

Trajnost slatkovodnih vapnenaca *tenelije, miljevine i muljike* - ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

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

Frano Orec

Rudarsko-geološka udruga „Zvuk kamena“, d. i. rud., Posušje, frano.orec@zvukkamena.com

Sažetak: U radu su prikazani slatkovodni vapnenci, od *tenelije* i (*mostarske*) *miljevine*, koji su interkalirani u ležištu „Mukoša“ kod Mostara, te njihovih „kamenih rođaka“ *posuške miljevine* i *tomislavgradske muljike*. U procesu dijageneze zadobili su specifičnu orijentaciju i strukturu (posebno *tenelija*), što im je dalo specifična fizička svojstva (mala prostorna masa, visoka poroznost i permeabilnost), koja nemaju „klasični“ vapnenci korišteni u građevinarstvu, a koja su bila odlučujuća za izbor ovog kamena za gradnju Starog mosta i drugih građevina na širem prostoru Mostara i na području općine Posušje, ali i u drugim krškim poljima Hercegovine i jugozapadne Bosne, u dijelovima Središnje Bosne, te Miljevini kod Foče. U drugom dijelu rada su prikazani tzv. ugrađeni (unutarnji) faktori koje su graditelji pokušavaju izbjeći da bi slatkovodni vapnenci koji su ugrađeni u mnogobrojne kamene građevine i/ili spomenike, izbjegli složene procese promjena kamena, odnosno trošenja (propadanja) kamena uslijed njegove interakcije s raznovrsnim uvjetima okoliša (vanjskim faktorima). Obradeni su problemi i značenje izbora kamena, načina i (često premale) dubine 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 razne greške u obradi kamena i u izvedbi, uz neodgovarajuće održavanje.

Ključne riječi: vapnenci, slatkovodni, jezerski, sedrasti, lakustrijski, jezerska kreda, oolitični, *tenelija*, *miljevina*, *muljika*, trajnost, unutarnji faktori

Durability of freshwater limestones *tenelija, miljevina* and *muljika* - Built-in factors as causes of changes in the stone

Abstract: This paper presents the freshwater limestones, from *tenelija* and (*Mostar*) *miljevina*, which are intercalated in the Mukoša deposit near Mostar, and their "stone cousins," *Posušje miljevina* and *Tomislavgrad muljika*. In the process of diagenesis they acquired a specific orientation and structure (especially *tenelija*), which gave them specific physical properties (small bulk density, high porosity and permeability), which "classic" limestones used in construction do not have, and which were decisive for the choice of this stone for construction of the Old Bridge and other buildings in the wider area of Mostar and in the area of Posušje municipality, but also in other karst poljes of Herzegovina and southwestern Bosnia, in parts of Central Bosnia, and Miljevina near Foča. The second part of the paper presents the so-called built-in (internal) factors that the builders try to avoid in order for freshwater limestones that are built into numerous stone buildings and/or monuments to avoid complex processes of stone changes, or weathering (decay) of stone due to its interaction with various environmental conditions (external factors). It covers the problems and significance of the choice of stone, the method and (often too small) depth of its extraction from the deposit for the construction of significant buildings, insufficiently long aging (storage) after extraction, incorrect installation (stacking) of the stone in relation to its position in the deposit, as well as various errors in stone processing and execution, along with inadequate maintenance.

Key words: limestones (lim.), freshwater (lim.), lacustrine (lim.), tufaceous (lim.), lake chalk, oolitic (lim.), *tenelija*, *miljevina*, *muljika*, durability, internal factors

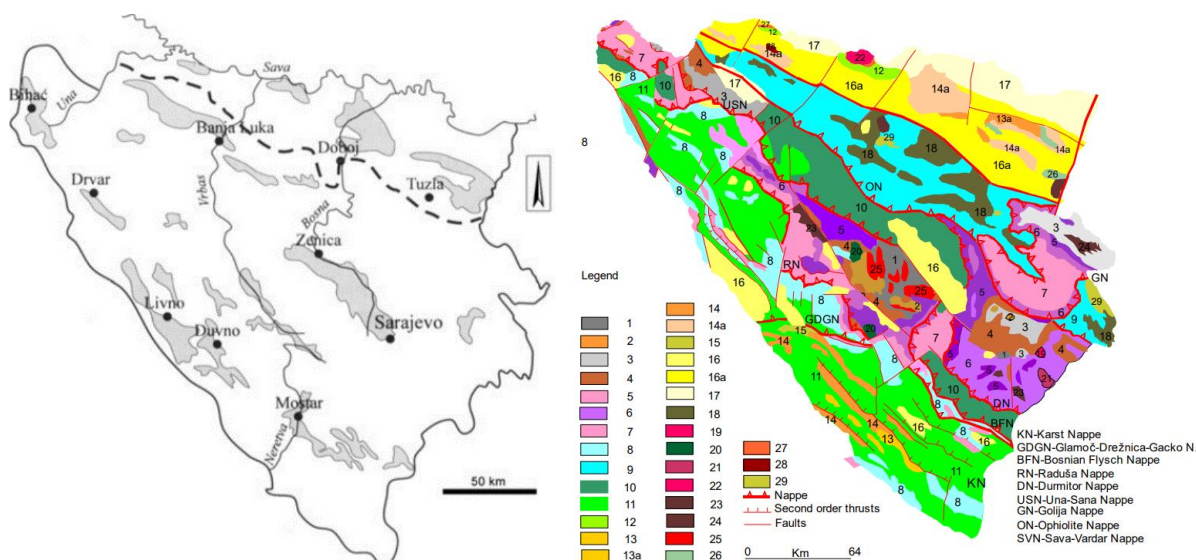
Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

1. O SLATKOVODNIM (JEZERSKIM/SEDRASTIM/...) VAPNENCIMA

Prema Safetu Čičiću, približno 65% terena u BiH izgrađuju karbonatne facije (vapnenci, dolomiti i njihove prijelazne facije). Moćni kompleksi karbonatnih naslaga taloženih u tercijaru nalaze se u zoni Vanjskih Dinarida i u miocenu sjeverne Bosne. U Središnjim Dinaridima marinski karbonati tercijaru su sačuvani u okolini Gacka, a u ostalom terenu se nalaze u miocenskim kompleksima slatkovodnih geološki mladih jezerskih sedimenata u jezerima u tektonskim potolinama Dinarida, [1]. Prema Hrvatoviću, u BiH postoji oko 150 neogenskih sedimentacijskih bazena, [2] sa slatkovodnim vapnencima (jezerski/sedrasti/bigroviti/lakustrijski vapnenci, jezerska kreda). Ove geološki mlade formacije odlikuju se znatnom do visokom poroznošću, malim prostornim masama, relativno niskim čvrstoćama i slabom otpornošću na habanje.

Uz *teneliju* i *miljevinu* kod Mostara, koji su predmet ovog rada, vrlo poznati su *bihacit* kod Bihaća, *plivit* kod Jajca i *bosanska mošćanica* kod Zenice.



Slike 1.-2. Položaj glavnih neogenskih sedimentacijskih bazena od ukupno njih 150 u BiH, (lijevo; Hrvatović, 1999.), [2]; Geološka karta BiH, s miocenskim intramontain slatkovodnim sedimentima „16“ i miocenski južnopanonski bazen „16a“, (desno; Hrvatović, 2000.), [3]

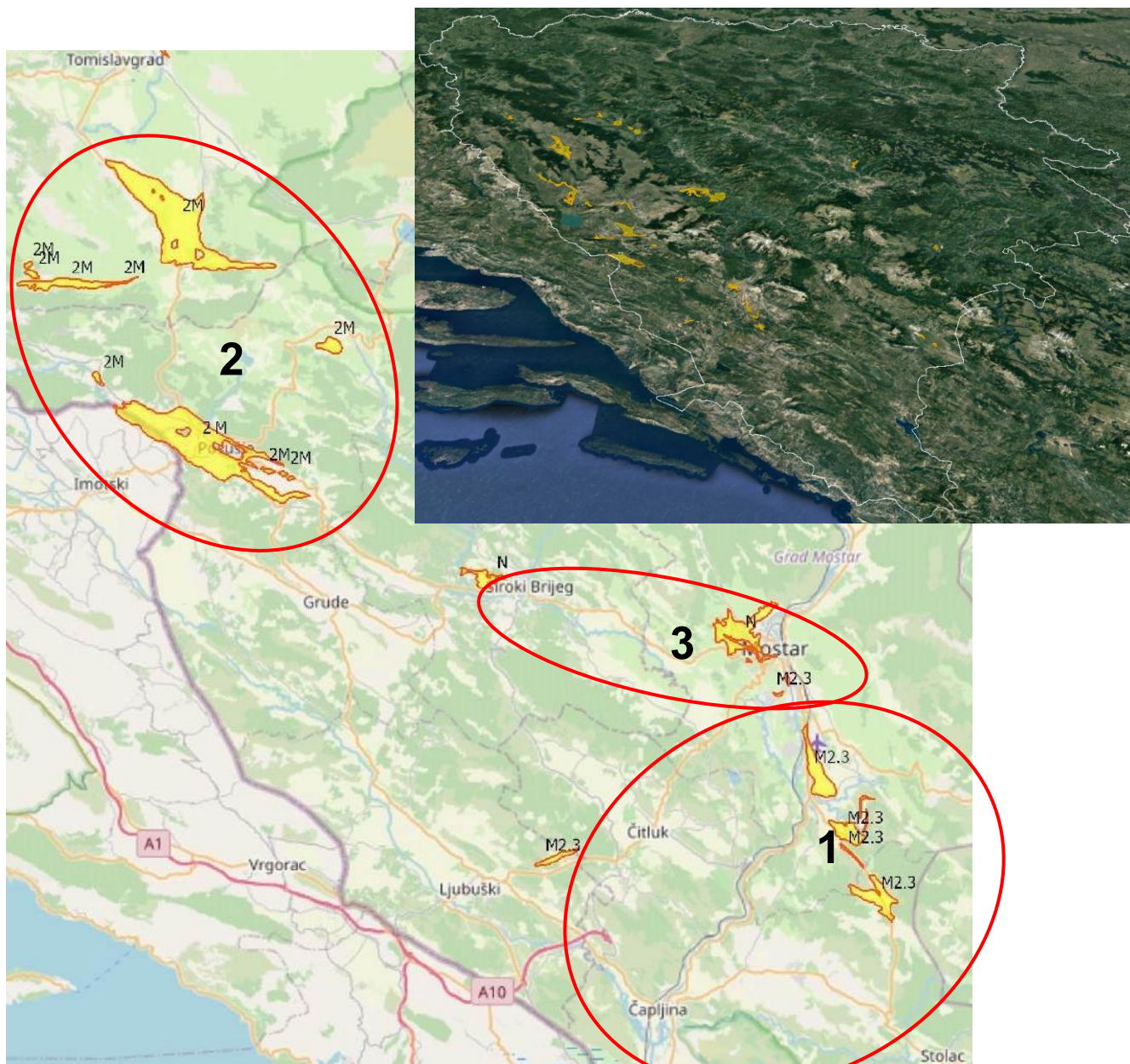
U okviru neogenskih naslaga na području Hercegovine utvrđene su 3 litostratografske jedinice koje imaju zajedničku laporovito-glinovitu i vapnenačku komponentu, prve 2 jedinice koje pripadaju miocenu (M_2 i $M_{2,3}$), dok treća nije detaljnije raščlanjena u okviru neogena (N). Prva jedinica se nalazi na širem prostoru Mostara, sa 2 podtipa vapnenca lokalnih naziva *tenelija* i *miljevina*, koji se međusobno razlikuju po krupnoći zrna, [4]. U drugoj jedinici, naslage *miljevine* nalazimo u Posuškom i Roškom polju, zatim u Viru, Rakitnu, te na većim površinama južnog dijela Duvanjskog polja, [4]. Na temelju mnogobrojnih fosilnih ostataka školjki i puževa određena im je miocenska starost (M_2). Slatkovodni vapnenac, u narodu zvan *muljika*, odavna je u uporabi u Glamoču, Livnu, Tomislavgradu i Bugojnu. Treća jedinica, sa naslagama *miljevine*, evidentirana u Cimu kod Mostara i na Trnu kod Širokog Brijega, u svom sastavu ima malo ili nimalo debelo slojevitih ili bankovitih oolitnih vapnenaca, pa nije bila zanimljiva za eksploataciju AGK, [5].

U procesu dijagenese ovi slatkovodni vapnenci, posebno *tenelija*, su zadobili specifičnu orijentaciju i strukturu, što im je dalo specifična fizička svojstva (mala prostorna masa, visoka poroznost i permeabilnost), koja nemaju „klasični“ vapnenci korišteni u građevinarstvu, a koja

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

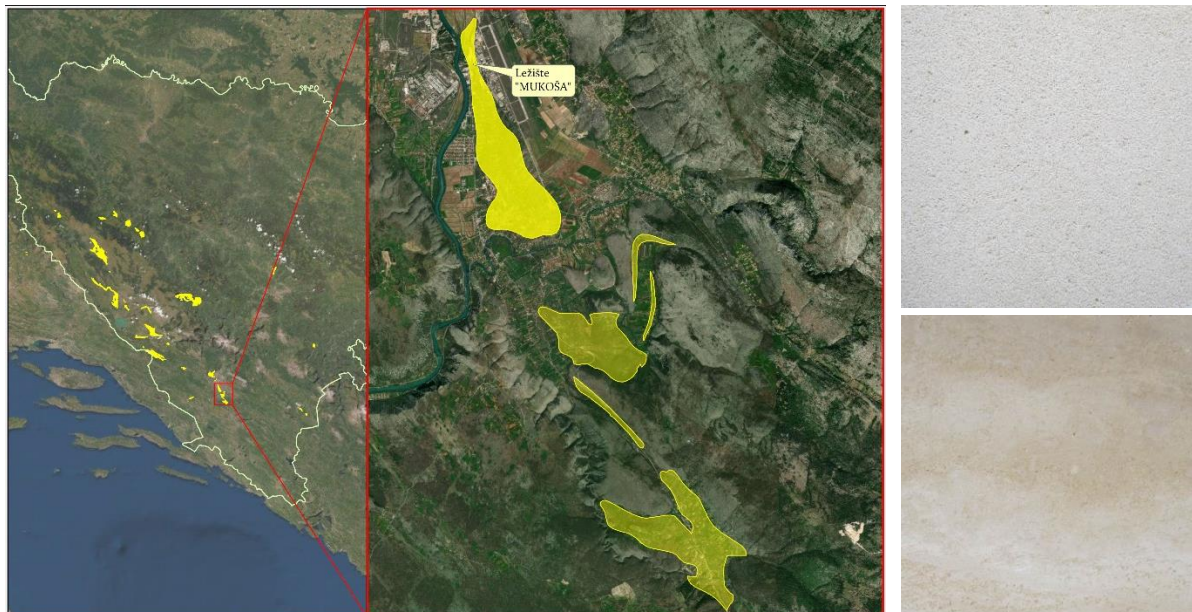
su bila odlučujuća za izbor ovog kamena za gradnju Starog mosta i brojnih drugih građevina i spomenika još od antičkih vremena na većem broju lokaliteta u dijelovima BiH gdje se nalaze njihova ležišta, od krških polja Hercegovine i jugozapadne Bosne (na širem prostoru Mostara, Posušja, Tomislavgrada, Livna, Glamoča) do Središnje Bosne (Gračanica kod Bugojna, donji sliv Trstionice kod Haljinića i Ričice, u bližoj okolici Kraljeve Sutjeske), Miljevine kod Foče i Bihaća. Kamenolomska (majdanska ili prirodna) vlaga koju posjeduju omogućila im je jednostavno i jeftino vađenje blokova, laku obradu i izgradnju.



Slike 3.-4. Pojednostavljene karte dijelova BiH sa lokalitetima prostiranja neogenih naslaga (gore, desno), [6]; dio karte s 3 litostratigrafske jedinice sa zajedničkom laporovito-glinovitom i vapnenačkom komponentom: na širem prostoru Mostara (M_{2,3} - tenelija i miljevina), u Posuškom polju, uz tragove na području Roškog i Rakitskog polja, Vira, te južnog dijela Duvanjskog polja (²M - miljevina), te u Cimu kod Mostara i Trnu kod Širokog Brijega (N - miljevina), (autor: K. Šaravanja)

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu



Slike 5.-7. 1. litostratigrafska jedinica koja pripada miocenu na širem prostoru Mostara: Ortiješ, Buna, Hodovo i Rodoč kartirana je na OGK pod nazivom lapori i konglomerati s klivunelama ($M_{2,3}$) s tenelijom i miljevinom, čiji slojevi se prepliću u ležištu „Mukoša“, (lijevo; autor: K. Šaravanja), [6]; Fotografije rezanih uzorka tenelije (desno, gore) i miljevine (desno, dolje), (foto: I. Hajdarević)

Korišteni su kao konstruktivni elementi za zidanje i konstruktivno-dekorativni elementi (kamena blokovi koji imaju svoje dimenzije/volumen unutar građevine), a u novije vrijeme kao dekorativni element (obloga) za okomita oblaganja na pročeljima građevina, te kao dekorativna kamena plastika i ukrasni ornamenti eksterijera i interijera. Iako su arhitektonsko-konstruktivne vrijednosti objekata od mostarske *tenelije* (Stari most, te Karađozbegova i druge džamije i objekti na području Mostara, i šire), odavno prepoznate i zaštićene od UNESCO-a, odnosno kao nacionalni spomenici BiH, arhitektonsko-konstruktivne vrijednosti objekata od analiziranih slatkovodnih vapnenaca, posebno onih izvan Mostara, nisu dovoljno proučavane, ni predložene stručnoj, a i široj javnosti, od školske do sveukupne javnosti, a dio ih nije stavljen u funkciju, niti u turističku ponudu. Pored dobrih funkcionalnih rješenja tih objekata, većina njih je građena individualizirano, na način da ih njihov oblik i konstrukcija zaštiti od propadanja. Nažalost, nakon II. svjetskog rata vrijednost i kvaliteta *miljevine* (i *muljike*) su bili osporeni, pa su ovi slatkovodni vapnenaci, čak i *tenelija*, od tada desetljećima bili potpuno zapostavljeni. Razlog su bila laboratorijska ispitivanja koja su pokazala veliko upijanje kamena i upitnu postojanost na mraz, a dominantno su se počeli koristiti i druga gradiva (opeke i beton).

O arhitektonsko-konstruktivnim vrijednostima ovih slatkovodnih vapnenaca vodeći autor je pisao u radovima iz 2017. godine, [7], [8] kao i doktorskom radu, [6].

Tenelija je krupnozrnati *oolitični* vapnenac, homogena (masivna) tekstura i visoke poroznosti, čija čvrstoća i trajnost ovise od veličine granulacije (grubo i fino granulirani ooidi) i prirodne poroznosti („*gruba*“ i „*fina tenelija*“), [9]. Upotrebljavala se u raznim oblicima, u kvaderima mase nekoliko tona (svod Starog mosta), u manjim kockama i ugaonicima za zidanje zidova, u podnim pločama nekoliko centimetara debelim, za okomito oblaganje interijera i eksterijera rezanim pločama različitih formata, izradu stupova i ukrasnih ograda, u raznolikim oblicima nadgrobničkih spomenika i u kiparstvu, isturenih profilacija austrijskih zdanja, [10]. „*Zidanje tenelijom je tradicija mostarskog kraja. Gdje je bilo (sedre ili) tenelije, odnosno vrlo slične miljevine, koje se daju lako obrađivati, tamo su i građevine elegantnije, nježnije i profinjenije*“, [11]. Zbog nepostojanosti na mraz primjena *tenelije* u eksterijeru je ograničena na mediteransko podneblje.

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu



Slika 8. Dio bogate kulturno-povijesne graditeljske baštine Mostara od slatkovodnih vapnenaca tenelije i (mostarske) miljevine, (autor: K. Šaravanja)

Miljevina, za razliku od oolitične strukture *tenelije*, ima gustu, sitnozrnatu strukturu u kojoj nije izvršeno cementiranje i prekrizaliziranje kalcita („*gusti vapnenac*“). Posjeduje slabija fizikalno-mehanička svojstva u odnosu na *teneliju*. Zrna imaju muljevit potporu („*madston*“), zbog čega dugo zadržava vlagu, a djelovanje temperaturnih promjena i leda uzrokuje površinsko osipanje i propadanje kamena, [12], [13]. Nepostojana je na mraz i primjena u eksterijeru joj je ograničena na mediteransko podneblje. *Miljevina* iz ležišta „Mukoša“ je determinirana kao mikrokristalasti vapnenac mikrokristalaste (do kriptokristalaste) strukture („*Cerberus*“, Tuzla), a dva uzorka iz napuštenih stambenih objekata u Mostaru kao kristalasti porozni vapnenac, kristalaste strukture („*Cerberus*“), odnosno kao dismikrit, sitnozrnate strukture i slojevite strukture („*IGH*“ Zagreb), [6]. Ranije se primjenjivala kao lomljeni i klesani kamen za zidanje objekata različite namjene, danas se pretežno primjenjuje za okomito oblaganje interijera i eksterijera rezanim pločama različitih formata. Zbog visokog stupnja poroznosti i sporog otpuštanja vlage poželjno je da se ugrađuje na površine koje nisu izravno izložene kvašenju (kiši) i vlazi i naletima vjetra. Ispitani uzorci *miljevine* iz Tomića Briga i Ričine kod Posušja determinirani su kao kristalasti porozni vapnenaci, kristalaste teksture („*Cerberus*“), odnosno kao biomikrit, sitnozrnate strukture („*IGH*“), [6].

Muljika (miljuša) je nastala višetisućljetnim taloženjem mulja koji je cementiran s oolitičnim kalcijevim karbonatom. Slične je boje i svojstava kao *miljevina* i *tenelija*. Osjetljiva je na vlagu, pa prima čak do 10% vlage što nije niti slučaj niti sa jednom drugom vrstom kamena. Vrlo je pogodna za obradu, [14]. U literaturi *muljika* ili *milj(i)ka* je „*glineni lapor (Mergel), požutkast i mek kamen, koji se može lako i lijepo klesati i rezati, samo ga treba prokušati na suncu i snijegu, jer će jedan komad ostati za stoljeća, a drugi će se za prve zime početi ljuštiti i raspadati*“, [8]. Uzorci kamena iz napuštenog objekta u selu Kolo i s deponija kamena kod crkve u Tomislavgradu su determinirani kao kristalasti nečisti vapnenac, kristalaste strukture („*Cerberus*“), a uzorak kod crkve u Tomislavgradu je u „*IGH*“ Zagreb determiniran kao biopelsparit, sitnozrnate strukture, [6].

Obavljenim ispitivanjima tijekom izrade doktorske disertacije, [6] potvrđene su značajne razlike u svojstvima *miljevine* s područja Grada Mostara (kartirane na OGK kao *lapori i konglomerati s klivunelama* $M_{2,3}$) i *miljevine* sa područja Općine Posušje (kartirane kao *lapori i laporoviti vapnenaci s kongerijama* 2M), pa je Šaravanja predložio usvajanje naziva *mostarska*

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

miljevina i *posuška miljevina* u budućem korištenju ovih vrsta prirodnog kamena. Za jedinu ispitivanu *muljiku* s područja općine Tomislavgrad predložio je naziv *tomislavgradska muljika*. U budućim istraživanjima treba uključiti i *miljevinu* s područja istoimenog mjesta u istočnoj Bosni (Miljevina) i napraviti detaljnu usporedbu sa *mostarskom* i *posuškom miljevinom*, kao i razne *muljike/miljevine* iz jugozapadne i središnje Bosne, [6].

Analizirani slatkovodni vapnenci, međusobno su dosta slični, ali ipak međusobno različiti, od „mostarskih“ *tenelije* i *miljevine*, međusobno različitih „kamenih blizanaca“, koji su interkalirani u ležištu „Mukoša“ kod Mostara, te njihovih „kamenih rođaka“ *posuške miljevine* i *tomislavgradske muljike*, do *muljike* i *miljevine* iz drugih navedenih dijelova BiH.

U principu navedeni slatkovodni vapnenci odgovaraju klimatskim obilježjima područja na kojem se nalaze njihova ležišta, te se kao takvi koriste od davnina, sa svim dobrim i manje dobrim svojstvima, [6].

2. UGRAĐENI (UNUTARNJI) FAKTORI, KAO UZROCI PROMJENA NA KAMENU/ SLATKOVODNIM VAPNENCIMA TENELIJI, MILJEVINI I MULJICI

Na prirodnom kamenu ugrađenom u kamene građevine i/ili spomenike (u daljnjem tekstu: objekti) događaju se procesi promjena, odnosno trošenja (propadanja) kamena uslijed njegove interakcije s raznovrsnim uvjetima okoliša, tzv. 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.

Stoga je trajnost kamena (ili njezina suprotnost, propadanje/*weathering*) složen i ključan faktor pri odabiru kamena, koji ovisi prije svega o njegovim fizičkim svojstvima, budući da mora izdržati izloženost vremenskim prilikama, onečišćenoj atmosferi i okolišu, kao posljedicama antropogenog djelovanja, te drugim agensima ubrzanog propadanja kamena ugrađenog u građevine i spomenike. Raspodjela raznih degradacija u građevini uglavnom ovisi o litološkim karakteristikama, o sastavu, strukturi i teksturi kamena (Charola, 2004.), [15] ali i o položaju različitih vrsta kamena i smjeru u kojem su okrenuti, [16].

Na postojanost kamena utječu procesi kojima je stijenska masa bila izložena u ležištu kamena, odnosno njene 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). Na trajnost ugrađenog kamena od posebnog je utjecaja njegov mineralni sastav (i njegove moguće transformacije), [17].

Osim genetskih i postgenetskih procesa koje je kamen prošao, na njegovu trajnost utječu i tzv. ugrađeni (unutarnji) faktori koje pokušavamo izbjeći, od izbora kamena, načina i dubine (često premale) vađenja iz ležišta (posebno za gradnju značajnih građevina), nedovoljno dugog odležavanja (skladištenja) nakon vađenja, neispravne ugradbe (slaganja) kamena u odnosu na njegov položaj u ležištu, a treba spomenuti i razne greške u obradi kamena i u izvedbi, kao i neodgovarajuće održavanje.

Na koncu, problematiku trajnosti kamena treba staviti i u kontekst njegove uporabne vrijednosti, odnosno da li je ugrađen u vrijedni objekt kulturne baštine ili u neki manje značajan komercijalni objekt.

2.1 Visina objekta, njegova lokacija i orijentacija/izloženost

Na promjene kamena mogu značajno utjecati razni aspekti lokacije objekta (klima, zemljopisna duljina i širina), posebno kod sjevernijih područja sa hladnijom klimom, kao i visinskog položaja objekta (planinska područja, na većim nadmorskim visinama). S druge strane, objekti u južnijim, toplijim (i nižim) predjelima su izloženi sunčevom zagrijavanju (insolaciji). U

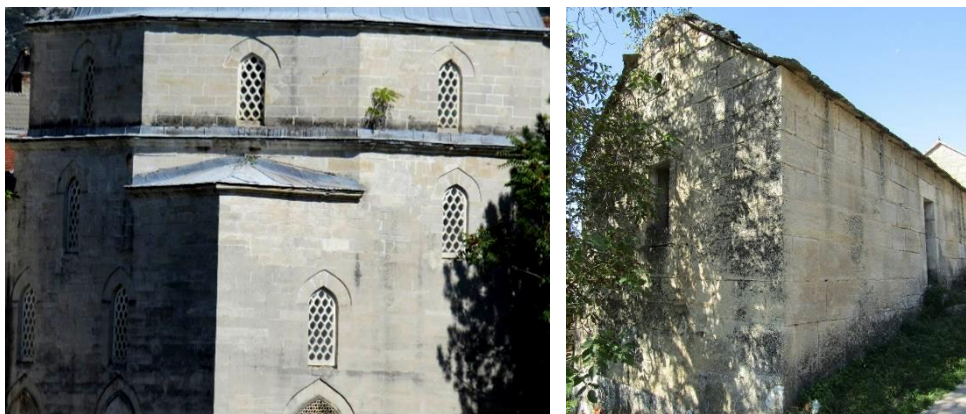
Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

navedenim slučajevima dominira fizičko (mehaničko) propadanje ugrađenog kamena. Iako nema promjene kemijskog sastava, tako usitnjene mase olakšavaju proces kemijskog raspadanja, posebno u vlažnim toplim krajevima uz more, koje je izvor štetnih, topivih soli (kloridi), koje s vlagom migriraju kroz kamen, postupno mu razarajući strukturu.

Promjenama (i propadanju) kamena doprinose položaji objekata u blizini mora, različitih industrijskih postrojenja, prometnica s intenzivnim prometom, kao i u urbanim sredinama sa značajnim onečišćenjem. Međutim, ne samo da postoje razlike u promjenama ugrađenog kamena u urbanim u odnosu na ruralne sredine, kao i razlike na istoj vrsti kamena u gradovima sa različitim onečišćenjem, već su česte razlike i unutar istog grada, ovisno od položaja građevine u odnosu na glavne gradske prometnice, položaj na uzvisinama, blizinu rijeke, ili dominirajuće lokalne vjetrove. Svi ti čimbenici mogu utjecati ne samo na stvaranje slabije/jače koncentracije onečišćujućih plinova i prašine, karakterističnih za središte grada, već posljedično i na manje/veće promjene na ugrađenom kamenu u objektima.

Treba spomenuti i položaj/mjesto i orijentaciju površina objekta u odnosu na strane svijeta, što može rezultirati formiranjem raznih oblika propadanja i litologije kamena na zidovima različite izloženosti, posebno u urbanim, ali i u ruralnim sredinama.



Slike 9.-10. Različit izgled površine zasjenjenih dijelova na zapadnoj strani obnovljene Koski Mehmed Pašine džamije u Mostaru u odnosu na osunčaniju južnu stranu; Kamena pročelja su izgrađena od kamena tenelije prekrivenog površinskim naslagama nečistoće čiji je postanak prouzročen kombinacijom faktora vezanih uz onečišćenje i djelovanje vlage na kamen (lijevo); Različit izgled površine kamene fasade zasjenjene istočne i sjeverne strane kuće u Tomića Brigu-Vinjani kod Posušja, izgrađene od miljevine, kao posljedica njenog položaja (desno); Patina je izraženija i u dijelovima bliže zemlji, te oko oluka zbog duljeg zadržavanja vode, (foto: K. Šaravanja), [6]



Slike 11.-12. Donji dio kamenog sjeverozapadnog pročelja zgrade bivše SDK u Mostaru (lijevo, www.cidom.org) je izraženije prekriven površinskim naslagama nečistoće od jugozapadnog dijela pročelja (desno); Postanak ovih naslaga je prouzročen kombinacijom faktora vezanih uz onečišćenje zraka (od prometa, grijanja kućanstava i industrije) i djelovanje vlage na kamen, (foto: K. Šaravanja), [6]

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

O različitoj zaprljanosti i crnjenju (patiniranju) fasada na raznim stranama građevina bit će detaljnije riječi u drugom radu vezanom za okolišne (vanjske) faktore kao uzrocima propadanja kamena, gdje će biti prikazano različito stanje sjeverne (uzvodne) i južne (nizvodne) strane Starog mosta u Mostaru.

Posebno se naglašava izloženost utjecaju insolacije (dijelovi objekta izloženi suncu se jače zagrijavaju, dok se oni u sjeni brže hlade kondenzirajući atmosfersku vlagu, pa razlike u toplinskom širenju mogu dovesti do oštećenja), izraženijih oborina (na zapadnoj strani slab utjecaj oborina, a na sjevernoj strani visok udio oborina) i dominantnog/ih vjetr(ov)a. 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 40-50°C, ovisno o položaju (ekspoziciji), pri čemu je uobičajeno pojačano oštećenje od toplinskog naprezanja na južnoj i zapadnoj strani objekta, [18]. Primjer izloženosti utjecaju insolacije naveden je u „Elaboratu konzervatorsko-restauratorskih istraživanja pročelja zvonika i zapadnog pročelja franjevačke crkve sv. Petra i Pavla, Gorica-Livno“ (2011.), gdje se kaže da je „zbog izrazitih dnevnih termičkih promjena na pročelju crkve, u ljetnim mjesecima 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 današnjeg stanja“, [19].

Prema prof. Radniću i dr., [20] „na obnovljenom Starom mostu, uz djelovanje okomitih opterećenja, temperaturna djelovanja su glavni uzrok nastanka pukotina u izvornom i obnovljenom luku“.

Naravno, važna je i visina objekta (niža mjesta su sklonija akumuliranju topljivih spojeva), kao i morfologija objekta i njegovih dijelova.

Na koncu, dodatan utjecaj može imati (veća ili manja) zaklonjenost građevine ili njenog dijela drvećem, odnosno općenito višom vegetacijom (puzavicama,...).



Slike 13.-14. Primjeri utjecaja okolnog raslinja: kuća u Tomića Brigu-Vinjani kod Posušja, s utjecajem obližnjeg drveta oraha na istočnoj strani objekta, čije listove ispire kiša i stvara određeno zakiseljenje kišnice (lijevo); Minaret džamije kod Pješačkog mosta Bunur u Mostaru sa jače izraženom patiniranošću kamena zbog blizine okolnog raslinja i r. Neretve (desno), (foto: K. Šaravanja), [6]

Općenito, svaki kameni objekt treba promatrati individualizirano s obzirom na klimatske, atmosferske i druge navedene uvjete mikrolokacije na kojoj se nalazi, te na uvjete tla na kojemu je izgrađena, [17].

2.2 Pogrešan izbor kamena ili njegova neprikladna uporaba

Pri izboru prirodnog kamena potrebno je voditi računa o brojnim aspektima njegovog budućeg korištenja, prije svega o mogućim načinima piljenja i obrade njegove površine. Uz fizikalno-mehanička svojstva kamena, često je važna njegova dekorativnost, odnosno postojanost boje

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

na vanjskim površinama, što ovisi o njegovom mineraloško-petrografskom sastavu (i prisutnim primjesama) i o izloženosti ugrađenog kamena djelovanju različitih atmosferilija u urbanom okolišu.

Mnogi vapnenci zbog povećanog sadržaja organske tvari izbljeđuju na vanjskim površinama i postaju puni svijetlih mrlja, pa je poznavanje procesa gubljenja boje kamena uslijed djelovanja vanjskih faktora iznimno važno za industriju kamena, kao i kod restauracijskih zahvata na kamenoj baštini, [21].

Pravilnim izborom kamena pokušavamo izbjeći potencijalne probleme trajnosti ugrađenog kamena (promjene na kamenu u vidu oštećenja, čak i raspadanja), pa o projektnim zahtjevima treba voditi računa kod izvođenja i korištenja objekta.

Pošto nijedan čimbenik u ukupnoj procjeni pogodnosti pri izboru kamena ne smijemo zanemariti, potrebno je izvršno poznavanje njegovih fizikalno-mehaničkih, ali i mineraloško-petrografskih svojstava, budući da mora izdržati izloženost atmosferilijama, onečišćenoj atmosferi i okolišu, kao posljedicama antropogenog djelovanja.

Na pitanje koji vapnenci bi (petrografski) mogli biti najpodložniji brzom propadanju je teško odgovoriti pošto je, prema Turkingtonu [22], „*trajnost kamena teško definirati i izmjeriti*“, posebno tamo gdje istu ograničavaju složeni procesni režimi, kao i na lokalitetima gdje ne postoje iskustva vezano za raniju primjenu te vrste kamena.

Na postojanost kamena prvenstveno utječu procesi geneze stjenske mase u ležištu, odnosno njegova teksturna i strukturna svojstva (kamen krupnog zrna se brže troši), te poroznost (što su pore sitnije, mogućnost širenja kapilarne vlage, a time i oštećenja, je veća). Od posebnog utjecaja na trajnost ugrađenog kamena je njegov mineraloški sastav i njegove moguće transformacije, [23].

Mnogo puta se pri restauracijama i rekonstrukcijama građevina kulturne baštine nailazilo na probleme ne samo u identifikaciji petrografske vrste i utvrđivanje svojstava kamena, već u pronalaženju nalazišta iz kojeg je kamen izvađen, ili pronalaženju zamjenskog kamena. Tako na pr., u svježem stanju je teško vizualno makroskopski razlikovati *teneliju* i (*mostarsku*) *miljevinu*, koji su na više mjesta interkalirani u istom sloju ležišta, što mogu tek lokalni majstori kamena, pri čemu pomažu određena ispitivanja, a razlike se mogu uočiti različitim intenzitetima promjene kvalitete ugrađenog kamena u građevinama, kao i u napuštenim površinama kamenoloma. Dakle, za dobar izbor kamena značajni su ne samo vizualni pregled, već i provođenje laboratorijskih ispitivanja, a posebno je značajno iskustvo u ranijim primjenama tog kamena u sličnim objektima, ako takvo iskustvo postoji.

Stari graditelji su primjenjivali 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, te slabu otpornost na habanje i upitnu postojanost na mraz.

Prema Frani Oreču, na području općine Posušje dosta nadgrobnih spomenika u grobljima Batin, Gradac i Kljenak-Broćanac je izrađeno od *miljevine* iz više kamenoloma, većinom u razdoblju od 1850.-1930. godine, bez ikakvih motiva, neki s motivima urezivanim na spomenike (cvjetovi, križevi, spirale, ...), koji su vrlo rijetko oštećeni. Visina i širina nadgrobnih spomenika su dosta varirali. Po veličini se kreću od 100-220 cm visine i širine od 80-120 cm, a debljina je različita i nije birana, nego je uzimana iz sloja koji je bio dostupan, najčešće od 18-22 cm. Križevi u grobljima Gradac, Batin i Kljenak-Broćanac su rađeni od kamena lošije kvalitete nego što su grobljima Ričina, Matkovine, Martića križ i Vinjani. Zbog svoje lošije kvalitete može se primijetiti kako su pojedini oštećeni od utjecaja vremena, [6].

Koliko je bitan pravilan izbor kamena, vidljivo je iz pojave pukotina na luku obnovljenog Starog mosta u Mostaru, spomeniku pod zaštitom UNESCO-a. Prema prof. Radniću i dr., [20] „*glavni uzrok nastanka oštećenja u izvornom i obnovljenom kamenom luku je neodgovarajuća kvaliteta kamena tenelija, s kojim je luk izgrađen, a prije svega njegova mala vlačna čvrstoća*“.

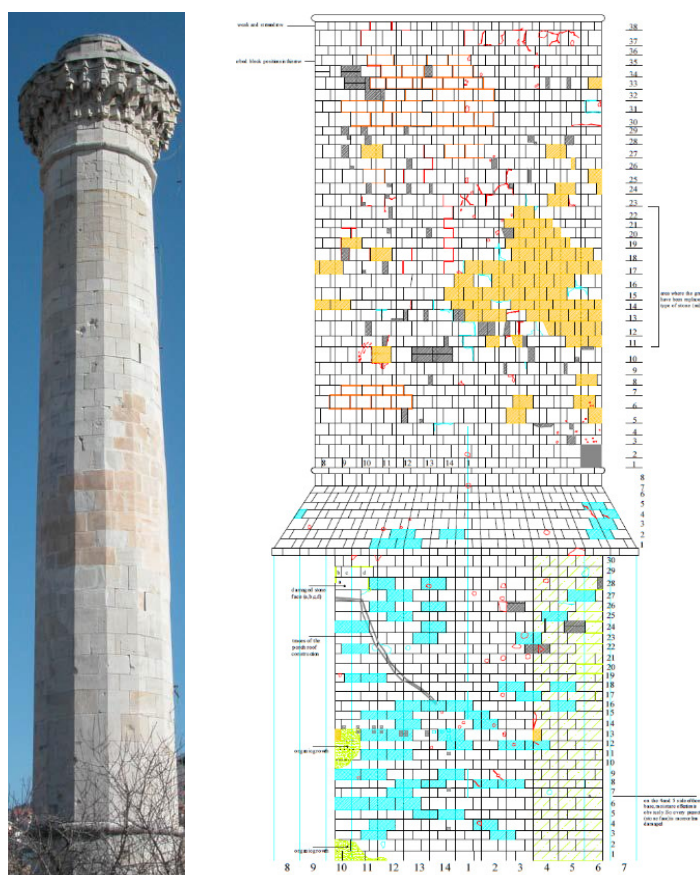
Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

2.2.1 Pogrešan izbor kamena koji je nepostojan na mraz u određenom klimatskom podneblju

Osjetljivost mnogih slatkovodnih vapnenaca na propadanje može se naći u saznanju da nisu iskusili intenzivne procese duboke dijageneze, pa su manje kristalni i manje gusti, a time i manje izdržljivi, te osjetljiviji na procese kemijskog propadanja (otapanje i sulfacija) i propadanja uzrokovanom kristalizacijom (soli i mraz) u odnosu na geološki starije, kompaktne (guste) vapnence (Leary, 1983.), [24]. Na njihovu trajnost utječe i način rezanja i postavljanja kamenih blokova, pa se pri obradi mora voditi računa o slojevitosti i o sekundarnoj ispugalosti.

Prilikom obnove minareta Karađozbegove džamije (2003.-2004.), bilo je kamenih blokova površinskog kamena slabije kvalitete (*miljevina*), koji su zamijenjeni.



Slike 15-16. Minaret Karađozbegove džamije, nacionalnog spomenika BiH, najstarijeg objekta građenog tenelijom, prije obnove, sa vidljivim tragovima miljevine među kamenima tenelije (lijevo); detaljan crtež koji prikazuje pukotine crvenom bojom i različite popravke žutom i plavom bojom, a sva područja pokazuju zamijenjene dijelove površinskog kamena (desno), [25]

Dakle, u praksi se događaju i greške u izboru kamena, koje mogu biti uzrok oštećenja građevina, od prirodnih anomalija u kamenu (vene, mikro-pukotine), do njegove nehomogenosti, odnosno nepostojanosti korištenog kamena na mraz u određenom klimatskom podneblju.

Promjene posebno utječu na porozni kamen čiji su minerali manje otporni na propadanje. Znajući ograničenja primjene *tenelije* i *miljevine* vezano za visoko upijanje vode, graditelji su u Mostaru za donje dijelove građevina često koristili drugu vrstu kamena, a brojne građevine

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

raznih namjena iz austro-ugarskog razdoblja (i nešto kasnije), koje su građene sa debelim zidovima od *miljevine*, sklone visokom upijanju vode, su oblagane fasadom radi zaštite, [6].

Pri procjeni postojanosti i uopće promjena kamena tijekom vremena mnogo znači poznavanje ponašanja i stanja kamena na već izgrađenim objektima. Stoga, potrebno je voditi računa vezano za upitnu postojanost na mraz nekih slatkovodnih vapnenaca, posebno u određenim klimatskim podnebljima. Nažalost, bilo je i primjera pogrešnog izbora slatkovodnih vapnenaca za nadgrobne i druge spomenike sa hladnijom kontinentalnom klimom i čestim mrazom. Jedan od njih je originalni šadrvan uz (Gazi Husrev)-Begovu džamiju u Sarajevu od bosanske *miljevine* (1530.). Temeljito je obnovljen 1772. godine, međutim, krajem XIX. st. zbog jakih sarajevskih zima i čestih zamrzavanja, bio gotovo potpuno oštećen, pa je izgrađena nova fontana od mramora iz Pučišća s otoka Brača, [6].

Sličan problem je bio i sa korištenjem *tenelije* za nadgrobne spomenike nišane u Bosni, koji su propali od mraza tokom prve zime.

2.2.2 Premala dubina ležišta s kojega se kamen vadi

Kako bi dobili velike blokove kvalitetnog kamena bez pukotina, vapnenac je potrebno vaditi iz dubine, gdje je bio opterećen naprezanjem gornjih slojeva. Prema Tamari Plastić, [15] „*uzrok razlike u fizičko-mehaničkim svojstvima kamena iz istog ležišta je različita dubina ležišta s koje se kamen vadi. 'Kao da izlaskom na površinu kamen obolijeva od dekompresijske bolesti'. Kako se radi o znatnim razlikama u tlakovima kojima je kamen izložen, logično je pretpostaviti da se mjesto nastanka odražava na njegove karakteristike*“. Kamen koji se vadi iz dubljih slojeva ležišta gubi manji dio svoje vlage, odnosno ostaje dulje obradiv.

Iz tehnologije vađenja i obrade kamena za džamiju Süleymaniya u Istanbulu sredinom XVI. st. je vidljivo da se vapnenac vadio iz dubine od 6,5 m kako bi se dobili veliki blokovi visokokvalitetnog kamena bez ikakvih pukotina. Pojava brže degradacije uočena je i kod kamena iz novijih kamenoloma kod kojih se kamen još uvijek vadi iz „plich“ dijelova, [6].

2.2.3 Negativan utjecaj modernih tehnologija u kamenolomima

Zbog brže degradacije/propadanja ugrađenog kamena u objektima, posljednjih desetljeća počelo se bezrazložno sumnjati da li je kamen prihvatljiv za određene namjene, a da se nije uzimala u obzir znatno ubrzana tehnologija vađenja kamena modernim strojevima, uz veću masivnost blokova, često stavljajući u drugi plan površine i nagib slojevitosti, što je kod vapnenaca iznimno važna karakteristika koja definira njihova fizikalno-mehanička svojstva, te može biti jedan od uzroka bržeg propadanja kamena nakon ugradbe, [17].

Vađenje kamena pomoću eksploziva može uzrokovati unutarnje lomove. Ako se to ne uzme u obzir, stvarat će se problemi i deformacije na arhitektonskim elementima objekata, a kamen će pokazivati znakove brže degradacije/propadanja, odnosno smanjene trajnosti.

2.2.4 Neispravna ugradba/slaganje kamena u objektu u odnosu na položaj kamena u ležištu

Kamen u građevini može imati konstruktivnu, konstruktivno-dekorativnu ili dekorativnu ulogu. U prva dva slučaja, kamen ima dimenzije i kamenu masu u dubini građevine, koja nakon ugradbe prima na sebe sva naprezanja. U ranijim građevinama kamen je bio pravilno položen, s vodoravno orijentiranom planarnom anizotropijom, sa slojem. U pravilu, plohe teksturne anizotropije (slojevitost, škriljavost) trebaju biti okomite na tlak. Pravilna ugradba je pozitivno utjecala na njegovu trajnost, a nepravilnom ugradbom se može smanjiti trajnost na samo nekoliko godina, [26].

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

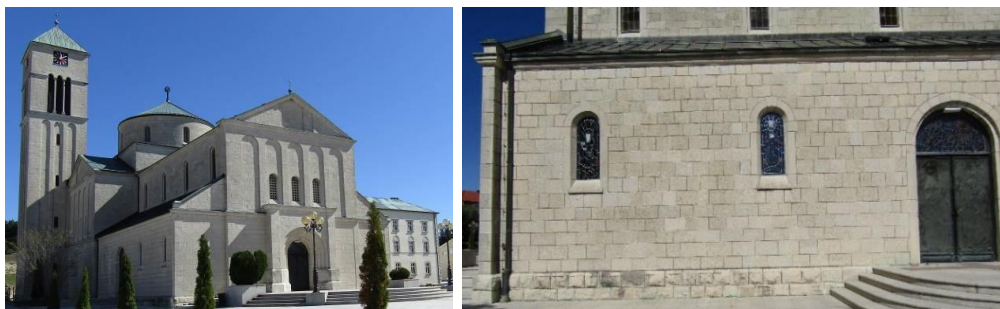
Udio degradacija uglavnom ovisi o litološkim svojstvima, o sastavu, strukturi i teksturi kamena (Charola, 2004.), [27], ali i o položaju različitih vrsta kamena i smjeru u kojem su okrenuti, [28].

Pri građenju, do oštećenja može doći ako je kameni blok nepravilno ugrađen u neki objekt u odnosu na položaj u ležištu, posebno kod nekih vrsta nehomogenog kamena, koji sadrže slojeve različite kvalitete. U pravilu, ugradba kamenih blokova mora biti pažljiva i slična prirodnom položaju i smjeru kao u ležištu. Slojevi bi trebali ležati vodoravno, na način na koji je formiran kamen jer je kamen u tom položaju jači i manje ranjiv na nedostatke. U takvom slučaju, ako je kamen položen licem (slojevi su okomiti), ranjiviji je na oštećenja od kristalizacije soli i/ili djelovanja mraza jer je zbog mehaničkih djelovanja relativno lako odgurnuti ugrađene slojeve pošto nema oslonca na susjedno kamenje. Dakle, pravac prijenosa opterećenja u građevini uvijek mora biti okomit na prirodne slojeve u kamenu, odnosno na slojevitost kamena, koja je posljedica sedimentacijskog procesa nastajanja ovakvih stijena. U suprotnom, dolazi do raslojavanja i pucanja kamena. Kada se ovo pravilo ima u vidu i zida obrađenim pločastim blokovima debljine do 30 cm, vlaga vrlo rijetko prodire u objekt, [6].

Praksa je često pokazala da slatkovodni (porozni) vapnenac kao građevni kamen zahtijeva obnovu i zamjenu, kao u slučajevima čuvane crkve Sv. Matijaša i zgrade Parlamenta u Budimpešti. U konzervatorskoj praksi ima više načina popravljivanja oštećenog kamena ili njegovog konzerviranja u starim građevinama ovisno od prirode mineralnog sastava, strukture i teksture kamena. Načelno, ugrađeni, oštećeni kamen se popravljiva zamjenjujući blokove/ dijelove blokova odabranim kamenom na čeonim, vidljivim stranama (mostova i drugih) objekata.

Takva situacija je bila i kod zidova crkvi Sv. Mihovila Arkandela u Tomislavgradu i Sv. Petra i Pavla na Gorici-Livno, čijim glavnim pročeljima posebnu monumentalnost daje obrađeni kamen *muljika* iz lokalnih kamenoloma.

Na crkvi u Tomislavgradu je izvršena zamjena kamenih blokova oštećenih od mraza novoizrađenim klesanim elementima od kamena iz istog kamenoloma. Oštećeni blokovi nisu bili ugrađeni u istom položaju kao u ležištu, čime slojnice ne dođu u okomiti položaj i izbjegava se uvlačenje vlage u iste, koje je dovelo do raslojavanja i raspada od djelovanja leda, [6].



Slike 17.-18. Crkva Sv. Mihovila Arkandela u Tomislavgradu (gore); zamijenjeni oštećeni blokovi od mraza novim klesanim elementima od iste vrste kamena, (dolje; foto: K. Šaravanja), [6]

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu



Slike 19.-21. Primjer izgradnje zidnih plaštava južnog zvonika Crkve Sv. Petra i Pavla na Gorici u Livnu, različitim vrstama klesanaca s obzirom na njihovu boju, veličinu i površinsku obradu (lijevo), [29]; Kamen muljika, koji daje posebnu monumentalnost glavnom pročelju H, obnovljen je na pročelju i zvonnicima, (sredina i desno; foto: K. Šaravanja), [6]

Na crkvi Sv. Petra i Pavla na Gorici u Livnu, nacionalnom spomeniku BiH, kamen je obnovljen na pročelju i zvonnicima tijekom restauracije zbog opasnosti od urušavanja oštećenog kamena. Predlagači su bili Hrvatski restauratorski zavod iz Zagreba i Zavod za zaštitu spomenika Federalnog ministarstva kulture i sporta. Prije izbora zamjenskog kamena preporučeno je ostavljanje manjeg bloka da prezimi nezaštićen u Livnu, da se provjeri da će odabrani kamen biti dobar za takve uvjete, [6], [29].

Prema Frani Oreču, na području općine Posušje od (*posuške*) *miljevine* izgrađeno je 660 stambenih i gospodarskih objekata, koji su zidani u pravim redovima visine koja je određena debljinom sloja u kamenolomu (oko 40 cm). Slaganje blokova u objekt je rađeno uvijek onako kako je blok imao položaj u prirodi, da ne dođu moguće slojnice u okomiti položaj i da se izbjegne uvlačenje vlage u iste, što bi dovelo do raspada od djelovanja leda. Budući da se zidalo obrađenim pločastim blokovima debljine do 30 cm, vlaga je vrlo rijetko prodirala u sami objekt, [6].

Neki nadgrobni spomenici od slatkovodnih vapnenaca su oštećeni zbog grešaka u izboru kamena za spomenik i nevođenja računa o njegovoj slojevitosti, pa je vlaga prodirala u slojeve kamena, što je dovelo do djelomičnog ili potpunog raslojavanja spomenika uslijed mraza.



Slike 22.-25. Oštećeni nadgrobni spomenici u groblju Radoševina kod Tomislavgrada, od kamena muljike, s vidljivom raslojenosti po visini (slike lijevo) ili na dijelu visine spomenika (slika desno) zbog nevođenja računa o slojevitosti kamena, te dugogodišnje izloženosti mrazu, (foto: K. Šaravanja), [6]

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

2.2.5 Neodgovarajuće postupanje s blokovima nakon vađenja i prekratko vrijeme od vađenja do ugradbe

Svaki kamen sadrži određenu količinu kamenolomske (majdanske) vlage, koja je stalna u dubljim slojevima, a u slojevima bliže površini ovisi o atmosferilijama. Kod izvađenih uzoraka ukupna vlaga je kamenolomska vlaga, a vlažan kamen je mekši i lakši za obradu.

Ako su skladišteni uzorci bili izloženi kiši, osim kamenolomske vlage, prisutna je i oborinska vlaga.

Osim u tehnologiji vađenja kamena, u današnje vrijeme se znatno izmijenio i način postupanja s blokovima nakon vađenja zbog drukčije dinamike tržišta, pa izostaje tradicionalno odležavanje (skladištenje) izvađenih kamenih blokova (i gotovih kamenih proizvoda), odnosno nakon vađenja su trebali proći sve faze proizvodnje kako bi krajnji proizvod imao željena svojstva, [17]. Dakle, kamen se nije koristio odmah nakon vađenja, nego kasnije, u različitim fazama sazrijevanja i oslobađanja od kamenolomske vlage, čime je imao veću otpornost na atmosferilije.

Još u antičkom Rimu je bila praksa, posebno kod podzemnih kopova, da se kamen odmah obrađuje, dok još sadrži svoju prirodnu vlažnost. Nakon vađenja na površinu, kamen se počinje sušiti, iz pora izlazi vlaga, a boja kamena postaje svjetlija. Čuveni rimski arhitekt i graditelj Marcus Vitruvius Pollio u knjizi „*De architectura libri decem*“ ili, u hrvatskom prijevodu, „*Deset knjiga o arhitekturi*“, [30] je napisao kako treba postupati s kamenom tko želi dobro graditi „*Kamen treba vaditi dvije godine prije nego se počne graditi, i to ljeti, a ne zimi, pa ga ostaviti da leži na otvorenom mjestu. Ono kamenje koje za te dvije godine oštete vremenske nepogode neka se polaže u temelje. Ostalo, koje ostane neoštećeno, moći će izdržati, ako se uzida nad zemljom, jer ga je priroda isprobala. Na to treba paziti ne samo kod klesanca kamena nego i kod zidanja lomljenim kamenom*“, [6].

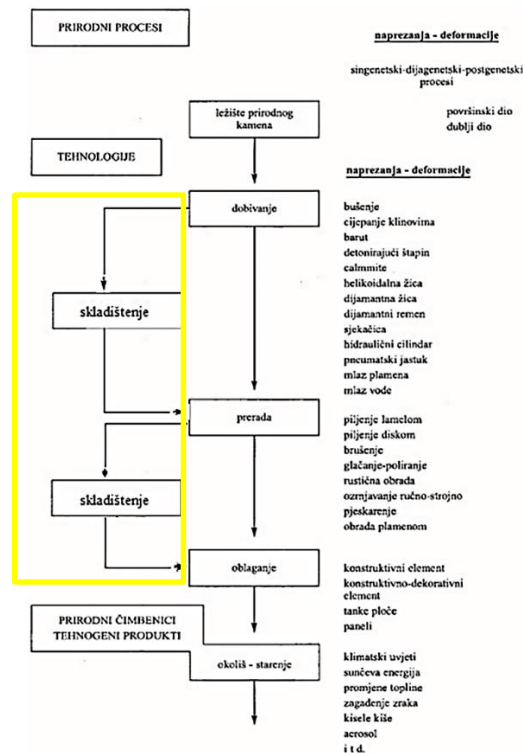
Kod kamena za gradnju džamije Süleymaniya u Istanbulu, polovinom XVI. st., blokovi kamena koji su početno obrađeni u kamenolomu, tek nakon 4 godine su prevezeni na ugradbu, uz finu završnu obradu, [6].

Do 1980-ih godina s kamenom vađenim u bračkim kamenolomima, upravo se tako postupalo, ali je vremenom taj postupak zanemaren, [17].

U knjizi „*Građenje prirodnim kamenom*“ grafički su prikazani utjecajni faktori o kojima ovisi (dugo)trajnost kamena. Osim genetskih i postgenetskih procesa, na trajnost kamena utječu i način eksploatacije, te način obrade, ugradnje i održavanja kamena, kao i izloženost atmosferilijama. Slika prikazuje naprezanja kojima je kamen izložen od eksploatacije do ugradnje, što pojedinačno i sumarno utječe na trajnost kamena. Tamara Plastić je napravila korekciju koja u obzir uzima skladištenje kamena nakon vađenja, [17].

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu



Slika 26. Naprezanja uzrokovana prirodnim i tehnogenetskim faktorima kojima je kamen izložen od eksploatacije do ugradnje, što pojedinačno i sumarno utječe na vremensku trajnost kamena (lijevo);^{4,3} Korekcija koja u obzir uzima skladištenje kamena nakon vađenja, [17]

Prema Frani Oreču „branje“ kamena *miljevine* iz kamenoloma u Posušju se vršilo krajem ljeta ili u jesen (čak i ranije, u proljeće). Slagan je na slobodan prostor i ostavljao se vani, na suncu i snijegu prije korištenja, da bi izdvojili loš kamen iz buduće uporabe, pa ako nije doživio promjene (pogotovo zimi) koristio bi se za daljnju obradu i ugradnju, jer će, kako narod kaže, „jedan komad ostati za stoljeća, a drugi će se za prve zime početi ljuštiti i raspadati“. S vremenom je ta praksa napuštena iz ekonomskih razloga, pa graditelj ne čeka da prođe ovo cijelo razdoblje jer mu je treba kamen, [9].

Odležavanje izvađenog kamena je doprinosilo bržem gubitku (isušivanju) kamenolomske vlage, čime je smanjena specifična masa, što posredno ukazuje na smanjenje apsolutne poroznosti, odnosno na povećanje kompaktnosti minerala, odnosno kamena kojeg izgrađuju, [17]. Iskustveno je uočeno da su specifična i prostorna masa, te poroznost i gustoća „zrelog kamena“ općenito poboljšana, a poboljšavaju se i mehanička svojstva kamena, kao i otpornost na utjecaj atmosferilija, [29]. Gubitak vlage ovisi o veličini izvađenog bloka, o tipu poroznosti i općenito o strukturi pornog sustava, ali i o okolišu u kojem se kamen nalazi, [17].

Zbog svoje poroznosti i šupljikavosti, porozni vapnenci imaju visok koeficijent upijanja vode. Unatoč tome, postojani su na mraz jer se, zbog povoljnih veličina i međusobne povezanosti pora i šupljina, voda ne zadržava u porama, pa i ako dođe do smrzavanja, zbog veličine pora, led u njima ima dosta mjesta za razvijanje, pa ne pritišće stijenke. Ovo ne vrijedi za izvađene blokove, oni se ne smiju držati na otvorenom na negativnim temperaturama.

Nataša Plastić se pitala u ime svih nas „je li moguće pravilnim sazrijevanjem odgoditi odnosno usporiti starenje kamena tj. produžiti vremensku trajnost kamena?“, pa je napravila ispitivanja nekih fizikalno-mehaničkih svojstava kamena relevantnih za primjenu u graditeljstvu u različitim fazama sazrijevanja i oslobađanja od kamenolomske vlage, nakon čega je zaključila „da su fizička svojstva kao što su specifična i volumna masa, te poroznost i gustoća kamena zrelog materijala općenito poboljšana“, te da je „izostanak faze prilagodbe na

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

površinske (vanjske) uvjete u proizvodnji kamena jedan od najutjecajnijih faktora njegovog ubrzanog propadanja“, [17].

2.2.6 Greške u obradi kamena

Kako bi izbjegli oštećenja kamena bitno je korištenje odgovarajućeg klesarskog alata za određeni kamen, njegovo mijenjanje a kada postane tup, uz kaljenje špica uvečer, kao način pripreme za sutrašnji radni dan, da bi imali veću učinkovitost rada. Pored klesarskog alata, posebno je bitno klesarsko znanje i iskustvo samog klesara u obradi određene vrste kamena, jer različiti klesari primjenom iste vrste alata za pojedine faze klesanja mogu ostvariti različite finoće obrade i načine klesanja. Prekomjernom obradom površine kamena, kao rezultat neodgovarajuće tehnike klesanja, u pojedinim slučajevima nastaju određene površinske nepravilnosti ili rupice unutar kojih se zadržava voda, ili se mogu nakupiti soli, sa svim mogućim posljedicama. Izgled ugrađenog kamena mogu pokvariti ogrebotine, strugotine i druga oštećenja u završnoj izradi. Važna činjenica je i da su brojne veće građevine, poput Starog mosta, građene godinama, uz promjene majstora klesara, a posebna priča su različite kasnije preinake i popravke.

2.3 Greške u gradnji i obnovi objekata

U gradnji i obnovi kamenog objekta moguće su razne greške, poput pogrešnih konstruktivnih rješenja, pošto ga oblik i način konstrukcije mogu zaštititi od propadanja. Poznato je da većina kamena ima dobru nosivost na tlak, ali ne i na vlačna, savojna i posmična naprezanja. Zidovi sa dva lica i ispunom lomljenim kamenom su slabije otporni na potres u slučaju kada su ta lica tanka, a ispunjena slabije kvalitete. Tu su i greške uslijed nepravilnog temeljenja, temeljenja u tlima loše nosivosti, čak i različite nosivosti tla ispod dijelova objekta. Predmeti od željeza ugrađeni u kamen su problematični zbog korodiranja željeza i bubrenja, što uzrokuje pucanje kamena, ali i onečišćenje njegove površine. Navedene greške u gradnji i obnovi objekata mogu rezultirati poremećajem nosivosti cijelog objekta, čak i njegovim urušavanjem, [26].

Primjer pogreške u izvedbi kamene građevine ustanovljen je prilikom obnove minareta Karađozbegove džamije (2003.-2004.), visokog 30 m, od savršeno četvrtastog kamena debljine 30 cm, povezanih željeznim klamfama koje su zalivene olovom. Pošto nisu svi bili međusobno povezani, pokazalo se značajno "izbočenje" osovine (Slike 15.-16), [6].

Na crkvi sv. Petra i Pavla na Gorici u Livnu uočeno je da željezne korodirane spojnice unutar blokova klesanaca zbog bubrenja pritišću kamen i uzrokuju njegovo razaranje, što dovodi do njegova odlamanja i stvaranja velikih rupa na zidnim plaštevima.

Prema stručnom radu prof. Radnića i suradnika iz 2011. godine uočena su sljedeća odstupanja obnovljenog Starog mosta u odnosu na izvorni:

- *„Izvedena su velika ošupljenja neposredno iza obaju upornjaka, s AB nosivom konstrukcijom, u koje su smješteni arheološki muzeji. Dno ošupljenja je na razini peta luka. U odnosu na izvorno stanje, ovim je smanjeno povoljno djelovanje stalnog okomitog opterećenja iza peta luka i povećana vodoravna deformabilnost luka;*
- *Obnovljeni most je vjerojatno globalno krući od izvornoga (ima veći prosječni modul elastičnosti) zato što su kameni blokovi preciznije klesani, fuge između blokova su prosječno uže i pravilnije, mort u fugama je vjerojatno bolje zbijen i manje deformabilan, luk je u tjemenu razuprt (prednapet) hidrauličkim prešama, metalne veze između kamenih blokova izvedene su kvalitetnije, skela luka je otpuštena tek nakon dovršetka konstrukcije nadlučnog sklopa, krutost upornjaka i nadlučnog sklopa povećana je naknadnim injektiranjem, a nakon otpuštanja skele, progib luka u tjemenu iznosio je manje od jednog milimetra. Veća krutost luka je nepovoljnija za temperaturna djelovanja;*

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

- *Podebljanje luka u peti kod izvornog mosta urađeno je s pomoću čvrstog lomljenog vapnenca u specijalnom mortu (mješavina živog vapna, crljenice, pijeska, šljunka i vode). Kod toga su kameni blokovi između vanjskih čeonih zidova deblji od 0,8 m i na vrhu zaobljeni ili zasječeni, s vrlo hrapavom plohom ekstradosa. Kod obnovljenog mosta za podebljanje luka u peti korišten je mort manje čvrstoće, a kameni blokovi su podjednake debljine (0,8 m), s relativno ravnom plohom ekstradosa. Time je smanjena izvorna posmična nosivost na spoju ekstradosa luka i podebljanja luka u peti, tj. smanjena je otpornost spregnutog sklopa;*
- *Geometrija luka nije izvedena kao u izvornom mostu, već s imperfekcijama (uleknućem) na južnoj strani, između tjemena i boka luka prema zapadu (stvarna geometrija luka prije rušenja). Ovo je nepovoljnije sa stajališta naprezanja u luku;*
- *Izvorni most je građen devet godina, a njegova obnova je trajala manje od dvije godine. Dakle, čvrstoća kamena tenelija na dan otpuštanja skele kod obnovljenog mosta bila je manja od čvrstoće kamena izvornog luka kod njegova dovršetka“.*

Prema zaključcima rada „povećana oštećenja obnovljenog luka u kratkom razdoblju vjerojatno su posljedica odstupanja u nekim rješenjima od onih kod izvornog mosta“, [20].

Od ovih zaključaka prošlo je 12 godina.

Zadnjih godina su Stari most proučavali stručnjaci Povjerenstva/Komisije za očuvanje nacionalnih spomenika (P/KONS-a), te stručnjaci njemačkog instituta LGA Nürnberg. Nažalost, još uvijek nema točne dijagnoze.

3. ZAKLJUČCI

Analizirani slatkovodni vapnenci, međusobno su slični, ali ipak različiti, od „kamenih blizanaca“ *tenelije* i (*mostarske*) *miljevine*, koji su međusobno različiti, njihovih „kamenih rođaka“ *posuške miljevine* i *tomislavgradske muljike*, do *muljike* i *miljevine* iz drugih dijelova BiH. U procesu dijageneze su zadobili specifičnu orijentaciju i strukturu (posebno *tenelija*), što im je dalo specifična fizička svojstva (mala prostorna masa, visoka poroznost i permeabilnost), koja nemaju „klasični“ vapnenci korišteni u građevinarstvu, a koja su bila odlučujuća za izbor ovog kamena za gradnju Starog mosta i drugih građevina na širem prostoru Mostara i na području općine Posušje, ali i u drugim krškim poljima Hercegovine i jugozapadne Bosne (Tomislavgrad, Livno, Glamoč), dijelovima Središnje Bosne (Jajce, Bugojno, Gračanica i Travnik), te Miljevini kod Foče.

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).

Osim genetskih i postgenetskih procesa koje su slatkovodni vapnenci prošli, na njihovu trajnost utječu i tzv. ugrađeni (unutarnji) faktori koje su graditelji pokušavaju izbjeći, od onih u izboru kamena, načinu i (često premaloj) dubini 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, do raznih grešaka u obradi kamena i u izvedbi, uz neodgovarajuće održavanje.

Stari graditelji su primjenjivali 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. U principu odgovaraju klimatskim obilježjima područja na kojem se nalaze njihova ležišta, te se kao takvi koriste od davnina, sa svim dobrim i manje dobrim svojstvima.

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

Zaključujemo sjajnim razmišljanjima Tamare Plastić kako „*građenje kamenom zahtijeva poseban senzibilitet u primjeni, na koji onda kamen uzvratu višestoljetnim trajanjem*“, te da „*za kamen postoji predodžba da je vječan, možda jer nam takvu sliku ostavljaju građevine iz daleke prošlosti, ali on je takav tek kada mu se posvete dužna pažnja i poštovanje*“, [17].

LITERATURA

1. Čičić, S. (1998.): „Karbonatne facije u geološkoj građi terena Bosne i Hercegovine“, „Naš krš“, XVIII, broj 31, str. 3-37
2. Hrvatović, H., Dragičević, I. (2010.): „Zeničko-sarajevski neogenski bazen - Lašvanski konglomerati“, 4. Hrvatski geološki kongres, Šibenik
3. Hrvatović, H. (2006.): „Geological guidebook through Bosnia and Herzegovina“, Geological Survey of Federation Bosnia and Herzegovina, Sarajevo
4. Bilopavlović, V. (2017.): „Ukrasni kamen u Hercegovini/popularizacija poduzetništva i obrade kamena“, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru
5. „Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu zaliha arhitektonsko-građevnog kamena oolitnog vapnenca (tenelije i miljevine) na istražnom prostoru „Mukoša“ u Mostarskom polju“, „DENT“ Istraživanje, eksploatacija i obrada kamena, Mostar, 1998.
6. Šaravanja, K. (2020.): „Slatkovodni vapnenci neogene starosti, s posebnim osvrtom na arhitektonsko-građevinsku vrijednost i trajnost kamena miljevina (muljika)“, Doktorska disertacija, str. 1-253, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, XII. 2020.
7. Šaravanja, K., Hajdarević, I., Kurtović, A., Šerifović, E. (2017.): „Građenje bosanskim slatkovodnim vapnencima - Bihacit, Plivit i (Bosanska) Mošćanica“, Zbornik broj 4 Udruga „Zvuk kamena“, str. 46-58, Posušje, XII. 2017.
8. Šaravanja, K. (2017.): „Gradnja kamenom u BiH s posebnim osvrtom na arhitektonsko-konstruktivne vrijednosti kamena tenelija i miljevina/muljika“, „e-Zbornik“ Elektronički zbornik Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru, broj 13, str. 12-29, VI. 2017. Reprint:<http://www.cidom.org/wp-content/uploads/2017/07/Kre%C5%A1imir-%C5%A0aravanja-Gradnja-kamenom-u-BiH-s-posebnim-osvrtom.pdf>
9. „Pilot Cultural Heritage Project: Reconstruction of the Old Bridge over the Neretva in Mostar, Laboratory testing of ancient and new building materials; Sampling and testing of Stones (Ancient and new Stones)“, LGA - Geotechnical Institute - Historical Bridges Group, Nürnberg, 26.01.2001.
10. Zvonić, Z. (2000.): „Tenelija - kamen Mostara“, Časopis „Most“, godina XXVI., broj 130 (41 - nova serija), Mostar, IX. 2000.
11. Nametak, A. (1939.): „Islamski kulturni spomenici turskog perioda u Bosni i Hercegovini“, Sarajevo
12. Mandžić, K. (2006.): „Inžinjerskegeološka i geotehnička svojstva kamena Tenelija“, magistarski rad, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet u Tuzli, IV. 2006.
13. Oreč, F., Bilopavlović, V. (2011.): „Arhitektonske vrijednosti miljevine“, Zbornik 1 Udruga „Zvuk kamena“, str. 46-55, Posušje, XII. 2011.
14. Aladuz, V. (2019.): „Stari bosanski nišani općine Hadžići“, Hadžići, II. 2019.
15. Cultrone, G., Luque, A., Sebastián, E. (2012.): „Petrophysical and durability tests on sedimentary stones to evaluate their quality as building materials“, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 45, pp. 415-422
16. Stambolou, T. (1970.): „Conservation of Stone“, pp. 119-124, in reference 19. „Conservation of New Stone and Wooden Objects“, New York Conference, VI. 1970 (The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London)
17. Plastić, T. (2019.): „Utjecaj sazrijevanja kamena na njegove fizičko-mehaničke karakteristike i dugotrajnost nakon ugradnje“, „Klesarstvo i graditeljstvo“, str. 109-126

Šaravanja, K., Oreč, F.

Trajnost slatkovodnih vapnenaca tenelije, miljevine i muljike – ugrađeni faktori kao uzroci promjena na kamenu

18. 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
19. „Elaborat konzervatorsko-restauratorskih istraživanja pročelja zvonika i zapadnog pročelja franjevačke crkve sv. Petra i Pavla, Gorica - Livno“, Hrvatski restauratorski zavod Služba za nepokretnu baštinu, Zagreb, 2011.
20. 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.
21. Kršinić, A., Tomašić, I. (2009.): „Utjecaj pigmenata i primjesa na postojanost boje i dekorativnost prirodnog kamena“, Časopis Klesarstvo i graditeljstvo, str. 77-86
22. Turkington, A.V. (1996.): „Stone durability“, In: Smith, B.J., Warke, P.A. (Eds.), Processes of Urban Stone Decay, Donhead Publishers, London, pp. 19-31
23. Pletikosi, L. „Primjena kamena u graditeljstvu“, <https://bib.irb.hr/datoteka/>
24. Smith, B.J., Viles, H. (2006.): „Rapid, catastrophic decay of building limestones: Thoughts on causes, effects and consequences“, In: Fort, R., M. Alvarez de Buego, M. Gomez-Heras, C. VazquezCalvo (Eds): Heritage weathering and conservation
25. Idrizbegović Zgonić, A. (2011.): „Mostar city icons - an insider's view paper for: TTEM Technics Technologies Education Management Mostar city icons - an insider's view Karadzobeg mosque and Old bridge complex“, Technics Technologies Education Management-TTEM, Vol. 6, Issue 1, p. 40-51
26. Crnković, B., Šarić, Lj. (2003.): „Građenje prirodnim kamenom“, „IGH“, Zagreb
27. Cultrone, G., Luque, A., Sebastián, E. (2012.): „Petrophysical and durability tests on sedimentary stones to evaluate their quality as building materials“, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 45, pp. 415-422
28. Stambolou, T. (1970.): „Conservation of Stone“, pp. 119-124, in reference 19. „Conservation of New Stone and Wooden Objects“, New York Conference, VI. 1970 (The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London)
29. „Livno Gorica, elaborat konzervatorsko-restauratorskih istraživanja pročelja zvonika i zapadnog pročelja franjevačke crkve sv. Petra i Pavla“, Hrvatski restauratorski zavod, Zagreb, 2011.
30. Marcus Vitruvius Pollio: „De architectura libri decem“ ili na hrvatskom prijevodu „Deset knjiga o arhitekturi“, Golden marketing i Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1999.