

ŠTUDIJ PROCESOV PROPADANJA SLJUDNATO-KREMENOVEGA PEŠČENJAKA IZ JELŠINGRADA

AN INVESTIGATION OF THE DEGRADATION PROCESSES OF MICACEOUS SANDSTONE AT JELŠINGRAD CASTLE

Mateja Golež¹, Breda Mirtič², Ana Mladenovič¹

¹Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija
mateja.golez@zag.si

Prejem rokopisa – received: 2002-09-29; sprejem za objavo – accepted for publication: 2003-06-09

Poznanje strukture in sestave historičnih materialov ter spremljanje patoloških procesov sta ključnega pomena za učinkovito ohranjanje in restavriranje kamnite kulturne dediščine. V prispevku podajamo primer proučevanja obsega in vzrokov propadanja srednjemiocenskega sljudnato-kremenovega peščenjaka, ki je bil ob prenovi konec 19. stoletja vgrajen v terasno ograjo Jelšingrada v Šmarju pri Jelšah. Pri propadanju kamnine nastaja več tipov poškodb, ki so odvisni od mikroklima in kamnoseške obdelave kamnine. Korozija kamnine je najbolj intenzivna na zavetnih delih stebričkov južnega krila kamnite ograje in hkrati v delih, kjer imajo kamniti stebriči vklesan poglobljen relief. Tu prihaja do kristaljenja plasti sadre in intenzivnega površinskega luščenja. Na drugih mestih se propadanje zaenkrat manifestira le v obliki patinirane prevleke zaradi površinskega izpadanja mineralnih zrn.

Ključne besede: sljudnato-kremenov peščenjak, naravni kamen, degradacija, korozija

Historical buildings and other structures made of stone and stone-masonry can only be effectively maintained and restored if the composition and texture of the stone used is known, and if the pathological processes are suitably researched and monitored. In this paper an example is presented of an investigation into the extent of, and reasons for, decay to the micaceous sandstone from the middle Miocene age, which was used during restoration work at the end of the 19th century, to construct the pillars of a boundary wall of Jelšingrad Castle, which is located at Šmarje pri Jelšah in eastern Slovenia. Different types of decay and damage have occurred to the stone, depending on the microclimate and methods used by masons to carve the stonework. The most serious damage has occurred to the less exposed parts of the stone pillars belonging to the southern part of the wall, as well as to those parts of the pillars that were carved in greater relief. In these areas the surface of the stone has, in many places, flaked away, and a layer of gypsum has been formed. At other places, decay to the stone has occurred in a less serious form, with the occurrence of a patinated layer due to the loss of mineral grains near the surface of the stone.

Key words: micaceous sandstone, natural stone, degradation, corrosion

1 UVOD

Dvorec Jelšingrad stoji na nizki vzpetini severo-zahodno od Šmarij pri Jelšah. Prvič je omenjen leta 1424, današnje podobo pa je dobil konec 19. stoletja in na začetku 20. stoletja, ko so ga obnovili v mavrskem slogu. Poleg pritličja obsega še nadstropje in vrhnje polnadstropje, podkleten je le v severnem delu osrednjega trakta. Najbolj temeljito preobrazbo je stavba doživela v začetku 18. stoletja, ko so jo preuredili v baročni dvorec. Ob prizidavah je bil posodobljen še osrednji trakt in v njegovem nadstropju urejena reprezentančna avla. Dvorec so obdali s parkom, na robu dvorišča pa postavili alegorične figure štirih letnih časov. Zgrajen je iz opeke in kamna, ometan, naravni kamen je uporabljen kot konstrukcijski element in kot arhitekturni detajl. Zob časa, predvsem pa močan potres v letu 1974, je zgradbo tako poškodoval, da jo je treba temeljito sanirati.

Konzervatorsko-restavratorski projekt prenove kulturnih spomenikov državnega pomena, kamor spada Jelšingrad, zajema tudi raziskave historičnih materialov v smislu prepoznavanja sestave kamnitih agregatov, kamna

in ometov ter karakterizacije patoloških procesov, ki v njih potekajo. Podatki o stopnji ohranjenosti oz. poškodovanosti materialov so namreč bistveni za pravilne in tudi dolgoročno uspešne konzervatorsko-restavratorske posege na kulturnih spomenikih (Amoroso, 1983). Predstavljeni so rezultati študije procesov preperevanja sljudnato-kremenovega peščenjaka, ki od vseh uporabljenih kamnin kaže največjo stopnjo degradacije.

2 EKSPERIMENTALNO DELO

2.1 Izbira vzorcev

Na vzhodni in deloma južni strani objekta je terasa, ki je obdana s slikovito kamnito ograjo. Umetelno klesana ograja iz litotamnijskega apnenca je vpeta med kamnite stebriče iz sljudnato – kremenovega peščenjaka (**slika 1**). Dimenzija stebričev je (40 × 40 × 110) cm. Korozija kamnine je najmočnejša v spodnjem in osrednjem delu, prvotni klesani motiv pika je že precej zabrisan. Kamnina se plastovito lušči. Izraženi sta najmanj dve preperinski skorji, debeli do nekaj mm, sivozelene do rjavkaste barve.



Slika 1: Korodiran kamniti stebrič, iz katerega so bili odvzeti vzorci
Figure 1: Damaged stone pillar, showing sampling location

Iz kamnitega stebriča so bili odvzeti štiri vzorci kamnine, in sicer na severni strani. Stopnjo in način preperavanja peščenjaka smo ugotavljali tudi po prerezu stebriča. Mesta odvzema vzorcev so prikazana na **sliki 1**. Vzorec (A) je bil odvzet iz prve preperinske skorje, na mestu, kjer stebrič ni reliefno obdelan. Vzorec (B) je bil odvzet z druge preperinske skorje, v njegovem poglobljenem delu, kjer je vklesana podoba pika in kjer je hkrati opazna najmočnejša korozija kamnine. Vzorec (C) je bil odvzet v globini 2 mm, kjer smo še predvidevali vpliv preperavanja, vzorec (D) pa v globini 50 mm, pri čemer smo predpostavili, da v tej globini kamnina ni več preperela. S takšno izbiro vzorcev smo želeli slediti vplivu zunanjih dejavnikov na globino preperavanja kamnine. Vzorec (D) smo primerjali s svežima kamninama – maceljskim in ptujskogorskim peščenjakom, da bi določili izvor kamnine, iz katere je kamniti stebrič.

2.2 Metode dela

Mineralna sestava odvzetih vzorcev je bila določena z rentgensko praškovno analizo na aparaturi Philips, kjer je bil vsak vzorec pod enakimi pogoji snemanja posnet petkrat, da smo lahko izračunali srednjo vrednost intenzitet odbojev glavnih mineralov.

Z optičnim polarizacijskim mikroskopom Leitz je bila poleg mineralne sestave analizirana struktura kamnine četrtega vzorca, ki smo jo privzeli za nepreperelo. Kemična sestava vseh vzorcev je bila določena v ACME Analytical Laboratories LTD v Kanadi.

Degradacijski procesi v kamnini in vrsta ter pojavljanje sekundarnih reakcijskih produktov so bili

določeni z vrstično elektronsko mikroskopijo in elektronskim dispergijskim spektrometrom na aparaturi JEOL LV 5200.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 Petrografske značilnosti sveže kamnine

Sljudnato-kremenov peščenjak, iz katerega so izklesani kamniti stebriči terasne ograje na Jelšingradu, je sivozelene barve s homogeno teksturo in strukturo, z 80 % zrn, 10 % cementa, 10 % por in s povprečno velikostjo zrn 300 μm . Po sestavi prevladujejo terigena zrna kremenca, sledijo litična zrna, glinenci, karbonatna zrna, sljuda, klorit in težki minerali. Ortokemične komponente so kalcitni in kremenov cement ter limonitiziran pirit.

3.2 Degradacijski procesi v prepereli kamnini

Korozija se manifestira v obliki tankih, do 5 mm debelih preperinskih skorj. Glede na kemično sestavo preperinske skorje z oznako A s površine stebriča (**tabela 1**), ki kaže na znižanje vrednosti magnezijevega in kalcijevega oksida, lahko sklepamo, da prihaja v njej predvsem do raztapljanja karbonatnega cementa in karbonatnih zrn. Zato vezi med zrnami slabijo in posamezna zrna peščenjaka izpadajo.

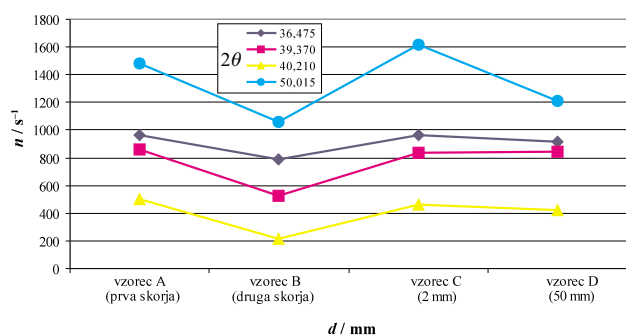
Tabela 1: Kemična sestava peščenjaka v masnih deležih glede na globino odvzema vzorca v %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
vzorec A	63,65	7,95	2,81	3,99	6,85
vzorec B	45,76	5,94	2,15	2,82	12,99
vzorec C	60,44	7,28	2,50	4,54	9,16
vzorec D	60,69	7,58	2,59	4,56	8,90

V zatišnem, poglobljenem delu stebriča, kjer je bil odvzet vzorec B, je močna sulfatizacija. Skorja je rjavkasto obarvana in kompaktna. Rezultati kemične analize skorje so pokazali močno povečanje vsebnosti kalcija na eni strani in močno zmanjšanje vsebnosti magnezija ter silicija na drugi strani (**tabela 1**). Rezultat kemične reakcije, ki poteka v zatišnih delih stebriča, je kopičenje sadre v različnih kristalnih oblikah. Zaradi raztapljanja karbonatnega cementa in karbonatnih zrn nastaja za skorjo močno oslABLJENA cona, iz katere intenzivno izpadajo predvsem kremenova zrna (Golež, 1999).

Kemična analiza vzorcev kamnin, ki so bili odvzeti iz globine 2 mm (vzorec C) in 50 mm (vzorec D), kaže na ponovno povečanje vsebnosti silicijevega dioksida in povečanje magnezijevega ter kalcijevega oksida.

Rezultati rentgenskih analiz potrjujejo rezultate kemijskih. Intenzitete odbojev glavnih mineralov, kot sta kremen in dolomit, so najnižje v vzorcu B, ki je bil odvzet iz preperinske skorje s sadro. Na **sliki 2** je grafični prikaz spreminjanja vsebnosti kremenca glede na mesto odvzema vzorca. V prvi preperinski skorji A je vsebnost



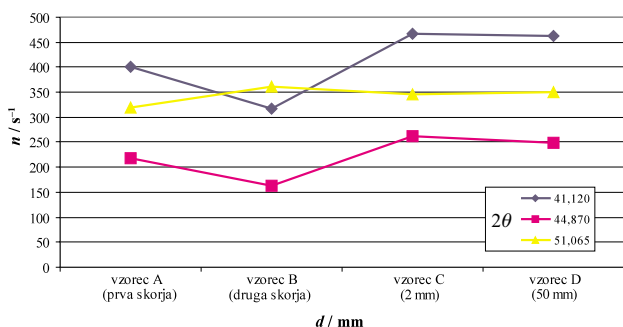
Slika 2: Intenziteta karakterističnih odbojev rentgenskih žarkov za kremen (pri kotih $2\theta = 36,475^\circ, 39,370^\circ, 40,210^\circ$ in $50,015^\circ$) v odvisnosti od globine vzorca d ; vsebnost kremen v drugi skorji (vzorec B) močno pade

Figure 2: Intensity of the characteristic X-ray peaks for quartz (at angles $2\theta = 36.475^\circ, 39.370^\circ, 40.210^\circ$ and 50.015°) depending on the sampling depth d ; the quantity of quartz in the second layer (sample B) is significantly reduced

kremen približno enaka tistim v globini 2 mm C in 50 mm D, močno pa pade v preperinski skorji, ki je obogatena s sadro B.

Vsebnost dolomita v vzorcu A, ki je bil odvzet s površine kamnitega stebriča, je v primerjavi z vsebnostjo dolomita v vzorcih C in D, nekoliko nižja. Močno pa je zmanjšana vsebnost dolomita v vzorcu B, kjer je plast sadre (slika 3).

Moč in način preperevanja kamnitih izdelkov sta poleg njihove sestave odvisna od mikroklimatskih razmer (Trudgill at al. 1989). Kamniti izdelki različno hitro preperevajo, odvisno od strani neba, podnebja, strukture in teksture kamna (Vendrell-Saz, 1996). Vpliv mikroklimne na preperevanje kamnitega stebriča na Jelšingradu ni bil podrobneje proučevan, je pa evidentno, da je preperevanje izrazitejše na severni strani stebriča, v poglobljenem predelu, kjer je zatišna lega. Izrazitejše je tudi v spodnjem in srednjem delu stebriča, kjer prihaja do kapilarnega dviga vlage in odbojnega dežja (slika 1).

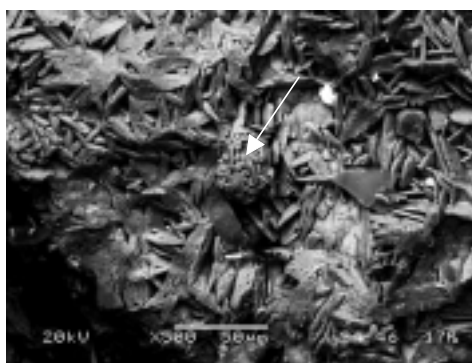


Slika 3: Intenziteta karakterističnih odbojev rentgenskih žarkov za dolomit (pri kotih $2\theta = 41,120^\circ, 44,870^\circ$ in $51,065^\circ$) v odvisnosti od globine vzorca d ; vsebnost dolomita v drugi skorji (vzorec B) močno pade, kar je posledica sulfatizacije.

Figure 3: Intensity of the characteristic X-ray peaks for dolomite (at angles $2\theta = 41.120^\circ, 44.870^\circ$ and 51.065°) depending on the sampling depth d ; the quantity of dolomite in the second layer (sample B) is significantly reduced as a result of sulfate attack



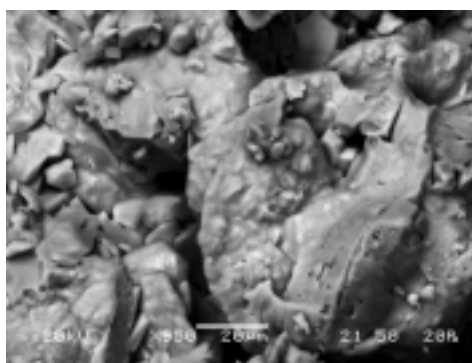
Slika 4: Plast sadre
Figure 4: General view of gypsum layer



Slika 5: Kopičenje sadre v obliki rozet
Figure 5: Accumulation of gypsum in the form of rosettes



Slika 6: Ploščata sadra
Figure 6: Accumulation of gypsum in the form of flat



Slika 7: Masivna sadra
Figure 7: Accumulation of gypsum in the form of massive

Kamniti stebrič najmočneje prepereva zaradi kristaljenja sadre (slike 4, 5, 6, 7). Skorje sadre sta podrobneje proučevala Felix in Maravelaki (1993), ki sta ugotovila, da je njihovo nastajanje lahko posledica kemične reakcije med kislim dežjem in karbonati na kamniti površini, lahko pa je posledica procesov raztapljanja karbonatov v notranjosti kamnine. Glede na mesto izvora karbonata so zato skorje sadre razvejane in nerazvejane. V primeru reakcije med kislim dežjem in karbonatom iz površine kamna nastajajo nerazvejane solne skorje. Zgrajene so iz dveh lamin, zunanje, ki je obarvana in notranje, ki je iz sadre. V reakciji med sulfatnim ionom in karbonatom iz raztopine, ki izvira iz notranjosti kamnine, nastajajo razvejane solne skorje. Prav tako so zgrajene iz dveh slojev, ki sta med seboj dobro ločena. Zgornji sloj je obarvan, v spodnjem pa je slabo kristaljena sadra. Debelina skorij ne prestopa niha, saj procesi odlaganja nečistoč iz okolja in procesi erozije kamnite površine ne prestopajo potekajo. Kamnina se zato ne prestopa lušči, poškodbe pa so globoke tudi do nekaj centimetrov. Zaradi oslabiljene cone, ki nastaja za solnimi skorjami, lahko pride ob nenadnem rosenju in zmrzovanju do obsežnih poškodb.

Glede na dobro razvitost kristalnih ploskev in množičnost pojava sadre sklepamo, da gre v primeru kamnitega stebriča iz Jelšingrada za pojav nerazvejanih solnih skorij (slika 4). Z vrstično elektronsko mikroskopijo so bile določene različne kristalne oblike sadre. Ponekod se kristali sadre združujejo v rozetam podobne oblike (slika 5), drugod je sadra ploščata (slika 6) in masivna (slika 7). Skorja sadre je ohranjena v zgornji polovici stebriča, medtem ko je v spodnjem delu odstranjena. Zaradi kapilarnega dviga vlage in mehanskega in kemičnega vpliva odbojnega dežja je kamnina v spodnjem delu občutljivejša na klimatske spremembe, zlasti na zmrzal. Zato se v spodnjem delu stebriča skorja hitreje in močneje lušči v primerjavi z zgornjim delom. Ob nespremenjenih pogojih lahko pričakujemo, da se bo stebriček v tem delu še naprej hitreje tanjšal kot v zgornjem delu.

4 SKLEPI

Rezultati raziskav so pomembni za razumevanje procesov preperevanja sljudnato-kremenovega peščenjaka in za pripravo kakovostnega konzervatorsko-restavratorskega programa preнове kamnitih členov na Jelšingradu.

Preperevanje stebričev iz sljudnato-kremenovega peščenjaka na Jelšingradu je odvisno od mikroklimne in kamnoseške obdelave. Manifestira se v obliki peperiških skorij in izpadanju posameznih zrn peščenjaka.

S sistematičnim odvzemom vzorcev v različnih globinah preperelega stebriča smo sledili spremembam kemične in mineralne sestave sljudnato-kremenovega peščenjaka.

Produkt kemičnega preperevanja je sadra, ki se pojavlja v različnih kristalnih oblikah in je posledica kemične reakcije med karbonatom in kislim dežjem. Zaradi raztapljanja karbonatnega veziva in karbonatnih zrn vezi med zrn slabijo, posledica je izpadanje posameznih, predvsem kremenovih zrn iz površine stebriča.

Plast sadre je potrebno pred morebitno uporabo impregnacijskih sredstev odstraniti.

Z opisanim pristopom odvzema vzorcev in uporabljenimi raziskovalnimi metodami smo prvič v Sloveniji raziskali propadanje sljudnato-kremenovega peščenjaka, model pa lahko razširimo na proučevanje preperevanja tudi drugih vrst naravnega kamna.

5 LITERATURA

- ¹ Amoroso, G. G., Fassina, V.: Stone decay and conservation, atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection. – Elsevier Science 453 pp, Amsterdam, 1983
- ² Félix, C., Maravelaki, P.: Black crusts with different origins on limestones and sandstones. – *Werkstoffwissenschaften und Bausanierung*, Teil 3, 1728–1740, Ehningen bei Böblingen, 1993
- ³ Golež, M.: Geological evaluation of stoneware made from miocenic sandstones of eastern Slovenia. – Master's Degree, (In Slovene), Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 1999
- ⁴ Trudgill, S. T., Viles, H. A., Inkoen, R. J., Cooke, R. U.: Remeasurement of weathering rates, St. Paul's Cathedral, London. – *Earth surface processes and landforms*, 14 (1989), 175–196
- ⁵ Vendrell-Saz, M., Garcia-Valéz, M., Alrcón, S., Molera, J.: Environmental impact on the Roman monuments of Tarragona, Spain. – *Environmental Geology*, 27 (1996), 263–269