

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca *tenelije, miljevine i muljike*

Krešimir Šaravanja

Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja HNŽ/K i Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Mostaru, doc. dr. sc., kresimir.saravanja@fgag.sum.ba

Sažetak: Da bi izbjegli složene procese promjena, odnosno trošenja (propadanja) ugrađenih slatkovodnih vapnenaca u mnogobrojnim građevinama i/ili spomenicima uslijed interakcije s raznovrsnim uvjetima okoliša (vanjskim faktorima), graditelji su oduvijek pokušavali izbjeći ugrađene (unutarnje) faktore, kao što su izbor kamena, načina i (često premale) dubine njegovog vađenja iz ležišta za gradnju značajnih građevina, nedovoljno dugog odležavanja (skladištenja) nakon vađenja, neispravne ugradbe (slaganja) kamena u odnosu na njegov položaj u ležištu, kao i greške u obradi kamena i u izvedbi, uz neodgovarajuće održavanje.

U radu su prikazani složeni procesi promjena, odnosno trošenja (propadanja) ugrađenih slatkovodnih vapnenaca u građevinama i spomenicima uslijed njegove interakcije s raznovrsnim uvjetima okoliša (vanjskim faktorima), kao što su: utjecaj temperature, vlažnosti i kvalitete zraka, vjetrova, padalina, kiselih kiša, ispušnih plinova, mikro- čestica i organizama u zraku i vodi, štetnih soli, radijacije, zemljišta, biološke kolonizacije, uz destruktivno djelovanje čovjeka. Pri tome, estetsko nagrđivanje površine kamena je tek sekundaran problem u odnosu na uništavanje njegove strukture. U razmatranje trebamo obvezno uključiti tokove onečišćenja i okruženje, odnosno meteorološke i mikroklimatske uvjete.

Ključne riječi: vapnenci, slatkovodni, jezerski (vapnenci), oolitični (vapnenci), *tenelija, miljevina, muljika*, trajnost, vanjski faktori

Influence of environmental (external) factors on durability of freshwater limestones *tenelija, miljevina and muljika*

Abstract: In order to avoid complex processes of changes, or weathering (decay) of freshwater limestones embedded in numerous buildings and/or monuments due to interaction with various environmental conditions (external factors), builders have always tried to avoid construction (internal) factors, such as the selection of stone, the method and (often too small) depth of its extraction from the deposit for the construction of significant buildings, insufficient aging (storage) after extraction, improper installation (stacking) of stone in relation to its position in the deposit, as well as mistakes in stone processing and execution, in addition to inadequate maintenance. This paper presents the complex processes of changes, or weathering (decay) of freshwater limestones embedded in buildings and monuments as a result of its interaction with various environmental conditions (external factors), such as: the effects of temperature, humidity and quality of air, winds, precipitation, acidic rain, exhaust gases, micro-particles and organisms in the air and water, harmful salts, radiation, soil, biological colonization, along with the destructive action of man. In this process, the aesthetic deterioration of the stone surface is only a secondary problem compared to the destruction of its structure. The consideration must certainly include the pollution flows and the environment, and meteorological and microclimatic conditions.

Keywords: limestones, freshwater (limestones), lacustrine (limestones), oolitic (limestones), *tenelija, miljevina, muljika*, durability, external factors

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

1. UVODNO O (VREMENSKOJ) TRAJNOSTI/ OTPORNOSTI/POSTOJANOSTI KAMENA

Prirodni kamen se od davnina koristi u građevinarstvu, pri čemu je izložen fenomenu starenja, kojeg neki faktori manje/više ubrzavaju, pa govorimo o promjenama na kamenu, odnosno njegovom trošenju, a u težim slučajevima čak o propadanju kamena (postupnom razaranju). Sve veće onečišćenje zraka, počev od industrijska revolucija sredinom XIX. st., sve više ubrzava ove procese.

Prema prof. Crnkoviću, trajnost ugrađenog prirodnog kamena obuhvaća „*ponašanje ugrađenog kamena u širokom rasponu djelovanja različitih čimbenika*“, [1]. U literaturi se koriste i izrazi: vremenska trajnost (prof. Bilbija i Tamara Plastić), otpornost, te postojanost.

Na trajnost kamena u prvom redu utječu procesi kojima je stijenska masa u ležištu kamena bila izložena, odnosno njegove teksturne i strukturne značajke (kamen izrazito krupnog zrna brže se troši), te poroznost (što su pore sitnije to je mogućnost širenja kapilarne vlage veća, a time i mogućnost oštećenja, odnosno promjena poroznog kamena čiji su minerali manje otporni na propadanje), [2]. Od posebnog je utjecaja na trajnost ugrađenog kamena njegov mineralni sastav (i njegove moguće transformacije), [3].

Problematiku trajnosti kamena treba staviti u kontekst uporabne vrijednosti kamena, odnosno da li je kamen ugrađen u vrijedan objekt kulturne baštine ili pak u komercijalni objekt manjeg značenja.

2. OKOLIŠNI (VANJSKI) FAKTORI, KAO UZROCI PROMJENA NA KAMENIM OBJEKTIMA OD SLATKOVODNIH VAPNENACA TENELIJE, MILJEVINE I MULJIKE

Kako su kulturno-povijesne građevine najčešće građene korištenjem lokalno raspoloživih, lakše obradivih vrsta kamena, udio sedimentnog (karbonatnog) kamena je visok (u Italiji udio vapnenaca i mramora iznosi čak 90 %) zbog estetskih svojstava, raspoloživosti i obradivosti, čak iako ga njegov kemijski sastav čini izloženijim okolišnim utjecajima i propadanju, u odnosu na silikatni kamen, koji je puno šire korišten u Njemačkoj, Španjolskoj i drugim zemljama, [4].

Na prirodnom kamenu ugrađenom u mnogobrojne kamene građevine i/ili spomenike (u daljnjem tekstu: objekti) događaju se složeni procesi promjena na kamenu uslijed njegove interakcije s raznovrsnim fizičkim i kemijskim utjecajima okoliša (vanjskim faktorima), kao što su: utjecaj temperature, vlažnosti i kvalitete zraka, vjetrova, padalina, kiselih kiša, ispušnih plinova, mikro- čestica i organizama u zraku i vodi, štetnih soli, radijacije, zemljišta, biološke kolonizacije, korištenje neprikladnih gradiva u prethodnim zahvatima (željezo, cement,...), uz destruktivno djelovanje čovjeka (ratna djelovanja, nadogradnja koja je oštećuje stare građevine, pogrešne sanacije, zaprljanost ljepljivom za kamen, mortom, mastima, mrljama od željeza (oksid), bakra i bronce (bakarni oksid, karbonat i bikarbonat), uljima, parafinima, raznim vrstama akrilnih i sintetičkih boja za crteže, natpise i grafite (sprejevi, markeri, flomasteri i sl.), žvakaće gume,... Klimatski utjecaji se najbolje očituju na istaknutim dijelovima građevine (djelovanje kiše, vjetra, leda).

Dakle, (vremenska) trajnost kamena predstavlja rezultantu svih okolišnih djelovanja, te sposobnosti kamena oduprijeti se tim djelovanjima i kontinuirano zadržati estetska i funkcionalna svojstva, [1].

2.1 Utjecaj temperature/temperaturne promjene

Vezano za utjecaj temperature, odnosno temperaturne promjene (u okolišu), intenzitet i dinamika promjena na kamenu/propadanja ovise od apsolutne vrijednosti temperature i brzine

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

njene promjene, ali i od vrste kamena, veličine pora, te količine vode u kamenu. Pojava je najzastupljenija u zagrijanom kamenu, pa je kemijsko propadanje izraženije u toplijim (i vlažnijim) klimatskim područjima, [2]. Osunčani dijelovi jače se zagrijavaju, a zasjenjeni brže hlade, pa se na tim hladnijim dijelovima može kondenzirati vlaga iz atmosfere.

Naizmjenično zagrijavanje i hlađenje kamena, odnosno promjene temperature (dnevne i sezonske) u okolišu, dugoročno uzrokuje promjene na kamenu/propadanje. Pri tome su manje značajne sezonske u odnosu na dnevne oscilacije temperatura površine ugrađenog kamena, koje u ljetnom razdoblju u području kontinentalne klime mogu iznositi čak 40-50°C, ovisno o položaju (ekspoziciji), pri čemu je u uobičajeno pojačano oštećenje kamena od toplinskog naprezanja na južnoj i zapadnoj strani, [5].

Navest će se par primjera utjecaja izrazitih temperaturnih promjena u ljetnim mjesecima na kamen u građevinama.

Prema prof. Radniću i suradnicima (2011.), „uz djelovanje okomitih opterećenja, smatra se da su temperaturna djelovanja glavni uzrok nastanka pukotina u izvornom i obnovljenom luku Starog mosta u Mostaru“, [6].

Prema konzervatorsko-restauratorskim istraživanjima pročelja zvonika i zapadnog pročelja crkve sv. Petra i Pavla na Gorici u Livnu (2011.), „zbog izrazitih dnevnih temperaturnih promjena u ljetnim mjesecima na pročelju crkve sv. Petra i Pavla na Gorici u Livnu, provedenim ispitivanjima je ustanovljeno da je dolazilo do oštećivanja vapnenih fuga, te naprezanja mikropukotina u kamenu, što je zimi omogućivalo prodor vode koja je dnevnim ciklusima smrzavanja i odmrzavanja dovela do oštećenja“, [7].

Ipak, najveća oštećenja ne nastaju utjecajem temperature/temperaturnih promjena na kamen, već u sprezi s drugim okolišnim faktorima, prije svega s vodom. Pri jako niskim temperaturama, uslijed smrzavanja, voda zarobljena u porama kamena povećava volumen, razbijajući ga, dok u zagrijanom kamenu, pri vrlo visokim temperaturama, nastaju unutarnja naprezanja od tlaka nastale vodene pare koja dovode do stvaranja mikro-pukotina, koje se postupno pretvaraju u prsline i pukotine, dovodeći do oštećenja (strukture) kamena. Dakle, temperatura je ovdje posredan uzročnik propadanja materijala, [5].

2.2 Utjecaj vjetr(ov)a

Vrlo jaki vjetrovi, mogu stvarati velika vodoravna opterećenja u konstrukcijama, odnosno uzrokovati određeno propadanje, [5].

Različita izloženost vjetru/ovima (i kiši), koji često nosi čestice onečišćujućih tvari, prašine i zemlje, može utjecati na proces formiranja različitih oblika propadanja kamena na raznim zidovima objekta, među kojima i taloženje onečišćujućih tvari.

2.3 Anorganska onečišćenja (utjecaj onečišćene atmosfere i kristalizacija soli)

Prema Gobić-Bravaru, „svaki spomenik u urbanoj sredini koji je izložen atmosferskim utjecajima bit će s vremenom prekriven raznim nečistoćama koje će manje ili više prionuti uz kamenu površinu. Ti su depoziti uglavnom crne boje i obično se nalaze na mjestima koja su zaštićena od kiše“, [8].

Prema ICOMOS-ISCS-ovu *Pojmovnom rječniku*, [9] kore (engl. *crust*) su „koherentne nakupine materijala na površini kamena vidljive debljine koje, kad su nejednolike, otežavaju čitljivost površinskog reljefa; često su tamne boje, iako mogu biti i svijetle, uključuju egzogeni materijal u kombinaciji s materijalom iz samog kamena i mogu slabije ili jače prijanjati uz podlogu pa se njihovim skidanjem može skinuti i dio kamenog materijala“, dok su crne kore (engl. *black crust*) „kalcificirane nakupine (taložine) elemenata iz kamena i sitnih čestica raspršenih u zraku (čada, od koje obično potječe crna boja, te organske i anorganske čestice

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

različitog porijekla), općenito uzrokovanih urbanim ili industrijskim onečišćenjem, na površinama zaštićenim od izravnog udara kiše i njezinog otjecanja (ispod vijenaca, prozora, dijelova kipova i vrhova).“ Uglavnom se sastoje od čestica iz onečišćene atmosfere „uhvaćenih“ u gipsnoj matrici i obično čvrsto prijanjaju uz podlogu, [10]. Crna boja potječe od čestica čađe nastale izgaranjem ugljena (i drva) u kućnim ložištima i industrijskim postrojenjima. Vidljive su debljine, na mjestima i deblje od 1 cm.

Prema Grbelji, „tamne naslage tzv. kraste (skrama, engl. crust.) nakupljaju se na površini kamena i ne predstavljaju njegov sastavni dio. Nastaju djelovanjem sumporne kiseline iz previše onečišćene atmosfere na kalcijev karbonat u kamenu, te ga pretvaraju u kalcijev sulfat (gips). U procesu nastajanja primaju na sebe različite sastojke iz atmosfere (čađa, željezni i manganovi spojevi, prašina i organske tvari).“, [11].

U hrvatskoj konzervatorsko-restauratorskoj literaturi se još koriste i nazivi „skrame“, „crne skrame“ i „tamne skrame“ za naslage formirane na zaštićenim mjestima, koje sadrže kalcijev sulfat (gips), glavni uzročnik oštećenja kamene plastike. Nastaju zbog djelovanja atmosferilija, netopljive su, koherentne i snažno prijanjaju uz podlogu, [12]. Uz već navedene nazive koriste se i nazivi „tamna kora“ i „crna inkrustacija“.

Nazivi „skrama“ i „crna skrama“ se pojavljuju u vrlo ozbiljnim stručnim publikacijama i u uporabi su raširenije od naziva „kora“ i „crna kora“, koji su, prema Hraste, ipak jezično jasniji kao prevedenice normiranih naziva *crust* i *black crust*, [10].

Crne kore su najvidljivije i najviše proučavane. Predstavljaju najekstremniji oblik onečišćenja na kamenim građevinama. Često sadrže štetne (vodo)topljive soli (sulfate, nitrate, kloride), koje vizualno nagrđuju kamen, prikrivajući njegovo propadanje (do lomljenja kamene strukture). Kemijsko-fizička oštećenja razgrađuju površinu kamena. Soli potaknute vlagom putuju i dospijevaju u kamenu podlogu, gdje se isušivanjem kristaliziraju, razbijajući površinsku strukturu kamena, [13], [14], [15]. Površinska promjena i dubina oštećenja definirane su poroznošću kamena, [16]. Propadanje kamena pokazuje značajne varijacije ovisno o kamenu, onečišćenju i meteorološkim faktorima.

Iz promjena u nazivima za fenomen tankih crnih naslaga na Peristilu proizlazi da naziv „tamne presvlake“, korišten u publikacijama iz 2007. i 2009. godine nije opstao i zamijenjen je poznatijim nazivom „patina“, koji, prema *Pojmovnom rječniku*, označava „mikronski tanak sloj u kojemu je došlo do diskoloracije kamena, ali u najvećem broju slučajeva ne i do zamjetnog pada kvalitete materijala“. U literaturi o kamenu na engleskom jeziku, često za istu vrstu naslage nalazimo naziv *thin black crust*, koju Pagona-Noni Maravelaki-Kalaitzaki definira kao „crnu koru debelu do 0,2 mm koja se razvija na površini kamena u kontinuiranom, čvrsto prijanjućem sloju“, [17]. U talijanskoj literaturi je čest naziv „*patina nera*“. Prema Grbelji, [11] ovaj naziv se koristi kao naziv višega reda u odnosu na naziv „crna kora“. Matijaca, [18] sintagmu „sivkaste patine“ koristi u značenju vrlo tankih crnih naslaga o kojima je bilo riječ, dok Gobić-Bravar „patinama“ naziva „osušene kolonije lišaja“, [19]. Lutanje u imenovanju tankih tamnih naslaga egzogenih atmosferskih čestica gotovo nevidljive debljine, koje kamenu daju izgled zaprljanosti, prema Hraste pokazuje neodlučnost struke u klasifikaciji te pojave. Pitanje nije terminološko, budući da postoje dvije pretpostavke o tome kako te naslage nastaju. Prema jednoj, to je prvi korak u razvoju „crnih kora“, a prema drugoj, to nije uvijek tako, budući da uvjeti okoliša ne podupiru uvijek njihov razvoj na nekoj površini, [17].

Prema Nikšiću i Sunari, na površini kamena Peristila su prisutne tri vrste površinskih naslaga: karbonatske kore, sivkastosmeđe kore i debele sulfatne kore bogate česticama ugljika, crne boje. Ispod crnih kora uglavnom se nalazila dobro očuvana žućkasta oksalatna patina, [13]. Prema njima, „*patina predstavlja tanak prekrizalizirani površinski sloj kamena, tj. sloj koji ide od površine kamena prema njegovoj unutrašnjosti. Minerali koji tvore patine su kalcijevi oksalati i oni štite površinu kamena*“. Nataložene tamne naslage na površini sadrže štetni kalcijev sulfat, pa ih treba ukloniti laserima, uz istodobno čuvanje oksalatnih filmova -

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

patine koji se nalaze između kamene podloge i naslaga, a čiji je žućkasto-smečkasti ton poželjan na površini kamena, [13], [14].

Pri uklanjanju nečistoća bitno je razlikovati skrame na kamenu, koje predstavljaju strano tijelo na površini kamena, te s obzirom na svoj sastav i kontaminiranost solima mogu biti uzrokom oštećenja, u odnosu na prirodnu patinu, kromatsku modifikaciju, koja uglavnom proizlazi iz prirodnog ili umjetnog starenja i predstavlja njegovu prirodnu zaštitu od utjecaja atmosferilija, [20] odnosno u većini slučajeva ne uključuje vidljivo propadanje površine. Nalaze se na svim izloženim dijelovima, a ne samo na dijelovima zaklonjenim od udara kiše.

Imajući u vidu navedeno, u ovom radu korišteni su pojmovi „kora“, „crna kora“ i „patina“.

Izvršena su ispitivanja kemijskog sastava uzoraka ugrađenih slatkovodnih vapnenaca u Mostaru, Posušju i Tomislavgradu, kao i ispitivanja kemijskog sastava patine na istim uzorcima („Cerberus“ d.o.o. Tuzla, 2020.). Vrijednosti CaCO_3 u patinama na *mostarskoj* i *posuškoj miljevini* su bile u relativnom uskom rasponu od 94,96 % -96,42 %, dok su kod uzoraka patine na *tomislavgradskoj muljici* bile u intervalu od 87,07 % -88,18 %, odnosno nešto niže, zbog značajnijeg udjela SiO_2 , [21].

Radi odvajanja od „kora“ i „patina“, autori *Pojmovnog rječnika* su izabrali naziv *soiling* (engl.) za „vrlo tanku naslagu egzogenih čestica (poput čađe) koja može slabije ili jače prijanjati uz podlogu“. Izvor joj je atmosfersko onečišćenje (industrija, kućanstva, promet) i sl. Kamenu daje zaprljani izgled, ali ga ne nagriza koliko to čini „crna kora“, u koju se, povećanjem sila adhezije i kohezije, može transformirati. Značenje imenice *soil*, a to je „nečist“ (ili „tlo“) je poslije mnogo šire prihvaćen u oblicima „nečistoća“ i „onečišćenje“, koji u stručnim tekstovima imaju ponešto izmijenjeno značenje naslage općenito, za što *Pojmovni rječnik* predlaže engleski naziv *deposit*.



Slike 1.-3. Stari most u Mostaru, spomenik na UNESCO-voj listi zaštićene svjetske baštine: uzvodna, sjeverna strana s jače izraženom patinom (gore, lijevo), u odnosu na nizvodnu, južnu stranu (gore, desno); Osim patine na intradosu luka, vidljiva je patina na parapetima, vijencima i okomitim zidovima od slatkovodnog vapnenca tenelije; Pogled sa zapadne strane na kaldrmu mosta s unutarnjim stranama parapeta na kojima je vidljiva patina, posebno na desnoj, sjevernoj strani nizvodnog (južnog) parapeta (lijevo); vidljiva su i oštećenja na spojevima pojedinih blokova parapeta, a na nekima je došlo do ispiranja „vapnenog veziva“ kojeg je atmosferska voda dugim vremenom dijelom otopila tako da su fuge među blokovima ostale prazne (dolje), (foto: K. Šaravanja), [21]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike



Slike 4.-5. Fasada Trgovinskog centra „Mercator“ u Mostaru (lijevo), s detaljem (desno), od kamena (mostarska) miljevine, koja pokazuju sklonost ka patiniranju površine i sklonost ka prljanju kada je kamen izložen djelovanju procjednih voda sa vodoravnih površina i oluka, na kojima dolazi do taloženja prašine i prljajućih čestica iz atmosfere koje mogu uprljati površinski sloj okomito postavljenih elemenata od ovog kamena, (foto: K. Šaravanja), [21]



Slike 6.-7. Razni oblici promjena na kamenu u potpornom zidu Biskupijskog dvora u Mostaru (fizički utjecaj atmosferske vode, oštećenja od ratnih djelovanja, biokolonizacija, oštećenja nastala korozijom željezne ograde, sidrenih u kamen, koji korodiraju u dodiru s vlagom, a promjenom volumena nastaje raspucavanje kamena, kao i višemetarske okomite mrlje na kamenu, koje se vrlo teško uklanjaju; Kamen u objektu Biskupijskog dvora je saniran nakon rata, (foto: K. Šaravanja), [21]

Nadgrobnici spomenici od slatkovodnih vapnenaca na području Mostara i Hercegovine (i šire), od kojih su neki stari stotinama godina, su dobili različitu patiniranost i zaprljanost površina, od djelomične, do vrlo visoke. Kamen vodoravnih površina grobnica je dobio crne naslage uslijed taloženja prljajućih čestica iz atmosfere i raznih nečistoća (zemlje, lišća,...), prašine i mikroorganizama, koje su se u razdobljima vlaženja zalijepile na površinu koja dulje ostaje vlažna, dok okomiti dio grobnica kiša ispiri od nakupljenih nečistoća, pa na sebe veže samo crne čestice biljnog porijekla. Uz navedeno, imamo i kapilarno djelovanje vode iz tla, iscvjetavanje soli. Površina kamena se ljuska i osipa, pa kamen gubi svoja prvobitna estetska svojstva, a u određenoj mjeri nosivost i trajnost. Uslijed ocjeđivanja vode s ovim nečistoćama, uprljan je i površinski sloj donjih okomitih kamenih elemenata.



Slike 8.-10. Različiti oblici patiniranosti i zaprljanosti površina na grobnicama od slatkovodnih vapnenaca u Mostaru: groblje Bjelušine (lijevo i sredina); lako su nadgrobnici križevi gotovo iste visine i oblika, različito su patinirani, što ukazuje ne samo na njihovu različitu starost, već i vjerojatno na različitost kvalitete kamena, odnosno slojeva kamenoloma iz kojih su dobiveni. Natpisi na nekima od njih uslijed djelovanja oborinske vode su potpuno nestali ili su teško čitljivi (sredina); Kontrast tamne (vodoravne) i svijetle (okomite) kamene površine grobnice u groblju Šoinovac u Mostaru, uz patinirane kose i manje vodoravne površine nadgrobnog spomenika, stvaraju dojam da je grobnica od (mostarske) miljevine urađena od više vrsta karbonatnih litotipova (desno), (foto: K. Šaravanja), [21]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

Na području općine Posušje s (*posuškom*) *miljevinom*, koja je vađena na više lokaliteta prije 80-160 godina, zidani su zidovi kuća skupa s fasadom čime se smanjuju troškovi gradnje.



Slika 11. Relativno mala patiniranost fasada od (posuške) miljevine u Ramljacima-Čitluk kod Posušja; Bitna je orijentacija objekta, te njegov položaj u odnosu na okolne, pa postoje određene razlike kada je riječ o samostalnom objektu, ili objektu koji je prvi/zadnji u nizu, (foto: K. Šaravanja), [21]



Slike 12.-14. Spremišta za kukuruz (košar) u Tomića Brigu kod Posušja, staro oko 120 godina, dimenzija 3x1,5 m; Vidljiva je izvrsna očuvanost kamena (posuške) miljevine, posebno ulaznog dijela koji ima manju patiniranost (sredina); Posebnu pažnju zaslužuje pokrov od kamenih ploča 0,2-0,3 m² površine, debljine oko 3 cm, pokriven patinom, s nešto lišajeva (desno), (foto: K. Šaravanja), [21]

Objekti od *miljevine* (i *tenelije*) su u prednosti u odnosu na objekte građene tvrdim vapnencom zbog lakog osvježanja fasade laganim ručnim ili strojnim skidanjem patine s kamena.



Slika 15. Skidanja patine s fasade na „Sivriča“ zgradi u Mostaru od tenelije (kraj 2016. godine), [22]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

Na objektima u Općini Posušje, izgrađenim od kamena vađenom na većem broju mjesta, starosti 90-170 godina, Frano Oreč je ustanovio različite debljine patine i zaključio da ista nije uvjetovana starošću građenja, nego veličinom i gustoćom zrna *miljevine*, [23].



Slike 16.-17. Primjer skidanja sloja kamena s patinom s lijevog dijela fasade od (posuške) miljevine na kući Vinjanima kod Posušja posebnim alatom (kresom sa 3 zuba). Za 3 dana skinut je sloj debljine 8-10 mm sa površine od oko 50 m², (lijevo, foto: F. Oreč, 2011.). Osam godina kasnije vidljiv je određeni povrat patine na tom dijelu kuće, (desno, foto: K. Šaravanja, 2019), [21]

2.4 Fizički utjecaj (atmosferske i podzemne) vode i vlage

Građevine/spomenici direktno su izložene djelovanju vlage na tri načina: u obliku tekuće vode (kiša, poplave, podzemne vode), u obliku hidroskopske vlage koja nastaje tako što soli akumulirane u objektu upijaju vodenu paru iz zraka, dok kondenzacijska vlaga nastaje od visoke vlage u zraku i hidroskopskih soli, ali se izlučuje na površini objekta u obliku rose kada topao zrak dolazi u dodir sa hladnim zrakom.

Voda je ne samo jedan od temeljnih uzroka, već često i pratitelj skoro svih degradacijskih procesa na kamenu, posebno poroznim slatkovodnim vapnencima, čija poroznost (oblik, veličina i raspodjela pora) značajno utječe na količinu primljene vode (i vodene pare) u strukturu kamena, njeno zadržavanje i iscjeđivanje. Povećana penetracija vlage može aktivirati pasivno akumulirane i pohranjene soli u kamenu, koje, jednom aktivirane, uzrokuju štetu migracijom, do točke gdje vlaga isparava. Česte izmjene vlaženja i sušenja kamena uzrokuju otapanje, akumuliranje i kristalizaciju soli sadržanih u kamenu, čime nastaju snažni kristalizacijski i hidrationski tlakovi koji uzrokuju oštećenja u obliku „brašnastog“ osipanja i ljuskanja materijala, [24].

Stoga, kamen treba ugrađivati tako da je dobro provjetran radi što većeg smanjenja količine vlage u njemu.

Ugrađeni slatkovodni vapnenci u otvorenom prostoru su direktno izloženi utjecaju vode i vlage, koji ima uglavnom kemijski karakter, mada ni fizički utjecaj nije zanemariv. Kišnica izbija slabo vezane čestice i snižava reljef (erozija), a stalno kvašenje i sušenje, naročito na hrapavim površinama, dovodi do pogoršanja fizikalno-mehaničkih svojstava (razmekšanje, smanjenje čvrstoće, kao i otpornosti na habanje i mraz). Ovo je izraženo posebno na (sjevernim i zapadnim) stranama izloženim udaru kišnih kapi nošenih vjetrom. U gradovima gdje se vrši pranje trgova i ulica češća kvašenja dovode do povećanog propadanja ugrađenog kamena. Razne strane građevine/spomenika mogu imati različitu izloženost kiši (i vjetru), a trajanje i intenzitet kiše rastu s porastom ekstremnih brzina vjetra i oluje (udar kišnih kapi nošenih vjetrom). Osim povećanja prodora kišnice u građevinu, može doći i do povećanja količine i mjesta otjecanja nastalih tokom kiša.

Osim mehaničkog (erozijskog) djelovanja, voda ima i posrednu ulogu u njegovom propadanju, sudjelujući u kemijskim reakcijama s mineralnim sastojcima kamena, otapajući i prenoseći topljive soli (korozija) i migracijom do točke gdje vlaga isparava, [13], [14], [15]. Ovo

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

djelovanje kišnice je najizraženije kad je temperatura zraka malo iznad nule, jer tada voda sadrži najviše otopljenog CO₂, odnosno ima najnižu pH-vrijednost.

Pored toga, voda omogućuje rast i razvoj mikroorganizama. Treba naglasiti činjenicu da je šteta koja nastaje na kamenu izravno povezana s trajanjem vlažnosti, [5], [9].

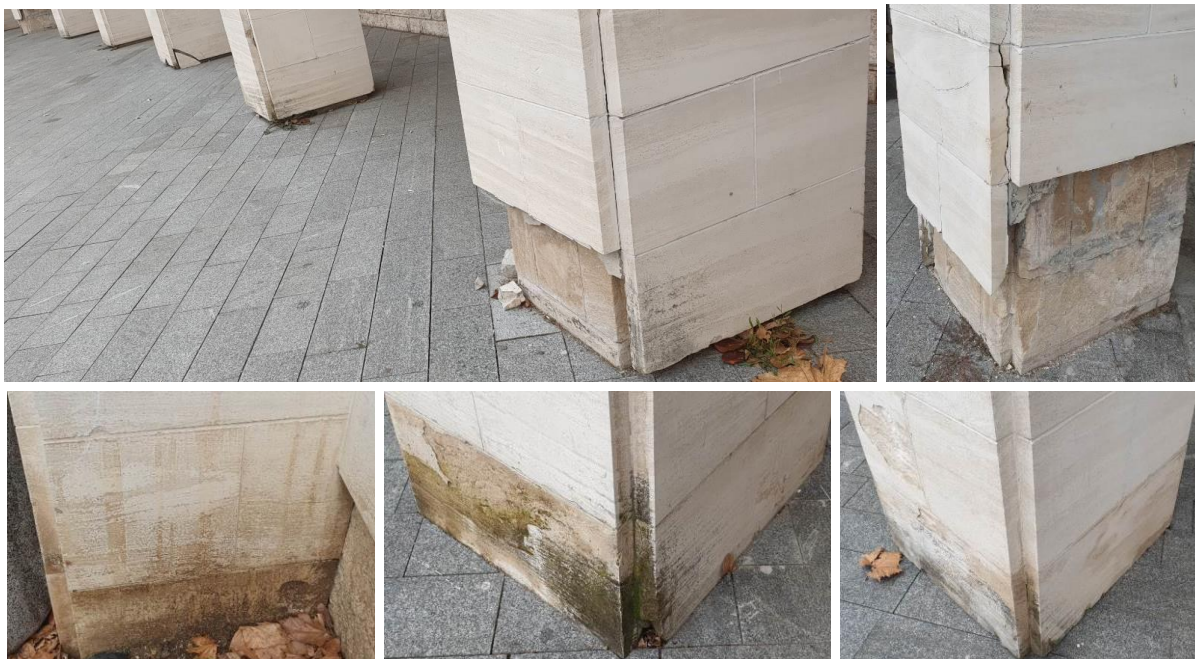
Što je više vode prisutno, brži je proces propadanja slatkovodnih vapnenaca.

Vezano za mehanizam kretanja vode u kamenu, on traje od početka geneze kamena. Nakon vađenja ("branja kamena"), slatkovodni vapnenci, zbog svoje visoke poroznosti, sadrže veliku količinu prirodne (kamenolomske ili majdanske) vlage, koja može sadržavati otopljene soli. Sušenjem kamena, soli zajedno s vlagom migriraju prema površini kamena, gdje kristaliziraju stvarajući patinu. Gubljenjem vlage dobivaju veću tvrdoću i čvrstoću zbog stvaranja čvrste karbonske rešetke na površini.

Kiše nošene vjetrom, kao i udari vjetra i tlak zraka mogu utjecati na povećanu količinu upijene vode, odnosno na brzinu i dubinu prodora kišnice u kamen. Fluktuacije tlaka zraka povezane s udarima vjetra mogu uzrokovati razlike u tlaku između unutarnjeg i vanjskog dijela građevine/spomenika, što može natjerati vodu da teče preko površine kako bi prodrla u šupljine i bila zarobljena u porama. U sljedećim uzastopnim koracima, voda može doći u unutrašnjost poroznog kamena.

Na primanje, zadržavanje i iscjeđivanje vode, odnosno na količinu vode i vodene pare koja ulazi i kreće se kroz slatkovodni vapnenac, najviše utječe njegova poroznost i struktura pora (oblik, veličina i međusobna raspodjela pora), koja se definira kao sadržaj pornog prostora. Kamen s povećanom otvorenom (relativnom) poroznošću, a time i većim upijanjem, osjetljiviji je i manje trajan.

Kada je kišnica relativno čista, promjene na kamenu nisu ozbiljan problem, ali kada sadrži otopljeni CO₂ stvara se slaba karbonatna kiselina, koja pretvara karbonat u vrlo topljiv bikarbonat i tako razara vapnenački kamen. Posljedično, povećanje poroznosti mijenja hidrološka svojstva kamena. Gubitak materijala također slabi strukturu kamena i smanjuje njegovu mehaničku otpornost, [25].



Slike 18.-22. Propadanje donjeg dijela fasade od (mostarske) miljevine koja se koristi za dekorativno-zaštitno oblaganje u obliku tanke kamene podloge Hrvatskog doma Hercega Stjepana Kosače u Mostaru uslijed fizičkog utjecaja atmosfere vode i vlage, (foto: K. Šaravanja), [21]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike



Slike 23.-24. Propadanje donjeg dijela fasade od (mostarske) miljevine koja se koristi za dekorativno-zaštitno oblaganje u obliku tanke kamene podloge i kamenih klupica ispod prozora Hrvatskog doma Hercega Stjepana Kosače u Mostaru uslijed fizičkog utjecaja atmosfere vode i vlage, s detaljem klupice ispod prozora, (foto: K. Šaravanja), [21]

Znajući ograničenja primjene *tenelije* i *miljevine* vezano za visoko upijanje vode, graditelji su u Mostaru za donje dijelove građevina često koristili drugu vrstu kamena.

Iako *miljevina* ima gustu, sitnozrnatu strukturu u kojoj nije izvršeno cementiranje i prekrystaliziranje kalcita, pa dugo zadržava vlagu, pa djelovanje temperaturnih promjena i leda može uzrokovati površinsko osipanje i propadanje kamena, pregledom niza izgrađenih objekata, posebno onih u višim dijelovima općine Posušje, vidljiva je dobra očuvanost ugrađene (*posuške*) *miljevine*, a promjene na kamenu imamo samo u donjim dijelovima objekata kao posljedica kapilarnog porasta oborinske vode (i nanosa snijega) desetljećima.



Slike 25.-26. Utjecaj atmosfere vode ispod oluka krova i iznad tende na kući u Posušju od (posuške) miljevine, jače izražen u donjem dijelu objekta uslijed kapilarnog porasta oborinske vode (i snijega), sa detaljem (gljivice i lišajevi), (foto: K. Šaravanja), [21]



Slike 27.-28. Propadanje donjeg dijela sjeverne fasade (i temelja) kuće u Tomića Brigu kod Posušja, kao posljedica kapilarnog porasta oborinske vode i nanosa snijega, odnosno ciklusa smrzavanja u blizini tla; Zbog površine okolnog tla u nagibu, prisutno je površinsko tečenje vode i zalijevanje zida; Krov nije imao oluka, pa je kišnica padala s krova na tlo i odbijala se na fasadu zajedno sa česticama zemlje (lijevo); detalj unutrašnjosti kuće, kao ilustracija propadanja (desno), (foto: K. Šaravanja), [21]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

Prema Frani Oreču, u starim objektima od *miljevine*, posebno onim koji nisu građene po pravilima struke, postoji problem povećane vlage, pa je potrebno voditi računa da dilatacije budu zatvorene vezivom, te da se obnavljaju i održavaju. Neki od objekata su temeljeni s drugom, tvrdom vrstom kamena, s mišljenjem da tako neće biti problema vlage, što se nije pokazalo opravdanim, [23].

2.5 Djelovanje zaleđene vode u kamenu (djelovanje mraza)

Djelovanje mraza može imati značajnu ulogu u razaranju ugrađenog kamena, posebno kamena osjetljivog na mraz u hladnijim podnebljima s niskim temperaturama i vlažnim uvjetima (veliki broj ciklusa smrzavanja/odmrzavanja), posebno kamena već oštećenog drugim procesima, poput kristalizacije soli. Posljedice su promjene u mineraloškom sastavu i mehaničkim svojstvima kamena (blokova kamena za zidanje i kamenih ornamenata). Događa se dezintegracija zrna, te uklanjanje sloja kamena skaliranjem i ljuštenjem.

Osjetljivost kamena na mraz značajno ovisi od njegove poroznosti i raspodjele veličine pora, pri čemu je kamen s najmanjom veličinom pora najosjetljiviji na oštećenja od mraza. Postojanost na mraz općenito opada s povećanim volumenom pora koji je dostupan vodi.

Postojanost na mraz nakon provedbe odgovarajućih laboratorijskih ispitivanja analiziranih slatkovodnih vapnenaca je upitna. Od ispitivanja 1960-ih godina do danas, za *teneliju* su dobiveni kontradiktorni rezultati - da je „postojana na mraz“, da je „slabo postojana na mraz“, te da „nije postojana na mraz“. Udubine oko kuglica ooida *tenelije* predstavljaju prostor za širenje leda kod smrzavanja, pa je manja mogućnost za prskanje kamena.

Nešto bolja postojanost na oštećenja od mraza kod *tenelije* u odnosu na *mostarsku miljevinu* ukazuje na to da se zbog njene krupnozrnate strukture voda brže iscijedi iz kamena, tj. na kraće zadržavanje vode u strukturi kamena, čemu u prilog govori i velika razlika rezultata dobivenih ispitivanjem upijanja vode postupkom zasićivanja kuhanjem u odnosu na upijanje pod atmosferskim tlakom. Dobivena je veća ispunjenost pora vodom za 33 % kod *tenelije*, u odnosu na 13 % kod *mostarske miljevine*, gdje ne preostaje prostora za širenje leda, što dovodi do razarajućih vlačnih naprezanja unutar kamena.

Vezano za ispitivanje otpornosti/postojanosti na mraz, uz razliku „starosti“ kamena „svježe izvađenog“ iz kamenoloma i „starog“ kamena koji je ugrađen u objekte, napominjem da su ispitivanja na mraz rađena po različitim normama, pošto je kristalizacijski opit s natrij-sulfatom desetak puta agresivniji na kamen od klasičnog ispitivanja na mraz ciklusima smrzavanja i odmrzavanja (utjecaj negativnih temperatura na vodozasićen kamen), te da su kristalne rešetke natrij-sulfata i magnezij-sulfata različite, što za posljedicu ima različite rezultate postojanosti prirodnog kamena, posebno slatkovodnih vapnenaca, pa treba predložiti korigiranu metodu ispitivanja. Očigledno je da imamo problem pri laboratorijskim ispitivanjima postojanosti na mraz slatkovodnih vapnenaca, koji nisu u suglasnosti sa ponašanjem ovoga kamena u realnim uvjetima tokom desetina ili čak stotina godina, pošto ne postoji prihvaćena metoda ispitivanja koja u potpunosti reproducira prirodne uvjete u kojima se slatkovodni vapnenci nalaze u slobodnoj atmosferi, o čijim svojstvima i trajnosti najbolje svjedoči ugrađeni kamen u brojne građevine iz bliže i daljnje prošlosti. Tako na primjer, iako izrađeni od najmlađih sedimenata slatkovodnog vapnenca (*posuške miljevine*, rimski sarkofag iz Vinjana kod Posušja, star dva tisućljeća, izrađen u plitkoj rustici pravilnih oblika, kao i skupine stećaka na lokalitetu Ričina kod Posušja, stari pola tisućljeća, toliko dugo odolijevaju zubu vremena i oštrim klimatskim utjecajima oštih zima sa hladnim sjevernim vjetrom, dok obilne padaline (kišne kapi i tuča) također mogu uzrokovati niz oštećenja na kamenu, pospješeno niskim temperaturama i onečišćenjem atmosfere. Tu je i utjecaj vrućih i suhih ljeta sa velikim dnevnim temperaturnim dilatacijama, te kemijskog djelovanja kišnice (korozija), posebno na

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

temperaturama zraka malo iznad nule, jer tada voda sadrži najviše otopljenog CO₂, odnosno ima najnižu pH-vrijednost.

Imajući u vidu kombinaciju navedenih klimatskih parametara, opće stanje građevina i spomenika od slatkovodnih vapnenaca u Mostaru i Hercegovini (i šire) je relativno dobro, čak i stećaka od (*posuške*) *miljevine* u Ričini kod Posušja, u teškim klimatskim uvjetima stotinama godina, što govori ne samo o postojanosti na mraz, odnosno još šire govoreći o ukupnoj trajnosti/postojanosti ovog kamena. Propadanje analiziranih lokalnih slatkovodnih vapnenaca je takvo da ne stoje neki pojmovi vezani za oblike pogoršanja stanja ugrađenog kamena, poput: „oštećenje“, „dezintegracija“, „raspadanje“, „degradacija“, „pogoršanje“ i „propadanje“, već je primjereniji pojam „promjena“ kamena, pošto je inače svaki kamen nakon vađenja i ugradbe podložan starenju, odnosno određenim promjenama.



Slike 29.-30. Različite oštećenosti nadgrobnih spomenika od slatkovodnog vapnenca muljike na groblju u Livnu, čiji je donji dio razoren uslijed djelovanja mraza, (foto: K. Šaravanja), [21]

O svojstvima i trajnosti analiziranih slatkovodnih vapnenaca ipak najbolje svjedoči ugrađeni kamen u brojne građevine iz bliže i daljnje prošlosti.

Iako izrađeni od najmlađih sedimenata slatkovodnog vapnenca (*posuške*) *miljevine*, rimski sarkofag iz Vinjana kod Posušja, star dva tisućljeća, izrađen u plitkoj rustici pravilnih oblika, kao i 3 skupine stećaka na lokalitetu Ričina kod Posušja, stari pola tisućljeća, toliko dugo odolijevaju zubu vremena i oštrim klimatskim utjecajima oštih zima sa hladnim sjevernim vjetrovom i obilnim padalinama.

Naravno, postoje i oštećenja prouzročena djelovanjem mraza, gdje je vršena zamjena oštećenih dijelova. Takav primjer je pročelje crkve sv. Petra i Pavla na Gorici u Livnu, gdje je mineraloško-petrografskom analizom kamena utvrđeno da je ugrađeno više varijeteta vapnenca iz istog ležišta (pedogenetski izmijenjen vapnenac tipa pekston-grejnston). Od štetnih soli u kamenu sporadično je dokazano postojanja štetnih sulfata, i to kalcijeva sulfata (gipsa), s koncentracijom na granici štetnosti, pa je mogla malo pridonijeti oštećenjima kamena. Najveća oštećenja na kamenu prouzročena su ciklusima smrzavanja i odmrzavanja vode koja ulazi u kamen kroz pukotine, te između blokova kroz oštećene fuge. Kako kamen nema veliku vodupojnost, oštećenja nisu ravnomjerno raspoređena, već su nastala na mjestima gdje je najvjerojatnije bila pukotina ili gdje se kroz oštećenu fugu voda zadržavala dublje i dulje u kamenu, te je zaleđivanjem došlo do novog pucanja i širenja pukotine i oštećenja. Zbog jako izraženih dnevnih temperaturnih promjena na pročelju, u ljetnim je mjesecima dolazilo do oštećivanja vapnenih fuga, te naprezanja mikropukotina u kamenu, što je zimi omogućivalo prodor vode i dnevne cikluse smrzavanja i odmrzavanja. Zbog nedovoljne visine limenog opšava na dijelovima vijenaca zapadnog pročelja i zvonika, uslijed jakih kiša ili topljenja snijega, voda je prodirala iznad lima u kamen, prolazila kroz zidni plašt i izbijala kroz fuge kamenih blokova čak i za nekoliko metara niže od vijenaca. Na bakrenoj limariji na istacima

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

zidnih plašteva, zbog oksidacije, odnosno stvaranja patine, dolazilo je do ispiranja, te slijevanja produkata korozije bakrenih limova i stvaranja zelenih mrlja na površini kamena, [7].



Slike 31.-37. Shema oštećenja zapadnog pročelja (lijevo) i zapadnog pročelja južnog zvonika crkve sv. Petra i Pavla na Gorici u Livnu (desno), (izradio: Hrvatski restauratorski zavod, Zagreb, 2011.); Nestajanje pojedinih dijelova baze pilastra zbog teškog oštećenja agresivnim klimatskim utjecajima; Potpuno uništeni dijelovi razdjelnog vijenca na vrhu sokla na zapadnom pročelju crkve; Također se zamjećuju naslage nižeg korova u obliku algi, lišajeva i mahovina (slike gore); Propadanje kamene plastike razdjelnog vijenca zapadne strane južnog zvonika zbog prodora atmosferilija i razaranja kamena procesima smrzavanja (dolje, lijevo); Detalj profilirane kamene plastike na kojemu su nastale pukotine, ljuskanje i odlamanje kamenog materijala (dolje, desno), [7]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

2.6 Organska onečišćenja (biološki obraštaji)/biološka kolonizacija

Na kamenim površinama izloženim kiši često su prisutni biološki obraštaji, odnosno biološka kolonizacija, koju je potrebno ukloniti, posebno više biljke u obliku drvolikih, grmolikih i/ili travnatih izraslina, izraslih iz spojnica i pukotina u kamenu u koje vjetar i kiša vremenom nanese lišće i zemlju. One ne samo da zaklanjaju pogled na spomenike, već razvojem korijena prodiru u strukturu kamena i stvaraju veliki tlak i fizički razaraju kamen. Prijenos hranjivih tvari iz korijena u biljku djeluje na karbonatne strukture u kamenu. Mogući su i drugi degradacijski procesi na kamenu. Biološki obraštaj zadržava vodu koja može uzrokovati i druge oblike korozije kamena.

Na površinama izloženim kiši kamen je često kontaminiran biološkim onečišćenjem u vidu nižih biljaka - mikroskopskih gljivica, lišajeva, bakterija, plijesni, algi i mahovina, koje prepoznajemo kao presvlake raznih boja (crne, zelenkaste, žute ili smeđe boje), najčešće kao sivkasto-crne nakupine na kamenu, koje u dodiru s vlagom pozelene; lišajevi su žućkasto-smeđe boje, [14], [26].



Slike 38.-39. Vegetacija od bršljana kao primjer biološkog obraštaja nadgrobnih spomenika u groblju Šoinovac u Mostaru (lijevo); Nadgrobni u starom dijelu groblja Bjelušine u Mostaru (desno), koje je zapušteno i zaraslo u samoniklu nisku vegetaciju, a veliki broj spomenika je obrastao lišajevima i mahovinom. Tijekom rata je s prostora groblja uklonjena sva visoka vegetacija koja je u određenoj mjeri ranije štitila spomenike od djelovanja sunca i zapadnih zimskih vjetrova, (foto: K. Šaravanja), [21]



Slike 40.-43. Prekrivenost nadgrobnih spomenika od miljevine biološkim obraštajem u groblju sv. Ive u Livnu (lijevo) i u groblju Šoinovac u Mostaru u (ostale 3 slike); Biološki obraštaji (lišajevi, mahovina, gljivice,...) koriste kamen kao stanište ili/i hranu, (foto: K. Šaravanja), [21]

Utjecaj svih nižih biljaka, posebno mikroskopskih gljiva i lišajeva očituje se u cijelom nizu štetnih djelovanja na epidermi kamena, [27] koje metaboličkim procesima proizvode različite

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

organske i anorganske kiseline uzrokujući kemijsku destrukciju (otapanje) površine vapnenačkog kamena i gubitak površinskog sloja, zbog čega je ovakav kamen nakon uklanjanja kolonija svjetlije boje. Riječ je o nizu štetnih djelovanja na površini kamena, od vizualnog nagrđenja i gubitka detalja završne obrade na nekim mjestima, do otežane čitljivosti (pogotovo kada je kamen namočen kišom).

Alge i lišajevi na pojedinim su dijelovima pročelja bili vidljivi golim okom, dok na određenim mjestima u suhim klimatskim uvjetima neprimjetno prekrivaju cijelo pročelje, [28].

Najuporniji i najotporniji od ovih organizama su lišajevi, žućkasto-smeđe boje, koji se uvlače u porni prostor kamena, duboko između mineralnih zona, te su u stanju uništiti/sniziti površinu kamena, koji se vizualno nagrđuje, briše se oština reljefa, otežana je čitljivost, a detalji završne obrade na nekim mjestima su nepovratno izgubljeni. Nastaju u uvjetima visoke vlage, iako se mogu razviti i s vrlo malo vlage i opstati na niskim temperaturama. Njihov negativni utjecaj očituje se u cijelom nizu štetnih djelovanja na površinskom sloju kamena, koji postaje manje otporan na druge štetne agense i atmosferilije, što vodi ka bržem propadanju spomenika. Njihove hife mogu jako duboko prodrijeti u strukturu kamena stvarajući gust splet rupica, pa kamen počinje brže propadati pod djelovanjem atmosferilija (ljuštenje slojeva kamena). Najčešće se nalaze na sjevernoj strani, na kojoj se vlaga u kamenu najduže zadržava, [2].

Bakterijske populacije i alge svojom metaboličkom aktivnošću proizvode polimere, sluzavu masu koja ih štiti od sušenja, zračenja i erozije, prihvaćajući lebdeće čestice iz zraka i formirajući tvrde naslage i patine na kamenu. Povećavanje biomase na kamenim površinama potiče proizvodnju hranjivih tvari, što omogućuje kolonizaciju drugih mikroorganizama, te se na taj način ubrzavaju procesi biološke razgradnje kamena, [29]. Međutim, za kamen su ipak najštetniji endolitski lišajevi koji proizvode najviše nagrizaćućih tvari u obliku organskih i anorganskih kiselina, [26], [30]. Oni se uvlače u porni prostor kamena i po nekoliko milimetara. Na taj način snižava se površina kamena, briše oština reljefa te se otvara put drugim procesima degradacije.



Slika 44. Prekrivenost nadgrobnih spomenika u groblju sv. Ive u Livnu lišajevima i mahovinama, (foto: K. Šaravanja), [21]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike



Slike 45.-47. Prekrivenost nadgrobnih spomenika od miljevine u groblju Kolo kod Tomislavgrada lišajevima i mahovinama. Zanimljiva je poklopna ploča od slatkovodnog vapnenca miljevine duljine 200 cm, širine 50-80 cm, debljine oko 5 cm, kao siguran dokaz o njejoj postojanosti u oštrijim klimatskim uvjetima. Vrlo rijetko su oštećeni urezani motivi. Također, treba imati u vidu da su prije groblja bila pošumljena borovima i hrastovima, kojih danas ima puno manje ili ih nikako nema, a ovaj utjecaj drveća na kamen spomenika je vrlo teško retroaktivno sagledati, (foto: K. Šaravanja), [21]



Slike 48.-51. Krune čatrnje od kamena (posuške) miljevine prekrivena lišajevima i mahovinom na lokaciji zaseoka Kovači, jugozapadno od Posušja, s detaljima, (foto: K. Šaravanja), [21]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

U okviru konzervatorsko-restauratorskih istraživanja mikroflore (2014. - 2016.) na kamenim stećcima s lokaliteta Crljivica kod Ciste Velike napravljena su terenska istraživanja i skupljanje obraštaja lišajeva s površine stećaka, pri čemu je pronađeno čak 18 različitih vrsta, uz 5 dominantnih vrsta. Na površini stećaka zamiječeno je više vrsta mahovina, a uzorkovanjem i nasijavanjem na hranidbene podloge evidentiran je širok spektar bakterija, gljivica, plijesni, cijanobakterija i zelenih algi, o čijoj rasprostranjenosti i ukupnoj učestalosti nije objavljena detaljna analiza kao za lišajeve. Provedena su i laboratorijska i *in situ* ispitivanja efikasnosti dostupnih komercijalnih biocidnih sredstava, [29].

Vizualnim uvidom u površine stećaka na lokalitetu Ričini kod Posušja, koji nije predaleko od stećaka s lokaliteta Crljivica, vidljiv je sličan širok spektar mikroorganizama, što bi trebalo istražiti. Ipak, opće stanje stećaka od (*posuške*) miljevine u Ričini kod Posušja je relativno dobro, imajući u vidu teške klimatske uvjete kojima su bili izloženi stotinama godina, što govori ne samo o postojanosti na mraz, odnosno još šire govoreći o ukupnoj trajnosti/postojanosti ovog i drugih slatkovodnih vapnenaca.



Slika 52. Dio ortofoto snimke sa položajima 3 skupine stećaka na Ričini kod Posušja, [31]



Slike 53.-57. Sedam stećaka glavne skupine stećaka, oznake „1“ na Slici 52 (slike gore) i dva značajna i očuvana stećka sljemenjaka u sklopu suvremenoga groblja, oznake „3“ na Slici 52 (slike dolje) od (*posuške*) miljevine na Ričini kod Posušja; Na stećcima je vidljiv širok spektar mikroorganizama (lišajeva, bakterija, cijanobakterija i gljivica), (foto: K. Šaravanja), [21]

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike



Slike 58.-62. Dobar primjer očuvanosti slatkovodnih vapnenaca miljevine u ostacima kule begova Čengića u selu Rataji kod Miljevine u istočnoj Bosni. Uz patinu, primjetna je prisutnost biološkog obraštaja u obliku mahovine, lišajeva i gljivica, (foto: Zaim Bešović, 2015.)

3. ZAKLJUČCI

Slatkovodni vapnenci su ugrađeni u mnogobrojne kamene građevine i/ili spomenike, na kojima se događaju složeni procesi promjena, odnosno trošenja (propadanja) kamena uslijed njegove interakcije s raznovrsnim uvjetima okoliša (vanjskim faktorima): utjecaj temperature, vlažnosti i kvalitete zraka, vjetrova, padalina, kiselih kiša, ispušnih plinova, mikro- čestica i organizama u zraku i vodi, štetnih soli, radijacije, zemljišta, biološke kolonizacije, uz destruktivno djelovanje čovjeka.

Geološki mlade formacije, u odnosu na geološki starije, kompaktne (guste) vapnence, manje su kristalne, manje guste, pa time i manje izdržljive na procese kemijskog propadanja (otapanje i sulfacija) i propadanja uzrokovanog kristalizacijom (soli i mraz).

Osim dijageneze, na njihovu trajnost utječe i način rezanja i ugradbe kamenih blokova, pa se pri obradi mora voditi računa o slojevitosti i o sekundarnoj ispucalosti.

Stari graditelji su primjenjivali analizirane lokalne vrste slatkovodnih vapnenaca u građenju, točno znajući njihove mogućnosti i prednosti vezano za izvanredno laku obradu i dobivanje profinjenijih građevina, ali i ograničenja vezano za znatnu do visoku poroznost, male prostorne mase, veliko upijanje vode, relativno niske čvrstoće, slabu otpornost na habanje i upitnu postojanost na mraz.

Zbog visokog stupnja poroznosti i sporog otpuštanja vlage, voda ispunjava sve pore i sam osnovni materijal, što značajno utječe na čvrstoću. Kod vodozasićene (*mostarske*) *miljevine* voda eliminira utjecaj drugih faktora i jedini je utjecajni faktor na čvrstoću. Stoga je bilo poželjno da se ugrađuje na površine koje nisu direktno izložene kiši i naletima vjetra, pa su površine stambenih, vjerskih i javnih građevina u Mostaru od *miljevine*, koje su izložene kvašenju i vlazi, zaštićivane fasadama, uz primjenu druge vrste kamena u donjem dijelu objekta koji je u dodiru sa tlom (za temelje i podrum), ili su u novije vrijeme zaštićivane visoko-vodoodbojnim impregnirajućim sredstvima.

Za razliku od *mostarske miljevine*, brojne stambene i gospodarske građevine u općini Posušje su građene sa fasadama od (*posuške*) *miljevine*, slično kao od *tenelije* u Mostaru.

Otpornost/postojanost na mraz nakon provedbe odgovarajućih laboratorijskih ispitivanja analiziranih slatkovodnih vapnenaca je u najmanju ruku upitna, tim više što ne postoji prihvaćena metoda ispitivanja koja u potpunosti reproducira prirodne uvjete u kojima se

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

slatkovodni vapnenci nalaze u slobodnoj atmosferi, desetinama i stotinama godina. Tako na primjer, iako izrađeni od najmlađih sedimenata slatkovodnog vapnenca (*posuške*) *miljevine*, rimski sarkofag iz Vinjana kod Posušja, star dva tisućljeća, izrađen u plitkoj rustici pravilnih oblika, kao i skupine stećaka na lokalitetu Ričina kod Posušja, stari pola tisućljeća, toliko dugo odolijevaju zubu vremena i oštrim klimatskim utjecajima oštih zima sa hladnim sjevernim vjetrom, dok obilne padaline (kišne kapi i tuča) također mogu uzrokovati niz oštećenja na kamenu, pospješeno niskim temperaturama i onečišćenjem atmosfere. Tu je i utjecaj vrućih i suhih ljeta sa velikim dnevnim temperaturnim dilatacijama, te kemijskog djelovanja kišnice (korozija), posebno na temperaturama zraka malo iznad nule, jer tada voda sadrži najviše otopljenog CO₂, odnosno ima najnižu pH-vrijednost. Imajući u vidu kombinaciju navedenih klimatskih parametara, opće stanje građevina i spomenika od slatkovodnih vapnenaca u Mostaru i Hercegovini (i šire) je relativno dobro, čak i stećaka od (*posuške*) *miljevine* u Ričini kod Posušja, u teškim klimatskim uvjetima stotinama godina, što govori ne samo o postojanosti na mraz, odnosno još šire govoreći o ukupnoj trajnosti/postojanosti ovog kamena. Propadanje analiziranih lokalnih slatkovodnih vapnenaca je takvo da ne stoje neki pojmovi vezani za oblike pogoršanja stanja ugrađenog kamena, poput: „oštećenje“, „dezintegracija“, „raspadanje“, „degradacija“, „pogoršanje“ i „propadanje“, već je primjereniji pojam „promjena“ kamena, pošto je inače svaki kamen nakon vađenja i ugradbe podložan starenju, odnosno određenim promjenama.

LITERATURA

1. Crnković, B. (1991.): Durability of dimension stone, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 3, str. 57-62, Zagreb
2. Clifton, J.R. (1980.): „Stone Consolidating Materials: A Status Report“, Center for Building Technology, National Engineering Laboratory, National Bureau of Standards, Washington, USA
3. Pletikosi, L. „Primjena kamena u graditeljstvu“, <https://bib.irb.hr/datoteka/>
4. Salvini, S. (2017.): „Deterioration of carbonate rocks and vulnerability of cultural heritage in a changing climate“, Ph.D. course in earth sciences, XXX series, pp. 9-34, Università degli Studi di Padova, Italija
5. Sunara, S. M., Barišić, M. (2009.): „Utjecaj okoliša i drugi utjecaji na žbuke i kamen“, „IN SITU“ on line časopis za konzervaciju i restauraciju, Umjetnička akademija Sveučilišta u Splitu, Split, http://www.e-insitu.com/images/stories/Pdf/s_b-okolis.pdf
6. Radnić, J., Harapin, A., Smilović, M., Grgić, N., Glibić, M.: „Statička i dinamička analiza Starog kamenog mosta u Mostaru“, „Građevinar“, Vol. 64, No. 08, Zagreb, 2012.
7. „Livno Gorica, elaborat konzervatorsko-restauratorskih istraživanja pročelja zvonika i zapadnog pročelja franjevačke crkve sv. Petra i Pavla“, Hrvatski restauratorski zavod, Zagreb, 2011.
8. Gobić-Bravar, Đ. (2012.): „Herkulova vrata u Puli: Konzervatorsko-restauratorski osvrt/Hercules' Gate at Pula. A conservation-restoration review“, *Histria archaeologica* 42, str. 217-228
9. ICOMOS-ISCS (2008./2010.): „Illustrated glossary on stone deterioration patterns/ Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre“, Vergès-Belmin V. (Ed.), Monuments and sites/Monument set sites, XV, ICOMOS International Scientific Committee for Stone (ISCS)/Comité scientifique international "Pierre" de l'ICOMOS, Ateliers 30 Impression, Champigny/Marne, France
10. Hraste, K. (2015.): „O stanju hrvatskog konzervatorsko-restauratorskog nazivlja u praksi, na primjeru nekoliko vrsta naslaga na kamenu“, Portal Godišnjak Hrvatskog restauratorskog zavoda, 6/201

Šaravanja, K.

Utjecaj okolišnih (vanjskih) faktora na trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike

11. Grbelja, M. (2012.): „Proces nastanka i vrste patine - restauracija i konzervacija“, (objavljeno 11.02.2012.), antikvitet-com.webs.com/.../12306471-proces-nastanaka-ivrstepatine-r... (10.06.2014.)
12. Rašpica, B., Jengi, I. (2013.): „Južni portal u svjetlu konzervatorsko-restauratorskih istraživanja i obnove“, Crkva sv. Marka u Zagrebu: arhitektura, povijest, obnova
13. Nikšić, G., Sunara, S.M. (2006.): „Konzervatorsko-restauratorski radovi na Peristilu“, „In situ“ konzervatorski časopis Odsjeka za konzervaciju-restauraciju, Split
14. Barišić, M. (2010.): „Druga faza konzervatorsko-restauratorskih radova na Peristilu“, *Kulturna baština*, 36, str. 299-316, Split
15. Malinar, H. (1996.): „Smjernice za konzervatorsko-restauratorske radove u kamenu“, *Klesarstvo i graditeljstvo*, Pučišća 7/1996, br.1-2, str. 37-40
16. Teutli, M., León, E. (2014.): „Rainfall and Chemical Weathering of Basalt Facade at Puebla Cathedral, Mexico“, *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, Vol. 5, No. 3
17. Pagona-Noni Maravelaki-Kalaitzaki (2004.): „Characterization of Weathering Crusts from Monuments in Athens, Greece, Air Pollution and Cultural Heritage“, (ur.) C. Saiz-Jimenez, Taylor & Francis Group, 71-78, 73-74, London
18. Matijaca, M. (2013.): „Konzervatorsko-restauratorski zahvat“, Peristil 2003.-2013.
19. Gobić-Bravar, Đ. (2012.): „Herkulova vrata u Puli: Konzervatorsko-restauratorski osvrt / Hercules' Gate at Pula. A conservation-restoration review“, *Histria archaeologica* 42, str. 217-228
20. Malinar, H. (1998.): „Čišćenje kamenih spomenika kulture“, *Klesarstvo i graditeljstvo*, br.1-2, IX. 1998.
21. Šaravanja, K. (2020.): „Slatkovodni vapnenci neogene starosti, s posebnim osvrtom na arhitektonsko-građevinsku vrijednost i trajnost kamena miljevine (muljika)“, *Doktorska disertacija*, str. 1-253, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
22. Bilopavlović, V. (2017.): „Ukrasni kamen u Hercegovini/popularizacija poduzetništva i obrade kamena“, *Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru*
23. Oreč, F. (2012.): „Konstruktivne vrijednosti miljevine“, *Zbornik broj 2 Udruge „Zvuk kamena“*, Posušje, XII. 2012.
24. „Prijedlog konzervatorsko-restauratorskih zahvata na portalu palače D`Augubio u Splitu“, „NEIR“ d.o.o., Split, VI. 2014.
25. Dubois, C., Quinif, Y., Baele, J.-M., Dagrain, F., Deceuster, J., Kaufmann, O.: (2014.): „The evolution of the mineralogical and petrophysical properties of a weathered limestone in southern Belgium“, *„Geologica Belgica“*, 17/1, pp. 1-8
26. Malinar, H. (2001.): „Štetni utjecaj lišaja na kamene spomenike“, *„Klesarstvo i graditeljstvo“*, God. XII, 1-2, Pučišća
27. Briški, F. (2004.): KONKAM 2004 - Seminar i radionica posvećeni konzervaciji kamena, Mikroflora Peristila Dioklecijanove palače u Splitu
28. Bočina, Z., Ajduković, P. (2014.): „Konzervatorsko-restauratorski radovi na glavnom pročelju hvarske lože“, *Godišnjak zaštite spomenika kulture Hrvatske* 37/38
29. Skočibušić, M. (2016.): „Izvrješće o rezultatima identifikacije mikroflora na kamenim stećcima s lokaliteta Crljivica (Cista Velika) te laboratorijskog i in situ ispitivanja efikasnosti dostupnih komercijalnih biocidnih sredstava“, Split
30. Caneva, G., Nugari, M.P., Salvadori, O. (2008.): „Plant biology for cultural heritage, Biodeterioration and conservation“, Los Angeles
31. Soldo, M., Tomas, T. (2019.): „Rezultati zaštitnih arheoloških istraživanja kasnosrednjovjekovnoga groblja sa stećcima na nalazištu Ričina (Posušje)“, *Starohrvatska prosvjeta*, Vol. III., No. 46, str. 167.-187, Split