

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Geol. Penins. Balk.	61	1	389-406	Београд, децембар 1997 Belgrade, Decembre 1997
--------------------------------------------------	----	---	---------	---------------------------------------------------

УДК 719:725.94:552.513

Оригинални научни рад

УЗРОЦИ РАСПАДАЊА И ПРЕДЛОГ ЗАШТИТЕ ПЕШЧАРА УГРАЂЕНОГ У СПОМЕИИК "ОСЛОБОДИОЦИМА БЕОГРАДА 1944."

од

Весне Матовић*, Ненада Билбије** и Бранка Ивовића***

У циљу утврђивања узрока пропадања споменика "Ослободиоцима Београда 1944.", изграђеног од пешчара, извршена су детаљна испитивања стања блокова и степена њихове разградње. Констатовано је постојање различитих врста оштећења која су приказана у раду и дат предлог мера за њихову заштиту од временског пропадања.

Кључне речи: пешчар, физичка својства, распадање, апсорпција, заштита.

УВОД

Спомеиик "Ослободноцима Београда 1944." налази се на углу Рузвелтове и Прерадовићеве улице. Свечано је отворен 20. октобра 1954. год. и представља први меморијални комплекс урађен у Београду после II св. рата. Главни прилаз је из Рузвелтове улице.

Према пројекту из 1953. год., повереном архитекти Б. Бону, дугачки улазни фронт представља монументалну капију равних линија изведену у камену са барелефима. Главни портал је облика зидане камене капије (дужине 41 m и висине 5 m) и састоји се од петочланог улаза са бочним нижим зидовима у које су уграђени барелефи. Портал је изведен у лишком пешчару (каменолом Осоје код Љига), а барелефи од брачког кречњака по идеји вајара Р. Станковића. Прилазни плато са степеништем и проходне површине су поплочане лишким пешчаром. У портал је уграђено 459 видљивих блокова различитих величина. У току грађења није се водило рачуна о начину постављања исечених блокова. Належуће површине су паралелне или управне површина слојевитости. Овај начин постављања и рустична обрада површина (штоковањем) су проузроковале различите врсте физичке деструкције уграђених елемената.

Унутрашњи (парковски) део споменичког комплекса се добро одржава. Површине под каменом и главни портал са барелефом су запуштени и препуштени "зубу времена" те су приметни како физичка разградња каменних елемената тако и

* Рударско-геолошки факултет, Булевар 7, 11000 Београд.

** Томе Росандића 42, 11000 Београд.

*** Охридска 7, 11080 Земун.

"кретања" у самој конструкцији. Споменик не може да се заштити од деловања атмосферичке, али адекватна сапација и константно одржавање могу у знатној мери да успоре процес разградње. У том циљу су извршене експерименталне пробе хидрофобизације да би се доказала могућност заштите пешчара од неповољног деловања воде и мраза.

МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА

Петрографска, рендгенска и техничка испитивања одабраних узорака извршена су у циљу утврђивања узрока распадања пешчара уграђеног у споменик.

Испитивање физичких својстава (запреминска маса без пора и шупљина – густина, са порима и шупљинама – запреминска густина, апсолутна и релативна порозност и способност упијања и кретања воде) извршено је у складу са одговарајућим југословенским стандардима (ЈУС.В.В8.032. ЈУС.В.В8.010). Порозност је мерена и живиним порозиметром због одређивања величине и заступљеност пора.

Методом рендгенске дифракције праха (Philips tip PW 1710 – бакарна антикатада) аналитизирани су узорци пешчара, соли наталожених на барелефима и црних кора са површина блокова пешчара које нису биле изложене директном утицају атмосферичке.

Експерименти хемијске заштите су изведени третирањем пробних тела различитим хемијским средствима на бази силикона (Prevosil специјал, Rain stop)¹ и полимера у органском растварачу (Ever clean)², а провера њихове ефикасности методом апсорпције воде под ниским притиском (PIPE METHOD).

ПЕТРОГРАФСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Пешчар је смеђе до сиве боје са местимично израженим ружичастим тоновима. Хетерогеног је изгледа, слојевите текстуре. У појединим уграђеним елементима запажају се интерни текстурни облици – ламинација, коинволуција (Обрадовић, 1967; сл. 1 и 2) затим пукотине и прелине паралелне примарним с-површинама. Дуж ових предиспонираних површи честе су појаве слабије или јаче лимонитизације. На екстерним површинама неких блокова присутне су шупљине настале испирањем финозрнијег материјала (<0.05 mm), а поједине се карактеришу љуспастим распадањем.

Уграђени пешчар изграђен је од класта кварца, фелдспата, лискуна и одломака стена. Акцесорни састојци су апатит, циркон, турмалин и металични минерали (магнетит и Fe-сулфиди). Везиво је представљено серицитско-хлоритским матриksom и калцитско-силицијским цементом.

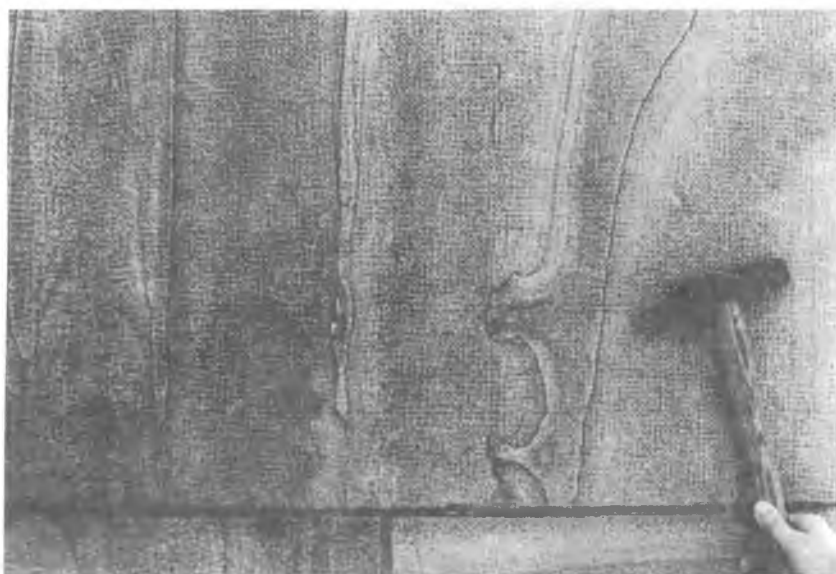
Кварц (55.82 vol.% стене), је угластих до субугластих и субзаобљених форми димензија 0.1–0.3, ређе до 0.8 mm. **Фелдспат** (17.33 vol.% стене) су представљени *К-фелдспатом* (ортоклас, микроклим) и *илагиокласом*. Класти су субугластих до субзаобљених форми, неки су сачували примаран призматичан облик. Величина им варира од 0.1 до 0.5 mm, најчешће око 0.3 mm. Углавном су делом или чак потпуно

¹ Prevosil специјал је средство за импермеабилитацију на бази олигосилоксана у органском растварачу (White спирит и сл.). Rain stop је средство на бази силикона у органском растварачу, по својим својствима олиско Prevosil специјалу.

² Ever clean је средство на бази полимера у органском растварачу.



Сл. 1. Сачувани конволутивни облици у уграђеном пешчару.
Fig. 1. Relicts of convolution in built sandstone.



Сл. 2. Ламинација на површинама сеченим управно на слојевитост.
Fig. 2. The lamination on the surfaces of blocks cutting perpendicular to layering

серицитисани и каолинисани. Неизмењена зрна К–фелдспата показују микропертитска издвајања. Од одјумака стена (15.42 vol.% стене) присутни су рожнаци, кварцити, серицитско хлоритски шкриљци, вулканити и гранити. Величина фрагмената варира у просеку од 0.35–0.5 mm, ређе до 1.5 mm. Фрагменти вулканита и гранита су често серицитисани. **Лискуни** – мусковити и биотити граде 5.02 vol.% стене. Лиске су просечно дужине од 0.1 до 1 mm, ређе 1.25 mm, редовно су деформисане – исавијане или убране. Биотит је делом до потпуно хлоритисан, поједине лиске су испране или лимонитисане. **Акцесорни** апатит, циркон, турмалин, металчни минерали граде 0.2 vol.% стене. Величина зрна варира од < 0.1 до 0.15 mm. *Апатити* и *циркон* су идиоморфних или субзаобљених до угластих форми и понекад се налазе и као инклузије у фелдспатима и биотиту. *Турмалин* је зеленастоорке боје угластих облика. *Металчни минерали* (магнетит, Fe–сулфиди) су делом до потпуно лимонитисани.

Везиво (6.39 vol.% стене) је серицитско–хлоритски матрикс контактнoг типа и калцитско–силнџијски цемент контактнo–порног типа.

Према класификацији Pettijohn–а (1975) испитивани пешчар припада субаркозама, а по доминирајућој величини зрна (0.25–0.5 mm) средњозрним пешчарима.

Табела 1. Физичке карактеристике уграђеног пешчара

Table 1. Physical characteristics of sandstone

Запреминска маса без пора и шупљина (густина) ЈУС В.В8.032. (density)	2.46 g/cm ³
Запреминска маса са порима и шупљинама (запреминска густина) ЈУС В.В8.032 (bulk density)	2.38 g/cm ³
Коефицијент запреминске масе ЈУС В.В8.032 (degree of density)	90.15 %
Апсолутна порозност ЈУС В.В88.032 (absolute porosity)	9.85 %
Релативна порозност ЈУС В.В8.032 (relative porosity)	5.46 %
Упијање воде (% масе) ЈУС В.В8.010 (water absorption % by mass)	2.25
Упијање воде (% зап.) ЈУС В.В8.010 (water absorption % by vol.)	5.46
Порозност (живин порозиметар) Porosity (Hg porosimeter)	16 %

ФИЗИЧКА СВОЈСТВА

Физичке особине у корелацији са петрографским карактеристикама основа су за утврђивање узрока пропадања уграђеног камена као и за процену његове временске трајности. У том циљу испитиване су запреминска маса без пора и шупљина (густина), запреминска маса са порима и шупљинама (запреминска густина), апсолутна и релативна порозност, упијање воде и порозност мерена живиним порозиметром (Табела 1).

Вредност запреминске масе без пора и шупљина се поклапа са густинама минерала испитиваног пешчара и као физичка карактеристика посредно служи за одређивање вредности апсолутне порозности камена.

Према вредности запреминске масе са порима и шупљинама пешчар са подручја Љнга припада категорији средње тешких стена (Bilbija, 1984).

Коефицијент испуњености камена износи 90.15 %.

Апсолутна порозност љишког пешчара је 9.85% и на граници је између доста порозних и изразито порозних стена (Bilbija, 1984).

Разлика између релативне порозности (дефинише део пора испуњен водом при нормалном атмосферском притиску) и апсолутне порозности објашњава се величином и међусобним пекомушицањем пора.

Порозност је мерена и живиним порозиметром што је истовремено дало податке о величини и процентуалној заступљености пора (Табела 2). Већина пора у пешчару припада категорији капиларних пора величине од 1–10 μm . Висина и брзина пењања воде у пешчару је одређена директним мерењем преко призматичних пробних тела која су стајала у води до момента када је капиларно пењање престало. Висина капиларног пењања је износила 4 cm за 96x. Присуство оваквих пора које могу да приме и задрже воду угрожава постојаност уграђеног пешчара и повећава опасност од неповољног деловања мраза.

Табела 2. Саржај пора према величини. 1 – узорак свежег пешчара; 2 – узорак распаднутог пешчара.

Table 2. Contents of pore according to size. 1 - unweathered sample of the sandstone; 2- weathered sample of the sandstone.

Величина пора (size of pore) (μm)	1 (%)	2 (%)
0.01–0.1	19.3	24.2
0.1–1	22.0	19.1
1–10	46.1	44.7
10–40	12.6	12.0

Разлика између апсолутне порозности и порозности мерење живиним порозиметром је вероватно последица малог броја испитиваних узорак.

Табела 3. Физичка својства пешчара из каменолома Осоје (Bilbija i Spasojević, 1959).

Table 3. Physical properties of the sandstones from the Quarry Osoje (Bilbija i Spasojević, 1959).

запреминска густина (bulk density) gr/cm^3	густина (density) gr/cm^3	степен густине (degree of density) %	порозност (porosity) %	постојаност на дејство мраза (resistence to the frost)
2.38	2.64	90.30	9.70	постојан

По класификацији камена према упијању воде љишки пешчар се налази у категорији камена умереног до осетног упијања воде (Bilbija, 1984). Упијање воде је 2.25 % масе и 5.46 % запремине. Пешчар је довољно порозан да прими и задржи воду у порима која у току мржњења прелази у чврсто агрегатно стање (лед) и притиска зидове пора изазивајући декохезију између зрна и пуцање камена дуж површи реалних планара. Добијени резултати указују да је главни узрок деградације пешчара уграђеног у споменик деловање мраза.

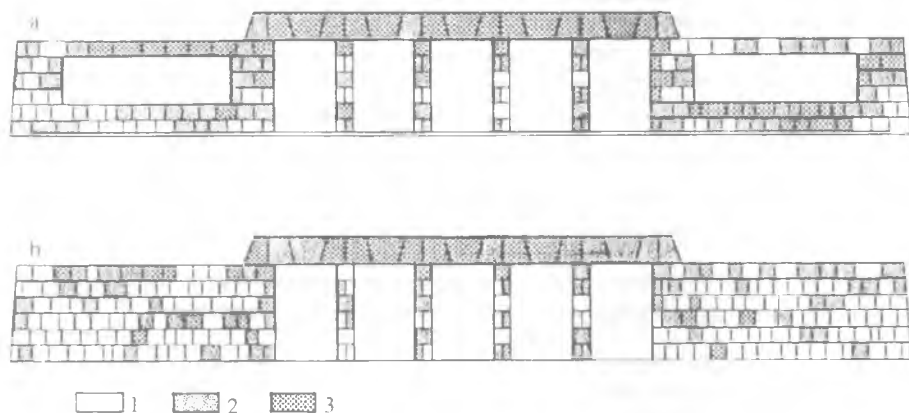
Испитивање постојаности камена на дејство мрза пије вршено. Досадашњи резултати испитивања у лабораторији су показали да је овај пешчар постојан на дејство мрза (Билбија и Спасојевић, 1959; Табела 3).

После 42 године од постављања споменика један део уграђених елемената показује знаке јаке физичке разградње, док други изгледа врло свеж што имплицира сложеност оцене временске трајности кроз лабораторијска испитивања.

ВРЕМЕНСКЕ ПРОМЕНЕ НА УГРАЂЕНОМ ПЕШЧАРУ

Одређени број елемената пешчара налази се у фази пилтезивне деградације што угрожава не само естетске вредности већ и интегритет целине споменика.

У споменик (улазни портал) уграђено је 459 видљивих блокова (сл. 3); 94 елемента су јако оштећени (20, 5%), 136 елемената су мало и умерено оштећени (29,6%) и 229 елемената спада у групу без видљивих оштећења (49,9 %). Мало и умерено оштећени елементи имају ситне прслине обично по правцима ламинације. Јако оштећени елементи су плочасто-љуспасто, комадасто и љуспасто-зрнасто распаднути (сл. 4, 5, 6). Дубока разградња се посебно јавља на блоковима где је примарна површина разорепа па је нова захваћена љуспасто-зрнастим распадањем (сл. 6). У ову групу спадају и оштећења где се на први поглед не виде знаци физичке разградње, али перкутирањем је утврђено да се слојевито-плочасти део одвојио од целине блока и да је само пглање времена када ће отпасти са њега. Појединачни блокови пешчара су јако оштећени па ће бити потребно да се замене новим елементима.



Сл. 3. Скица споменика са различитим степеном оштећења блокова. а) ЈИ страна споменика. б) СЗ страна споменика. Легенда: 1. Неоштећени блокови; 2. Мало и умерено оштећени блокови; 3. Јако оштећени блокови.

Fig. 3. Sketch of the Monument with different damage degree of blocks. а) South-east side of the Monument. б) North-west side of the Monument. Legend: 1. Undamaged blocks; 2. Less damaged blocks; 3. More damaged blocks.

Начин резања пешчара утиче на облике физичке разградње блокова. На елементима клесаним управно на слојевитост присутне су пукотине паралелно површи слојевитости. Насупрот томе код блокова са површином резаном паралелно слојевитости "слојевита" разградња је изразитија при чему се одвајање плочастих комада врши са целе или делова површине блока (сл. 4).



Сл. 4. Плочасто-љуспасто распадање пешчара паралелно слојевитости.
Fig. 4. Exfoliation of sandstone parallel to layering.



Сл. 5. Комадасто распадање блокова.
Fig. 5. Cracking of blocks.



Сл. 6. Љуспасто-зрнасто распадање.
Fig. 6. Flaking and granular disaggregation.



Сл. 7. "Тамна кора" настала таложењем чврстих честица из атмосфере. Ефлоресценција дуж спојница блокова.
Fig. 7. "Dark crust" caused by atmospheric pollution. Efflorescences along the mortar joints.

Потребно је истаћи да површинска обрада блока назубљеним чекићем такође негативно утиче на отпорност камена. Овај начин обраде ствара пове микропукотине мењајући порозност стене а површина постаје осетљивија на хемијско дејство атмосферерија. Осим тога на тако обрађеној површини знатно лакше се задржавају хемијски активне честице атмосфере које су истовремено добри катализатори за оксидацију SO_2 у H_2SO_4 (Alessandrini et al., 1979; Zehnder, 1979).

На површинама блокова, које су заклоњене од деловања кише, формирају се "црне коре" таложењем чврстих честица из атмосфере (чађ, прашина итд.) и гипса. Клобучање коре и потом њено "перутање" узрокују даље разарање површине камена (сл. 7). "Црне коре" су чест облик распадања камена у урбаним срединама.

Камен је природним процесима патинирао и задобило нову боју. Већина блокова је сивкасте до окерасто-жућкасте боје са мрким и ружичастим тоновима. Пошто је примарна боја пешчара била сива ова промена је последица физичког и хемијског разарања нарочито лимонитизације фино диспергованих Fe -оксида и сулфида.

Карактеристичан облик временског пропадања пешчара је и појава ефлуоресценција (исцветавање соли) констатована дуж спојница блокова. Рендгенском анализом овог материјала констатовано је присуство: халита – NaCl , тенардита – Na_2SO_4 , афтиталита – $\text{K}_2\text{Na}(\text{SO}_4)$ и гипса $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$.

Растворљиве соли су познате као важни агенси физичког разарања камена. Њихово порекло још увек није потпуно разјашњено (Arnold, 1976; Charola and Lewin, 1979). Могу се наћи у камену као његов природни састојак или се могу депоновати из загађене атмосфере у виду аеросолних честица. Малтер, биолошки агенси и влага из тла су такође извори соли. У новије време сматра се да је засољавање уличних површина у зимском периоду такође могући извор соли (Bilbija, 1977).

Халит констатован у спојницама плоча уграђених у плато испред споменика (сл. 8) највероватније је принет са улице у зимским месецима. **Афтиталит и тенардит** из узорака узетих са барелјефа (сл. 9) су вероватно последња растварања малтера коришћеног у току зидања. **Гипс** је констатован у узорку тамне коре са површине блока (сл. 10) и потиче или из малтера којим су спајани блокови или је принет из атмосфере као аеросолна честица. Неповољни ефекти кристализације наведених соли су естетске а у мањем степену деструктивне природе.

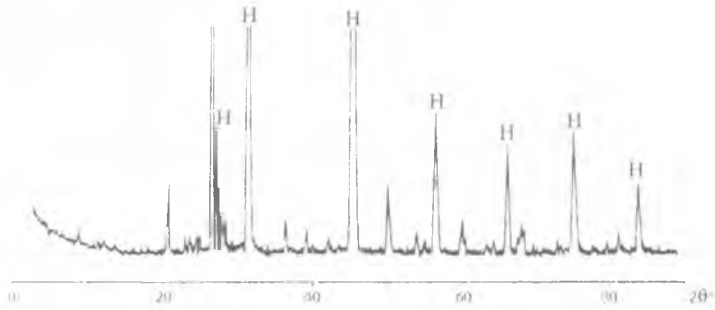
Према томе временске промене (током 42 године од како је камен уграђен у споменик) на елементима су веома јаке због чега је неопходно што пре извршити санацију споменика.

ЗАКЉУЧАК

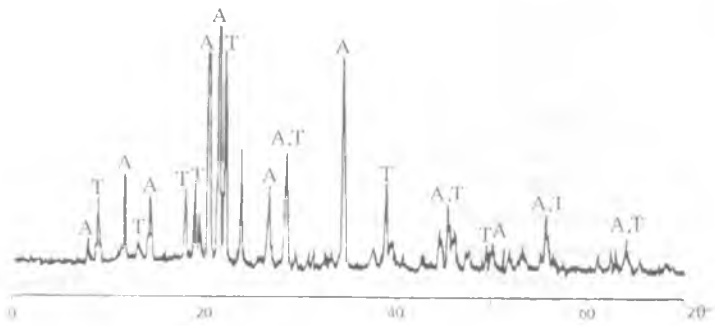
Испитивани пешчар уграђен у споменик "Ослободиоцима Београда 1944." припада групи субаркозних пешчара, али обзиром на ограничени број испитиваних узорака (једна модална анализа) не може се са сигурношћу тврдити да је при грађењу коришћен искључиво пешчар каменолома Осоје.

Физичка својства указују да је пешчар изразито порозан уз умерено упијање воде. С обзиром на карактер пора остаје сумња у његову отпорност према деловању мраза, мада је стандардним тестом мржњења и крављења пешчар (Табела 3) оцењен као постојан што је у нескладу са стањем пешчара у објекту.

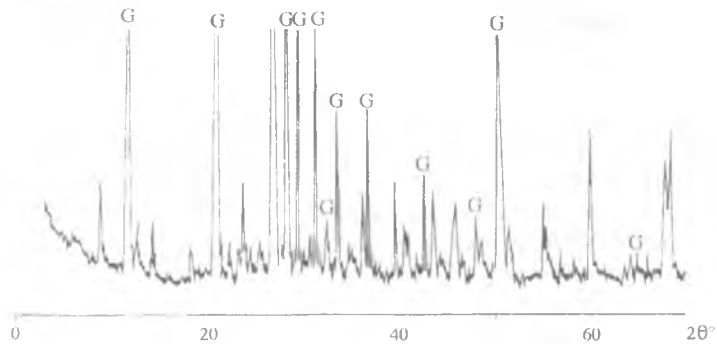
На данашњи изглед и стање површине камених блокова утицали су фактори физичке и хемијске природе: вода, промена температуре, дејство мраза и загађена атмосфера урбане средине.



Сл. 8. Дифрактограм узорка пешчара са плочника испред споменика. Н-халит.
 Fig. 8. Diffractogram of sample of sandstone taken from the platform slabs. H—halite.



Сл. 9. Дифрактограм узорка соли са барелјефа. А-архиталит; Т-тенардит.
 Fig. 9. Diffractogram of salts from bas-reliefs. A—arhtitalite; T—tenardite.



Сл. 10. Дифрактограм узорка "тамне коре". G-гипс.
 Fig. 10. Diffractogram of sample of "dark-crust". G—gypsum.

Према резултатима испитивања главни разлог физичке разградње је деловање мрза и воде. Како је на главном порталу око 20 % елемената у јакој физичкој разградњи, угрожен је не само изглед споменика као целине већ и интегритет знатног дела конструктивних елемената. Узроци распадања (деловање кише и мрза) се на жалост не могу елиминисати, али се деградација може знатно успорити.

Да би се обавила санација споменика потребно је извршити чишћење, затим консолидацију, површинску заштиту и реконструкцију. Ради успешности ових поступака неопходно је непрекидно одржавање споменика.

Експерименти заштите на бази силикона и полимера су извршени у циљу смањења штетног деловања воде, тј. да би се постигла хидрофобност камена који је по природи хидрофилан. Поступак је изведен PIPE методом, тј. мерењем количине апсорбоване воде под ниским притиском на одређеној површини порозног материјала за одређено време (Табела 4).

Време (time) (min)	Запремина апсорбоване воде (Volume of absorbed water) cm ³
5	0.2
10	0.3
15	0.35
30	0.4
60	0.5
24 h	2.9

Табела 4. Апсорпција воде.
Table 4. Absorption of water.

Затим се приступило третману површина узорака средствима на бази силикона (Prevosil специјал. Rain stop) и полимера у органском растварачу (Ever clean). Ова средства спречавају продирање воде у унутрашњост пора и тиме неповољно деловање мрза, омогућавајући истовремено "писање" камена (Ever Clean поред водоодбојности не дозвољава пенетрације уља у унутрашњост камена). Та средства штите га и од ултравиолетног зрачења, спречавају деколорацију и ефлуоресценцију и развој пљивака (микрофлоре) које својом активношћу утичу на разградњу, нису филмогена и не спречавају дифузно кретање водене паре.

Резултати мерења у сва три експеримента су показали да се пиво воде у року од 1^h није спустило ни за 1 mm³ што указује да су заштитна водоодбојна средства обавила своју функцију тј. да су третиране површине постале хидрофобне.

Испитивања показују да уграђени пешчар није постојан на дејство воде и мрза и да се успешно може заштити хемијским водоодбојним средствима.

Код оваквих типова пешчара ипак најбољи начин за оцену временске трајности је испитивање понашања и стања камена на отвореним изданцима, тј. пре почетка његове експлоатације, а затим њихово поређење са резултатима добијеним испитивањем уграђених елемената у старе објекте.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Geol. Penins. Balk.	61	1	389-406	Београд, децембар 1997 Belgrade, Decembre 1997
--------------------------------------------------	----	---	---------	---------------------------------------------------

UDC 719:725.94:552.513

Original scientific paper

CAUSES OF DECAY AND PROTECTION PROPOSALS OF THE SANDSTONE OF THE MONUMENT "OSLOBODIOCIMA BEOGRADA 1944."

by

Vesna Matović^{*}, Nenad Bilbija^{**} and Branko Ivović^{***}

The detail investigation of block's state and their destruction degree were made in the aim to establish the causes of the sandstone decay that built the Monument "Oslobodiocima Beograda 1944.". The different types of the damage and proposed protection against weathering are presented in this paper.

Key words: sandstone, physical properties, decay, absorption, protection.

INTRODUCTION

The Monument "Oslobodiocima Beograda 1944" is located on the corner of the Ruzveltova and Preradovićevea street. It was opened on 20. of Oct. 1954 and represents the first memorial complex that was built in Belgrade after second World War.

According to the project of arch. Bon (1953) the long entrance represents the monumental portal of straight lines constructed of the stones with bas-reliefs. The main portal (41 m in length and 5 m in height) consists of five entrances and of lateral lower walls with bas-reliefs. The portal is build of the block's sandstone from the quarry Osoje near Ljig while bas-reliefs are of Brac marble (Stanković, sculptor). The platforms and steps in front of the Monument are flagged of sandstone's tiles. The portal consists of 459 visible sandstone blocks which are different in size. The constructors did not take into account the way of putting during the building. This way of construction caused the underlying surfaces parallel or normal to a surface layering. The style of construction and rustic work by the bushhammer caused the different kinds of the destruction.

Interior part of the Monument complex (park) is well maintained. The main portal with bas-reliefs is weathered and it is causing the degradation of blocks and "moving" in construction.

^{*} Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Džušina 7, Belgrade.

^{**} Tome Rosandića 42, 11000 Belgrade.

^{***} Ohridska 7, 11080 Zemun.

If van the Monument can not be protected from weathering, some way of the treatments of conservation and constant maintenance can slow down the degradation processes. In the aim protection sandstone from the influence of water and frost the treatment of chemical protection was made.

METHODS OF INVESTIGATIONS

The petrographical, chemical and technical investigations were carried out for determination the decay causes of the building stones of the Monument.

The physical characteristics (density, bulk density, degree of density, absolute and relative porosity, water absorption) were determined in accordance to a valid YU standards (JUS B.B8.032, JUS B.B8.010). Pore size distribution of the stones were determined by means of the mercury pressure porosimeter.

The samples of sandstone, salt from bas-reliefs and "dark crust" from surfaces of blocks were analysed by X-ray diffraction (Philips PW 1710-copper anticathode).

The treatment of chemical protection made by different means was based on silicones (Prevosil special, Rain stop)¹ and polymers in organic solvent (Ever Clean)². The effectiveness of these means were examined by the water absorption under the low pressure i.e. PIPE-method.

PETROGRAPHY

The sandstone is brown to gray in colour, partly with pink shade. It is of heterogenous character and it is layered. Some building elements are characterized by internal structures as lamination and convolution (Obradović, 1967; Fig. 1 and 2) and by cracks and fissures parallel to the s-surfaces. Low and high limonitization appear along these surfaces. The appearing of cavity on the some external surfaces of blocks is a consequence of the washing out of the fine grained material (< 0.05 mm). Some of these surfaces are characterized by the flaking.

The building sandstone consists of the clasts of quartz, feldspar, micas and fragments of rocks. Accessories are apatite, zircon, tourmaline and ore minerals (magnetite, Fe-sulfide). The matrix is of sericite-chlorite and the cement is of calcite-siliceous.

Quartz (55.82 vol. %) is angular to subangular and subrounded, 0.1–0.3 mm rarely to 0.8 mm in length. **Feldspars** (17.33 vol. %) are *K-feldspar* (orthoclase, microcline) and *plagioclase*. They are partly sericitized and caolinized. The fresh grains show micoperthitic streak. **Fragments of rocks** (15.42 vol. %) are quartzite's, sericite-chlorite schists, volcanic and granitic rocks. The last two are sericitized. **Micas** (*muscovite*, *biotite*) are deformed and make 5.02 vol.% of rock. Biotite is partly or total chloritized; some flakes are colourless or limonitized. The ore minerals are partly limonitized.

The **matrix** makes 6.39 vol. % of rocks and it is of contact or contact-pore type.

The examined sandstone is subarcoze while according to grain size (0.25–0.5 mm) it belongs to medium grained type (Pettitjohn, 1975).

¹ **Prevosil special** is mean on base oligosyloxane in organic solvent (White spirit). **Rain stop** is mean on base silicone in organic solvent.

² **Ever clean** is mean on base polymer in organic solvent.

PHYSICAL PROPERTIES

The correlation between physical and mineralogic-petrographical characteristics is base for the determination the decay causes and for the durability estimation of the building stone.

The density, bulk density, degree of density, absolute and relative porosity, water absorption and porosity by Hg-porosimeter were also determinated (Table 1).

The value density is consistent with the density of minerals from the sandstone. From the value of density and bulk density absolute porosity is calculated.

The sandstone of Ljig belongs to the category of hard rocks according to the bulk density value (Bilbija, 1984).

The degree of density is 90.15%.

According to the value of absolute porosity the investigated sandstone is between the porous and high porous rocks (Bilbija, 1984).

The difference between absolute and relative porosity¹ can be explained by pore size and their out of relation.

The porosity was also determinated by means of mercury pressure porosimeter. In the same way the size and the volume of pores were determinated. According to the size many pores of the sandstone belong to the category of capillary pores (size 1-10 μm). The height and climbing speed of water in the sandstone was determinated using the prismatic bodies. The samples were immerse in water during 96 h. After that time the climbing of water stoped. The height of capillary climbing was 4 cm. The presence of capillary pores, which can take and keep-in water imperils the durability of sandstone and increases the danger from the adversely influence of frost. Laboratory test of frost-thaw was not done. The difference between the values of absolute porosity and porosity determined by Hg-porosimetar can be explained by small number of samples.

According to the value of the water absorption this sandstone belongs to those with notably water absorption (Bilbija, 1984). The value of the absorbed water is 2.25 mass % and 5.46 vol. %. This sandstone is enough porous to take and keep-in water that will be in wintertime frost and cause decementing of fragments and cracking of stone along surfaces of layering.

The data suggest that the main cause of degradation of the building sandstone was frost.

The laboratory test of frost-thaw was not made. Earlier results show sandstone resistance to the frost. During the period of 42 years one part of building elements show significant hard degradation while the other part looks fresh. This suggest that estimation of weather-durability through laboratory test of frost-thaw is very complicated.

WEATHERING OF THE SANDSTONE

The determined number of highly destructed sandstone blocks imperils the aesthetic feature of Monument as well as the stability of construction.

The visible 495 blocks (Fig. 3) were build in the portal of Monument. The 94 elements are very damaged (20.5%), the 136 are less damaged (29.6%) and the 229 elements are sound. The less damage stones have small cracks parallel to the lamination.

¹ Represents the part of pores filled by water under normal atmospheric pressure

The following kinds of destruction were found on the very damaged blocks: exfoliation, cracking and flaking—granular disaggregation (Figs. 4, 5, 6).

Deep destruction appears on the blocks where the surface—crusts is separated. The new opened surface underwent to flaking and granular disaggregation (Fig. 6). To this group of damages belong also blocks which surface looks sound but percussing on it provides evidence that the undersurface part (parallel to layering) is separated, and it is a matter of time when it will be split.

Some blocks of sandstone are very damaged and they must be replaced with the new ones.

The manner (style) of sandstones cutting gives also rise to degradation. The fractures appear parallel to the layering if the blocks were cut perpendicular to layering. As a consequence of the cutting parallel to layering the exfoliation occurs (Fig. 4).

Damages of sandstone caused by use of bushhammer is quite evident. Bushhammering resulted in an increasing of total porosity due to producing of new microfractures and the surface has been particularly predisposed to the subsequent degrading action (water attack, frost effect, atmospheric pollution) On this surfaces the air pollutions concentrate easily and became good catalyzer for oxidation SO_2 to H_2SO_4 (Alessandrini et al, 1979).

On the blocks surfaces which are not exposure to rain influence "dark crust" are formed. They are composed of gypsum mixed with soot particles. Blistering and peeling off crust causing desintegration of stone surface (Fig. 7). "Black crusts" are typical weathering phenomena on buildings in urban area.

The stone patinated by natural process and got a new colour.

The particular type of deterioration of the stones is the appearances of efflorescences along the mortar joints. The data of X-ray diffraction show the presence of halite (NaCl), thenardite - Na_2SO_4 , aphtitalite - $\text{K}_2\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ and gypsum - $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$.

The soluble salts are known as important agents of weathering of the building stones. Their origin is discussed in many publications (Arnold, 1976; Charola and Lewin, 1979). Salts generated partially from stone itself or produced from air pollution. The mortars, biological agents and moisture from ground are mentioned as possible sources too. The salts from streets in winter time can be a possible source of soluble salts (Bilbija, 1977).

Halite was determined in the sample of crust taken from surface of the platform slabs in front of the Monument (Fig. 8). It is gained from the street in wintertime. **Aphtitalite** and **tenardite** detected in the samples from bas-reliefs (Fig. 9) originate from mortar used in building. **Gypsum** occurs in the sample of "dark-crust" and originates from the mortar or air pollution (Fig. 10).

During the period of 42 years weathering of sandstone is very hard. This suggest that conservation of sandstone is necessary.

CONCLUSION

The investigated sandstone which is build in the Monument "Oslobodiocima Beograda 1944." is classified as subarkoze but due to limited number of samples can not be determined that the building sandstone is only from the quarry Osoje.

Physical properties of this sandstone suggest high porosity with moderate absorption of water. Character of pores makes a doubt about its resistance to the frost. The sandstone is estimated as steady by the standard frost-thaw test (Bilbija and Stanojevic, 1959, Table 3). This is in a disagreement with the state of the sandstone build in the Monument.

The physical and chemical activity of water, temperature exchange, the frost effect and atmospheric pollution in urban area caused present state and look of the sandstone blocks build in the Monument.

The obtained results suggest that the main causes of sandstone decay are water and frost. About 20 % elements are very damaged imperiling the image of the Monuments as well as its construction. Causes of weathering can not be eliminated but the processe of degradation may be slow down in a considerable degree.

The method of sandstone conservation build in the Monument is based on cleaning, consolidation, surface protection and reconstruction. After that the continious maintenance of the monument is necessary.

Experiments of stone impregnation with silicone and polymers are made as a try of sandstone protection from water attack and other physical and chemical influences.

Using the PIPE-method we determined the volume of absorbed water under low pressure on defined surfaces of porous materials for a definite time.

After that, asamples of sandstone were impregnated by silicones (Prevosil special, Rain stop) and by polymer in organic solvent because this means prevent penetration of water inside pores, unfavourable effect of frost, and make possible "breathing" of the stone. After treatment by this means, stone is protected from UV radiation, decoloration, efflorescences and development of microflora which cause degradation of the stone. This means are not filmy and they do not prevent difusely moving of water vapour.

The results of measuring for all three samples show that the level of water in 1 hour did not drop not even for 1 mm. It shows that impregnations means made their function.

Investigation show that building sandstone is not resistente to water and frost influence and that it may be protected by impregnations means.

For such types of sandstones the best way for the durability estimation is actually the investigation of the behaviour and the features at the outcrops, i.e. before their exploitation. Also, it is inportant to compare such data with the results obtained by the study of the built elements in old buildings.

Translated by authors

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Alessandrini G., Peruzzi R., Manganelli Del Fa C., Vannucci S., Tampone G. and Cecchi R., 1979: Investigation on the degradation of stones: VIII - The working effects on the Candoglia marble.- 3rd Internacional Congress on the Deterioration and Preservation of stones, 411-428, Venezia.
- Arnold A., 1976: Behaviour of some soluble salts in stone deterioration.- 2nd International symposium on the deterioration of building stones, 27-36, Athens.
- Bilbija N. i Spasojević J., 1959: Rezultati ispitivanja prirodnog kamena 1957 i 1958 god. Institut za ispitivanje materijala NR Srbije, 12, 24-25, Beograd.

- Bilbija N., 1977: Problemi primene kamena (trajnost kamena). - Zbornik radova Jugoslovenskog simpozijuma o proizvodnji, preradi i primeni arhitektonsko-gradjevinskog kamena u Jugoslaviji i svetu, 40-48. Trogir.
- Bilbija N., 1984: Tehnička petrografija. - Naučna knjiga, 239, Beograd.
- Bon B., 1953: Arhivska dokumentacija Zavoda za zaštitu spomenika, Beograd.
- Charola A. E. and Lewin S. Z., 1979: Examples of stone decay due to salt efflorescence. - 3rd International Congress on the Deterioration and Preservation of stones, 153-165, Venezia.
- Обрадовић Ј. (=Obradović), 1967: Седиментно-петролошка студија флишних седимената Шумадије. Геол. ан. Балк. пол., 33, 333-413, Београд.
- Pettijohn F. J., 1975: Sedimentary rocks. New York.
- Stanković R., 1953: Arhivska dokumentacija Zavoda za zaštitu spomenika, Beograd.
- Zehnder K., 1979: Weathering of molasse Sandstones on monuments and Natural outcrops. - 3rd International Congress on the Deterioration and Preservation of stones, 91-107, Venezia.