

TÖRÖKKORI HIDRAULIKUS VAKOLATOK ÉS HABARCSOK A BUDAPESTI CSÁSZÁR-FÜRDŐBŐL

PINTÉR FARKAS¹, G. LÁSZAY JUDIT², BAJNÓCZI BERNADETT³, TÓTH MÁRIA³,
JOHANNES WEBER⁴

¹Scientific Laboratory - Federal Bureau for Monument Protection, A-1030 Vienna, Arsenal Objekt 15, Tor 4, Austria, E-mail: farkas.pinter@bda.at

²Kulturális Örökségvédelmi Hivatal, 1014 Budapest, Táncsics M. u. 1.

³MTA Geokémiai Kutatóintézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

⁴Institute of Art and Technology - Conservation Sciences, University of Applied Arts Vienna, A-1010 Vienna, Salzgies 14/1, Austria

Abstract

During the recent restoration of the Ottoman part of the Császár Bath in Budapest, dated back to the 16th century, brick-lime plasters and mortars of different colours (white, pink, and red) were identified in the interior. Archaeometric study of brick-lime plasters and mortars aimed at determining their composition, hydraulic properties as well as to reveal the preparation technology. In the brick-lime mixtures, commonly used in the Ottoman times for several water-resistant building constructions (e.g. baths), brick fragments and brick dust play a role as pozzolanas (latent hydraulic aggregates) in the formation of the hydraulic character of mortars and plasters. Preliminary results indicate that the lime used for producing mortars and plasters also had hydraulic properties. The high Si content of the limy matrix, zoned "lime lumps" containing high amount of Si, silicate grains with Ca-rich diffusion rims and the card-house microstructure of the matrix suggest that the lime was produced by calcination of impure limestone (i.e. limestone with silicate impurities).

Kivonat

A budapesti Császár-fürdő 16. századi, törökkori részének utóbbi években történő felújítása során különböző színű (fehér, rózsaszín és vörös), téglalérményes vakolatok és habarcsok kerültek elő. Anyagtudományi szempontú archeometriai kutatásunk a vakolatok és habarcsok összetételének, hidraulikus tulajdonságainak és készítési technológiájának vizsgálatára irányult. Az Oszmán Birodalomban elterjedten használt, jellemzően nedves környezetekben (pl. fürdők, vízvezetékek) alkalmazott téglalérményes építőanyagokban a mészhhez kevert nagy mennyiségű téglalérmény és -por a vakolatok és habarcsok színezése mellett puzzolános (látens hidraulikus) adalékanyagként szerepet játszott a hidraulikus (víz hatására ill. víz alatt kötő) jelleg kialakításában. Emellett a fürdő habarcsainak és vakolatainak előállításához használt mész is rendelkezhetett bizonyos mértékű hidraulicitással. Az előzetes vizsgálatok alapján feltételezzük, hogy a magas Si-tartalmú meszes mátrix, a Si-tartalmú zónás relikv „mészcsomók”, a szilikátszemcsék hőhatásra kialakuló Ca-diffúziós szegélyei és a kötőanyag kárvavár-szerkezete nem tiszta mészkőből történt mészégetésre utalnak.

KEYWORDS: BRICK-LIME PLASTER, MORTAR, HYDRAULIC, OTTOMAN BATH

KULCSSZAVAK: TÉGLALÉRMÉNYES VAKOLAT, HABARCS, HIDRAULIKUS, TÖRÖK FÜRDŐ

Bevezetés

Víz hatására megkötő habarcsok és vakolatok előállítására két alapvető történelmi technológia ismeretes. Mindkét eljárás során hasonló, Ca-, Si-, Al- és Fe-komponensekből álló termékek keletkeznek, amelyek képesek a szerkezetükben vizet megkötöni.

A természetes vagy mesterséges, reaktív kovatartalmú anyagok, mint pl. vulkáni tufa, kerámialérmény - az ún. puzzolánok vagy más néven látens hidraulikus adalékanyagok -, oltott mészhöz adagolva víz jelenlétében hidrát-komponenseket hoznak létre. Az ilyen habarcsok

nemcsak vízállóak, de a normál mészhabarcsoknál jóval nagyobb fizikai és mechanikai igénybevételt is elviselnek. Már az ókori görögök, majd később a rómaiak is magas szintre fejlesztették ezt a technológiát, amely lehetővé tette számukra vízvezetékek, hidak és fürdők építését; az öntött elemek készítésénél a modern betontechnológiához hasonló eljárásokat is alkalmaztak. A tört és örölt téglákat, amelyet az ókori rómaiak *cocciopesto*-nak, Törökországban *horasannak* hívnak, a Bizánci Birodalomban számos helyen alkalmazták és a technológia, elsősorban fürdőépületek építésénél, az Oszmán Birodalomban is fennmaradt (Böke et al, 2006).



1. ábra A budapesti Császár-fürdő és törökkori téglárólleményes vakolatmaradványok a fürdőből.

A 18. század végén jelentős változás következett be a hidraulikus kötőanyagok előállításának területén. Az agyagos mészkövek (természetes hidraulikus mész, NHL) vagy márgák (természetes cementek) égetése során olyan Ca-szilikát és Ca-aluminát fázisok keletkeznek, amelyek vízzel reagálva megnövekedett mechanikai paraméterű és tartósságú habarcsok előállítására alkalmasak. A 19. század második felétől kezdődően e technológia fejlődése lehetővé tette a magas hőmérsékleten égetett portlandcementek gyártását. Agyagos mészkövek és márgák 800-900°C közötti égetésekor az agyagásványok és egyéb szilikátok a mésszel hidraulikus tulajdonságokkal rendelkező (víz hatására megkötő) Ca-aluminát és -szilikát fázisokat hoznak létre. A maximális égetési hőmérséklet a természetes hidraulikus meszek és természetes cementek esetében 1200°C. A modern portlandcementeket mészkő és agyag mesterséges keverékéből égetik a zsugorodási hőmérséklet felett (1400°C), a hidraulikus klinkerfázisok az olvadákfázis lehülése során keletkeznek (Weber et al, 2007).

Az oszmán hódoltság alatt a megszállók számos épülettel, többek között termál- és gőzfürdőkkel gazdagították a magyarországi építészetet. Az egyik legnagyobb török fürdő az 1574-75-ben Sokollu Mustafa által építtetett (Lászy & Papp, 2007), majd az azt követő évszázadokban többször is átépített-kibővített Császár-fürdő (**1a. ábra**), ahol 2007-ben kezdődött és jelenleg is folyik a fürdő modern igényeknek megfelelő átalakítása. Az ehhez a munkálatokhoz szorosan kapcsolódó régészeti-restaurátori kutatások elsődleges célja az eredeti beltéri színvilág feltárása és rekonstrukciója.

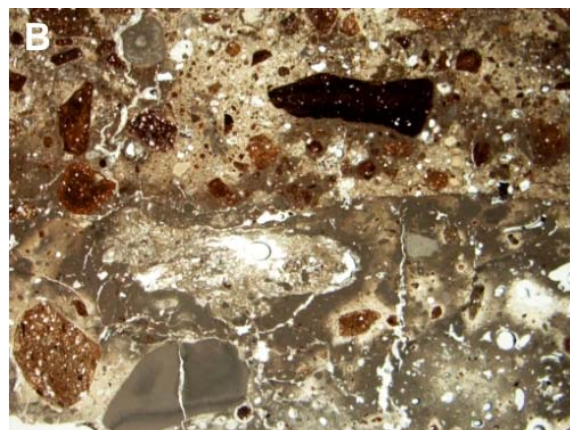
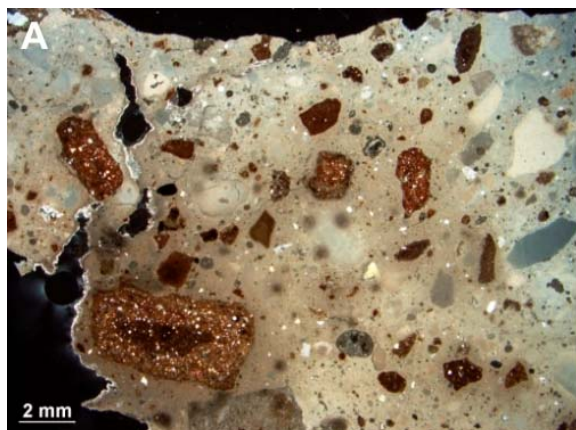
Az eredeti, 16. századi habarcsok és vakolatok archeometriai kutatása ezen interdiszciplináris együttműködés egyik fő részét képezi. A kutatások során különböző színű (fehér, rózsaszín és vörös) törökkori téglárólleményes vakolatok és habarcsok kerültek elő a későbbi kiegészítések, javítások alól (**1b. ábra**).

A habarcsok és vakolatok fizikai, ásványtani és mikroszerkezeti tulajdonságainak vizsgálata segítségével választ kaphatunk az alkalmazott anyagok hidraulikus tulajdonságaira vonatkozólag, amelyek elengedhetetlen információkkal szolgálnak a fürdőben történt felhasználásuk jobb megértéséhez ill. a helyreállítás során felhasználandó anyagok megválasztásánál. Ebben a rövid tanulmányban néhány előzetes eredményt mutatunk be a habarcsok és vakolatok tulajdonságairól. A vizsgálatok során elsődlegesen az ásvány-közetanban és geokémiában használatos klasszikus anyagvizsgálati módszereket alkalmaztuk: röntgen-pordiffrakciós fázisanalízis (Philips PW 1730 röntgen-pordiffraktométer, Cu K α sugárzás, 45 kV feszültség), szöveti vizsgálat polarizációs mikroszkóppal (Nikon SMZ 1500 és Olympus BX-40), valamint mikroszveti, -morfológiai és -kémiai elemzés pásztázó elektronmikroszkóppal (Philips XL30 ESEM, LINK EDX és Zeiss MA15 EVO, Oxford DryCool EDX).

Eredmények

Polarizációs mikroszkópia

A mikroszkópos vizsgálatok alapján mindhárom színű vakolat és habarcs kötőanyaga mikrokristályos Ca-karbonát („mikrit”), amely szokatlanul alacsony kettőtöréssel, felhős-diffúz szerkezetekkel és a tégláróllemények körül tömött zónákkal rendelkezik (**2. ábra**). Az aggregátumok (homok) aránya nagyon alacsony, csak kevés kvarc- és földpátszemcse azonosítható. A minták rózsaszín-vöröses árnyalatú színeiért a látens hidraulikus adalékanyag szerepét betöltő, max. 2 mm nagyságú téglapor és tégláróllemények a felelősek. A halványbarna-sötétvörös színű tégláróllemények zömében csillám- (muszkovit-biotit), kvarc- és földpátszemcséket, valamint a vörös színt okozó vasoxid-ásványokat tartalmaznak. Néhány nagyobb szemcsében sötétebb vagy világosabb reakciószegélyek is megfigyelhetők (**2. ábra**).



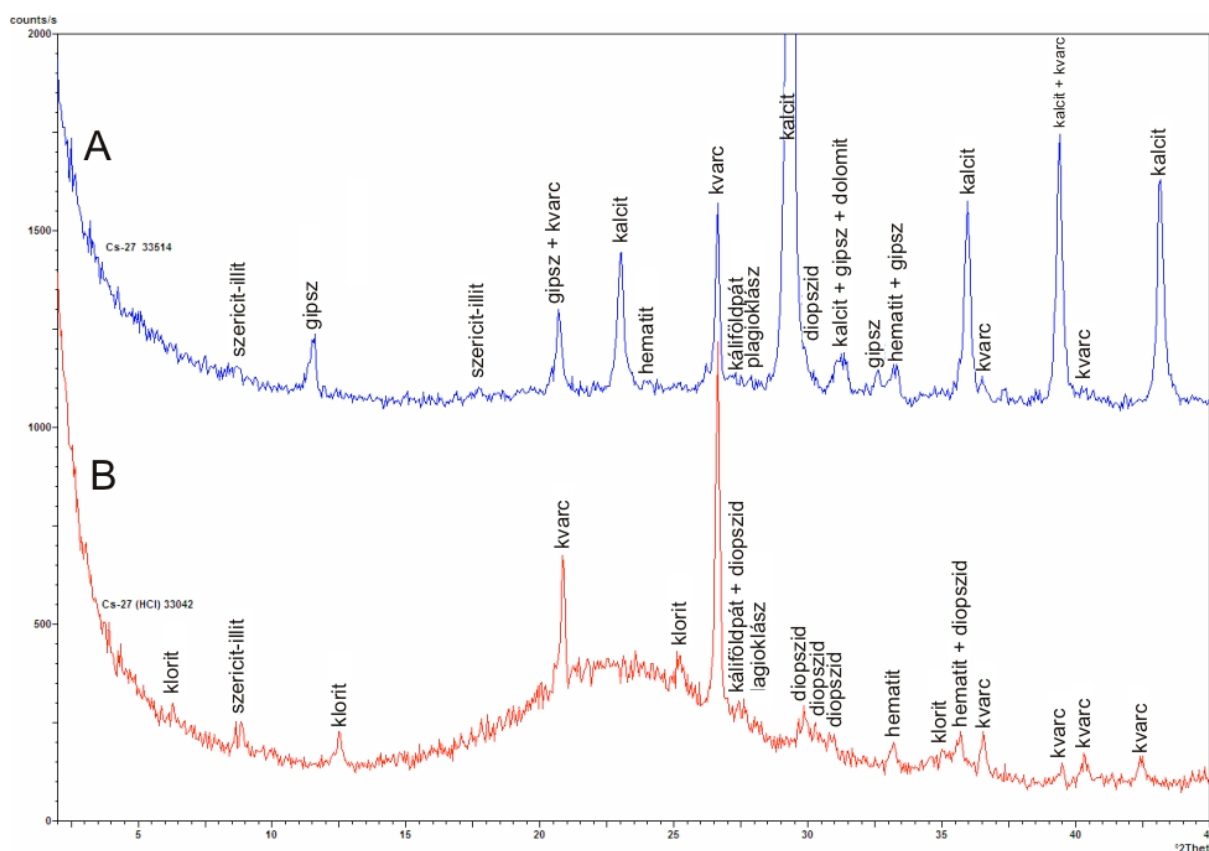
2. ábra Polarizációs mikroszkópi felvételek. **A.** fehér, vízvezeték-beágyazó habarcs (+N), **B.** rózsaszín (alul) és vörös (felül) téglalórleményes vakolatrétegek (1N, képszélesség: 8 mm).

Részenben zónás felépítést mutató, finomszemcsés és eredetét tekintve valószínűleg a kötőanyaghoz kapcsolódó, alacsony kettőtörésű ún. „mészcsomók” szintén megfigyelhetők az alapanyagban.

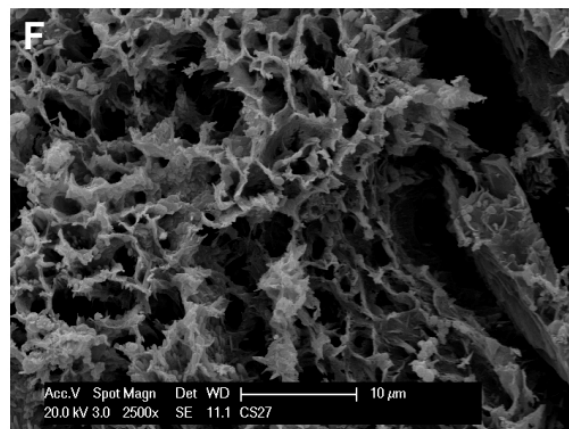
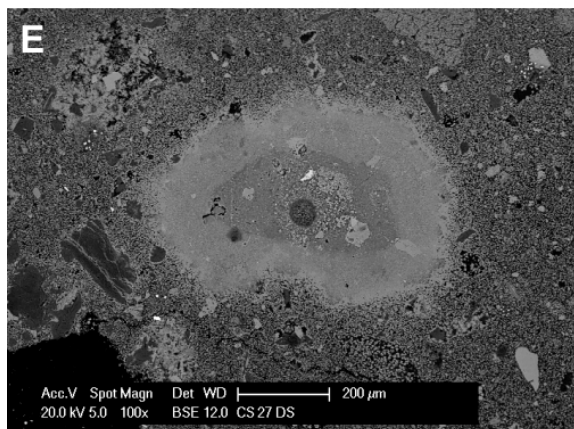
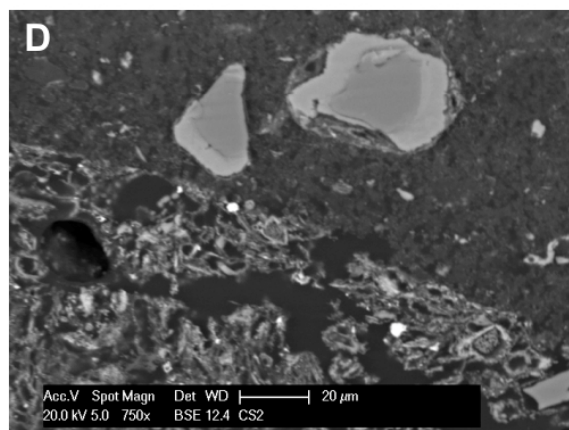
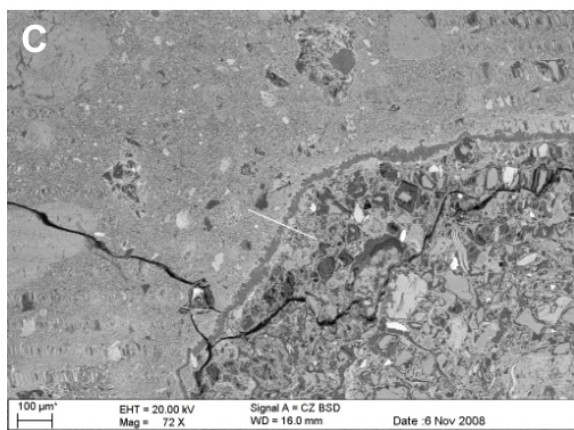
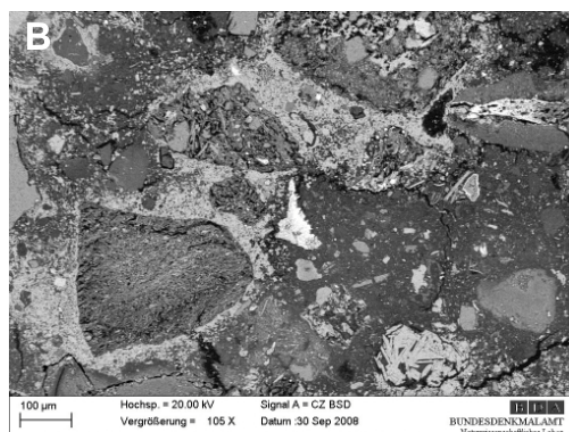
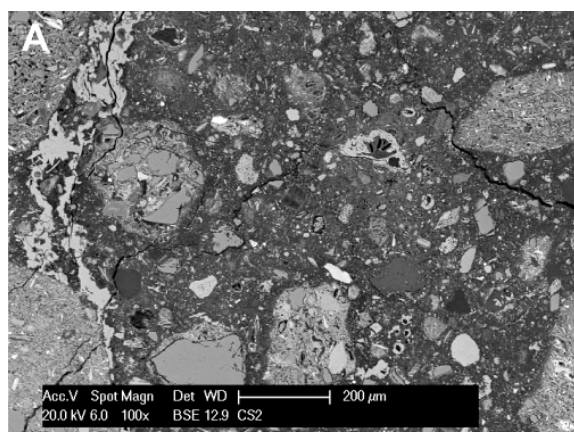
A vöröses vakolatok a felszínükre merőleges, feltehetően zsugorodási repedésekkel szabdaltsak. A másodlagos pórusokat és repedéseket gyakran durvaszemcsés, pátos kalcit tölti ki (**2. ábra**).

Röntgen-pordiffrakció

Kalcit, kvarc, kálföldpát, plagioklász és réteg-szilikátok (szericit-illit, klorit, esetenként kevés kaolinit) a habarcsok és vakolatok fő fázisai. Hematit elsősorban a rózsaszín és vörös mintákban azonosítható. Néhány mintában diopszid, gipsz, aragonit és vaterit mutatható ki. A minták karbonát-tartalmának híg sósavval történő eltávolítása után a szilikátok relatív mennyisége megnőtt; továbbá a diffraktogram 15° és 30° 2θ között megemelkedett alapvonala (röntgen) amorf fázis jelenlétére utal (**3. ábra**).



3. ábra Fehér vakolatminta röntgen-pordiffrakciós profilja gyenge sósavas oldás előtt (A) és után (B).



4. ábra A. Téglaoörlemények a Si-gazdag alapanyagban (vörös vakolat). **B.** Ca-dús, világos zónák téglatöredékek körül, sötét alapanyag: 55-60% CaO, 40-45% SiO₂, világos zónák: 70-80% CaO, 20-30% SiO₂ (vörös vakolat). **C.** Kompakt, sötét zóna téglaoörlemény-alapanyag határán, téglá: 10-15% CaO, 55-60% SiO₂, 25-35% Al₂O₃, határzóna: 18% CaO, 60% SiO₂, 22% Al₂O₃, alapanyag: 55-60% CaO, 40-45% SiO₂ (fehér habarcs). **D.** Kvarcsezemcsék Ca-dús peremmel (vörös vakolat). **E.** Si-gazdag “mészcsomó”, külső zóna: 35-50% CaO, 60-45% SiO₂, 5% Al₂O₃, belső mag: 25-35% CaO, 65-70% SiO₂, 5% Al₂O₃ (vörös vakolat). **F.** Kártyavár-szerkezetű mátrix (valószínűleg Ca-szilikát-hidrát fázis, rózsaszín vakolat). Pásztázó-elektronmikroszkópos felvételek (visszaszárt elektron-képek).

Pásztázó elektronmikroszkópia

A “meszes” alapanyag (**4a. ábra**) átlagos kémiai összetétele a pásztázó elektronmikroszkóp energia-diszperzív elemző rendszerével (SEM EDX) végzett vizsgálat eredményei szerint ~55-60 % CaO

és ~40-45 % SiO₂ (továbbá kis mennyiségű Al és Mg). A sötét alapanyagban egyes szemcsék körül Ca(karbonát)-dús, világos zónák is megfigyelhetők (~70-80 % CaO, ~20-30 % SiO₂, valamint Al, Mg, **4b. ábra**). A legtöbb téglaszemcsé peremi zónájában a Ca relatív koncentrációja megnő.

A nagyobb téglatöredékek körül a téglakötőanyag határon néhány 10 µm vastagságú, kompakt, Si-dús zóna azonosítható, amely a téglakötőanyag összetételéhez képest kissé nagyobb Ca-koncentrációt mutat (4c. ábra). Az alapanyag több helyen tartalmazott Ca-dús szegéllyel rendelkező monokristályos kvarc- és földpátszemcséket (4d. ábra). A “mészcsomók” általában nem tiszta mészből állnak, és számos esetben jellegzetes zónás szerkezetet mutatnak: külső, Ca-ban gazdag és belső Si-ban gazdag zónákkal (4e. ábra).

A törött mintafelületen elvégzett pásztázó elektronmikroszkópos megfigyelések szerint az alapanyag szerkezetében nem a mészhabarsokra jellemző mikrokristályos kalcium-karbonát sajátalakú szemcséi, hanem 1-5 µm nagyságú tükből és lemezekből álló, ún. “kártavár-szerkezetű” felépítmény volt megfigyelhető, ami feltehetően amorf Ca-szilikát- és Ca-aluminát-hidrát fázisok jelenlétére utal (4f. ábra).

Diszkusszió-konklúzió

A törökkori Császár-fürdő fehér, rózsaszín és vörös színű vakolatai és habarcsai tipikus, az Oszmán Birodalomban elterjedt és nedves környezetekben (pl. fürdők, medencék) alkalmazott téglakötőanyagok (Baronio et al. 1997; Böke et al. 2006). Különösen a vörös-rózsaszín minták tartalmaznak nagy mennyiségű téglakötőanyagot és -port, amelyeknek nemcsak a vakolatok színét adják, hanem puzzolános adalékanyagként is szerepet játszhattak a kötés kialakításában. Téglakötőanyag habarcsokban a kötéstartóanyag és a téglakötőanyagok határán Ca-szilikát-hidrát (CSH) és Ca-aluminát-hidrát (CAH) fázisok keletkeznek (Baronio et al. 1997; Böke et al. 2006; Moropoulou et al. 2002; Uğurlu & Böke 2009). A Császár-fürdőből származó mintákban a téglakötőanyagok körüli vékony, Si-dús, Al-Ca-tartalmú zónák szintén a mész és a téglakötőanyagok közötti reakciót jelezhetik, bár a kémiai összetételük nem azonos a tipikus téglakötőanyag habarcsok kötéstartóanyag-tégla határzónáiban tapasztalt összetételekkel ($\text{CaO}:\text{SiO}_2 \approx 1:1$, Uğurlu & Böke 2009).

A “mikrites” alapanyag mikroszkópos megjelenése arra utal, hogy a kiindulási nyersanyag nem csak tiszta CaCO_3 -ból állt. Ezt az optikai megfigyelést alátámasztják a pásztázó elektron-mikroszkópos mérések eredményei is: viszonylag magas (20-40 %) Si-tartalom mutatható ki a karbonátmátrixban, amely az anyagok relatíve jó hidraulicitását jelentheti. A röntgen-pordiffrakciós vizsgálat által kimutatott nagyobb mennyiségű (röntgen)amorf fázis jelenléte a megfelelő hőfokon égetett téglakötőanyag jelenlétére utal, de az amorf CSH fázisokból, valamint a Si-gazdag “mészcsomókból” is származhat. Ez utóbbi elképzelést

alátámaszthatják az alapanyagban megfigyelt kártavár- és szabálytalan tűs megjelenésű szerkezetek is. Ilyenfajta szerkezetek megjelenése nem tipikus téglakötőanyag habarcsokban, hasonló szerkezeteket 19. századi természetes (román) cementekben ismertek (Weber 2007).

Az egyes kvarc- és kálföldpátszemcsék szélén megfigyelt Ca-gazdag zónák a kalciumnak az égetés során a mészből a szilikátszemcsékbe való vándorlását (diffúzió) jelzi. Ezt a jelenséget szintén megfigyelték természetes cementek égetése során (Weber et al. 2007) és szintén a meszes nyersanyag szilikátos szennyezőinek jelenlétére és az egyes fázisok között lejátszódó reakciókra utal. Hasonló folyamatokra és hasonló kiindulási nyersanyag felhasználására utalnak a magas Si- (és kis Al- és Mg-) tartalmú “mészcsomók” - amelyek a mészégetés során részben túlégetett vagy ún. száraz oltással készített mészhabarsok lassan hidratálódó és karbonátosodó relikumai (Hughes et al. 2001) -, jelenlétük a mész feltételezett jó hidraulikus tulajdonságaival is egybeesik (Elsen et al. 2004; Zamba et al. 2007).

Előzetes vizsgálataink alapján feltételezhető, hogy a Császár-fürdő vizsgált törökkori kötéstartóanyagai hidraulikus tulajdonságaikat nemcsak a hozzákevert látens hidraulikus téglakötőanyagoknak, hanem részben a felhasznált nem tiszta (szilikát-tartalmú) meszes nyersanyag és a mészégetés folyamata során kialakult új, hidraulikus tulajdonságokkal rendelkező fázisoknak is köszönhetik. Ilyen lehetséges nyersanyagok (pl. agyagos mészkövek) számos helyen megtalálhatók a Budai-hegységben (Wein 1977). A nyersanyagok eredetével és felhasználásával kapcsolatban Moropoulou et al. (2002) hasonló következtetéseket vont le az isztambuli Hagia Sophia bizánci téglakötőanyag habarcsainak vizsgálata során.

Az üreg- és repedéskitöltő pátitos kalcit, valamint aragonit, esetenként gipsz megjelenése a vakolatokban a folyamatosan csöpögő-folyó, magas oldott karbonát- és szulfáttartalmú termálvizek (Leél-Össy 1995) másodlagos hatására vezethető vissza.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton fejezik ki köszönetüket Papp Adriennek (Budapesti Történeti Múzeum) és Makoldi T. Gizella restaurátornak a mintagyűjtés során nyújtott segítségükért, valamint a fürdő és az anyagok történetiségéhez kapcsolódó építő jellegű diszkusszióikért.

Irodalom

- BARONIO, G., BINDA, L. & LOMBARDINI, N. (1997): The role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks. *Construction and Building Materials* **11**:33-40.
- BÖKE, H., AKKURT, S., İPEKOĞLU, B. & UĞURLU, E. (2006): Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. *Cement and Concrete Research* **36**:1115-1122.
- ELSEN, J., BRUTSAERT, A., DECKERS, M. & BRULET, R. (2004): Microscopical study of ancient mortars from Tournai (Belgium). *Materials Characterization* **53**:289-294.
- HUGHES, J. J., LESLIE, A. & CALLEBAUT, K. (2001): The petrography of lime inclusions in historic lime based mortars. In: STAMATAKIS, M., GEORGALI, B., FRAGOULIS, D., & TOUMBAKARI, E.E. (eds.) *Proceedings of the 8th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*, Athens, 359-364.
- LÁSZAY, J. & PAPP, A. (2007): "Investigations in the Budafelhévíz baths" *Régészeti Kutatások Magyarországon*, Budapest, pp. 61-82.
- LEÉL-ÖSSY, SZ. (1995): A budai Rózsadomb és környékének különleges barlangjai. *Földtani Közlöny* **125**:363-432.
- MOROPOULOU, A., CAKMAK, A. S., BISCONTIN, G., BAKOLAS, A. & ZENDRI, E. (2002): Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brick/lime mortars of Justinian's Hagia Sophia. *Construction and Building Materials* **16**:543-552.
- UĞURLU, E. & BÖKE, H. (2009): The use of brick-lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings. *Construction and Building Materials* **23**:2442-2450.
- WEBER, J. (2007): Romanzemente als Fassadenbaustoffe der Gründerzeit, in: GÄNSMANTEL, J. & HECHT, C. (Hrsg.): *Bauinstandsetzen und Bauphysik. WTA-Almanach 2007*, Wien, 539-562.
- WEBER, J., GADERMAYR, N., KOZŁOWSKI, R., MUCHA, D., HUGHES, D., JAGLIN, D. & SCHWARZ, W. (2007): Microstructure and mineral composition of Roman cement produced at defined calcination conditions. *Materials Characterization* **58**:1217-1228.
- WEIN, GY. (1977): A Budai-hegység tektonikája. A Magyar Földtani Intézet különkiadványa, Budapest, 76 pp.
- ZAMBA, I.C., STAMATAKIS, M.G., COOPER, F.A., THEMELIS, P.G., ZAMBAS, C.G. (2007): Characterization of mortars used for the construction of Saithidai Heroon Podium (1st century AD) in ancient Messene, Peloponnesus, Greece. *Materials Characterization* **58**:1229-1239.