

WEATHERING AND DECAY TYPE OF RED PERMIAN SANDSTONES FROM THE FACADE OF THE ST. MARKO CHURCH IN BELGRADE

by

Vesna Matović*

The St. Marko church has been built according to the appearance of the our most beautiful middle age monument – the Gračanica monastery and represent the monument of the Ancient Byzantine free style, made with ferro-concrete constructions. Stone panel of its facade was made as combination of Bele vode sandstones and red Permian sandstones. In the aim to determine a cause of decay red Permian sandstone within its facade, detail investigation of state blocks and degree of degradation were done. This paper deals with causes of decay and existence of different types of damages.

Key words: red Permian sandstones, petrography, physical-mechanical properties, weathering, Belgrade.

Црква св. Марка, изграђена је по угледу на један од наших најлепших споменика средњовековне спохе – Грачаницу. То је грађевина "старовизантијски слободног" стила, изведена у армиранобетонској конструкцији. Камена облога фасаде грађена је комбинацијом "беловодског" и црвеног пермског пешчара. Ради утврђивања узрока пропадања црвеног пермског пешчара уграђеног у фасаду цркве, извршена су детаљна испитивања стања блокова и степена њихове разградње. У раду су приказане различите врсте оштећења и узроци временског пропадања црвених пермских пешчара.

Кључне речи: црвени пермски пешчар, петрографска својства, физичко-механичка својства, распадање, Београд.

INTRODUCTION

Red Permian sandstones are traditional building material in Serbia. Reasons for their, not just local, but wide usage as a building material are their characteristic red to violet colour, well expressed lamination, excellent possibility for exploitation and workability. Various objects were built of this rocks (St. Marko church in Belgrade, square in front the "Politika" building in Belgrade, monument for soldiers from the First World War in the Paraćin town, tunnel portal on the Niš-Pirot motor-way, etc).

* University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Djušina 7, 11000 Belgrade.

Red Permian sandstone, built within facade and some other constructions, could be easily ruined in urban polluted city environment due to increased porosity and decreased resistivity to frost. Petrological and physical characteristics of red Permian sandstones from the Grza location, near the Paraćin town, were investigated for establishing the cause of decay these rocks, while morphology of their damage were determined on the St. Marko church facade, that represent the most important building made of mentioned sandstones.

The church was built from 1931 to 1939, and represent the first building of Byzantine style made of ferro-concrete in our country (Bošković, 1932). Roofs are also of ferro-concrete and covered with copper, while walls are of cement-mortar. The church facade was made of the sandstone from Bele Vode and of red Permian sandstones. Plinth with outflows, out of walls is facing with granitic rocks from Bukulja Mt.

Total area of the church is 1900 m², its length is 60 m and height of central's cupola is 52 m. Ground plan of the church is in the form of trefoil with belfry on the parvis. Central dome is like eight limb tambour, while small cupolas are located outside of its central part. The porchs of the church as well as the other part of facade are without representative sculpture's decor that is typical for parochial architecture (Fig. 1). Triforiums on sidewise facades, are also without plastic decoration. Four castels with small cupolas, are connected by arcades (Djurdjević, 1996).



Fig. 1. The St. Marco Church in Belgrade.
Сл. 1. Црква св. Марка у Београду.

Sixty years of atmospheric influence, various physical and chemical factors, left different kinds of damage within stone elements made of red Permian sandstone while stone

blocks made of Bele vode sandstone are better preserved. Since the St. Marko church is a very important monument, and more and more ruined as the time goes by it is urgent to protect its facade.

METHODS OF INVESTIGATIONS

The petrographical, chemical and technical investigations were carried out for determination the decay causes of the red Permian sandstones of the church. 22 samples of red Permian sandstones from abandoned quarries of Grza were used for petrographical study. After that the physical characteristics (density, bulk density, absolute porosity, water absorption) were determined on four selected samples (according size of grains and sorting) in accordance to a valid YU standards (JUS B.B8.032, JUS B.B8.010).

The sample salt from sandstone surface built in arcade of northern side facade, was analysed by X-ray diffraction (Philips PW 1710 – copper anticathodes).

GEOLOGY AND PETROLOGY OF RED PERMIAN SANDSTONES

Geology

Red Permian sandstones build two belts in the Eastern Serbia (Fig. 2). The inner belt is composed of isolated parts in the area between Mlava and Pek rivers on the north and Suva Planina Mt. on the south-east. On the eastern side they are overlying Cretaceous limestones, while on the western side they represent the footwall of lower Triassic and Jurassic limestones. The outer belt of red Permian sandstones build two zones, Poreč–Greben and Stara Planina Mt. (Maslarević & Protić, 1975).

Among the biggest discovered mass of red Permian sandstone in the inner zone, extending from Beljanica Mt. to the Paraćin on the south, in the area of Grza, sandstones were exploited for building purposes (Fig. 2a). From this location sandstones were built in the facade of St. Marko church.

Red Permian sandstones are mostly arkoses, rarely quartz sandstones. Within the packages of these sediments, the interbeds of conglomerate, coarse-grained arkose, siltstone, clay, rarely dolomite, limestone and marl occur (Veselinović et al., 1970). The thickness of red Permian sandstones within the inner zone varies from 50 to 700 m. They are well bedded (up to 80 cm) or occur as banks, sometimes massive, while horizontal and cross (finer or more coarse) stratification has been noticed occasionally.

Permian sediments are of characteristic red color with occasional occurrences of colorless and gray-colored parts. They are composed of quartz, feldspars (acidic plagioclase, rarely microcline), mica and rock fragments, which are poorly rounded and sorted and cemented by contact and/or interstitial hematite, clay, calcite, dolomite and quartz mixture (Veselinović et al., 1970).

Study of red Permian sandstones and especially its colorless parts (Protić, 1972; 1978) lead to the conclusion that the red color of these rocks is undoubtedly primary and influenced with the presence of hematite pigment. According to Protić (1972), who investigated same sandstones exposed on the Suva Planina Mt.: "...characteristic occurrences

of hematite (martite), magnetite, rarely ilmenite as prevailing components (over 75% of heavy minerals). According to its shape and size we could expect autigenous hematite (martite)". Same sediments, beside individual hematite, content also hematite's pigment that paint them. Part of these hematites are autigenous, formed from Mg-Fe silicates in certain pH-Eh condition of the sandstone sedimentary environment (Protic, 1972).

Permian sandstones were sedimented in river valleys as well as in lacustrine basins, during the fast erosion and simultaneously bottom subsidence. Climate was arid and semiarid with temporary descends during sedimentation, what enabled formation of autigenous minerals (Veselinovic et al., 1970).

Petrography of red Permian sandstones

Exploitation of red Permian sandstones were done in a few localities within the area of Grza. Sampling for petrographic and technical investigations were done along the local road Grza-Sisevac (Fig. 2a), on a five profiles (with average length about 45 m), where local inhabitants still exploitate these rocks.

Alternation of medium-grain and fine-grained sandstone, rarely siltstone with coarse-grained sandstones is very characteristics on all five profiles. Sandstones are well bedded (EP 270/10, 276/30, 220/20), with average bed thickness of about 40 cm, while horizontal lamination could be observed only locally. Sometimes rounded parts, grey in colour, up to few cm in size could be seen colourless.

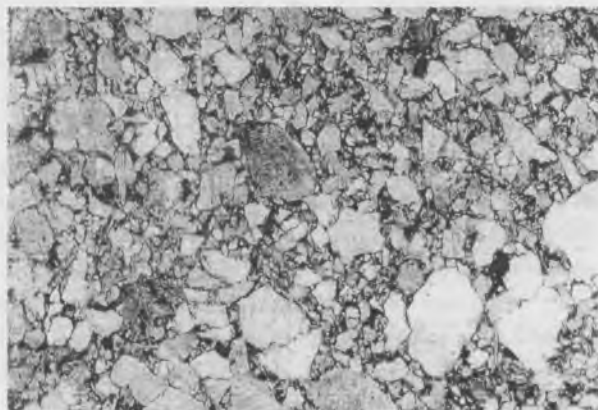


Fig. 3. Medium-grained arkoze, sample 22, N II, 50 \times .

Сл. 3. Средњозрна аркоза, узорак 22, N II, 50 \times .

Sandstones are composed of quartz, feldspar, micas, fragments of rocks and cement (Fig. 3). **Quartz** is the dominant mineral, present as angular or subangular, rarely sub-rounded, isometric grains that vary in size from 0.1 to 1.2 mm in weakly sorted sandstones, with dominant fraction from 0.5 to 1 mm. In medium sorted sandstones their grain size is from 0.3 to 0.6 mm, while in well sorted is from 0.1 to 0.3 mm. Grains are homogenous, rarely they are mosaic aggregates, performed by ferrous material. Sometimes, secondary growth could be recognized. Quartz made about 50-70% (wt.) of rock, and

according to Dott (1964) – classification about 65%. From **feldspars** orthoclase and plagioclase are present. Orthoclase is presented as subrounded grains, from 0.2 to 0.4 mm in size, rarely about 0.7 mm. They are almost always transformed to sericite and kaolinite, fresh grains are very rare. **Plagioclase** occur as lamellar, fresh grains from 0.2 to 0.6 mm in size. Feldspar made about 25–30% (wt) of rock, and according to Dott (1964) – classification about 35%. **Micas** made to 2% (wt) of rock and occur as muscovites rarely as biotites. Orientated micas build laminae up to 0.1 mm in thickness. **Fragments of rocks** are determined as: fragments of volcanic rocks, cherts, quartzites and schists. They are subangular to subrounded and from 0.3–0.9 mm in size and made to 5% (wt) of rock. **Accessory minerals** are metallic minerals (Fe-oxides) and build up to 1% (wt) of rock. **Cement** in sandstones built to 10% (wt) of rock and occur as contact-pore filling (feruginous and carbonaceous or clay) or as thin coating on detrital grains (siliceous matter).

According to the Pettijohn (1975) – classification, investigated sandstones were determined as arkoses, while according to dominant grain size could be distinguished fine grained (less abundant with grain size from 0.05 to 0.25 mm) and medium grained arkoses (grain size from 0.25 to 0.5 mm). According to the sort-degree fine grained arkoses are well sorted, while medium grained are slightly sorted.

TECHNICAL PROPERTIES OF RED PERMIAN SANDSTONES

The correlation between physical and petrographical characteristics is the base for determination the decay causes and for durability estimation of the building stone. The bulk density, density, degree of density, absolute porosity, water absorption were determined on four samples of red Permian sandstones (from 1997/19 to 1997/22, Table 1). The results of former investigations are presented too in the aim to understand their technical properties (Table 1, Fond of Institute for investigations materials).

Their colour vary from red to violet, due to presence of iron oxides – most strong pigment in sedimentary rocks. Intensity of color depends from amount and distribution of iron pigments and stability of minerals which primary content iron in own composite. Presence of stable iron oxides as pigments (hematite, magnetite, limonite), indicate tenable colour of sandstones. According to the bulk density value (Bilbija, 1984) the red Permian sandstones belongs to the category of medium heavy (samples 1997/19, 20, 21) and heavy rocks (sample 1997/22).

The value density ($2570\text{--}2690\text{ kg/cm}^3$) is consistent with the density of minerals while the degree of density (from 0.888 to 0.957) represents content of solid phase in volume unit.

Porosity of medium grained sandstones is from 4.3 – 5.3% and from 7.6 to 11.2% in fine grained sandstones. According to the value of absolute porosity (Bilbija, 1984) the investigated sandstones are between the medium porous (samples 1997/19–21) and high porous rocks (sample 1997/22, Table 1).

The high value of porosity is caused by the enhanced water absorption. That is in medium grained sandstones from 1.43 to 1.81% or 2.16 to 3.06% in fine grained sandstones. According to the value of the water absorption this sandstones belongs to category with notably water absorption (Bilbija, 1984).

The laboratory tests of frost–thaw (on sample 1997/19–22) were not made. Earlier results have shown that red Permian sandstones are not resistance to the frost. The results of crystallization test in sodium sulfate solution and laboratory test of frost–thaw, show significant weight loss (to 3.55%).

Table 1. Physical and mechanical properties of red Permian sandstones.

Табела 1. Техничка својства црвеног пермског пешчара.

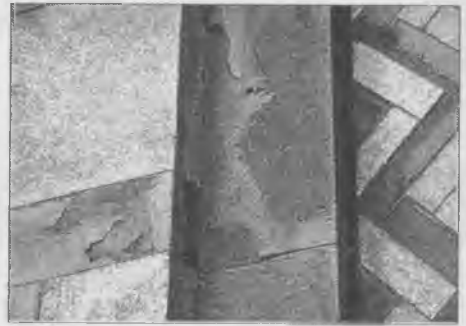
Technical properties of stone (техничка својства камена)			Year of investigation (година испитивања)							
			1959	1967	1968	1968	1997/19	1997/20	1997/21	1997/22
1	JUS B.8.012 Compressive strength (чврстоћа на притисак) (MPa)	dry (суво)	123	153	171	178	–	–	–	–
		water saturated (водозасићен)	107	104	156	140	–	–	–	–
		after freezing (после мраза)	112	100	133	147	–	–	–	–
2	JUS B.8.015 Abrasive resistance (cm ³ /50cm ²) (отпорност на хабање)	16.84	20.92	16.16	15.47	–	–	–	–	
3	JUS B.8.032 Bulk density (запреминска маса са порама и шупљинама) (kg/m ³)	2470	2420	2510	2440	2380	2390	2380	2530	
4	JUS B.8.032 Density (kg/m ³) (запреминска маса без пора и шупљина)	2570	2630	2650	2650	2660	2690	2650	2660	
5	JUS B.8.032 Porosity (poroznost) (%)	4.3	8.0	5.3	7.6	10.5	11.2	10.2	4.9	
6	JUS B.8.032 Degree of density (коэффициент запреминске масе)	0.957	0.920	0.947	0.924	0.895	0.888	0.898	0.951	
7	JUS B.8.010 Water absorption (унијање воде) (%)	1.43	2.98	1.81	2.16	2.87	3.06	2.71	1.52	
8	JUS B.8.001 Resistance to frost (постојаност на мразу) (weight loss, губитак тежине у %)	pass пост.	no pass непост. 0.25	no pass непост. 0.29	no pass непост. 0.11	–	–	–	–	
9	JUS B.8.002 Resistance to frost (Na ₂ SO ₄) (постојаност на дејству мраза (Na ₂ SO ₄) (weight loss, губитак тежине у %)	–	no pass непост.	no pass непост.	no pass непост. 3.55	–	–	–	–	

Investigations data of mechanical properties (compressive strength – dry, water saturated, after freezing, abrasive resistance, Table 1) imply that red Permian sandstone have equable quality. According to the value of compressive strength (vary from 123 MPa to 178 MPa) this sandstones belong to the category of medium high and high compressive strength. Abrasive resistance is from 15.47 to 20.92 cm³/50 cm² and they belong to the category of hard stone (Bilbija, 1984).

According to the value their technical properties, medium grained sandstones are different from fine grained. Slight sort of medium grained sandstones caused less porosity



a



d



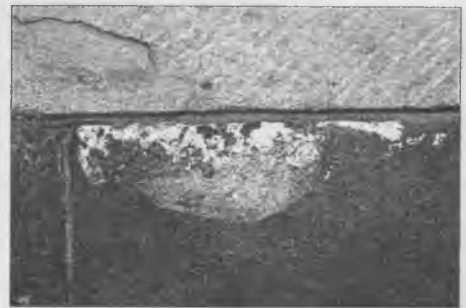
b



e



c



f

Fig 4. Decay type of red Permian sandstones: a– breaking; b– exfoliation, c– granular disintegration and flaking; d, e– scaling; e– efflorescences.

Сл. 4. Облици распадања црвеног пермског пешчара: а– комадасто распадање; б– слојевито–љускасто; с– зрнаста, финољускаста дезинтеграција; д, е– плочасто–љускасто распадање; ф– ефлоресценција.

and water absorption, larger degree of density and larger resistance to the frost. These data indicate that the medium grained sandstones are better building material and more resist to weathering.

DECAY TYPE OF RED PERMIAN SANDSTONES FROM THE FACADE OF THE ST. MARKO CHURCH

The stone elements of red Permian sandstones from facade of the church were observed and established different destruction contours which are caused by physical factors. Some elements of sandstones are very damaged, especially on the southern and on the eastward side of facade. Deep destruction appears on the elements that are located in the lower parts of facade i.e. in first bed over bilding plinth.

The following kinds of destruction were found on the very damaged elements (Fig. 4): **breaking (cracking)**, **exfoliation** and **scaling**. Moreover the **efflorescence** was observed on sandstone surfaces.

Breaking. A higher degree of decay appers on the most stone elements from the lower parts of facade. The first bed from red sandstones is overlaping on plinth with projecting part (thickness about 20 cm), where rain and snow can be collected during winter time. Breaking and granular desintegration (deep to 10 cm) were observed on stone elements in this zone, (Fig. 4a).

Exfoliation. Is dominated shape of decay on the southern and on the eastward side of facade, along forming inner sheets (Fig. 4b). The primary surface of most elements was completly destroyed, and sheets are separating from the stone element paralelly to layering. New opened surface underwent granular desintegration and flaking beside clear prominence of more durable cement–mortar of joints (Fig. 4c).

Scaling. In the upper parts of facade, especially in the southern side, build's type of triforium caused less ventilation of stone elements and longer retain of moisture what cause a higher degree of decay i.e. scaling. Convex form of thin plate, is forming about 3 mm in thickness in the first stage of degradation produce (Fig. 4d). Due to retaining moisture beneath superficial hardening crust, inner part of stone is going to desintegrated. After the sheet detachment, granular desintegration and blistering continue and surface of stone becomes friable and sanding (Fig. 4e).

Previously mentioned type of decay are followed by granular desintegration and blistering.

Efflorescences. Soluble salts as efflorescences occur on the surface which aren't exposed to weathering influence (in arcade's portchs). Efflorescences generally happen at the border between wet and dry zones of wall. Salts appear as white margines which represent upper limit of rising moisture in the wall, or occur as white precipitations (Fig. 4f). The X–ray difraction data of salt samples from surface sandstones, show the presence of thenardite (Na_2SO_4) and mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{H}_2\text{O}$, Fig. 5). Unfavourable effects of efflorescences are aesthetic but isn't failure effect in the future. These salts are produced from air pollution or from the cement–mortar of joints as possinbe sources (Winkler, 1994).

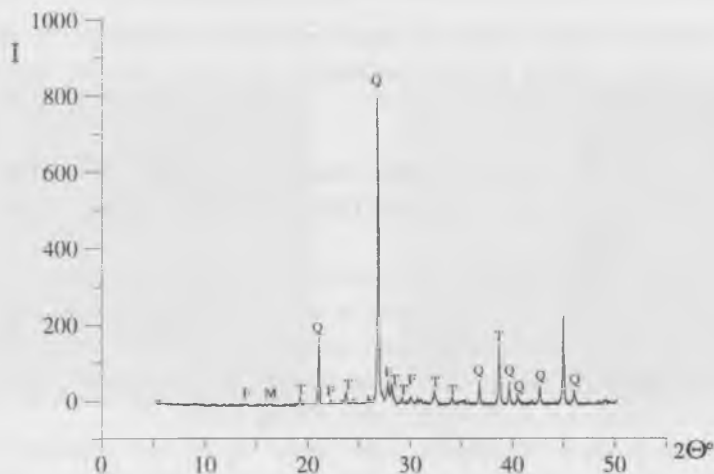


Fig. 5. Diffractogram of sample salts from northern side of facade (Q- quartz, F- feldspar, T- thenardite, M- mirabilite). I- magnitude.

Сл. 5. Дифрактограм узорка соли са северне фасаде (Q- кварц, F- фелдспат, T- тенардит, M- мирабилит). I- интензитет.

CONCLUSION

Parts of stone facing from facade of the St. Marko church, built from red Permian sandstones, show marks of deep degradations during the period of 60 years under atmospheric influence. Character and velocity of weathering depend from mineralogical composition, texture of sandstones, their physical properties, atmospheric influence i.e. water as the most important factor as well as temperature exchange, climate position of element in facade too.

The red Permian sandstones are medium- and fine grained porous arkoses with notably water absorption and aren't resistant to frost. Porosity and water absorption are most important factors for the estimation durability of stone. The value of these properties for red sandstones indicate that they are enough porous to take and keep-in water.

Water and frost are major causes of damage. The shape and type of decay are caused and by location of elements in facade, too. Deep degradation of sandstones appears in the lower part of facade where projecting part of plinth enables collecting rain and snow, thus stone remains very wet for significant periods and may be exposed to aggressive cycles of freeze-thaw activity. Due to porosity, sandstone could capillary absorb water and freeze. By time event enable further this sanding and destruction of surfaces of stone till the depth of water penetration.

Physical degradation appears on elements that are built in the upper parts of facade, where water couldn't be collect. Rain, fog and humidity are main causes for scaling of these elements. Water penetration in stone cause mechanical break-down i.e. weakness of the rock fabric by simultaneously formation of inner crust. The temporary crust enables reservation of moisture in porous and its failure attack. After the split of crust, new opened surface also will be exposed to weathering.

Results of petrographical investigation, physical properties and state of sandstone, show that stone decay will be more significant in future. In the aim to preserve integrity of facade and slow down mentioned processes of degradation, conservation of sandstone is necessary. Protection by impregnation means (water repellents–silicones) can be prevent for penetration of water inside pores and unfavourable effect of frost. Deep penetration of water repellent will cause reduced porosity of sandstone and by continuous maintenance of facade, architectural value of church will be protect.

REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

- Bilbija N., 1984: Tehnička petrografija. – Naučna knjiga, 1–239, Beograd (in Serbian).
- Bošković Dj., 1932: Crkva sv. Marka u Beogradu kao karikatura Gračanice – SKG. XXXV, 302–304, Beograd (in Serbian Cyrillic).
- Dott R.H.Jr., 1964: Wacke, graywacke – what approach to immature sandstone classification.– Jour. Sed. Petr., 34, 625–632.
- Djurdjević M., 1996: Petar i Branko Krstić – Srpski arhitekti novijeg doba.– Republički Zavod za zaštitu spomenika kulture, 1–73, Beograd (in Serbian).
- Maksimović B., 1956: Geological and tectonical relations of the coal bearing formations of the Senjsko–resavski mines and the surrounding area.– Pos. izd. Geol. inst. "Jovan Žujović" 6, 1–104, Beograd (in Serbian, English summary).
- Maslarević Lj. & Protić M., 1975: Perm Istočne Srbije. U: K. Petković (ur.) Geologija Srbije. Stratigrafija (prekambrijum i paleozoik).– Zavod reg. geol. paleontol. Rud.–geol. fak., 119–127, Beograd (in Serbian Cyrillic).
- Pettijohn F. J., 1975: Sedimentary rocks.– Harper & Row, 1–628, New York.
- Protić M., 1972: Bleaching of Permian Red Beds.– Geol. an. Balk. poluos., 37/1, 147–157, Beograd (in Serbian, English summary).
- Protić M., 1978: Red Permian Sandstones of Suva Planina.– Ibid., 42, 471–482, Beograd (in Serbian, English summary).
- Veselinović M., Antonijević I., Milošaković R., Micić I., Krstić B., Čičulić M., Divljan M. & Maslarević Lj., 1970: Geology of the sheet Boljevac BGM SFRJ 1:100.000.– Sav. geol. zavod, 1–62, Beograd (in Serbian, English summary).
- Winkler E. M., 1994: Stone in architecture – Properties, Durability.– Springer-Verlag, 1–311. New York.

РЕЗИМЕ

ВРЕМЕНСКО ПРОПАДАЊЕ И ВРСТЕ ОШТЕЋЕЊА ЦРВЕНОГ ПЕРМСКОГ ПЕШЧАРА УГРАЂЕНОГ У ФАСАДУ ЦРКВЕ СВ. МАРКО У БЕОГРАДУ

УВОД

Црвени пермски пешчари су традиционални грађевински материјал Србије. Због карактеристичне црвене до љубичасте боје, добре услојености, повољне експлоатације и обраде, осим за локалну употребу, коришћени су и за изградњу већих грађевина (црква Св. Марка у Београду, плато испред зграде "Политика", споменик палим борцима из Првог светског рата у Параћину, портали тунела на путу Ниш–Пирот итд.).

Црвени пермски пешчар уграђен у фасаде или конструкције различитих намена, због повећане порозности и смањене отпорности према деловању мрза, у урбаној, загађеној атмосфери градова подлеже процесима распадања. Ради утврђивања узрока распадања испитана су петролошка и физичка својства на узорцима црвеног пермског пешчара локалности Грза код Параћина, а морфологија распадања утврђена је на каменим елементима фасаде цркве св. Марко, као најзначајнијем објекту у који је уграђен "грзански" пешчар.

Црква св. Марко у Београду грађена је од 1931. до 1939. год. и прва је црквена грађевина византијског стила изведена у армиранобетонској конструкцији у нашој земљи (Вошковић, 1932). Кровови цркве су од армираног бетона покривени бакром док су зидови рађени у цементном малтеру. Фасада цркве изграђена је од "беловодског" и црвеног пермског пешчара. Подножни појас грађевине (сокл), са испустом изван површине зидова обложен је "буковичким" гранитом.

Укупна површина цркве је 1900 m², дужина 60 m, а висина централног кубета 52 m. Основа цркве је облика уписаног крста са звоником над припратом. Централно кубе цркве је у облику осмокраког тамбура, док су мања кубета постављена ван централног простора. Улаз у храм и остали елементи фасаде су без репрезентативног скулпторског декора карактеристичног за црквену архитектуру (сл. 1). На бочним подужним фасадама су велики трифоре без пластичне декорације док су четири призидане куле које носе мала кубета повезане аркадним тремовима (Djurdjević, 1996).

Након 60 година изложености фасаде агресивном деловању атмосферичких елемената, каменим елементима црвеног пермског пешчара констатовани су различити видови оштећења изазвани деловањем физичких и хемијских фактора. Камени елементи изграђени од "беловодског", временски постојанијег пешчара, су без или са незнатним оштећењима. Због израженог временског пропадања уграђеног црвеног пешчара, потребно је што пре заштити фасаду престоничког храма – значајног споменика нашег црквеног градитељства.

МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА

Петрографска, техничка и рендгенска испитивања одабраних узорака извршена су у циљу утврђивања узрока распадања пешчара уграђеног у цркву св. Марко. За петрографска испитивања узето је 22 узорка црвених пермских пешчара из напуштених мајдана Грзе. Након петрографских испитивања, на 4 одабрана узорка, (селектована на основу разлике у величини зрна и сортираности) испитивана су физичка својства (запреминска маса са порама и шупљинама, запреминска маса без пора и шупљина, порозност и упијање воде) лабораторијским методама према захтевима југословенских стандарда (ЈУС Б.Б8.032 и ЈУС Б.Б8.010).

Методом рендгенске дифракције праха (Philips тип PW 1710 – бакарна антикатада) анализиран је узорак соли узет са површине пешчара у аркадној ниши северне фасаде цркве.

ГЕОЛОГИЈА И ПЕТРОГРАФИЈА ЦРВЕНИХ ПЕРМСКИХ ПЕШЧАРА

Геологија

Црвени пермски пешчари у источној Србији граде два појаса, унутрашњи и спољашњи (сл. 2). Унутрашњи појас чине изоловане партије ових стена које се у се-

верном делу јављају између Млаве и Пека, а простиру се до Суве Планине на југо–истоку. Пермски седименти унутрашњег појаса су на источном ободу навучени преко кредних кречњака, док су на западу подина кречњацима доњег тријаса и јуре. Спољашњи појас црвених пермских пешчара чине две зоне, Пореч–Гребен и Стара планина (Maslarević & Protić, 1975).

У највећој откривеној маси пермских пешчара унутрашње зоне, од Бељанице на северу до Параћина на југу, у подручју Грзе, вршила се експлоатација пешчара као грађевинског камена (сл. 2а). Пешчар са овог локалитета уграђен је у фасаду цркве св. Марко.

Црвени пермски пешчари су по саставу аркозе, ређе кварцни пешчари. У пакетима ових стена јављају се прослојци конгломерата, крупнозрних аркоза, алевролита, глинаца, ређе доломита, кречњака и лапораца (Veselinović et al., 1970). Дебљина пермских пешчара у унутрашњој зони варира од 50 до преко 700 m. Добро су услојени до банковити (дебљине до 80 cm), понекад масивни док су хоризонтална (фина и груба ламинација) и коса слојевитост, ретке.

Пермски седименти су карактеристичне црвене боје са траговима обезбојавања и местимичним појављивањем сивих пешчара. Изграђени су од кварца, фелдспата (киселог плагиокласа, ретко микроклина) лискуна и одломака стена који су слабо заобљени и сортирани. Цемент је контактнoг и порног типа изграђен од мешавине хематита, глиновите материје, калцита, доломита и кварца (Veselinović et al., 1970).

Проучавањем црвених пермских пешчара, нарочито појава обезбојавања у њима, Protić (1972, 1978) истиче да је боја пешчара несумњиво примарна због пигментне хематитске материје. Испитивањем црвених пермских пешчара са Суве планине исти аутор у раду из 1972. године наводи: "...карактеристично појављивање хематита (мартита), магнетита и ређе илменита у доминирајућим количинама (преко 75% међу тешким минералима). С обзиром на форму и величину, овде би се најпре радило о алотигеном хематиту односно мартиту". Исти седименти поред индивидуалисаног хематита садрже и хематитски пигмент који боји ове седименте. Део хематита је свакако и аутигеног порекла, настао од Mg–Fe силиката при одређеним рН и Eh условима средине у којој се вршило таложeње пешчара (Protić, 1972).

Пермски седименти таложени су у речним долинама и језерским басенима, у условима брзе ерозије и уз истовремено спуштање дна. Детритични састојци су релативно мало транспортовани и делом ношени ветром. Таложeње је обављено у аридној и семиаридној клими (са повременим падавинама) што је условило стварање аутигених минерала (Veselinović et al., 1970).

Петрографска својства црвених пермских пешчара из подручја Грзе

У подручју Грзе на више локалитета вршила се експлоатација црвеног пермског пешчара. Узимање узорака за петрографска и техничка испитивања извршено је дуж локалног пута Грза–Сисевац (сл. 2а), на пет отворених профила (просечне дужине око 45 m) где и данас експлоатацију обавља локално становништво.

На профилима је карактеристично смењивање средњозрних и ситнозрних пешчара, ређе алевролита и крупнозрних пешчара. Слојевитост пешчара је изражена (ЕП 270/10, 276/30, 220/20). Слојеви су просечне дебљине око 40 cm и локално се у њима запажа хоризонтална ламинација. Местимично се запажају појаве обезбојавања, округластог облика, сиве боје, величине до неколико cm.

Пешчари су изграђени од кварца, фелдспата, лискуна, одломака стена и везивне материје (сл. 3). **Кварц** је најзаступљенији састојак у стени. Јавља се у угластим до субугластим, ретко субзаобљеним, изометричним зрнима. Код слабо сортираних пешчара величина зрна кварца варира од 0,1 до 1,2 mm са доминантном фракцијом од 0,5 до 1 mm. Код средње сортираних је од 0,3–0,6 mm, а код добро сортираних 0,1 до 0,3 mm. Зрна су хомогене, ређе мозаичне грађе, често обавијена гвожђевитом материјом. Понекад се запажа секундарно нарастање. Заступљеност кварца варира од 50–70%, а према Dott–овој (1964) класификационој шеми – око 65%. **Фелдспати** су представљени ортокласом и плагиокласом. *Оршоклас* се јавља у субугластим до субзаобљеним зрнима величине 0,2–0,4 mm, ређе до 0,7 mm. Зрна су ретко свежа, најчешће делом до потпуно серицитисана или каолинисана. *Плагиокласи* се јављају у ламеларно ближњеним, свежим зрнима величине од 0,2 до 0,6 mm. Садржај фелдспата варира од 25 до 30% односно 35% према Dott–овој (1964) класификационој шеми. **Лискуни** су заступљени до 2% и представљени мусковитом, ређе биотитом. Оријентисане лиске мусковита граде ламине дебљине до 0,1 mm. **Одломци стена** су литокласти угластих до полузаобљених форми, величине од 0,3–0,9 mm. Представљени су одломцима вулканита ређе рожнаца, кварцита и шкриљаца. Граде до 5 vol. % стене. **Акцесорни састојци** су представљени металичним минералима (оксидима гвожђа) и граде до 1 vol. % стене. **Везиво** (до 10% vol. стене) је контактни и порни гвожђевито–калцитски цемент, док се ређе запажа цемент нарастања (силицијски цемент) и гвожђевито–глиновити цемент.

Према класификацији Pettijohn–а (1975) испитивани пешчари припадају аркозама, а према доминирајућој величини зрна разликују се мање заступљене ситнозрне аркозе (0,05–0,25) и средњозрне аркозе (0,25–0,5 mm). Према степену сортираности, констатовано је да су ситнозрне аркозе добро сортиране, док су средњозрне слабо до лоше сортиране.

ТЕХНИЧКА СВОЈСТВА ПЕРМСКИХ ПЕШЧАРА

Физичка својства у корелацији са петрографским карактеристикама основа су за утврђивање узрока пропадања камена и за процену његове временске трајности. На узорцима црвених пермских пешчара испитане су запреминска маса са порама и шупљинама, без пора и шупљина, порозност и упијање воде (1997/19 до 1997/22, табела 1), а ради потпунијег сагледавања техничких својстава ових стена приказани су и резултати ранијих испитивања (табела 1, Фонд Института за испитивање материјала).

Боја црвених пермских пешчара варира од црвене до љубичасте због присуства оксида гвожђа – најјачег пигмента у седиментним стенама. Интензитет црвене боје зависи од количине и дистрибуције пигмента гвожђа као и стабилности минерала који садрже гвожђе у својој структури. Присуство стабилних оксида гвожђа као бојитеља црвених пермских пешчара (хематит, магнетит, лимонит) указује да је њихова боја временски постојана.

Према категоризацији камена на основу вредности **запреминске масе са порама и шупљинама** (Bilbiја, 1984) испитиване стене припадају категорији средње тешког (узорци 1997/19, 20, 21) и тешког камена (узорак 1997/22).

Вредности **запреминске масе без пора и шупљина** (2570–2690 kg/cm³) у складу су са густинама минерала испитиваних пешчара.

Коефицијент запреминске масе, дефинише садржај чврсте фазе у јединици запремине, и варира од 0,888 до 0,957.

Порозност црвених пермских пешчара варира од 4,3–5,3% (код средњозрних варијетета) до 7,6–11,2% (код ситнозрних варијетета). Према категоризацији камена на бази апсолутне порозности (Bilbija, 1984) испитивани пешчари припадају групи изразито порозних стена (узорак 19, 20, 21) до умерено порозних стена (узорак 22).

Повишене вредности порозности одразиле су се и на повећано **упијање воде**. Средњозрни варијетети имају упијање воде од 1,43 до 1,81%, а ситнозрнији од 2,16 до 3,06%. Према категоризацији камена црвени пермски пешчари се налазе у категорији камена осетног до умереног упијања воде.

Испитивање постојаности (на узорцима 19–22) није вршено, јер резултати ранијих испитивања постојаности на дејство мраза указују да су црвени пермски пешчари непостојани. Опитима третирања раствором натријум сулфата и након прописаног броја циклуса мржњења и отапања, констатован је значајан губитак масе пешчара (до 3,55%).

Вредности испитивања механичких карактеристика (чврстоћа на притисак у сувом водозасићеном стању и после дејства мраза и отпорност на хабање брушењем) указују да су црвени пермски пешчари уједначеног квалитета (табела 1): **чврстоћа на притисак** у сувом стању варира од 123–178 МПа (табела 1) и припадају категорији камена средње високе и високе чврстоће на притисак: **отпорност на хабање брушењем** варира од 15,47 до 20,92 $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ и припадају категорији тврдог камена (Bilbija, 1984).

На основу резултата испитивања црвених пермских пешчара јасно се запажа да узорци средњозрних варијетета по вредностима физичко–механичких својстава одступају од ситнозрних варијетета. Слаба сортираност ових варијетета утицала је на мању порозност, мање упијање воде, већи коефицијент запреминске масе, већу постојаност на дејство мраза, па се са сигурношћу може рећи да су средњозрни варијетети као грађевински камен бољи и временски постојанији.

ОБЛИЦИ РАСПАДАЊА ЦРВЕНОГ ПЕРМСКОГ ПЕШЧАРА У ФАСАДИ ЦРКВЕ СВ. МАРКО

Прегледом каменних елемената уграђеног црвеног пешчара констатовани су различити облици разградње изазвани првенствено физичким факторима. Поједини елементи се налазе у фази интензивне деградације посебно на јужној и источној страни фасаде. У односу на висински положај каменних елемената јача разградња се запажа у нижим деловима фасаде, нарочито у првом слоју изнад сокла грађевине.

Промене на камену изазване деловањем атмосферичких манифестују се различитим облицима физичке разградње (сл. 4): **комадасто, слојевито–љускасто, и плочасто–љупнасто распадање**. Осим наведених облика запажена је и **ефлоресценција** на површини камена.

Комадасто распадање. Дубока разградња захватила је већину елемената у ивичним деловима фасаде. Први слој изграђен од црвеног пешчара налаже на подножни појас грађевине са испустом ширине око 20 cm што омогућава дуже задржавање воде и снега у зимском периоду. На каменним елементима ове зоне запажа се комадасто фрагментирање праћено зрнастим распадањем које достиже дубину и до 10 cm (сл. 4а).

Слојевито–љускасто распадање (ексфолијација). На јужној и источној страни фасаде доминантан облик разградње је слојевито–љускасто распадање уз образовање унутрашњих кора (сл. 4b). Примарна површина великог броја елемента је потпуно разорена, а даље раслојавање се врши по правцима слојевитости. Ново отворене површине подлежу зрнастој и финољускастој дезинтеграцији уз јасно истицање отпорнијег цементног малтера у спојницама (сл. 4c).

Плочасто–љускасто распадање. У вишим деловима фасаде, нарочито јужне стране, тип градње трифора условио је слабије проветравање камених елемената фасаде и дуже задржавање влаге, а тиме и интензивну разградњу елемената у облику плочасто–љускастог распадања. У првој фази деградације образује се танка кора испупчене форме, дебљине око 3 mm (сл. 4d). Због дужег задржавање влаге испод површинске "цириће" коре, унутрашњи део камена се дезинтегрише. Одвајањем површинске љуске наставља се даље зрнаста и фино љускаста дезинтеграција, а површина каменог елемента је трошна, хрпава и песковита (сл. 4e).

Зрнаста и фино љускаста дезинтеграција прате претходно наведене облике распадања.

Ефлоресценција. У аркадним нишама и деловима фасаде заклоњеним од деловања атмосферилија, на површинама камених елемената нису запажени облици физичке разградње, али је констатована ефлоресценција. Исцветавање соли јавља се на површини камена на граници између влажних и сувих зона или на провлаженим површинама у току исушивања. Манифестује се као бели рубови који мартирају ниво капиларног пењања воде или као бели талози (сл. 4f).

Рендгенском анализом узорка соли узете са површине црвеног пермског пешчара у аркадној ниши северне фасаде (сл. 5) констатовано је присуство тенардита (Na_2SO_4) и мирабилита ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$). Неповољни ефекти кристализације наведених соли су естетске природе, али није искључена могућност њиховог деструктивног деловања у будућности. Мирабилит и тенардит вероватно потичу из цементног малтера или атмосфере (Winkler, 1994).

ЗАКЉУЧАК

Камена облога фасаде цркве св. Марко, изграђена делом од црвеног пермског пешчара, након шест деценија изложености атмосферилијама показује у одређеним деловима знаке јаке физичке разградње. Карактер и брзина процеса временског пропадања зависи од минералног састава, структуре и физичких својстава пешчара као и деловања атмосферилија тј. воде као најзначајнијег фактора уз утицај температуре, климе и положаја уграђеног елемента у фасаду.

Црвени пермски пешчари по саставу и структури су ситно– до средњозрне аркозе, а према физичким својствима припадају изразито до умерено порозним стенама са осетним до умереним упијањем воде, и непостојани су на дејство мрза. Порозност и водопропустљивост, као најважнија физичка својства за временску трајност камена указују да су испитивани пешчари способни да у себе приме и задрже воду.

Вода и мраз су главни узрочници физичке разградње црвених пешчара. На форму и интензитет распадања утиче висински ниво и положај уграђених камених елемената. Јака комадаста и зрнаста ерозија пешчара јавља се у најнижим деловима фасаде где испуст сокла цркве омогућава дуже задржавање кишнице и снега, перманентно влажење и изложеност пешчара агресивном циклусу наизменичног смр-

завања и отапања у зимском периоду. Порозност пешчара омогућава продирање воде, а притисак настао њеним смрзавањем у порам изазива механичку дезинтеграцију везива и разарање површине камена (комадасто–зрнасто и љуспасто распадање) до дубине продирања воде.

Физичка разградња констатована је и на елементима уграђеним у више делове фасаде где нема дужег задржавања воде. Плочасто–љуспасто распадање ових елемената проузроковано је атмосферском влагом (кишница, магла, влажност ваздуха). Продирањем воде у унутрашњост пешчара разара се структура камена уз истовремено формирање спољне љуске. Привремена "заштитна" облога (спољна љуска) омогућава задржавање влаге у порам и њено деструктивно деловање на камен. Након њеног одвајања ново отворена површина је трошна и подложнија даљем процесу временског пропадања.

На основу петрографских анализа, физичких својстава и стања пешчара може се закључити да ће се разградња камена све више развијати и у догледној будућности појавити још изразитија оштећења. Да би се сачувао интегритет фасаде и успорио ток временског пропадања неопходно је санирати и заштити камене елементе. Површинском хидрофобизацијом пешчара (силиконским средствима) спречио би се доток воде (влаге) и њен разорни утицај, пре свега на нижим температурама. Дубоким пенетрирањем хидрофобног средства знатно би се смањила порозност пешчара и тиме обезбедила (уз константно одржавање) дуготрајна заштита фасаде и сачувала архитектонска вредност престоничког храма.