

Prolaz pod zvonikom katedrale sv. Dujma u Splitu



LUK MAJSTORA OTTA POD SVODOM ZVONIKA KATEDRALE SV. DUJMA U SPLITU

Dokumentacija konzervatorsko-restauratorskog postupka

UDK: 726.6 (497.5 Split): 7.025.3/4

Rukopis primljen u tisak 15. 06. 2010.

Stručni članak

Professional paper

Autorica donosi analize kemijskih i fizikalnih procesa koji uzrokuju oštećenja na površini kamenog luka s prizorima lova na zvoniku katedrale sv. Dujma u Splitu. Temeljem dijagnostičkih ispitivanja određen je konzervatorsko-restauratorski postupak

Arhitektonski luk s lovačkim prizorima smješten je na zapadnoj strani pod svodom zvonika katedrale sv. Dujma u Splitu. Luk je zaštićen od direktnog utjecaja kiše što je rezultiralo taloženjem nečistoća iz atmosfere na površini kamena odnosno potpunim prekrivanjem kamena crnim skramama različite debljine i teksture. Skrame nastaju taloženjem nečistoće iz atmosfere na površini kamena. Osim što estetski degradiraju kamen, skrame u svom sastavu sadrže i štetne topljive soli koje kemijskim i fizikalnim procesima uzrokuju oštećenja. Topljive soli (sulfati, kloridi, nitrati) djelovanjem vlage ulaze u strukturu kamena gdje uzastopnim procesima sušenja i vlaženja nastaju snažni kristalizacijski i hidratacijski tlakovi koji uzrokuju oštećenje u obliku ljuskanja i osipanja kamena.

Cilj ovog rada bilo je istraživanje utjecaja okoliša na stanje i promjene na površini kamena arhitektonskog luka s prizorima lova pod svodom zvonika katedrale sv. Dujma, kao i njegova konzervacija i restauracija.

Kako bi se odredilo stanje kamena, postavila precizna dijagnoza i odabrale odgovarajuće konzervatorsko-restauratorske metode, obavljena su dijagnostička ispitivanja. Provedeno je ispitivanje mikrostrukture kamena, mikrokemijska analiza dokazivanja kristala gipsa u skrami te kvalitativna i kvantitativna kemijska analiza topljivih soli. Temeljem

proučavanja zatečenog stanja i rezultata kemijskih analiza, tvrtka “Neir” d.o.o. iz Splita provela je tijekom 2009. i 2010. godine konzervatorsko-restauratorski postupak pod vodstvom autorice ovih redaka.

POVIJESNI PREGLED I OPIS SPOMENIKA

Gradnja zvonika splitske katedrale trajala je od XIII. do XVI. stoljeća, a radikalna rekonstrukcija provedena je krajem XIX. i početkom XX. stoljeća. Romanički luk s lovačkim prizorima pripisuje se majstoru Ottu, koji je izradio reljef s prikazom sv. Petra, sv. Dujma i sv. Staša, uzidan na istočnoj strani podnožja zvonika gdje se autor i potpisao. Na arhitektonskom luku koji uokviruje svod zvonika prema Peristilu od desna na lijevo prikazani su likovi i prizori u polureljefu. Iznad scene čovjeka u borbi s lavom lik je golog dječaka ili mladića uzdignutih ruku s pogledom usmjerenim u stranu. Treći lik prikazuje čovjeka u dugoj opasanoj tunici, s dugom kosom do ramena i mekanom kapom na glavi. Čovjek u desnoj ruci drži kratki dvosjekli mač. Nad ovim likom je čovjek jednako odjeven, obje ruke uzdiže prema orlu koji nosi neku četveronožnu životinju. Zatim slijedi lovac koji odapinje strijelu na medvjeda. Na lijevoj strani luka prema gore slijedi nekoliko lovačkih scena. Na dnu luka lovac puše u rog iz kojeg izlazi nekakav čudan jezik. Do njega je neobična životinja slična zmaju. Lovac u dugoj tunici opasan je pojasom s jednakom karikom kao telamon na skulpturi pred zvonikom. Slično odjevenog čovjeka napada sa zemlje neka životinja slična psu, a on se brani buzdovanom. Veći dio lijevog luka pokriven je stiliziranim vegetabilnim motivima koji sličje vinovoj lozi, ali im je lišće vrlo neodređena oblika. Četiri četveronožne životinje jedu mlade stabljike te biljke, dok jedna ptica zoblje plod nalik grozdu. Na vrhu su neka četveronožna životinja i divlja svinja u lišću koju sišu dva mlada.



Lijeva (sjeverna) strana luka



Detalj desne strane luka



Središnji dio luka

ZATEČENO STANJE SPOMENIKA

Arhitektonski luk pod svodom zvonika katedrale sv. Duje izrađen je od bijelog vapnenca i mramora antičkog porijekla krupno zrnate strukture (prokoneški mramor). Elementi luka za arhitekturu su zvonika povezani bakrenim klinovima. Vizualnim proučavanjem zatečenog stanja spomenika evidentirana su onečišćenja u obliku crnih skrama, razlistavanja, ljuštenja i šećerastog osipanja kamena i erodirane površine.

Anorganska onečišćenja - crne skrame

Anorganska onečišćenja odnosno crne skrame prekrivaju površinu kamena, a ustanovljena je debljina praškastih skrama od 1 – 3 mm, te kompaktnih sigastih i do 1 cm. Crna boja potječe od čestica nečistoće i čađe koja je uglavnom nastala izgaranjem fosilnih goriva, ugljena u kućanstvima i industrijskim postrojenjima. Naime, tijekom 125 godina, u Splitu i njegovoj okolici postoji cementna industrija koja izuzetno doprinosi onečišćenju kamenih spomenika i taloženju nečistoća.

Oštećenja kamena djelovanjem vlage – ljuštenje, ljuskanje i osipanje kamena

Kao izraziti problem na kamenu ističu se oštećenja u obliku ljuskanja, razlistavanja i ljuštenja površinskog sloja kamena, što uzrokuje osipanje i gubitak materijala. Ovi oblici oštećenja prouzročeni su djelovanjem likvidne (kiša) i higroskopne (sulfati iz zagađene atmosfere i kloridi iz mora) vlage.

Proučavanjem slijevanja vode niz zvonik dok kiši, utvrđeno je da voda koja se slijeva niz vanjske strane zvonika prolazi kroz sljubnice između kamenih elemenata u kojima u



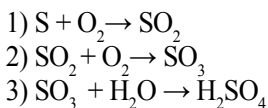
Crne sigaste kompaktne i praškaste skrame

mjenama sušenja i vlaženja, njihova se koncentracija sve više povećava. Kada volumen kristala dosegne volumen pore u kamenu, počinju unutar pora rasti kristalizacijski tlakovi koji se prenose na stijenku pore. Ova pojava se naziva subflorescencija. Ti tlakovi mogu doseći vrlo visoke vrijednosti koje nadmašuju čvrstoću građevnog materijala, a kao posljedica nastaje pucanje kamena, ljuškanje i kristalično osipanje. Ovi procesi prouzročili su degradaciju i oštećenje pojedinih likova na desnoj strani luka do neprepoznatljivosti.

Kloridi potječu iz morskog okoliša i spadaju u skupinu bezvodnih soli. Vrlo su pokretljive i stoga prodrone, pa razaraju kristalne strukture kamena. U slučaju kondenzacije vlage na površini, kloridi se prvi otapaju i putuju u dubinu kamena, ostavljajući prostor drugim solima. Koncentracijom bezvodnih soli i rastom kristala, u porama kamena pojavljuju se visoki kristalizacijski tlakovi koji razaraju kamen.

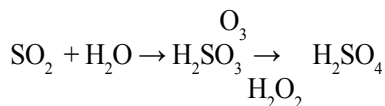
Sulfati nastaju izgaranjem fosilnih goriva koja se koriste u industrijskim postrojenjima.

Izgaranjem fosilnih goriva oslobađa se sumpor koji procesom fotosinteze prelazi u sumporni dioksid (reakcija broj 1). Sumporni dioksid pod utjecajem ultraljubičastih zraka oksidira u sumporni trioksid (reakcija broj 2). Sumporni trioksid s vodom iz atmosfere prelazi u sulfatnu kiselinu (reakcija broj 3) koja djeluje na kalcijev karbonat, pretvarajući ga u štetni kalcijev sulfat:



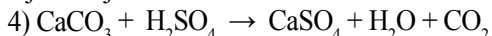
potpunosti nedostaje mort. Slijevanje vode je intenzivnije na desnoj strani luka jer je prostor između kamenih elemenata veći nego na lijevoj strani. Uzastopni procesi sušenja i vlaženja kamena uzrokuju proces otapanja i kristalizacije soli u kamenu. Većina topljivih soli mnogo je higroskopskija od samog kamena iz čega slijedi da s povećanjem vlage u zraku raste i vlaga materijala i to razmjerno udjelu soli. Soli dospjele u kamen prilikom sušenja kamena migriraju prema površini, a isparavanjem vlage zaostaju na površini kamena gdje se koncentriraju i kristaliziraju, te tako nastaju svijetle mrlje na površini. Ova pojava se naziva eflorescencija ili iscvjetavanje soli. Čestim iz-

Stvaranje sulfatne kiseline u atmosferi tumači se i na način da najprije sumporni dioksid tvori s vodom sulfitnu kiselinu koja s molekulama ozona oksidira u sulfatnu kiselinu:

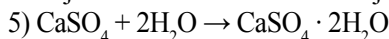


Oksidacija SO_2 u SO_3 može se dogoditi i utjecajem sulfobakterija.

Djelovanjem sulfatne kiseline na kamen nastaje kalcijev sulfat (4):



Kalcijev sulfat s vodom tvori kalcijev sulfat bihidrat (mineral gips) (5):



Gips spada u skupinu soli s kemijski vezanom vodom, te je kao i sve topljive soli higroskopan pa, s obzirom na uvjete okoliša, može apsorbirati i otpuštati vlagu iz zraka. U suhom zraku može izgubiti i dio kemijski vezane vode i prijeći u kalcijev sulfat hemihidrat – mineral *basanit* – (6):

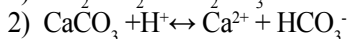


Ponovna pretvorba hemihidrata (*basanit*) u bihidrat (*gips*) može se dogoditi ili smanjenjem temperature kod iste relativne vlage zraka ili povećanjem udjela vlage u kalcijevu sulfatu kod iste temperature prilikom čega, osim kristalizacijskih, nastaju visoki hidratacijski tlakovi koji štetno djeluju na materijal, razarajući ga.

Erodirane površine kamena

Na arhitektonskom crtežu zatečenog stanja luka, ucrtane su zone erozije na kamenu, nastale utjecajem vode. Voda na kamen štetno djeluje dvojako: mehanički (erozija) i kemijski (korozija). Erozijsko djelovanje manifestira se udarom kišnih kapi o površinu kamena uslijed čega dolazi do mehaničkog izbijanja slabo vezanih čestica. Kiša u svom sastavu sadrži otopljen ugljični dioksid (CO_2) koji tvori slabu karbonatnu kiselinu (H_2CO_3). Ugljična kiselina reagira s karbonatom, otapa ga i pretvara u bikarbonat. Reakcija je reverzibilna.

Budući da bikarbonat nije stabilan, u povoljnim uvjetima okoliša pretaloži se u karbonat, pa nastaju sigaste cjedine, a proces se zbiva prema kemijskim reakcijama:



DIJAGNOSTIKA

S ciljem karakterizacije stanja i promjena nastalih na kamenu, postavljanja pre-



Razlistavanje i luskanje kamena



Izmjenični procesi sušenja i kristalizacije soli prouzročili su oštećenje pojedinih likova do neprepoznatljivosti

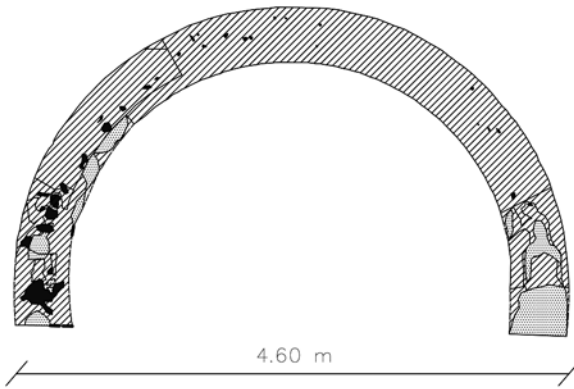


Erodirane površine na sceni čovjeka u borbi s lavom

cizne dijagnoze i odabira odgovarajućih konzervatorsko-restauratorskih metoda, provedena su dijagnostička ispitivanja. Za izvođenje kemijskih analiza uzeti su uzorci kamena i skrame s luka na mjestu postojećih oštećenja i osipanja kamena. Mjesta uzimanja uzoraka prikazana su na arhitektonskom crtežu: oznakom U1 označen je uzorak skrame, a oznakama U2 i U3 uzorci kamena.

Ispitivanje mikrostrukture kamena provedeno je na uzorku kamena U3, kvalitativna i kvantitativna kemijska analiza topljivih soli u kamenu obavljene su na

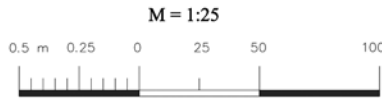
ZATEČENO STANJE LUKA



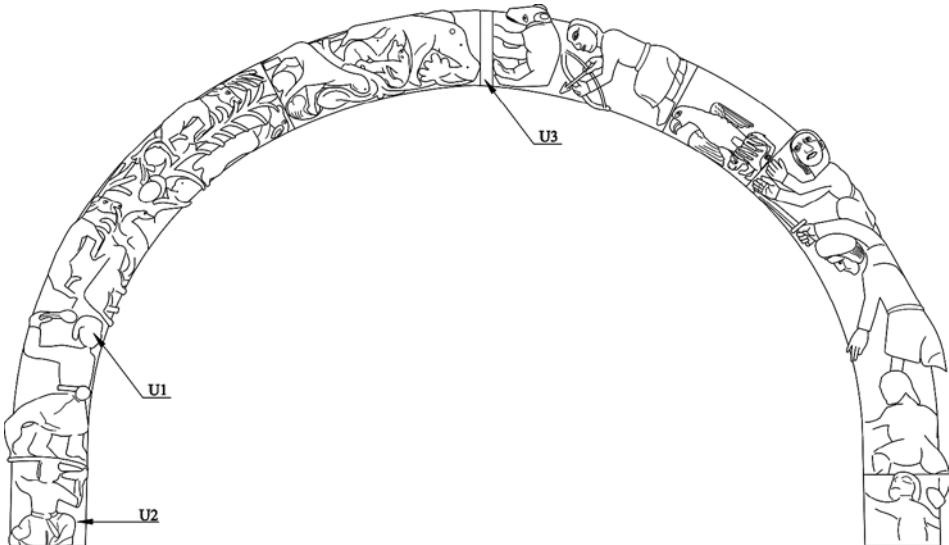
LEGENDA:

-  SKRAME
-  ERDIRANO
-  LJUSKANJE

MAŠINSKI 1:25	PROJEKCIJA ARHITEKTONSKA LUKA I LOKALIZACIJA PROJEKCIJA PROJEKCIJA ZA STANJE I PR. OLUK
NAZIV DOKUMENTA POGLEDI	NAZIV OBLASTI POGLEDI NA LUKU
PROJEKCIJA PROJEKCIJA	PROJEKCIJA PROJEKCIJA



Shematski crtež luka s označenim površinama i vrstama oštećenja



Crtež zatečenog stanja luka s označenim mjestima uzimanja uzoraka
(Klara Šolić, dipl. ing. geod.)

uzorcima kamena U2 i U3, a dokazivanje kristala kalcijeva sulfata u skrami provedeno je na uzorku skrame U1.

Mikroskopsko ispitivanje strukture kamena

Mikroskopska ispitivanja strukture provedena su na uzorku kamena U3 zalivenom u poliestersku smolu. Uzorak je proučavan i fotografiran pod mikroskopom Dino-Lite Pro Digital Microscope AM-413T. U svrhu izrade poliesterskih uzoraka koristi se poliesterska smola Chromoplast A 123 UV, a postupak izrade je sljedeći: određena količina smole odlije se u staklenu čašicu kojoj se dodaje ubrzivač (kobalt naftnat) i to u količini od dvije kapi



Mjesto uzimanja uzorka kamena U3

na 0,5 dl smole. Smola s ubrzivačem podijeli se na dva jednaka dijela s tim da se jednom dijelu doda katalizator (metil-etil-keton-peroksid) i ulije se u kalup od silikonske gume do polovice. Na stvrdnutu se smolu stavlja uzorak kamena i zalije drugim dijelom smole, kojoj je prethodno dodan katalizator. Osušeni uzorci se bruse i poliraju brušnim papirom različitih gradacija.

Mikrostruktura kamena fotografirana je pod povećanjem od 50x, kao i pod povećanjem od 200x. Vidljiva je bijelo-siva boja kamena s nepravilnim oblicima mineralnih nakupina, a na mjestu uzimanja uzorka homogene je

strukture. Na fotografijama se jasno uočavaju šupljine označene strelicama, nastale djelovanjem snažnih kristalizacijskih i hidratacijskih tlakova uslijed kristalizacije soli.

Kemijske analize

Mikroanaliza skrame

Na uzorku skrame provedena je mikrokemijska analiza dokazivanja kristala gipsa s 10-postotnom otopinom kloridne kiseline (HCl). U uzorku skrame U1. dokazana je pri-



Mjesto uzimanja uzorka skrame U1



Mjesto uzimanja uzorka kamena U2



Mikrostruktura kamena pod povećanjem od 50x



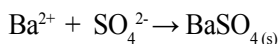
Mikrostruktura kamena pod povećanjem od 200x

sutnost kristala gipsa temeljem čega se može zaključiti da se radi o sulfatnim skramama. Kristali gipsa snimljeni su mikroskopom Dino-Lite Pro Digital Microscope AM-413 T pod povećanjem od 200x. Temeljem ove analize zaključuje se da je neophodno čišćenje sulfatnih skrama kako bi se spriječio štetan utjecaj soli na kamen.

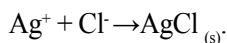
Kvalitativna kemijska analiza

Kvalitativna kemijska analiza dokazivanja sulfata i klorida provedena je na uzorcima kamena U2 i U3. Za ispitivanje soli korištene su klasične metode kvalitativne analize. Nakon pripreme, uzorci kamena usitne se u tarioniku i tretiraju s destiliranom vodom. Nakon ekstrakcije topljivih komponenata filtriranjem, neotopljeni se dio odvoji od otopine. Iz alikvotnih dijelova filtrata analiziraju se anioni.

Dokazivanje sulfata provodi se na način da se 5 ml vodenog ekstrakta zakiseli s dvije kapi 10-postotne klorovodične kiseline, a zatim se doda 2 – 3 kapi 5-postotne otopine BaCl_2 . Nakon mućkanja, izlučuje se bijeli talog koji dokazuje prisutnost sulfata prema reakciji:



Dokazivanje klorida izvedeno je na način da se 5 ml vodenog ekstrakta zakiseli s 1 – 2 kapi koncentrirane dušične kiseline do kisele reakcije (taloženje se odvija u kiselom mediju, da se eliminira nepoželjni utjecaj aniona slabih kiselina koji se taloži s AgNO_3 u neutralnom mediju). Nakon dodavanja nekoliko kapi AgNO_3 , vodeni ekstrakt se promućka. Bijeli sirasti talog nastaje uslijed prisutnosti klorida prema reakciji:



Kvalitativnim kemijskim analizama dokazana jer prisutnost sulfata i klorida u oba analizirana uzorka kamena U2 i U3.

Kvantitativna kemijska analiza

Kvantitativna analiza sulfata provedena je spektrofotometrijskom metodom, klorida volumetrijskom analizom, a nitrata pomoću semikvantitativnog testa.

Rezultati kvantitativnih analiza prikazani su u tablici broj 1. Temeljem provedenih kvantitativnih kemijskih analiza topljivih soli prema Austrijskom standardu B 3355-1,

utvrđeno je da su sulfati u oba uzorka U2 i U3 detektirani u štetnoj koncentraciji. Kloridi u uzorku U2 detektirani su u neštetnoj, a u uzorku U3 u moguće štetnoj koncentraciji, dok su nitrati u oba uzorka detektirani u neštetnoj koncentraciji. Temeljem rezultata kvantitativne analize, utvrđeno je da je neophodno provesti postupak desalinizacije kako bi se spriječio oštećivanje kamena utjecajem topljivih soli, a postupci i metode odsoljavanja opisane su u poglavlju o postupku desalinizacije kamena prije stabilizacije.

Izmjerena je i pH vrijednost vodene otopine pomoću indikatorskih traka, a rezultati su priloženi u tablici broj 1:

Tablica 1. Rezultati kvantitativne kemijske analize

	Kloridi %	Sulfati %	Nitrati %	pH
Uzorak U2	0,02	0,9	0.01	7
Uzorak U3	0,06	0.6	0.01	7

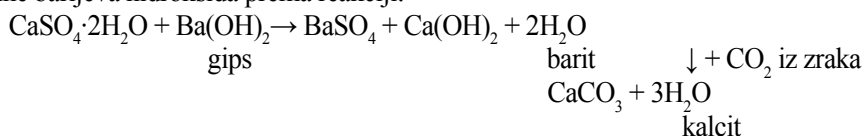
Zaključak

Proučavanjem mikrostrukture kamena, uočene su šupljine nastale djelovanjem snažnih hidratacijskih i kristalizacijskih soli uslijed djelovanja topljivih sulfata koji su kvantitativnom analizom dokazani u štetnoj koncentraciji. Nakon čišćenja skrama, potrebno je provesti desalinizaciju kamena kako bi se spriječio proces propadanja kamena djelovanjem soli.

Konzervatorski postupci

Desalinizacija oštećenih zona kamena prije stabilizacije

Oštećene zone kamena bilo je neophodno odsoliti prije stabilizacije kako topljive soli ne bi ostale vezane u kamenu. Postupak odsoljavanja sulfata u oštećenim zonama kemijskom pretvorbom topljivih sulfata u netopljive soli proveden je upotrebom 7-postotne otopine barijeva hidroksida prema reakciji:



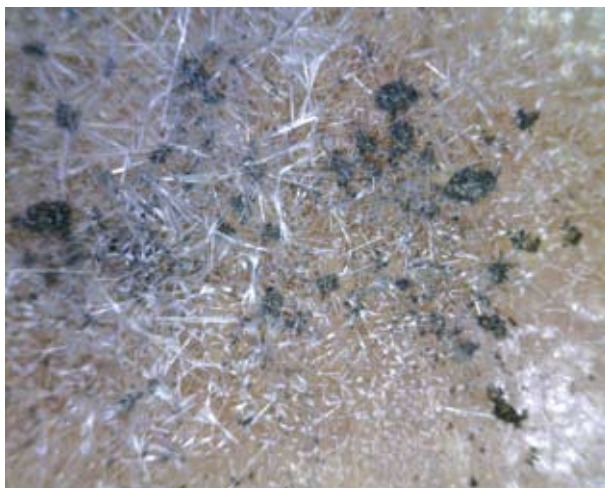
Otopina 7-postotne koncentracije pripravljena je prema sljedećoj recepturi:

- 7 g barij-hidroksida
- 2 g uree
- 100 ml vode.

Urea se dodaje s ciljem otpuštanja CO₂ radi ubrzanja procesa pretvorbe kalcijevog hidroksida u kalcijev karbonat. Oštećene su zone pripremljenom otopinom tretirane ubrizgavanjem špricom. Nakon tretiranja oštećenja 7-postotnom otopinom barijeva hidroksida, površina luka prekrivena je plastičnom folijom tijekom dva dana radi osigura-

vanja vlažnosti za kemijsku reakciju. Taj postupak traje tri tjedna. Nakon toga započelo je odsoljavanje klorida koji su u uzorku kamena U3 dokazani u moguće štetnoj koncentraciji.

Desalinizacija klorida provodila se ispiranjem oštećenih zona s destiliranom vodom upotrebom špiće i uređaja Karcher SC 952. Uređaj Karcher SC 952 ispušta vodu u obliku vodene pare pod povišenom temperaturom koja ubrzava proces otapanja klorida i postupak



Kristali gipsa u skrami

odsoljavanja. Voda kontaminirana kloridima sakupljena je u plastičnoj posudi. Postupak odsoljavanja provjeren je kvalitativnom analizom za dokazivanje klorida, ranije opisanom u dijelu o kvalitativnoj kemijskoj analizi.

Stabilizacija oštećenih zona kamena

Nakon desalinizacije oštećenih zona kamena, obavljena je stabilizacija oštećenja konsolidiranjem s akrilnom emulzijom. Postupak se provodi ubrizgavanjem akrilne emulzije špricom u zone oštećenja. Sutradan nakon sušenja akrilne emulzije, šupljine unutar oštećenja ispunjene su smjesom prosijanog umjetnog kamena trgovačkog naziva Mar Grip 411/ZB. Prosijani kameni agregat miješa se s akrilnom emulzijom koja nakon sušenja posjeduje svojstva slična kamenu.

Čišćenje kamena

Čišćenje kamena laserom

Nakon stabilizacije oštećenih zona, pristupilo se čišćenju crnih skrama s kamena laserom. Lasersko čišćenje je pojam koji obuhvaća fotomehanički ili fototermički proces uklanjanja degradirajućeg materijala sa supstrata u brzim i kratkim laserskim pulsovima. Najveća prednost čišćenja je u tome što nema fizičkog kontakta između instrumenata i tretirane površine, što omogućuje rad i na izuzetno osjetljivim i oštećenim površinama čak i prije konsolidacije. Lasersko svjetlo djeluje na način da uklanja nečistoću mikronske preciznošću, ono je usmjereno, visokoprecizno i stimulativno. Laser koji se koristi za čišćenje kamena je svjetlo koje djeluje između infracrvenog i ultraljubičastog područja. Djelujući na nečistoću (crne kore), lasersko svjetlo stvara fotomehanički efekt u kojem nečista površina snažno apsorbira energiju, te prljavština nestaje u vidu vodene pare i sitnih čestica. Laser za čišćenje kamena radi na valnoj duljini od 1064 nm. Bitno je naglasiti da

se ovim procesom u potpunosti čuva patina koja je prirodna zaštita kamena.

Pokusi čišćenja kamena provedeni su na stabiliziranim oštećenjima kako bi se utvrdio učinak djelovanja lasera na oštećeni kamen. Za čišćenje kamena korišten je laser s artikuliranom rukom naziva *Michelangelo Quanta Sistem*. Nakon obavljenih pokusa čišćenja, pristupilo se sustavnom čišćenju kamena.

Čišćenje kamena mikropjeskarenjem

Nakon uklanjanja crnih skrama, uočeno je da je površina kamena (osim erodiranih i oštećenih područja) prekrivena tankim slojem kamenca koji je uklonjen metodom mikropjeskarenja strojem naziva Rotex Honda GX 120. Kao agregat korišten je proizvod trgovačkog naziva Rotec Glaspudermehel, prilagođeno sredstvo za Rotec-tehniku čišćenja vrtložnim mlazom, a proizveden je iz aluminij-silikatnih staklenih masti. Granulacija ovog agregata je 40-90 μm , specifična težina cca. 2.6 g/m^3 , nasipna gustoća cca. 1,3 -1,4



Oštećena zona kamena



Pokus čišćenja laserom u području oštećene zone

g/m^3 , oblik granulata je kubni i čvrstoća prema Mohsu je 6 – 7. Prije početka čišćenja načinjena je proba kojom je utvrđeno da čišćenje ne oštećuje kamen. Deblje nakupine kamenca prethodno su stanjene upotrebom dljetta i čekića uz strogu kontrolu postupka.

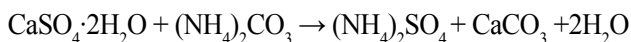
Desalinizacija kamena

S obzirom na detektiranu štetnu koncentraciju sulfata i veoma trošno stanje kamena, postupak desalinizacije je proveden kemijskim putem u dva koraka, upotrebom 15-postotne otopine amonijeva karbonata i 7-postotne otopine barijeva hidroksida.

1. Postupak desalinizacije 15-postotnom otopinom amonijeva karbonata

Na površinu kamena nanesen je sloj obloge od celulozne pulpe namočene u

15-postotnu otopinu amonij-karbonata. Pri tome dolazi do reakcije gipsa s amonijevim karbonatom:



Nastaje amonijev sulfat i netopljivi kalcijev karbonat. Nakon nanošenja celuloznih obloga, površina kamena prekrivena je plastičnom folijom. Nakon tri dana, folija je uklonjena kako bi se pulpa osušila. Sušenjem pulpe, nastali amonijev sulfat, koji je vrlo topljiva tvar, migrira s vodom na površinu obloge. S vodom će na površinu obloge ujedno migrirati i topljivi kloridi. Nakon potpunog sušenja, pulpa je uklonjena s kamena, a na površinu kamena nanesen je sloj celulozne pulpe namočene vodom s ciljem neutralizacije prethodnog postupka, ali i ekstrakcije topljivih klorida iz kamena koji su kvantitativnom analizom dokazani u potencijalno štetnoj koncentraciji. Nakon sušenja, pulpa je uklonjena s kamena.

2. Postupak desalinizacije 7-postotnom otopinom barijeva hidroksida

Na površinu kamena prskanjem je nanescena 7-postotna otopina barijeva hidroksida s ciljem pretvorbe topljivog kalcijeva sulfata u kamenu koji nije pretvoren prethodnom metodom s amonijevim karbonatom. Kemijska reakcija pretvorbe topljivog kalcijeva sulfata u kalcit prikazana je u dijelu o desalinizaciji oštećenih zona kamena prije stabilizacije.

Nakon nanošenja barijeva hidroksida, površina kamena prekrivena je plastičnom folijom u trajanju od dva dana, kako bi se osigurala dovoljna količina vlage za kemijsku reakciju.



Luk za vrijeme čišćenja crnih skrama

Konsolidacija kamena

Na nekim dijelovima luka jasno se uočava vrlo trošna struktura kamena koju je potrebno konsolidirati. Konsolidacija kamena provedena je 2-postotnom otopinom akrilne smole *Paraloid B-72*. Smola je otopljena u acetonu. Prije nanošenja konsolidanta na cijelu površinu luka, načinjen je pokus na ograničenom području. Konsolidant je nanesen kistom dva puta na površinu kamena.

RESTAURATORSKI POSTUPAK

Spajanje razlomljenih dijelova kamena

Na desnoj strani luka dio stopala lika s mačem odvojio se od cjeline nakon čišćenja. Taj fragment je vraćen lijepljenjem dvokomponentnim poliesterskim ljepilom trgovačkog naziva *General*. Prije nanošenja ljepila, površine su očišćene acetonom.

Nadopuna umjetnim kamenom

Također su strelicama označene rekonstrukcije na kamenu. Nakon čišćenja, uočene su rekonstrukcije izrađene prilikom prethodnog zahvata na spomeniku. Vjerojatno su izvedene vapnenim mortom te su tijekom konzervatorsko-restauratorskog postupka rekonstrukcije uklonjene dljetom i čekićem, a na njihovu su mjestu izrađene nove.

Rekonstrukcije kamena provedene su upotrebom smjese umjetnog kamena Mar Grip 411/ZB. Usitnjeni kameni agregat miješa se s akrilnom emulzijom. Pripremljena smjesa nakon sušenja posjeduje svojstva slična kamenu i veoma se lako obrađuje. Smjesom umjetnog kamena ispunjene su oštećene zone kako bi se spriječio prodor vode u strukturu kamena, ali ujedno i postigao efekt estetskog ujednačavanja površine. Rekonstrukcije su obavljene u skladu konzervatorsko-restauratorske etike da rekonstrukcija prestaje tamo gdje započinje pretpostavka o izvornom izgledu forme. Rekonstrukcije kamena nakon sušenja izbrušene su brusnim papirom broj 100, 200, 400 i 1000. Toniranje rekonstrukcija obavljeno je bojom pripremljenom miješanjem smeđeg i crnog pigmenta, vode i akrilne emulzije.

Izrada sljubnica

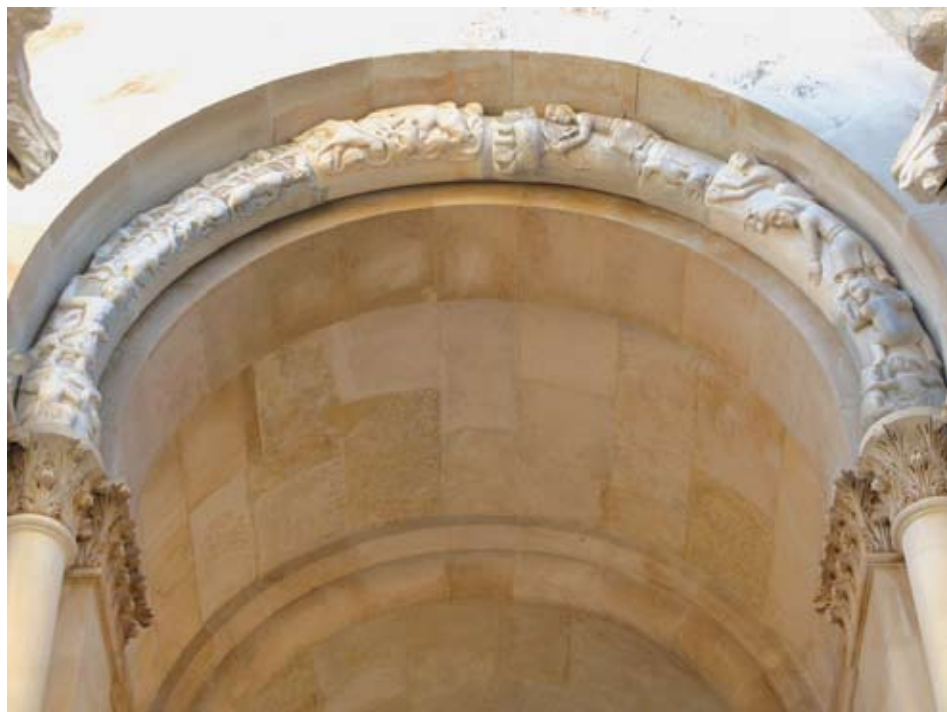
Sljubnice između kamenih elemenata luka izrađene su upotrebom materijala trgovačkog naziva Asper-am koji se sastoji od hidrauličnog veziva i agregata. Odlikuje se optimalnim učvršćivanjem za površinu, visokom propusnošću vodene pare, kontroliranom plastičnošću i hidrauličnim stezanjem. Ovim su materijalom ujedno ispunjene i sljubnice na zidu iznad luka kako bi se spriječilo slijevanje kiše niz luk.

HIDROFOBIZACIJA KAMENA

S ciljem sprečavanja zadržavanja vode na površini, kamen je tretiran



Trošna struktura kamena



Izgled luka nakon provedenog konzervatorsko-restauratorskog postupka

otopinom za hidrofobnu zaštitu trgovačkog naziva Fakolith FK7 na bazi silikonske mikroemulzije, bez organskih otapala i uljnih derivata. Mikroemulzija Fakolit FK7 služi za konzervaciju i zaštitu od vlage, kao bezbojan vodoodbojan premaz, ima dugotrajno fungicidno i algicidno djelovanje. Priprema se razrjeđivanjem s vodovodnom vodom u omjeru 1:14 i na površinu kamena nanosi se kistom u dva sloja. Nakon nanošenja, na površini kamena stvara vodoodbojni sloj koji propušta vodenu paru, otporan je na UV-zračenja, lužine, kiseline, vremenske utjecaje i odbija onečišćenja.

LITERATURA:

- D. Kečkemet, “Figuralna skulptura zvonika splitske katedrale”, *Prilozi povijesti umjetnosti u Dalmaciji* 9, Split, 1955.
- H. Malinar, *Vlaga u povijesnim građevinama – sistematika, dijagnostika, sanacija*. Mala biblioteka Godišnjaka zaštite spomenika kulture Hrvatske, vol. 11, Zagreb, 2003.
- A. Zanini, “Laser cleaning of stone, arhitectural surface and objects”. *Seminar i radionica o konzervaciji kamena*, Umjetnička akademija Sveučilišta u Splitu, Odsjek za konzervaciju i restauraciju, Split, 2004.

THE ARCH OF THE MASTER OTTO UNDER THE VAULT OF THE BELL TOWER OF THE CATHEDRAL OF ST DOMNIUS IN SPLIT

The documentation of the conservation treatment

S u m m a r y

The construction of the Bell Tower of the Cathedral in Split lasted from the 13th until the 16th century, and its radical reconstruction was made at the end of the 19th and the beginning of the 20th century. The architectural arch showing the scenes of hunting is situated on the west side under the vault of the Bell Tower of the Cathedral of St Domnius in Split. The Romanesque arch is attributed to Master Otto who made the relief showing St Peter, St Domnius and St Anastrasius, built in on the east side of the foot of the Bell Tower, and on which the author signed his name. The arch has been protected from the direct influence of rain, because of which the dirt from the atmosphere settled in on the stone surface. Besides the aesthetic degradation of the stone, the film in its composition also contains harmful and soluble salts which, through chemical and physical processes cause damage. The soluble salts (sulphates, chlorides, nitrates) enter the structure of the stone through the activity of moisture where, through the successive processes of drying and moisturizing, powerful crystallization and hydration pressures are created, causing damage in the form of flaking and crumbling of the stone.

The aim of this work was to research the influence of the environment on the state and the changes on the stone surface of the architectural arch showing hunting scenes under the vault of the Bell Tower of the cathedral of St Domnius, as well as its conservation and restoration.

In order to determine the state of the stone, to make a precise diagnosis and to choose the proper conservatory and restoration methods, some diagnostic tests were made. The test for the micro structure of the stone, micro – chemical analysis of proving plaster crystals in the film, as well as a qualitative and quantitative chemical analysis of soluble salts were made. Through studying the current state of the stone and by gaining the results of the chemical analysis, “Neir d.o.o.”, a company from Split, made the conservation treatment during 2009 and 2010, under the guidance of the author of this article.