

Karakterizacija historičnih ometov kot del konservatorsko-restavratorskih posegov in arheoloških poizkopavalnih analiz

Characterisation of historical mortars as a part of conservation-restoration interventions and archaeological post-excavation analyses

SABINA KRAMAR^{1,*}, BREDI MIRTIC²

¹Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Center za konservatorstvo,
Restavratorski Center,
Poljanska 40, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo,
Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

*Korespondenčni avtor. E-mail: sabina.kramar@rescen.si

Received: Oktober 29, 2009

Accepted: November 29, 2009

Izvleček Karakterizacija historičnih ometov je po navadi del širših preiskav pri raziskavah določenega objekta. Rezultati, ki jih pridobimo s temi preiskavami, so ključnega pomena pri odločanju za najprimernejši konservatorsko-restavratorski poseg na določenem objektu, arheologom pa dajejo podatek o kronologiji, izvoru materiala in tehnologiji izdelave. V prispevku so poleg opisa metodologije preiskovanja historičnih ometov predstavljeni tudi značilni rezultati analiz vzorcev ometov, ki so bile opravljene v okviru nekaterih konservatorsko-restavratorskih projektov ali poizkopavalnih arheoloških analiz v zadnjih letih v Sloveniji. Zaobjema karakterizacijo historičnih ometov, ki temelji na določanju petrološke ter mineralne sestave agregata in veziva. Pridobljeni podatki imajo tudi veliko dokumentacijsko vrednost, saj dajejo pregled informacij o sestavi različnih ometov iz različnih obdobj na območju Slovenije. Vsi ti podatki nam govorijo o smiselnosti vzpostavitev baze historičnih ometov.

Abstract Characterisation of historical mortars is most often carried out for particular case studies. The analysis of historical mortars refines our knowledge of mortar composition and thus gives important information about the technology of mortar manufacturing of some period, indicates provenience of the applied raw material and eventually enables us to reconstruct original mortar. This study summarizes some results of historical mortars research that was part of several conservation-restoration projects or archaeological excavations during the past few years in Slovenia. Characterisation of these mortars based on petrological and mineralogical composition of used aggregates and binders. As systematic long-term collection of data about historic mortars can provide additional knowledge, creation of specific databases of historic materials, based on international cooperation and networks seem to be an important task for the future research on historic materials.

Ključne besede: historični ometi, mineralna sestava, kulturna dediščina, karakterizacija

Key words: historical mortars, mineral composition, cultural heritage, characterisation

Uvod

Karakterizacija historičnih ometov je po navadi del širših preiskav pri raziskavah določenega historičnega objekta in poteka v okviru konservatorsko-restavratorskih projektov ali poizkopalnih arheoloških analiz. Rezultati, ki jih pridobimo s temi preiskavami, so ključnega pomena pri odločanju o najprimernejšem konservatorsko-restavratorskem posegu na določenem objektu, arheologom pa dajejo podatek o kronologiji, izvoru materiala in tehnologiji izdelave. Ti podatki nam omogočajo med drugim ločiti originalni omet od

kasnejših preslikav ali sekundarnih slojev ter morebitno rekonstrukcijo originalne sestave ometa. Pomembna je tudi identifikacija procesov oz. produktov degradacije. Pridobljeni podatki imajo veliko dokumentacijsko vrednost, saj dajejo nabor informacij o sestavi različnih ometov iz različnih obdobij na nekem območju. Vzpostavitev baze v mednarodnem okviru bi omogočala informacije in umestitev analiziranih ometov v časovni in prostorski okvir, katere prvi predlogi so bili že predstavljeni na konferencah (VÁLEK, 2008).

Prvi začetki sistematičnega študija historičnih ometov segajo v leto 1981, ko je ICCROM (International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property) dal pobudo za vzpostavitev strategije preiskovanja historičnih ometov za potrebe obnove kulturne dediščine (PALOMO et al., 2002). Od takrat naprej nastajajo številni prispevki, ki obravnavajo študij in karakterizacijo ometov iz raznih objektov (LUXÁN et al., 1995, GÜLEÇ et al., 1997, RICCARDI et al., 1998, VAN BALEN et al., 1999, DEGRYSE et al., 2002, ELSEN et al., 2004, BENEDETTI et al., 2004, MEIR et al., 2005, PAAMA et al., 2006), rimskih ometov (CHAROLA et al., 1999, HUGHS et al., 1999, FARCI et al., 2005, SILVÁ et al., 2005, SANCHEZ-MORALES et al., 2005, GENESTAR et al., 2006, VELOSA et al., 2007, ZAMBA et al., 2007), hidravličnosti (ALVAREZ et al., 1999, MARAVELAKI-KALAITZAKI et al., 2005, CARDIANO et al., 2004, RICCARDI et al., 2007, BÖKE et al., 2008), tehnologije izdelave (MOROPOULOU et al., 2000, PAVÍA et al., 2008), propadanja (ARIOGLU et al., 2006) ali formuliranja novih ometov za konservatorsko-restavratorske postopke in vrednotenje mikrostrukture (ALSAAD, 2001, MARAVELAKI-KALAITZAKI et al., 2004, MARAVELAKI-KALAITZAKI, 2007). Več referenc o karakterizaciji, restavriranju in konserviranju historičnih ometov lahko bralec najde v zborniku »Historical mortars conference« (BOKAN-BOSILJKOV et al., 2008).

Prispevek v prvi vrsti obsega opis metodologije za celovito karakterizacijo vzorcev ometov in nam podaja vrsto informacije, ki jo lahko pridobimo z določeno preiskovalno metodo. Poleg tega so v prispevku predstavljeni tudi posamezni značilni primeri rezultatov analiz ometov, ki so bile opravljene v okviru nekaterih konservatorsko-restavratorskih projektov ali poizkopavalnih arheoloških analiz v zadnjih letih v Sloveniji. Ta je temeljila predvsem na določanju petrološke in mineralne sestave agregata in veziva v ometih. Vzorci ometov se razlikujejo glede na njihovo različno namembnost ter na različno časovno obdobje nastanka na geografsko različnih lokacijah. Odvzeti so bili s številnih objektov, ki so datirani od rimske dobe do baroka. V prispevku se uporablja skupni izraz ometi za vse vzorce, ki so sicer vezivne malte, malte za lepljenje kamnitih delov, podložne malte pri mozaikih, stenskih poslikavah, fasade ter za različne omete in opleske.

DELITEV OMETOV

Omet je vrsta gradiva, ki ga nanese na nosilno konstrukcijo (stene, strop), da jo zaščitimo in povečamo njeno uporabno vrednost. Omete sestavljata agregat in vezivo, lahko pa so dodani še razni dodatki, ki spreminjajo lastnosti ometa oz. mu dajejo želene lastnosti. Ometi oz. gradiva, ki imajo podobno sestavo in funkcijo kot ometi, so še:

- malte, ki vežejo npr. zidake v trdno gradbeno konstrukcijo,
- ometi za izdelavo fasad,
- tlaki in estrihi za oblaganje tal (pohodnih površin),
- opleski oz. beleži in malte kot podlage za poslikave in mozaike.
- hidravličnega (cementnega) apnega materiala,
- naravnega »rimskega« cementa,
- hidravličnega materiala (portlandskega cementa),
- sadre,
- gline,
- materialov organskega izvora,
- več različnih vezivnih materialov – kompozitno vezivo.

Za vse so značilne naslednje sestavine: agregat, vezivo, voda in dodatki.

Omete delimo glede na:

- mineralno in petrološko sestavo agregata in veziva,
- porazdelitev velikosti delcev agregata,
- razmerje agregat/vezivo,
- vrsto in količino dodatkov.

Našteti parametri vplivajo na tehnologijo izdelave ometov, na njihovo mesto vgraditve, na vrsto uporabe in tudi na trajnost oz. na način propadanja.

Glede na vrsto veziva v ometu le-te delimo po RILEM-klasifikaciji (Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes de Construction et Ouvrages (angleški izraz: International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures)) na malte oz. omete z vezivom iz:

- apna,
- apna in latentno hidravličnega materiala (tuf, vulkanski pepel, keratofir, roženci, diatomejska zemlja, žlindre, elektrofiltrski pepel, drobljena žgana glina),

Več informacij o posamezni vrsti veziv lahko najdemo v članku PALOMO et al., 2002.

Prvi podatki o uporabi apna izhajajo iz časa neolitika, ko so odkrili ogenj in spoznali, da kamni, ki ob stiku z vodo otrdijo, lahko kalcinirajo, vidnejšo vlogo pa je uporaba dobila v bronasti dobi (CAZZALA et al. 2002, UROŠEVIČ, 2005). Presenetljivo je, da so že v prazgodovini (predvsem na Bližnjem vzhodu in v Mezopotamiji) tako dobro poznali gradbene materiale in gradbene tehnike. Egipčani so apnene omete le redko uporabljali, čeprav obstajajo podatki o uporabi le-teh pri gradnji piramid pred 2000 leti pr. n. š. Egipčani so bili prvi, ki so za vezivo uporabljali sadro in tako izpodrinili uporabo apna, čeprav drži, da se v nekaterih sadrinih ometih pojavi tudi apno. V času Grkov se je uporaba apna v gradbeništvu zelo razširila. V rimski dobi so se izboljšale metode (KRIŽNAR, 2006), ki so jih uporabljali Grki, in sicer za pridobivanje apna, tehnike nanašanja ometa, njegove

vo glajenje/poliranje, nanašanje v več plasteh, tudi dodajanje aditivov osnovni masi. V osemnajstem stoletju pa se je poleg apnenega veziva začel tudi razvoj hidravličnih veziv (hydraulic lime binder), ki so vsaj delno nadomestila apneno vezivo oziroma apnene omete. V devetnajstem stoletju je z razvojem portlandskega cementa hidravlični omet povsem izrinil apnenega. Vrsto hidravličnega veziva so sicer poznali že v 10. stoletju pred našim štetjem. To je bila vrsta cementa, žganega iz karbonatne in silikatne surovine do 1250 °C, ki je imela nekaj hidravličnih lastnosti.

PREGLED PREISKOVALNIH METOD

Navadno je izbira metode odvisna predvsem od informacije, ki jo želimo pridobiti, in od količine vzorca, ki ga imamo na voljo. Medtem ko je določanje anorganske komponente ometov že dodobra osvojeno, pa se je pomen poznanja organskih dodatkov (kot so npr. proteini) pokazal šele v zadnjem času.

Osnovna analiza ometov v obliki poliranih zbruskov se začne z optičnim mikroskopom, ki nam prikaže strukturo in teksturo vzorcev ter da osnovno informacijo o kvalitativni in kvantitativni mineralni ter petrološki sestavi. Tako lahko opazujemo obliko, velikost in porazdelitev zrn agregata, ocenimo razmerje agregat/vezivo ter razmerja med posameznimi komponentami

agregata. Lahko ugotovimo vrsto veziva in morebitnih dodatkov. Z optičnim mikroskopom ugotavljamo tudi stopnjo in vrsto poroznosti, kohezijo med sestavnimi deli ometa in razpokanost. Oblika in lega razpok nakazuje tudi verjetne vzroke za njihov nastanek. Te so lahko nastale kot posledica karbonatizacije ob strjevanju ometa, lahko pa so tudi posledica sekundarnih patogenih reakcij, zaradi katerih omet propada in izgublja trdnost.

Povprečna mineralna sestava ometa se določa z metodo rentgenske praškove difrakcije (XRD), ki nam omogoča tako kvantitativno kot kvalitativno analizo.

Za natančnejšo analizo ometa, predvsem dodatkov ter veziva, pa uporabimo kombinacijo vrstične elektronske mikroskopije (SEM) in energijske disperzne spektroskopije (EDS). Metoda nam omogoča, da pri velikih povečavah dobimo vpogled v mikrostrukturo in kemijsko sestavo področij, ki nas bolj detajlno zanimajo.

Organske dodatke kot primarne vhodne surovine ali utrjevalce lahko določimo s FTIR-spektroskopijo. Metoda omogoča tudi določanje kvalitativne in kvantitativne mineralne sestave ometov. Nadaljnje preiskave vključujejo različne kvalitativne in kvantitativne mineraloške in kemične analize, ki med drugimi vključujejo preiskave z DTA/

TGA (MONTROYA et al., 2004), mikroramanško spektroskopijo (BOSCHETTI et al., 2008), PIXE (SONCK-KOOTA et al., 2008) in XRF (HOFFMAN et al., 1990).

Karakterizacijo dopolnjuje ugotavljanje mikrostrukture historičnih ometov (določanje poroznosti in porazdelitve por) in preverjanje kompatibilnosti ometov za obnovo, kamor poleg mineralne sestave spadajo tudi njihove mehanske in fizikalne lastnosti (MOROPOULOU et al., 2003).

Obstajajo tudi številne študije datiranja ometov z uporabo ^{14}C (HEINEMEIER et al., 1997, NAWROCKA et al., 2005, ZOURIDAKIS et al., 2007) ali luminiscence (ZACHARIAS et al., 2002, FEATHERS et al., 2008).

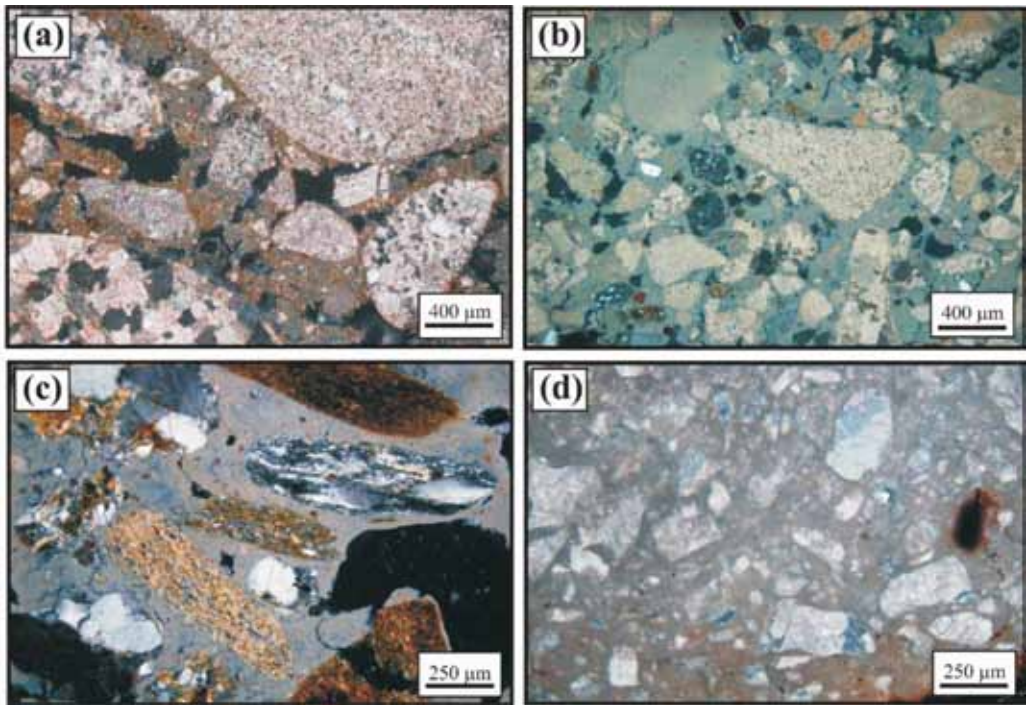
SESTAVA OMETA

Agregat

Agregat je skelet ometa in mu daje trdnost, poleg tega določa njegov barvni ton. Njegova poroznost pa vpliva na način in hitrost karbonatizacije. Osnovna naloga agregata je izboljšati mehanske lastnosti veziva (ometa ali malte). Agregat vpliva na volumensko stabilnost, trdnost in strukturne lastnosti (STEFANIDU et al., 2005). Zato je treba poznati njegovo mineralno/petrološko sestavo, razmerje vezivo/agregat, sortiranost ter velikost in obliko zrn agregata (ELICES et al., 2008).

Vrsta in oblika agregata nam lahko nakazujeta njegov izvor. Zaobljena zrna agregata so jasen znak, da je bil le-ta odvzet v rečni strugi oz. je bil odvzet v gramoznici kot drobnozrnata frakcija. Oglata zrna lahko kažejo na kratko transportno pot zrna do mesta, kjer je bil agregat odvzet za izdelavo ometa, ali pa kažejo na to, da je bil agregat pridobljen z drobljenjem kamnine – drobljenec. Opozoriti je treba, da so zrna, ki jih sestavljajo minerali z visoko trdoto, vedno manj zaobljena kot tista z nižjo trdoto. Tako med minerale z visoko trdoto prištevamo kremen, amorfno obliko kremenice – roženec in glinence ter po analogiji tudi kamnine iz teh mineralov (litična zrna magmatskih in metamorfnih kamnin). Med minerale z nizko trdoto spadajo karbonati (kalcit in dolomit) oziroma kamnini iz teh mineralov – apnenec in dolomit. Nizko trdoto imajo tudi litični delci glinavca. Zato so tudi ti delci zaobljeni.

Sestava agregata tudi v predstavljenih primerih variira glede na geografsko pozicijo objekta, časovno obdobje graditve objekta, kot tudi glede na vrsto aplikacije. Na podlagi dosedanjih raziskav lahko sklepamo, da so vhodne surovine za omete ponavadi pridobivali iz lokalnih virov. Najpogostejše je to pesek iz bližnjih rečnih strug. Tako na primer v okolici Radovljice prevladuje agregat s prevladujočo karbonatno komponento (sliki 1 a in 1 b), na območju Ljubljane pa agregat s prevladu-



Slika 1. Mikroskopske fotografije poliranih zbruskov prikazujejo različne vrste agregata. a) Prevladujoč karbonaten agregat v rimskem ometu za zidanje-malta. Presevna svetloba, prekržani nikoli. b) Prevladujoč karbonaten agregat v rimskem ometu. Presevna svetloba, prekržani nikoli. c) Prevladujoča zrna silikatnega agregata v ometu baročnih stenskih poslikav. Presevna svetloba, prekržani nikoli. d) Drobljenec apnenca, uporabljen pri intonaccu rimske stenske poslikave. Presevna svetloba, prekržani nikoli.

jočo silikatno komponento (slika 1 c). Silikatno komponento večinoma tvorijo litični delci raznih metamornih, magmatskih ter sedimentnih kamnin ter zrn glinencev, kremenca in sljude iz kamnin zaledja porečja.

Dodatek drobljenega agregata (slika 1 d) ni tako zelo pogost v preiskanih vzorcih. Drobljeni so bili v glavnem le dodatki, kot so npr. žgane glinice, sadra, marmorji ali žindre. Po literaturnih

podatkih je za omet najprimernejši drobljenec, saj se na hrapavo površino (nasprotno od sedimentov, ki imajo gladko površino) apno bolje oprime in je omet tako kompaktnjši (KRIŽNAR, 2006).

Velikost delcev in sortiranost se razlikujejo glede na namembnost različnih ometov. Tako je agregat v ometih dobro sortiran, z manjšimi zrnji, medtem ko je v maltah slabo sortiran, delci pa so večji. Opleski agregata ne vsebuje-

jo. Prav tako je slabša sortiranost značilnost ometov in malt, v katerih je bil kot vezivo uporabljen cement – hidravlično vezivo ali pa apneno hidravlično vezivo. Ti dve vrsti veziva sta postali aktualni šele v prejšnjem stoletju. Tako lahko tudi iz vrste uporabljenega veziva oz. glede na sortiranost agregata sklepamo na starost ometa.

Razmerje agregat/vezivo nam poda možen različen izvor preiskovanega ometa, na podlagi katerega je bilo možno potrditi različne gradbene faze objektov, iz katerih so bili vzorci ometa odvzeti (ZALAR, 2008, ZALAR et al., 2009 b).

Dodatki

Ometu so včasih primešali tudi razne dodatke in tako z njimi poskušali izboljšati njegove lastnosti. Ti dodatki so lahko bili anorganski (zdrobljena opeka, tufi, marmor, sadra, žindre) ali organski (slama, živalska dlaka, kazein, sladkor, olje, kri). Včasih so dodajali tudi pigmente. Tako je bila tudi pri nekaterih preiskovanih primerih ugotovljena prisotnost posebnih dodatkov, da bi z njimi izboljšali oz. pridobili točno določene lastnosti ometa. Dodatki lahko deloma ali popolnoma nadomestijo agregat ali pa so le dodani vezivu.

Anorganski dodatki

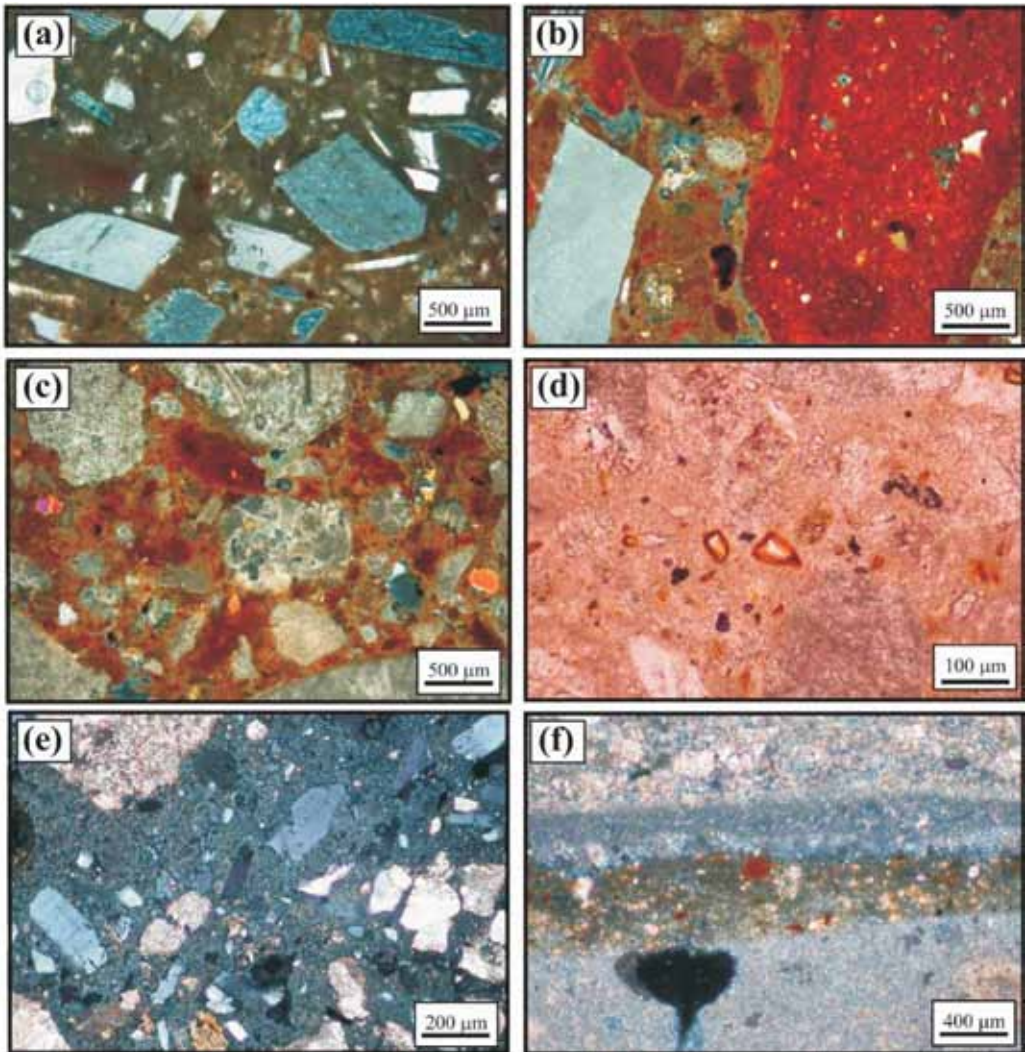
Poznamo reaktivne, latentno hidravlične (žindra, žgana glina) ter inertne anorganske dodatke. V zunanji plasti

belega glajenega ometa, ki je bil odvzet iz rimske vile, je bil kot agregat uporabljen drobljen marmor (KRAMAR et al., 2008), kot prikazuje slika 2 a. Posamezna zrna so bila dodana tudi v zunanji plasti rdečih stenskih poslikav iz istega objekta (slika 2 b). Po Vitruviusu (prevod 1960) naj bi dodatek marmorja izboljšal učinek poliranja. Sicer agregat marmorja med strjevanjem ometa ne vstopa v reakcijo in je inerten dodatek.

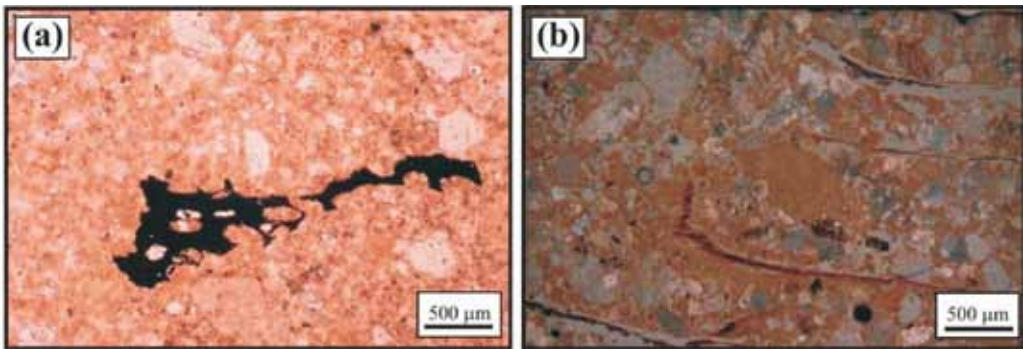
Za objekte iz rimske dobe iz rimskih term, kjer je bila potrebna vodoodbojnost materialov, je značilen dodatek drobljene žgane gline, kar prikazujeta sliki 2 b in 2 c (KRAMAR et al., 2008, ZALAR, 2009 a, LUX et al., 2009). Okoli teh zrn je pogost reakcijski rob (slika 6 b). V nekaterih fasadnih ometih cerkva je opazen dodatek steklaste žindre (slika 2 d). Znano je, da sta žgana glina in odpadna steklasta žindra iz metalurških procesov latentno hidravlična materiala, ki v prisotnosti apna v stiku z vodo otrdita. Poteče t. i. pucolanska reakcija. Med reakcijo hidratacije se vedeta enako kot tuf (pucolan).

Kot anorganski dodatek je znan tudi kalcijev sulfat (anhidrit), ki veže vodo ter pri tem preide ponovno v sadro (slika 2 e). S tem preprečimo, da bi omet med strjevanjem pokal.

Opleskom se za pridobitev določene barve dodajajo različni pigmenti, ki so lahko anorganski ali organski (slika 2 f).



Slika 2. Mikroskopske fotografije poliranih zbruskov predstavljajo različne anorganske dodatke. a) Inerten anorganski dodatek: debeloznat kalcit-drobljen marmor v rimskem belem poliranem ometu. Presevna svetloba, prekrižani nikoli. b) Delci drobljene žgane gline pri ometih za talne mozaike iz rimskih term. Presevna svetloba, prekrižani nikoli. c) Fina frakcija opeke v vezivu intonacca rimske poslikave. Presevna svetloba, prekrižani nikoli. d) Steklasta žindra v fasadnem ometu. Presevna svetloba, vzporedni nikoli. e) Zrna sadre v ometu. Presevna svetloba, prekrižani nikoli. f) Pigment kot posebni dodatek v oplesku, ki daje oplesku značilno obarvanost. Presevna svetloba, prekrižani nikoli.



Slika 3. a) Delec lesa v rimskem ometu, ki je najverjetneje posledica kontaminacije. Presevna svetloba, vzporedni nikoli. b) Delci trstike v stropnem ometu iz rimske vile. Presevna svetloba, vzporedni nikoli.

Organski dodatki

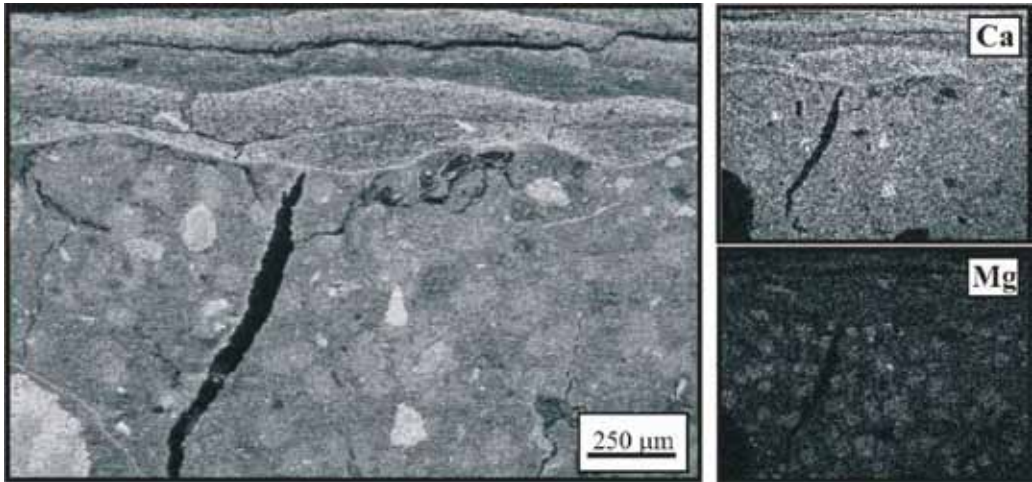
Med dodatke organskega izvora prištevamo predvsem delce lesa (slika 3 a). Ti so lahko naključno prisotni kot posledica onesnaženja maltne mešanice ali ostanek pri pridobivanju apna. V nekaterih primerih pa so opazni delci trstike (slika 3 b), ki so bili uporabljeni za boljšo vezivno sposobnost oziroma natezno trdnost ometov. Tako so bili pri stenskem ometu iz rimske vile ugotovljeni delci trstike. Številni so tudi primeri uporabe proteinskih dodatkov vezivu, ki so pogosti pri baročnih ometih (KUČKOVÁ et al., 2009).

Vezivo

Vezivo veže agregat, ki kompozitu daje prožnost in ustrezno konsistenco ter s tem omogoča njegov nanos na nosilec – zid ali na drug konstrukcijski element. Vezivo je najpogostejše apneno ali hidravlično, poznamo pa tudi druge vrste veziv, kot so npr. sadra, ilovica ali razna organska veziva.

Pri večini preiskovanih vzorcev historičnih ometov je vezivo iz gašenega apna - apneno vezivo (slika 5 a). Preiskava z elektronskim mikroskopom pokaže, ali vezivo v posameznih plasteh vsebuje poleg kalcija tudi druge elemente, kot je na primer magnezij (slika 4). Prisotnost magnezija dokazuje, da se je za žganje apna, ki so ga uporabili v preiskovanih vzorcih ometov kot vezivo, uporabljal tudi dolomit ali pa apnenec z dolomitom (slika 5 b). Takšno vezivo sestavljata minerala portlandit – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ter brucit – $\text{Mg}(\text{OH})_2$, ki v stiku z zrakom oz. CO_2 iz zraka že v kratkem času karbonatizirata. Nastala CaCO_3 in MgCO_3 dajeta ometu trdnost.

Vezivo je v nekaterih vzorcih dokaj razpokano. Razpokanost veziva se kaže predvsem v ometih, kjer je bilo kot vezivo uporabljeno apno. V apnenih ometih se razpoke pojavijo na mestih, kjer je plast apnenega veziva de-



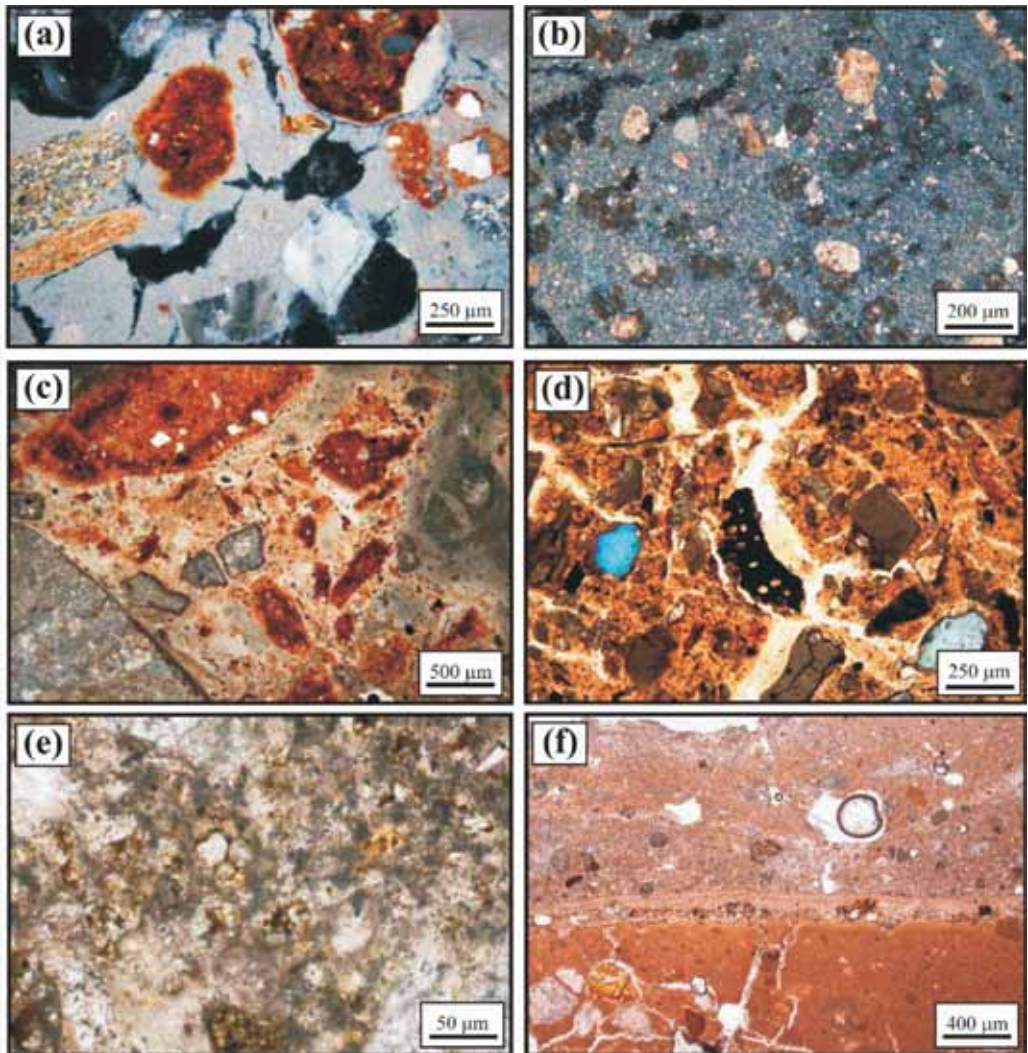
Slika 4. SEM-EDS-analiza vzorca ometa prikazuje območja v vezivu, bogata z magnezijem, ki nakazuje na nastanek brucita. Desno zgoraj: porazdelitev kalcija. Desno spodaj: porazdelitev magnezija, ki nakazujejo mesta pojavljanja brucita. Skupki brucita so veliki okoli 200 μm .

belejša (zaradi slabe karbonatizacije), na stiku med vezivom in agregatom in v apnenih skupkih – grudicah, aglomeratih. Razpoke zmanjšujejo trdnost ometa in dokazujejo slabo kakovost veziva, zmanjšujejo toplotno in zvočno izolacijo ter povečujejo sposobnost vezanja vlage. V vzorcih so pogoste t. i. grudice karbonatiziranega apna, ki variirajo tako po velikosti kot po količini (slika 6 a) in nakazujejo, da je bilo vezivo slabo gašeno ali slabo homogenizirano. Grudice so lahko tudi slabo žgan košček apnenca, ki je ostal pri pridobivanju apna (ELSEN, 2006).

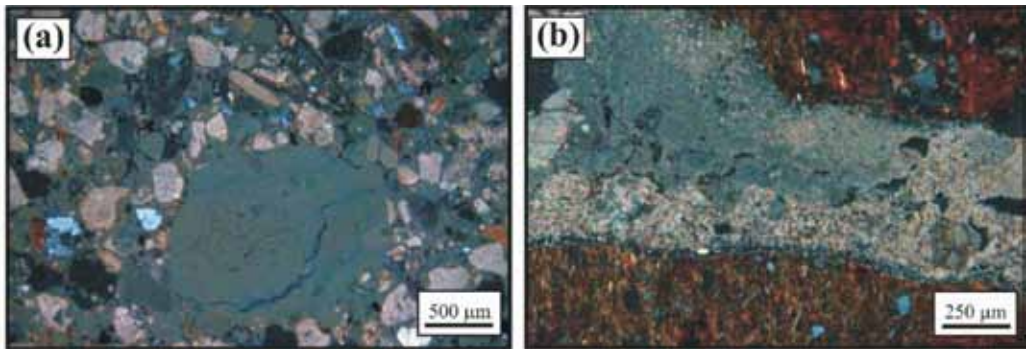
Večji skupki grudic apna nakazujejo na uporabo živoapnene tehnike (MOROPOLUOU et al, 1996). To vezivo tudi ni razpokano in je izredno trdno. Tak

način so uporabljali Rimljani in je bil po vsej verjetnosti uporabljen pri zidavi vile rustike v Mošnjah (KRAMAR et al., 2008).

Glede na lastnosti, ki so jih želeli pridobiti pri ometih, so dodajali v vezivo dodatke. Vezivno sredstvo so bili v preteklosti različni latentno hidravlični materiali ali naravni cement. Sestavljajo ju kalcijevi silikati hidrati, ki sicer dajejo vezivu trdnost in mehansko odpornost, vendar imajo slabšo toplotno in zvočno izolacijsko sposobnost ter slabšo sposobnost absorpcije vode. Tako je npr. v vzorcih, ki so bili odvzeti iz prostorov rimskih term, kjer naj bi bila zagotovljena vodoodbojnost materialov, agregat iz zdrobljene opeke. V tem primeru je bilo tudi ugotovljeno,



Slika 5. a) Razpokano apneno zračno vezivo. Presevna svetloba, prekrižani nikoli. b) Temno obarvana območja v vezivu nakazujejo magnezit, ki nastane pri uporabi dolomitnega apna. Presevna svetloba, prekrižani nikoli. c) Kompaktno latentno hidravlično vezivo z zdrobljeno žgano glino. d) Malta za lepljenje kamnitih elementov, kjer je kot vezivo uporabljena naravna smola. Presevna svetloba, prekrižani nikoli. e) Klinkerjevi minerali v podaljšani malti. Presevna svetloba, vzporedni nikoli. f) Več plasti opleska z različno vrsto veziva (od spodaj navzgor): apneno vezivo, apneno hidravlično vezivo (tri plasti). Presevna svetloba, vzporedni nikoli.



Slika 6. a) Razpokana grudica apna. Presevna svetloba, prekržani nikoli. b) Reakcijski rob okoli opeke. Presevna svetloba, prekržani nikoli.

da fina frakcija zdrobljene žgane glinje vodi do pucolanske reakcije v vezivu (HUGHES et al., 1999, KRAMAR et al., 2008). Glede na posebno namembnost določenega ometa je bilo uporabljeno tudi hidravlično vezivo. Vezivo v teh ometih je kompaktno in ni razpokano, kar je sicer značilno za apnene omete.

Pri inkrustracijskih maltah na raznih baročnih oltarjih je bila kot vezivo uporabljena naravna smola (slika 5 d), ki je omogočala lepljenje kamnitih elementov (KRAMAR et al. 2007).

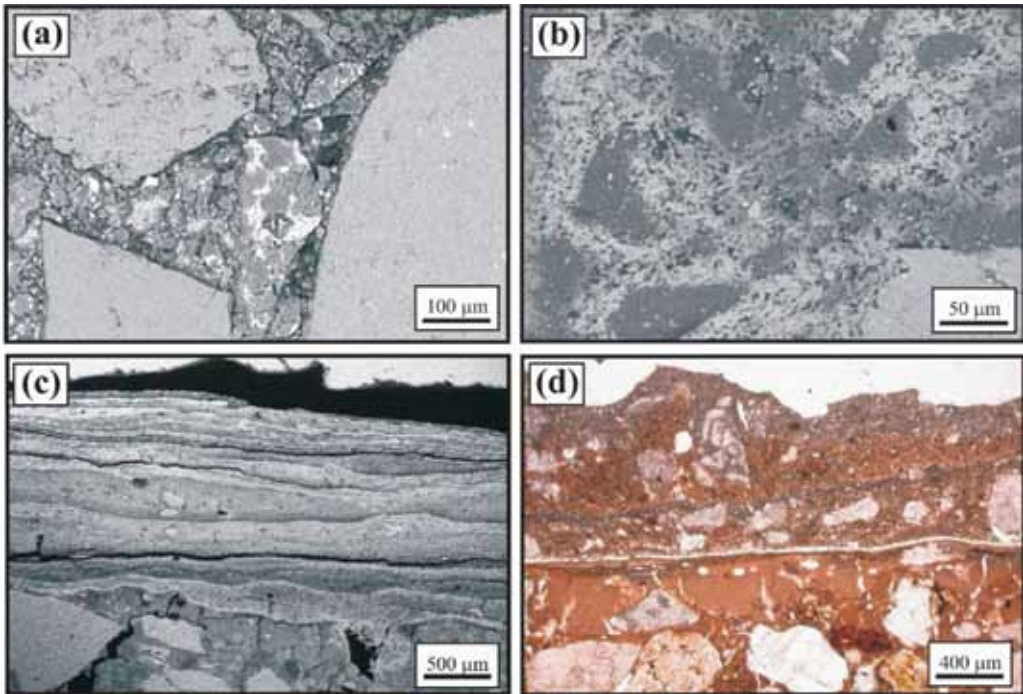
V ometih, ki so bili vgrajeni v zadnjih sto letih, je pogosto cementni klinker. Lahko gre za t. i. podaljšano malto (kot vezivo sta bila v ustreznem razmerju uporabljena apno in cement) ali pa za čisto cemento malto (sliki 5 a in 7 a). Slednja je dokaz za poseg, ki je bil izveden v zadnjem času.

PROPADANJE OMETA

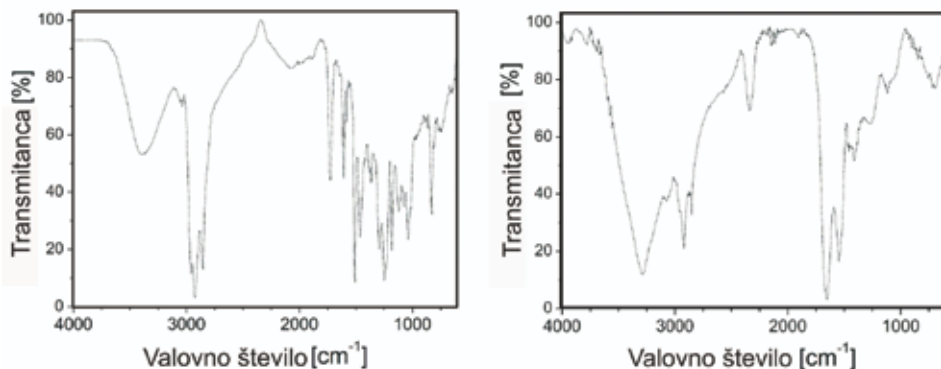
V ometih kot posledico razgradnje največkrat najdemo v vodi topne soli. Najpogostejše je to sadra, ki je nastala z reakcijo kalcija iz veziva in žveplovega oksida iz ozračja. Sadra se pogosto pojavlja v obliki plasti na površini ometa. Če je v ometu tudi magnezij, lahko pod površino ometa nastajajo različni magnezijevi sulfati hidrati (KRAMAR, 2006). Zaradi kristalizacije soli se ometi, malte in opleski luščijo.

MATERIALI ZA RESTAVRIRANJE - UTRJEVALCI IN DOMODULACIJE

Velikokrat je zaradi konservatorsko-restavratorskih posegov pomembna informacija o prisotnosti morebitnih sekundarnih materialov, ki so bili uporabljeni pri posegih v preteklosti (slika 7). Tako



Slika 7. a) Klinkerjevi minerali v cementi malti, kar velja kot neprimerno nadomeščanje originalne apnene malte. SEM-BSE. b) Sadrino vezivo v domodulacijski malti. SEM-BSE. c) Opleski nad ometom. SEM-BSE. d) Več plasti ometa in opleska. Vzorec je vzet iz fasade restavriranega objekta. Videti je, da je bila fasada obnovljena vsaj trikrat. Med posameznimi plastmi so vidne različno debele plasti sadre, ki je prekrila fasado zaradi reakcije apna iz fasade in žveplovega oksida iz ozračja. Zadnja plast sadre (na sliki zgoraj) je najdebelejša. Omet za fasado vsebuje debelozrnat agregat. Vmes so tudi tanke plasti pigmentiranega opleska brez dodanega agregata. Presevna svetloba, vzporedni nikoli.



Slika 8. a) FTIR-spekter epoksidne smole, ki je bila uporabljena pri utrjevanju stenskih poslikav pri preteklih restavratorskih posegih. b) FTIR-spekter proteinov, prisotnih pri ometih stenskih poslikav, ki so verjetno posledica utrjevanja z amonijevem kazeinatom (LESAR-KIKELJ et al., 2009).

lahko ugotovimo prisotnost preslikav oz. domodulacijskih mas in morebitnih materialov za utrjevanje (slika 8).

SKLEPI

Rezultati, ki jih lahko pridobimo s preiskavami sestave historičnih ometov, so ključnega pomena pri odločanju za najprimernejši konservatorsko-restavratorski poseg na določenem objektu, arheologom pa dajejo podatek o kronologiji, izvoru materiala in tehnologiji izdelave. Pridobljeni podatki imajo tudi veliko dokumentacijsko vrednost, saj dajejo pregled informacij o sestavi različnih ometov in ometom podobnih gradbenih materialov iz različnih obdobj na območju Slovenije. Podatek o sestavi ometov omogoča tudi pridobitev recepture ometa za rekonstrukcije, ki se približuje sestavi originalnega ometa.

Sestava ometov variira glede na geografsko pozicijo objekta, časovno obdobje graditve objekta, kot tudi glede na vrsto aplikacije. Vhodne surovine za omete so ponavadi pridobivali iz lokalnih virov. Večina ometov je apnenih. Glede na določene lastnosti, ki so jih želeli pridobiti pri posameznih ometih, so dodajali v vezivo različne dodatke. Rezultati preiskav kažejo, da so pri gradnji rimskih term uporabljali kot posebej dodani agregat v malto žgano glino in s tem dosegli njeno vodoodbojnost.

Vsi ti podatki nam govorijo o smiselnosti vzpostavitve baze historičnih ometov, ki bi bila ključnega pomena pri nadaljnjih preiskavah historičnih gradbenih materialov.

VIRI

- AL-SAAD, Z., ABDEL-HALIM, A. H. M. (2001): Laboratory evaluation of various types of mortars for the conservation of Quasr al-Bint Monument, Petra-Jordan, *Engineering Structures*, 23, str. 926–933.
- ALVAREZ, J. I., MARTÍN, A., GARCÍA CASADO, P. J., NAVARRO, I., ZORNOZA, A. (1999): Methodology and validation of a hot hydrochloric acid attack for the characterization of ancient mortars, *Cement and Concrete Research*, 29, str. 1061–1065.
- ARIOGLU, N., ACUN, S. (2006): A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach. *Building and Environment*, 41, str. 1223–1230.
- BENEDETTI, D., VALETTI, S., BONTEMPI, E., PICIOLI, C., DEPERO, L. E. (2004): Study of ancient mortars from the Roman Villa of Pollio Felice in Serrento (Naples). *Applied Physics A*, 79, str. 341–345.
- BOKAN-BOSILJKOV, V., BOSILJKOV, V. (eds.) (2008): *Caracterização, diagnóstico, conservação, reparação, compatibilidade*. Proceedings of 1st Historical Mortars Conference. Lisbon; LNEC.
- BOSCHETTI, C., CORRADI, A., BARALDI, P.

- (2008): Raman characterization of painted mortar in Republican Roman mosaics. *Journal of Raman Spectroscopy*, 39, 8, str. 1085–1090.
- CARDIANO, P., IOPPOLO, S., DE STEFANO, C., PETTIGNANO, A., SERGI, S., PIRAINO, P. (2004): Study and characterization of the ancient brick of monastery of “San Filippo di Fragalà in Fazzanò (Sicily), *Analytica Chimica Acta* 519, 103–111, str. 2004.
- 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*, 26, str. 1115–1122.
- VAN BALEN, K., TOUMBAKARI, E. E., BLANCO, M. T., AGUILERA, J., PUERTAS, F., SABIONI, C., ZAPPÀ, G., RIONTINO, C., GOBBI, G. (1999): *Procedure for a mortar type identification: A proposal*. Proceedings of the International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristic and Tests, Paisley, str. 351–359.
- CHAROLA, A. E. & HENRIQUES, F. M. A. (1999): *Hydraulicity in lime mortars revisited*. Proceedings of the International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristic and Tests, Paisley, str. 95–104.
- DEGRYSE, P., ELSÉN, J., WÄLKEN, M. (2002): Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation. *Cement and Concrete Research*, 32, str. 1457–1463.
- ELICES, M., ROCCO, C. G. (2008): Effect of aggregate size on the fracture and mechanical properties of a simple concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 75, 13, str. 3839–3851.
- ELSEN, J. (2006): Microscopy of historic mortars—a review. *Cement and Concrete Research*, 23, str. 1416–1424.
- ELSEN, J., BRUTSAERT, A., DECKERS, M., BRULET, R. (2004): Microscopical study of ancient mortars from Tournai (Belgium). *Materials Characterization*, 53, str. 289–294.
- FARCI, A., FLORIS, D., MELONI, P. (2005): Water permeability vs porosity in samples of Roman mortars, *Journal of Cultural Heritage*, 6, str. 55–59.
- FEATHERS, J. K., JOHNSON, J., RODRIGUEZ KEMBEL, S. (2008): Luminescence Dating of Monumental Stone Architecture at Chavín De Huántar, Perú. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 15, str. 1573–7764.
- GENESTAR, C., PONS, C., M´AS, A. (2006): Analytical characterisation of ancient mortars from the archaeological Roman city of Pollentia (Balearic Islands, Spain). *Analytica Chimica Acta*, 557, str. 373–379.
- GÜLEÇ, A., TÜLAY, T. (1997): Physicochemical and petrographical studies of old mortars and plasters of Anatolia, *Cement and concrete research*, 27, str. 227–234.
- HEINEMEIER, J., JUNGNER, H., LINDROOS, A., RINGBOM, Å., VON KONOW, T., RUD, N. (1997): AMS ¹⁴C dating of lime mortar. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 123, str. 487–459.
- HOFFMAN, P., VETTER, G. (1990): Analytical examination of mortars from the

- medieval derelict village Holzheim. *Presenius' Journal of Analytical Chemistry*, 338, 2, str. 1432–1130.
- HUGHES, D. C., SUGDEN, D. B. (1999): *The use of brick dust as a pozzolanic additon to hydraulic lime mortars*. Proceedings of the International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristic and Tests, Paisley, str. 351–359.
- KRAMAR, S. (2006): Cerkev Sv. Jakoba – LJUBLJANA, Kapela sv. Frančiška Ksaverja. EŠD 332. Poročilo o preiskavi malt in soli. ZVKDS, Restavratorski center. Ljubljana.
- KRAMAR, S., MIRTIC, B., GREGEROVÁ, M. (2007): Characterization of mortars used since baroque period on altar of St. Jacob Church (Ljubljana, Slovenia). *Geophys. res. abstr.*
- KRAMAR, S., LUX, J., MIRTIC, B. (2008): Analiza izbranih vzorcev malt in drugih gradbenih materialov iz objekta 2 rimske vile pri Mošnjah = Analysis of selected samples of mortars and other construction materials from object 2 of the Roman villa near Mošnje. *Varstvo spomenikov*, 44, str. 170–189.
- KRIŽNAR, A. (2006). Slog in tehnika stenškega slikarstva na Slovenskem, ZRC SAZU, Ljubljana, str. 360.
- KUČKOVÁ, S., HYNEKAND, R., KODICEK, M. (2009): Application of peptide mass mapping on proteins in historical mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 10., str. 244–247.
- LESAR KIKELJ, M., KRAMAR, S., MAUKO, A., KAVKLER, K. (2009): Investigation of mortars, previous restoration materials and monitoring of consolidation treatment: wall paintings of Franciscan monastery, Church of Lady Day, Ljubljana, Slovenia. V: *La troisieme rencontre Internationale sur le patrimoine architectural Mediterraneeen (RIPAM3)*, Lizbona.
- LUX, J., KRAMAR, S., TRŠAR ANDLOVIC, E., KIKELJ LESAR, M. (2009): Documentation and analysis of Roman mosaic of villa rustica near Mošnje (Slovenia). V: Workshop “Mosaico: archeometria, tecnologia e conservazione”, Faenza, 23–24 Marzo. 2. ed. [Faenza]: CNR-Instituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici, str. 12.
- LUXÁN, M. P., DORREGO, F., LABORDE, A. (1995): Ancient gypsum mortars form St. Engracia (Zaragoza, Spain): Characterization, identification of additives and treatmensts. *Cement and Concrete Research*, 25, str. 1755–1765.
- MARAVELAKI-KALAITZAKI, P., BAKOLAS, A., MOROPOULOU, A. (2004): Physico-chemical study of Cretan ancient mortars, *Cement and Concrete research*, 33, str. 651–661.
- MARAVELAKI-KALAITZAKI, P., BAKOLAS, A., KARATASIOS, I., KILIKOGLU, V. (2005): Hydraulic lime mortars with siloxane for waterproofing historic masonry, *Cement and Concrete research*, 35. str. 1577–1586.
- MARAVELAKI-KALAITZAKI, P. (2007): Hydraulic lime mortars with siloxane for waterproofing historic masonry, *Cement and Concrete research*, 37, str. 283–290.
- MEIR, I. A., FREIDIN, C., GILEAD, I. (2005): Analysis of Byzantine mortars from

- the Negev desert, Israel, and subsequent environmental and economic implications. *Journal of Archeological Science*, 32, 5, str. 767–773.
- MONTOYA, C., LANAS, J., ARANDIGOYEN, M., GARCÍA CASADO, P. J., ALVAREZ, J. I. (2004): Mineralogical, chemical and thermal characterisations of ancient mortars of the church of Santa María de Irache monastery (Navarra, Spain). *Materials and Structures*, 37, 6, str. 1871–6873.
- MOROPOLOU, A., TSIOURVA, T. H., BISBIKOU, K., BISCONTINI, G., BAKOLAST, A., ZENDIRT, E. (1996): Hot lime technology imparting high strength to historic mortars. *Construction and Building Materials*, Vol. 10, No. 2, str. 151–159.
- MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A., BISBIKOU, K. (2000): Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1, str. 45–58.
- MOROPOULOU, A., POLIKRETI, K., BAKOLAS, A., MICHAILIDIS, P. (2003): Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics. *Cement and Concrete Research*, 33, 6, str. 891–898.
- NAWROCKA, D., MICHNIEWICZ, J., PAWLYTA, J., PAZDUR, A. (2005): Application of radiocarbon method for dating of lime mortars. *GEOCHRONOMETRIA - Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology*, 24, str. 109–115.
- PALOMO, A., BLANCO-VARELA, M.T., MARTINEZ-RAMIREZ, S., PUERTAS, F., FORTES, C. (2002): Historical mortars: Characterization and Durability, New Tendencies and Research.
- PAAMA, L., PITKÄNEN, I., RÖNKKÖMÄKI, H., PERÄMÄKI, P. (1998): Thermal and infrared spectroscopic characterization of historical mortars, *Thermo-chimica Acta* 320, Amsterdam 1998, 127–133. str. 1223–1230.
- PAVIA, S. & CARO, S. (2008): An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archaeological material. *Construction and Building Materials*, 22, str. 1807–1811.
- RICCARDI, M. P., DUMINUCO, P., TOMASI, C., FERLONI, P. (1998): Thermal, microscopic and X-ray diffraction studies on some ancient mortars. *Thermo-chimica Acta*, 321, str. 207–214.
- RICCARDI, M. P., LEZZERINI, M., CARÒ, F., FRANZINI M., MESSIGA, B. (2007): Microtextural and microchemical studies of hydraulic ancient mortars: Two analytical approaches to understand pre-industrial technology processes. *Journal of Cultural Heritage*, 8, str. 350–360.
- SANCHEZ-MORALES, S., LUQUEA, L., CANAVERAS, J.C., SOLERC, V., GARCIA-GUINEA, J., APARICIOA, A. (2005): Lime pozzolana mortars in Roman catacombs: composition, structures and restoration. *Cement and Concrete Research*, 35, str. 1555–1565.
- SILVÁ, D. A., WENK, H. R., MONTEIRO, P. J. M. (2005): Comparative investigation of mortars from Roman Colosseum and cistern. *Materials Characterization*, 438, str. 35–40.
- STEFANIDOU, M., PAPAYIANNI, I. (2005): The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars. *Ce-*

- ment and Concrete Composites*, vol. 27, no. 9–10, str. 914–919.
- SONCK-KOOTA, P., LINDROOS, A., LILJ, J. O., RAJANDER, J., VIITANEN, E. M., MARRA, F., PEHKONEN, M. H., SUKSI, J., HESELIUS, S. J. (2008): External-beam PIXE characterization of volcanic material used in ancient Roman mortars. *Nuclear instruments and Methods in Physics Research B*, 266, str. 2367–2370.
- UROŠEVIČ, M. (2005): Preiskave apnenih ometov iz baročnega dvorca Novo Celje: diplomsko delo, NTF, Oddelek za geologijo, Ljubljana.
- VÁLEK, J., SLÍŽKOVÁ, Z., ZEMAN, A., FROLÍK, J., BRUTHANS, J. (2008): *Study of properties of historic mortars and renders – development of a comparative database*. Proceedings of 1st Historical mortars conference, Lizbon.
- VELOSA, A. L., COROADO, J., VEIGA, M. R., ROCHA, F. (2007): Characterisation of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair. *Materials Characterization*, 58, str. 1208–1216.
- VITRUVIUS, P. M. (1960): The ten books on architecture, Dover Publications, INC, New York, str. 331.
- ZACHARIAS, N., MANZ, B., MICHALE, C. T. (2002): Luminiscence quartz dating of lime mortars. A first research approach. *Radiation Protection Dosimetry*, 101, str. 379–382.
- ZALAR, V. (2008): Rimskodobni ometi v Sloveniji: seminarska naloga, NTF, Oddelek za geologijo, Ljubljana.
- ZALAR, V. (2009 a): Mineraloška karakterizacija rimskodobnih ometov iz Mošenj in Ljubljane: diplomsko delo. NTF, Oddelek za geologijo, Ljubljana.
- ZALAR, V., MIRTIC, B., KRAMAR, S. (2009 b): Uporaba optične mikroskopije in rentgenske praškovne difrakcije pri kvalitativnih in kvantitativnih preiskavah historičnih ometov. *Geološki zbornik*, 20, str. 195–197.
- 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 Characterizations*, 58, str. 1229–1239.
- ZAURIDAKIS, N., SALIEGE, J. F., PERSON, A., FILIPPAKIS, S. E. (2007): Radiocarbon dating of mortars from ancient Greek places, *Archaeometry*, 29, str. 60–68.