, Á. & Ruedrich, J. 2006. Materialverhalten von natürlichen und modellhaft konsolidierten Tuffen. In: Denkmalgestein Tuff – Beiträge zur ARKUS-Tagung in Koblenz. Institut für Steinkonservierung, Mainz, Nr. 22, 65-75.
- Furlan, V. & Félix, C. 2000. La pierre du portail peint de la cathédrale de Lausanne: nature, état de conservation et consolidation. In: 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venice (Fassina, V.). Elsevier, Amsterdam, 633-640.
- Gálos M. 2005. Az egri minaret felújításával kapcsolatos kódiagnosztikai vizsgálatok. Kő 7/1, 23-27.
- Grobe, J., Boos, M., Wolke, A. & Zeine, Ch. 2001. Schutz von Steinoberflächen durch Applikation elastischer Kieselsäure-Ester – Bilanz eines DBU-Projekts. Natursteinkonservierung – Grundlagen, Entwicklungen und Anwendungen. WTA Schriftenreihe, Aedifikatio, Freiburg, Nr. 23, 9-32.
- Halász Á. & Mordovin M. 2002. A visegrádi ferences kolostor építéstörténetéhez. Communicationes archaeologicae Hungariae, 231-250.
- Hilbert, G. 1999. Natursteinkonservierung: Mittel und Durchführung. Naturstein, 2, 44-49.
- Kertész P. 1990. A visegrádi palota töredékeinek közettani vizsgálata. In: Buzás G. (szerk.) Visegrád, királyi palota – a kápolna és az északkeleti palota. Lapidarium Hungaricum 2. Akaprint, Budapest, 67-76.
- Kertész P. 1987. A kölni dóm építőkövei – mállási jelenségek és okok. Építőanyag, 39/8, 244-253.
- Kleb B. 1978. Eger múltja a jelenben. A város alatti üregek településtörténeti és építésföldtani vizsgálata. Köz-Dok, Budapest, 1-399.
- Kracke, T., Müller, C., Krinninger, S., Wedekind, W., Rüdlich, J. & Siegesmund, S. 2007. Buntsandsteine Göttingens: Verwendung, Verwitterung und Konsolidierung am Beispiel des Bartholomäus-Friedhofs. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 158/4, 957-984.
- Lazzarini, L., Lombardi, G., Marconi, F. & Meucci, C. 1996. New data on the characterisation and conservation of the Easter Island's pyroclastics used for the Moais. In: Proceedings of the 8th

- International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (Riederer, J.). Möller, Berlin, Vol.2, 1147-1157.
- Láczay O. 1944. A természetes építőkövek elmállása és a mállás elleni védelem. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1-72.
- Leisen, H. & von Plehwe-Leisen, E. 2005. Der Tempel von Angkor Wat in Kambodscha – Erfahrungen mit Steinersatzmassen im Kieselsäureester-Modulsystem. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 156/1, 231-238.
- Luskin, L.S. & Meyers, R.J. 1964. Acrylic ester polymers. In: Encyclopedia of Polymer Science and Technology (Herman, M.F. & Bikales, N.). New York, Interscience, Vol. 1, 246-328.
- Möllenkamp, E. 1996. Möglichkeiten der Tuffsteinkonservierung: Die Portalfiguren des Kölner Rathauses. Kölner Beiträge zur Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut 4, Siegl, München, 1-74.
- Opreanu, M. 2002. New Materials for Safeguarding Cultural Heritage. In: New materials and technologies for conservation and safeguarding of cultural heritage. ARIADNE 10. Workshop, 22-28.04.2002. ARCHIP Advanced Research Centre for Cultural Heritage Interdisciplinary Projects, Prague, 1-7.
- Osgyányi V. 2007. Személyes közlés.
- Pfefferkorn, S. & Siedel, H. 2001. Zur Festigung von Cottaer Elbsandstein mit Kieselsäureester am Schloßkapellenportal in Dresden. Natursteinkonservierung – Grundlagen, Entwicklungen und Anwendungen. WTA-Schriftenreihe, Aedificatio, Freiburg.
- Roth, M. 1997. Kőkonzerválás és a kővédőszerekkel szemben támasztott követelmények. Építőanyag, 49/1, 16-20.
- S. Asztalos É. 2001. A kőkonzerválás bővülő lehetőségei. Kő 5/1,13-15.
- Snethlage, R. 1984. Steinkonservierung. Bayerische Landesamt für Denkmalpflege, München, Arbeitshefte 22, 1-203.
- Snethlage, R., Wendler, E. & Klemm, D. D. 1996. Tenside im Gesteinsschutz: bisherige Resultate mit einem neuen Konzept zum Schutz von Denkmälern aus Naturstein. Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung I. Ernst & Sohn, Berlin, 127-146.
- Steindlberger, E. 2002. Untersuchungen zum physiko-chemischen Verwitterungsverhalten hessischer Tuffsteine. Frankfurter geowissenschaftliche Arbeiten, Frankfurt am Main, Band 20, 1-67.
- Strohmeier, D. 2003. Gefügeabhängigkeit technischer Gesteinseigenschaften. PhD értekezés, Göttingeni Egyetem, Matematikai-Természettudományi Szak, 52.
- Stück, H., Forgó, L. Z., Ruedrich, J., Siegesmund, S. & Török, Á. 2008. The behaviour of consolidated volcanic tuffs: weathering mechanisms under simulated laboratory conditions. Environmental Geology, Special Issue, 1-15.
- Török, Á., Stück, H., Quetscher, A., Glätzer, P. & Siegesmund, S. 2007. Comparative study of weathering features of stones in Hungarian castles: morphological characteristics and changes in physical properties. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 158/4, 931-955.
- Török, Á., Vogt, T., Löbens, S., Forgó, L.Z., Siegesmund, S. & Weiss, T. 2005. Weathering forms of rhyolite tuff and changes in physical properties. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 156/1, 177-187.
- Utz, R. 2004. Stabilisierung von Lösslehmoberflächen in archäologischen Grabungen am Beispiel der Terrakottaarmee des Qin Shihuangdi. PhD értekezés, Ludwig-Maximilians-Universität München, 1-212.
- von Plehwe-Leisen, E., Scheuren, E., Schumacher, T. & Wolff, A. 2004. In: Steine für den Kölner Dom. Kölner Dom, Köln, 1-100.
- Weber, H. 1993. Qualität ist kein Zufallsprodukt – Die Gedächtniskirche zehn Jahre nach der Sanierung. Bausubstanz I, 1-8.
- Wendler, E. 2001. Elastifizierte Kieselsäureester als mineralische Bindemittel für unterschiedliche Konservierungsziele. Praktische erfahrungen mit dem KSE-Modulsystem. Natursteinkonservierung – Grundlagen, Entwicklungen und Anwendungen. WTA-Schriftenreihe, Aedificatio, Freiburg, Nr. 23, 55-78.
- Wendler, E., Charola, A.E. & Fitzner, B. 1996. Easter Island Tuff: Laboratory studies for its consolidation. In: Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (Riederer, J.), Berlin, Vol. 2, 1159-1170.