

Љубинко Дражићевић  
Михаило Ршумовић

## ПРИМЕНА ПОЛИМЕРА У РЕСТАУРАЦИЈИ КАМЕНИХ ПОВРШИНА И ИЗРАДИ НОВИХ УМЕТНИЧКИХ ДЕЛА

### *Апстракт*

Приказани су резултати утицаја бутадиен-стиролног латекса на својства портланд-цемента и цементних малтера. Утврђено је да се својства портланд-цемента и цементних малтера у значајној мери побољшавају додатком овога полимера. Та побољшана својства нарочито се манифестују код постојаности у води, отпорности на дејство мрза, чврстоћама на притисак и савијање, адхезији, где додаток овога полимера побољшава наведена својства код очврселих малтера и бетона. У раду су приказане композиције које су коришћене за консолидацију и рестаурацију мермерних плоча којима је обложена фасада храма св. Ђорђа (Задужбина краља Петра I Карађорђевића) на Опленцу: санација пукогине, плумбирање оштећених површина камена, рестаурација недостајућих делова мермера и др.

Наведена својства су искоришћена и за израду нових уметничких дела, па је 1992. године извршено ливење мозаика за иконостас цркве манастира Жича. Два мозаика: Богородица са Христом дечаком (170x129 цм) и Христос (170x129 цм), рад академика Младена Србиновића изливени су са мешавинама цемента и песка и цемента и перлита, а за побољшање својстава ових мешавина коришћен је бутадиенстиролни латекс.

### *Увод*

Заштита споменика културе је сложен и одговоран задатак који се не састоји само од чишћења, консолидације и рестаурације, већ подразумева и мере да се смање, па чак и спрече, њихова будућа оштећења или пропадања под ути-

цајем штетних фактора. Зависно од материјала од којег је споменик саграђен, затим његовог стања и штетних чинилаца који га угрожавају, бирају се методе и средства заштите.

Код средстава и материјала употребљених за рестаурацију значајна су њихова својства и утицај који врше на материјал од којег је споменик саграђен. Овој групи захтева морају се додати они у погледу квалитета и степена чистоће материјала који се користи за рестаурацију. Осим тога, морају се идентификовати и штетни чиниоци који се налазе у ваздуху и утврдити узроци њихове појаве. Ови штетни чиниоци, по правилу, изазивају механичке, физичке и физичко-хемијске промене на материјалу од којег је изграђен културно-историјски споменик.

Деловање већине штетних састојака одвија се у присуству влаге, што упућује на закључак да је вода један од најопаснијих узрочника оштећења свих споменика културе, а нарочито зидног сликарства. Такође, мора се подробно утврдити и присуство штетних соли и у споменику који се рестаурира и у материјалима који се користе за рестаурацију, а нарочито присуство растворљивих хлорида, сулфата, нитрата, натријума и калцијума, јер присуство ових соли, временом, омогућује формирање већих кристала који деструктивно делују на структуру материјала од којег је споменик изграђен. Детаљно се мора утврдити врста и степен оштећења појединих делова објекта, јер свака врста оштећења захтева и примену материјала одређених својстава.

Србија је земља пребогатог културног наслеђа. Махом су то споменици културе, али су они за нашу свест веома драгоцени, јер је мало народа који се у својој дуговечној и слојевитој прошлости могу подичити оваквим обиљем цивилизацијских

сведочанстава. Један од таквих је и црква св. Ђорђа на Опленцу са капелом св. Петра у крипти, који је маузолеј краљевске династије Карађорђевића и најсјајнији је драгуљ споменичког комплекса Задужбине краља Петра I Карађорђевића. Градња храма трајала је више од 25 година, од 1907. год. када је положен камен темељац, до јула 1934. године када је освештена. У унутрашњости цркве, на око 3750 м<sup>2</sup> у мозаику су приказани врхунски домети српског средњовековног градитељства и сликарства. Са спољне стране, храм св. Ђорђа је обложен плочама од венчачког мермера.

### 1.0. Узроци оштећења на храму Св. Ђорђа на Опленцу

Пре почетка реставрационских радова на храму св. Ђорђа на Опленцу утврђено је стање објекта и одређена врста и степен оштећења сваког његовог дела: тротоара око цркве, ступница, мермерних квадера и плоча којима је обложена црква, спојница, орнамената и розета на фасади и куполама. Материјали одабрани за реставрацију ових оштећења су експериментално проверени у лабораторији Института за путеве у Београду у погледу хемијских и физичко-хемијских својстава: отпорност на влагу, воду, мраз, аерозагађења и чврстоће на притисак и савијање.

Није утврђено распадање, ерозија и лупање приземних мермерних квадера, али су спојнице доста оштећене, па би утицај разорених спојница на стабилност мермерних квадера, временом, изазвао њихову лабавост, продор кишнице и раст вегетације чиме би била и умањена отпорност материјала (мермера) на дејство мрза. Дакле, услед некавалитетних спојница распадање приземних мермерних квадера може бити убрзано независно од њиховог садашњег стања. Због тога се вертикалне спојнице на мермерним квадерима морају реставрирати материјалом повећане отпорности на дејство мрза и који је водонепропустан.

Фасада храма св. Ђорђа је умерено заправљана па је треба очистити из естетских разлога. На неким местима, нарочито испод венаца, прљавштина покрива боју природног камена. Чишћење мермерне фасаде храма св. Ђорђа мора се вршити опрезно, а као метод чишћења препоручујемо мокро пескарење са песком ситне грануларације.

Изнад главног улаза налази се широко орнаментално поље. У полукружној лунети изнад портала постављен је мозаик Паје Јовановића, са представом патрона цркве св. Ђорђа како убија аждају. Изнад мозаика простира се поље крстова уокриврено траком преплета, а у средишту овога поља је у овалу дубоко рељефни грб дома Карађорђевића, који је делимично оштећен. Оштећења се нарочито манифестују у облику пукотина,

недостају рељефна испунчења орнамената, а поједини делови, услед механичких утицаја и растворљивих соли, налазе се у трошном стању па су као такви подложни деградацији. И ови делови се морају реставрирати са материјалима одговарајућих физичко-механичких својстава, где се за сваку врсту и степен оштећења предвиђа материјал различитог састава и својстава.

Цела црква по свом обиму опасана је са три венца дужине по 114 м. На спојевима венаца са фасадом од мермерних блокова (у доњем делу) и мермерним плочама (у горњим деловима) констатовано је да постоје отвори кроз које, у случају киша и других падавина, пролази вода, кваси фасаду и задржава се на деловима фасаде испод венаца дужи период времена. Услед тога, долази до стварања непропустиве калцијум-сулфатне покориче на којој се временом јавља љушћење површина. Хемијским испитивањем црних и мрких флека испод венаца фасаде утврђено је присуство калцијум-сулфата који се у овом случају кретао између 75-92%. Ове проблеме могуће је решити затварањем спојева између венаца и мермерне фасаде са одговарајућим врстама материјала при чему се инсистира на материјалима који су непропустиви за воду и поседују високу вредност адхезије за подлогу од мермера.

На мермерним блоковима до првог венаца утврђено је присуство оштећења „кратерастог” облика, пукотине ширине до 4 мм, а на неким блоковима недостају делови мермера. Исте врсте оштећења идентификоване су и на мермерним плочама којима је обложена фасада цркве, тако да се за реставрацију мермерних блокова и плоча могу користити исти састави материјала прилагођени врсти и степену оштећења.

Неке плоче, морају да се консолидују за малтерску подлогу, јер су се током времена, услед дејства влаге и мрза, одвојиле од старе подлоге.

На врху фасаде, која је оивичена венцем украшеним орнаментима различитих облика, примећена су значајна оштећења механичке природе, а црна покорица указује на повећано присуство влаге која је са смогом проузроковала сулфатну покоричу сличну оној на фасади испод венаца. Ова оштећења се манифестују у облику пукотина ширине 2,0-5,0 мм, затим недостајућих делова, а неки делови орнамента су подклобучени уз могућност да временом отпадне.

Са предње стране храма, на највишем делу фасаде, налази се крст од белог мермера висине 1,0 м и ширине 0,60 м богато украшен орнаментиком. На крају су идентификована оштећења механичке природе, а у доњем делу уочено је повећано присуство влаге која проузрокује раст микроорганизама (алги), затим неколико оштећења „кратерастог” облика, а на неким деловима орнамента крста примећени су трошни делови мермера који

могу бити последица дејства воде, која садржи растворене састојке ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) на мермер.

На фасади цркве налази се 11 розети које су оивичене украсном керамиком и испуњене плетерима од мермера различитих облика. На свим розетама уочена су значајна оштећења украсне керамике (цветова) која се манифестују као недостајући делови, „кратераста” оштећења и пукотине ширине до 5,0 мм.

На мермерним плетерима постоје оштећења која се манифестују у облику „кратера” (мањих или већих димензија), пукотина ширине 1,0-5,0 мм, а недостају и делови плетера. Избором одговарајућих композита који су компатибилни са украсном керамиком и мермером, ова оштећења је могуће санирати и довести у колористички склад са основним материјалима (керамиком, мермером). Спојнице, које се налазе између делова украсне керамике и украсне керамике и мермерног омотача плетера су оштећене па на тај начин директно утичу на продор влаге у унутрашњост објекта угрожавајући при том уметничко благо храма. Сва ова оштећења се морају санирати, а избор одговарајућих материјала прилагодити основним материјалима, врсти и степену њихових оштећења.

На целој површини фасаде спојнице су оштећене. На неким местима су потпуно испале из лежишта, неке су у таквом стању да и најмањим додиром могу напустити лежиште, а један део је одлепљен са једне или обе стране од мермерних плоча. Због тога долази до продора знатних количина влаге у унутрашњост храма која директно угрожава мозаик. Повећан садржај влаге и воде која пролази кроз оштећене спојнице доводи и до убрзане корозије анкера од гвожђа чиме се слаби њихова носивост, до потпуног распадања и одвајања мермерних плоча од малтерне подлоге и појаве жутих мрља које временом избијају на површину мермерне фасаде и манифестују се у облику „печата” што може да угрози естетски изглед фасаде. Око 10 мермерних плоча је угрожено овим процесима, па се морају консолидовати за подлогу.

При избору материјала за компоновање мешавина за спојнице мора се водити рачуна о својствима мешавина у свежем стању (добра обрада), карактеристикама очврселих (чврстоћа, адхезија, отпорност на дејство мрза), а мешавина мора задовољити и критеријуме естетске природе (колорит, структура).

Изнад кордонског венца, који оивичава доњи део фасаде подигнуто је пет купола, од којих је она средишња највећа. На многим местима купола, плоче су одлепљене од подлоге, многе су поломљене, а неке недостају. Избором одговарајућих врста материјала чија својства морају бити прилагођена врстама и степену оштећења материјала на куполама мора се извршити консолидација одлепљених плоча и поломљених фрагмената.

Спојнице су потпуно уништене, тако да се продор воде у унутрашњост Цркве одвија неометано са свих страна угрожавајући при томе мозаик и објекат као целину. На неким деловима куполе влага је увек присутна што погодује расту микроорганизама нарочито алги и гљивица које се јављају у облику прахова, зелене, црвене и мрке боје или тачака које се шире тако да на површини чине сиво-зелени или мрки баршунасти слој. Реставрацију спојница обавити материјалима који отклањају наведене недостатке, а продор влаге у објекат сводс на најмању меру или потпуно елиминишу.

## 2.0. Избор материјала за реставраторске радове

Као што се из предњег излагања види проблеми које треба решавати у процесу реставраторских радова на храму св.Ђорђа су комплексни и веома сложени. Присутна су оштећења различите врсте и степена на скулптури храма за чије решавање се морају користити мешавине различитог састава и својстава. Услед свега тога избору материјала и саставу мешавина за реставраторске радове мора бити посвећена посебна пажња, јер свака врста и степен оштећења захтева материјал посебних својстава. За добијање композиција одговарајућих својстава одабрани су следећи материјали.

### 2.1. Мермерни агрегати

У групу најчистијих материјала и материјала који су компатибилни са материјалом фасаде цркве св.Ђорђа на Опленцу спада мермерни агрегат који ће бити коришћен за формирање одговарајућих мешавина. Не садржи штетне састојке, а истоветан је саставу мермера од којег су изграђени мермерни квадери и плоче на фасади цркве.

За добијање одговарајућих малтерских мешавина гранулација овог агрегата је битна како би се добила структура малтера која одговара врсти и степену оштећења и структури мермерних плоча. Састави малтерских мешавина биће приказани у делу извештаја о реставраторским радовима.

### 2.2. Кварцни агрегати

За реставраторске радове неких делова објекта као што су спојнице тротоара око цркве, степеништа, затим за компоновање малтерских смеша за консолидацију фасадних мермерних плоча за подлогу коришћен је кварцни агрегат. Овај агрегат је предходно опран водом како би се отклониле нечистоће које омсгају процес хидратације цемента (грудве глине, ситне и лаке честице) и растворљиве соли.

### 2.3. Портланд-цемент

Као везивне компоненте коришћене су две врсте портланд-цемента: бели портланд-цемент из Грчке, и сиви портланд-цемент из беоцинске фабрике цемента.

Карактеристике ових цемената су:

#### 2.3.1. Хемијски састав:

	бели	сиви
влага на 105 °C, %	0,39	0,42
SiO <sub>2</sub> , %	24,40	19,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	4,80	5,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0,12	3,10
CaO, %	57,92	61,20
нерастворни остатак, %	0,55	0,10
губитак жарењем, %	1,47	0,00
везани CO <sub>2</sub> у CaCO <sub>3</sub> , %	2,02	1,90
везани CaO у CaCO <sub>3</sub> , %	1,62	1,55
везани CaO у CaSO <sub>4</sub> , %	2,12	2,00
везани SO <sub>3</sub> у CaSO <sub>4</sub> , %	3,08	2,96
CaS, %	0,00	0,00
MgO, %	0,76	1,60
Na <sub>2</sub> O, %	0,12	0,16
K <sub>2</sub> O, %	0,34	0,02
Слободни CaO, %	0,00	0,14
FeO, %	0,00	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	0,00	0,03
Cl-, %	0,00	0,00
Збир:	99,71%	100,17%

#### 2.3.2. Физичко-механичке карактеристике

	бели	сиви
Финоћа млива изражена као остатак на сити од 0,090 mm отвора окаца, %	1,60	1,08
Специфична површина, cm <sup>2</sup> /g	3680	3780
Густина, g/cm <sup>3</sup>	3,10	3,13
Запреминска маса, kg/m <sup>3</sup>		
у растреситом стању	965	1000
у збијеном стању	1670	1650
Стандардна конзистенција, %	25,20	25,40
Време везивања, мин.		
почетак	85	80
свршетак	120	115
Чврстоћа на савијање, МПа		
после 3 дана	6,20	6,40
после 28 дана	9,35	9,30
Чврстоћа на притисак, МПа		
после 3 дана	25,12	26,14
после 28 дана	48,36	50,10

### 2.4. Хидратисани креч

За припремање мешавине за спојнице коришћен је хидратисани креч из фабрике креча и камена „Јелен До”. Овај производ је под сталном контролом квалитета од стране овлашћених институција и карактерише се својствима која одговарају условима квалитета које прописују одговарајући југословенски стандарди за креч.

#### 2.5. Полимерни додаци

Додавањем полимера неорганским везивним компонентама побољшавају се својства ових компоненти како у влажном тако и у очврслом стању. Углавном се користе водене дисперзије полимера. Коришћењем полимерних суспензија и њиховим додавањем цементу на пример, отпочињу да се одвијају два паралелна процеса: хидратација и полимеризација. Као резултат ових процеса долази до формирања умрежене структуре везивних супстанци коју карактерише полимерна опна која је срасла са површином продуката хидратације цемента. Приликом избора одговарајућих полимера и неорганских везива бира се такав однос који омогућује да се побољшају основна својства полимера и везива. Основни критеријум при избору ових размера је полимер-цементни (п/ц)# однос. Од полимерних додатака најширу примену имају полимерни латекси (бутадиенстиролни) који код нас производи Хемијска индустрија „Први мај” из Чачка под трговачким називом „Полибет” и „Полицем”. „Полибет” се користи са мешама агрегата и цемента, а „лицем” се меша са цементом. Физичко-хемијске карактеристике ових полимера су:

	„Полицем”	„Полибет”
Запреминска маса, g/cm <sup>3</sup>	1,008	1,012
Површински напон, Nm <sup>-1</sup> × 10 <sup>-3</sup>	52,82	68,55
Садржај суве материје, %	55,49	44,59
Растворљивост у води, %	99,50	99,70
Растворљивост у води засићеној кречом, %	99,50	99,70
pH вредност раствора	10,95	8,34
Садржај хлорида изражен као Cl <sup>-</sup> , %	0,058	0,056
Редукционе материје, %	1,000	0,017
Слободни стирен, %	0,001	0,001

Својства портланд-цемента и портланд-цементних малтера побољшавају се додавањем органских полимера. Ово побољшање својстава нарочито се манифестује код постојаности у води, отпорности на дејство мрза, хемијске отпорности, чврстоћама на притисак и савијање, адхезији, хабању, где додаток полимерних латекса портланд-цементу побољшава својства очврслих мешавина.

Наиме, при додатку малих количина органских полимера цементу или смешама цемента и агрегата, упијање воде ових материјала се смањује. До овога долази што органски полимер (бутадиен-стиролни лагекс) ињектира поре које се налазе у портланд цементним малтерима. Количина пора том приликом може бити смањена и до два пута. Вода која продире у полимер-цементне малтере изазива бубрење полимера који се налазе у порама и капиларима. Набубрени полимер густо запуни све поре и тако спречава даљи продор воде. У свим условима полимер-цементни малтери су пропустљиви за ваздух и водену пару.

## 2.6. Минерални додаци

Ради добијања одговарајућих колористичких тонова који одговарају колориту мермерних блокова и плоча којима је обложена Црква св. Ђорђа на Опленцу, морају се користити минералне боје (бела, жута, црвена, црна) у количинама које обезбеђују добијање једног колоричног склада између рестаурираних блокова и материјала коришћених за рестаурацију.

За ове намене одабране су следеће боје:

Ocker hell	Lukas	2431
Ocker hell	Lukas	2423
Kadmilim rot dunkel	Lukas	2474
Rot	Lukas	2454
Rot	Lukas	2474
Eisenoxydschwarz	Lukas	2899
Eisenoxydschwarz	Lukas	2599

Коришћене су за добијање одговарајућих колористичких тонова код различитих састава мешавина.

## 3.0. Рестаурационо-конзерваторски радови на храму Св. Ђорђа

Рестаурационо-конзерваторски радови на храму св. Ђорђа на Опленцу отпочели су маја 1994. године и обухватају отклањање свих недостатака који су утврђени приликом идентификације стања храма. Одмах се приступило санацији спојница на тротоару око цркве, затим запуњавању отвора између зидова цркве и тротоара, изради одводног канала, санацији оштећења и спојница на улазним степеницама, прању фасаде храма и консолидацији мермерних квадера и плоча (спајање фрагмената камена, санација пукотина, рестаурација камена и санација спојница) којима је обложена фасада храма. Хронолошки дајемо опис радова, састава и својстава материјала који су коришћени за рестаурацију мермерних плоча фасаде храма.

### 3.1. Радови на скулптури храма Св. Ђорђа

У овоме делу описаћемо све рестаурационе радове који су обављени на мермерним квадерима, фасади цркве и куполама. Ове радове можемо поделити у две основне групе: чишћење каменних површина и консолидација камена.

#### 3.1.1. Чишћење каменних површина

С обзиром на квалитет мермера којим је обложена фасада храма св. Ђорђа на Опленцу, те степен задржаности те фасаде и састава нечистоћа, за прање је одабран мокри поступак пескарена. Приликом пескарена коришћена је ситна гранулација песка, а пескарена је извођена лагано како би се нечистоће са задржаних површина што ефикасније отклониле, а да при томе не дође до оштећења мермерних плоча или украсних орнамената. После пескарена фасада је опрана чистом водом под притиском од 180 бара и тако, са површине фасаде, уклоњени су остаци прљавштине.

#### 3.1.2. Консолидација камена

После подробних истраживања састава и својстава композиција за санацију камене фасаде храма св. Ђорђа одабрана је читава лепеза материјала који се могу користити за консолидацију камена: за пукотине, недостајуће делове, пломбе, спојнице и др.

Како се ради о оштећењима различите врсте и степена, то ће свака врста ових оштећења захтевати и примену композита различитих састава и својстава. Одабрани композити морају задовољити одређене квалитативне карактеристике од којих су најважније:

- \* мешавина која се користи за консолидационе радове мора бити компатибилна са основним материјалом и не сме да угрози парадифузиони ток који постоји између унутрашњости објекта и спољне околине;

- \* коришћењем нових мешавина не сме се нарушити архитектонски изглед објекта који су дали градитељи у прошлости;

- \* мешавине морају поседовати добру могућност обраде;

- \* очврсли композити морају поседовати високе вредности чврстоћа на савијање, притисак и адхезију за основни материјал, затим високу отпорност на влагу, мраз и аерозагађења.

Овим захтевима у погледу квалитета припадају се и они који се односе на колорит и структуру, како би се постигао колористички и структурни склад са основним материјалом.

Ради побољшања пластичних својстава свежих мешавина и карактеристика очврсlih,



Сл. 1. Предња сцѐрана крѐсла на храму св. Ђорђа пре и после рестаурације

користиће се наведени полимери у оптималним количинама.

### 3.1.2.1. Санација љукоџина

Екстремни климатски услови изазивају замор материјала и доводе до појава пукотина веће или мање ширине. Пукотине ширине веће од 5 мм указују на знатно поремећену носиву функцију зидних конструкција и угрожену стабилност објекта. Пукотине се могу санирати премоштењем или попуњавањем и тако елиминисати штетни ефекти које оне изазивају на материјалу и конструкцији.

#### а) Премоштење љукоџина

За премоштење пукотина на мермерним блоковима и плочама фасаде на храму св. Ђорђа коришћен је бели порцланд цемент модификован бутадienstиrolним латексом. За добијање светлосивих, сивих, окер, црвенкастих и др. тонова мешавине белог порцланд-цементa и бутадienstиrolног латекса додаване су одговарајуће минералне боје (Lukas).

Састав овога композита је:

бутадienstиrolни латекс (40% раствор)	33,33%
бели порцланд цемент	66,67%

Својства композита су:

Чврстоћа после 28 дана, МПа	
на савијање	10,00
на притисак	40,50
Чврстоћа после 56 дана, МПа	
на савијање	12,10
на притисак	44,70
Адхезија после 28 дана, МПа	

за мермерни блок	2,73
за челик	1,68
Водонепропусљивост	V-12
Отпорност на дејство мрза	>150 циклуса.

Као што се види ова врста полимер-цементa одликује се високим вредностима чврстоћа на притисак и савијање, адхезију за мермер и челик, водонепропусљивошћу и отпорношћу на дејство мрза, што га сврстава у ред веома квалитетних материјала, па је као такав коришћен за попуњавање пукотина премоштењем. На сл.1. приказан је карактеристичан пример премоштења пукотина и остварени ефекти применом овога композита.

#### б) Попуњавање љукоџина

За попуњавање пукотина биране су мешавине чији састав и својства, осим основних (компатибилност, дифузија, изглед) испуњавају и следеће услове:

- \* да агрегат буде прилагођен врсти каменог блока, а гранулација дубини и ширини пукотине;
- \* да садржај растворљивих соли у мешавини буде што нижи;
- \* да се одабере поступак попуњавања који штетне утицаје растворљивих соли чини безопасним;
- \* да свежа мешавина обавезно поседује добру обраду и да се обезбеди добијање компактне испуне;
- \* да се обезбеди добијање колорита мешавине који одговара боји камена и да завршна обрада обавезно обезбеди структурни склад између панетог слоја и површине мермера.

Да би се штетни утицаји растворљивих соли из мешавине свели на најмању меру, или потпуно елиминисали пукотине су попуњаване до

1 мм од висине блока. Затим је сачекано дан-два да мешавина очврсне. Са мешавином бутадиенстиролног латекса, белог портланд-цементга („Полицем“) и одговарајућим минералним бојама попуњен је остатак, али тако да нанети слој буде „старији“ од површине камена за 0,5-1 мм. На крају, ручним полирањем, усклађена је структура напете површине са структуром постојећег камена. За компоновање мешавина коришћен је бели портланд-цемент и мермерни агрегат гранулације до 1 мм у запреминском односу 1:2, а додато је и 10% „Полибета“ рачунато на тежину цемента. Карактеристике полимер-цементног малтера којим је вршено попуњавање пукотина су:

Чврстоћа после 7 дана, МРа	
на савијање	5,90
на притисак	19,60
Чврстоћа после 28 дана, МРа	
на савијање	6,83
на притисак	40,20
Адхезија после 28 дана, МРа	
за подлогу од мермера	1,86
за подлогу од опеке	1,23

На сл. 2 приказано је стање мермерног блока у подножју крста храма св. Ђорђа пре и после обављених радова према описаном поступку.



### 3.1.2.2. Реституација камена

При реституацији површина камена на фасади храма св. Ђорђа обухваћене су три врсте проблема:

- \* „кратераста“ оштећења каменних блокова, чија реституација претпоставља пломбирање ових оштећења;
- \* попуњавање недостајућих делова површина камена, и
- \* реституација спојница.

#### а) Пломбирање оштећених површина камена

За реституацију „кратерастих“ оштећења дубине до 5,0 мм коришћен је полимер — цементни малтер код којег је гранулација мермерног агрегата износила до 1,0 и 2,0 мм што је зависило од дубине „кратера“. Пломбирање површинских оштећења овим материјалом вршено је до нивоа нижег за око 0,5 мм од површине мермерног блока. После неколико дана изведена је завршна обрада са „Полицемом“ (течна: прашикаста = 1:2) али тако да је нанети слој за око 0,5 мм „старији“ од површине камена. Овај слој је колористички усклађен са површином камена, а брушењем и полирањем (ручна обрада) обе површине (стара и нова) су доведене у структурни склад.

На сл.3. приказано је стање оштећених површина мермерних плоча на фасади и украсним

Сл. 2. Мермерни блок — подножје крста — храм св. Ђорђа пре и после реституације





Сл. 3. „Крайберасіа” оштећења на мермерној плочи – храм св. Борђа пре и после реставрације

деловима розета, пре и после обављених радова према описаном поступку.

*б) Реставрација недостајућих делова*

При реставрацији недостајућих делова избор материјала зависио је од величине оштећења и њихове дубине, па је:

\* за реставрацију мермерних блокова чија се оштећења крећу до дубине 5-15 мм коришћен је полимер — цементни малтер, где се гранулација мермерног агрегата креће до 2,0 мм;

\* за реставрацију мермерних блокова чија су оштећења већа од 15 мм дубине коришћен је полимер — цементни малтер где се гранулација мермерног агрегата креће до 4 мм.

За пломбирање оштећених површина камена и реставрацију недостајућих делова на појединим елементима мермерних плоча, блокова, делова орнамента коришћени су различити састави материјала прилагођени врсти и степену оштећења појединих фрагмената и то тако што је бирана одговарајућа гранулација мермерног агрегата, а затим је у зависности од гранулације, утврђен однос цемента и мермерног агрегата. Када је коришћен ситнији агрегат (до 1,0 мм) масени однос цемента и агрегата износио је 1:2, код крупнијег (2,0 мм) овај однос износио је 1:2,5, а када је коришћен агрегат 0,0-4,0 мм однос цемента и агрегата износио је 1:3. У свим случајевима мешавини цемента и агрегата додавано је 10% бутадienstиrolног латекса („По-

либет”) рачунато на масу цемента ради побољнавања својстава полимер-цементних малтера (отпорност на дејство мраза, адхезија). Карактеристике мешавина које су коришћене за пломбирање и реставрацију су:

	01	02	04
Чврстоћа после 7 дана, МРа			
на савијање	10,36	11,12	10,13
на притисак	30,38	33,80	34,12
Чврстоћа после 28 дана, МРа			
на савијање	14,10	12,70	13,15
на притисак	35,14	39,16	40,10
Адхезија после 28 дана, МРа за блок од мермера	2,15	2,20	2,27
Отпорност на дејство мраза, циклуса	>100	>100	>100

Наведеним врстама полимер-цементних малтера извршен је велики број реставрација недостајућих делова од којих на сл.4 и 5 приказујемо примерке камена и опеке.

За реставрацију керамичких елемената уместо мермерног агрегата коришћен је агрегат од дробљене цигле гранулације 0,0-4,0 мм, а однос цемента и керамичког агрегата износио је 1:4. И овом приликом мешавини цемента и керамичког материјала додаван је „Полибет” (10% рачунато на тежину цемента) и црвена минерална боја ради добијања одговарајућих колористичких пијанси.



*в) Санација спојница*

Пре рестаурације спојнице су очишћене до дубине 20-40 мм, уклоњена је прашина и наклашене водом, како би се спречило брзо отпуштање воде из свежје мешавине и обезбедила квалитетнија прионљивост смеће приликом фуговања. Као агрегат за добијање мешавине за фуговање коришћен је дробљени мермер чија је гранулација зависила од ширине и дубине спојница. За добијање одговарајућих колористичких тонова коришћене су минералне боје у количинама које су потребне за добијање одговарајућег колорита. Мешавинама агрегата и везива додаван је „Полибет“ (10% рачунато на тежину везива). Користећи усвојене принципе за спојнице су коришћене мешавине:

1) За мермерне квадере

Вертикалне спојнице на мермериим квадратима су рестауриране мешавином бугадиенстиролног латекса и белог цемента у односу 1:2,5 („Полицем“), а затим су пресвучене премазом од истих компоненти, где је однос латекса и цемента износио 1:1,8 масе. На овај начин обезбеђена је водонепропустљивост спојница, висока отпорност на дејство мрза и остварена изванредна адхезија за подлогу (мермер).

2) За фасаду цркве

За попуњавање спојница на фасади храма св. Ђорђа коришћен је следећи састав мешавине мермерног агрегата, белог цемента и хидратисаног креча:

Хидратисани креч	8,33%
Бели портланд-цемент	16,67%
Мермерни агрегат одговарајуће гранулације	75%

Овој мешавини је додаван „Полибет“ (око 10%) рачунато на тежину везива (цемент + креч). У зависности од ширине спојница и њихове дубине бирана је величина зрна мермерног агрегата која се у овоме случају кретала до 2,0 мм. Мешавини је додавана црна боја (Lukas) ради добијања одговарајућег колорита.

Својства ове мешавине су:

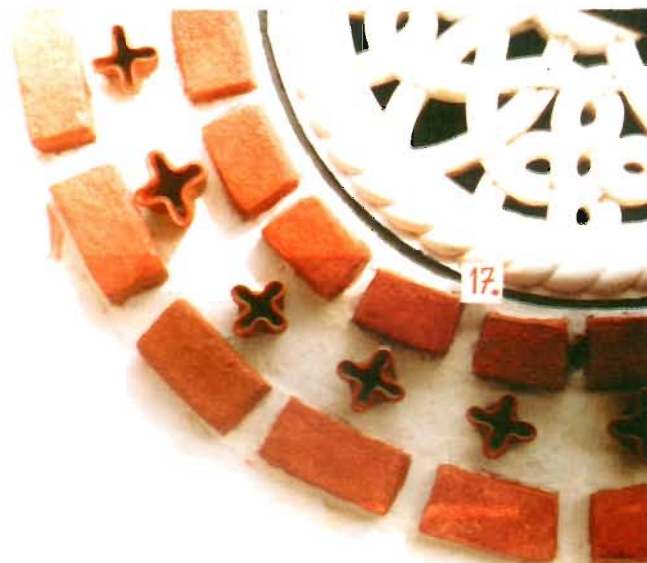
Чврстоћа после 7 дана, МПа	
на савијање	3,15
на притисак	9,61
Чврстоћа после 28 дана, МПа	
на савијање	4,86
на притисак	21,15
Адхезија после 28 дана, МПа	
за подлогу од мермера	1,06
Отпорност на дејство мрза,	>50 циклуса.

*3.1.2.3. Спајање фрагмената мермера*

За спајање фрагмената (елемената) мермера у једну целину и њихово фиксирање за хоризонталне или вертикалне површине коришћени су композити који поседују својства слична својстви-

Сл. 4. Део на орнаменту изнад улаза - храм св. Ђорђа пре и после рестаурације





Сл. 5. Плетер – храм св. Ђорђа пре и после реставрације

ма мермера. Бели или сиви портланд-цемент модификован бутадиенстиролним латекстом представља везиво изванредних својстава чије су основне карактеристике приказане у одељку 3.1.2.1. под а). Бутадиенстиролни латекс (компонента А) је мешана са портланд-цементом (компонента Б) све док није добијена конзистенција слична конзистенцији свежег багремовог меда.

На припремљене површине (очишћене и навлажене) фрагментата мермера, на површинама предвиђеним за спајање, наносен је слој наведене мешавине дебљине 1-2 мм. Фрагменти мермера су чврсто фиксирани један уз други и овако спојени остављени да одлеже 3-5 дана. Један сат након спајања, са површина које су спојене, одстрањен је вишак материјала који је папустио спојеве и почео да очвршћава. За добијање колорита панетог слоја хомогеног са колоритом фрагмената, мешавини бутадиенстиролног латекса и белог портланд цемента додаване су одговарајуће минералне боје у количинама које обезбеђују потребан колорит.

Користећи наведени материјал и описан поступак консолидован је велики број камених површина а на сл.6 и 7 приказујемо карактеристичне примере.

#### 4.0. Примена полимера у изради нових уметничких дела

На основу извршених истраживања одабране су композиције полимер-цементних малтера који обезбеђују добру адхезиону везу између плочица мозаика и очврслих полимер-малтера, па као такве

омогућују добијање нових уметничких дела израђених у мозаику, који су за око 2,5 пута лакши од мозаика ливених на класичан начин.

Два мозаика: Богородица са Христом дечаком (170x129 цм) и Христос (170x129 цм) рад сликара Младена Србиновића, намењених за иконостас цркве манастира Жича, изливени су 1992. године са мешавинама цемента и песка и цемента и перлита, а за побољшавање својстава ових мешавина коришћен је бутадиенстиролни латекс („Полибег“).

У том циљу поступак ливења био је изведен у неколико слојева:

- \* први слој мешавине, поседовао је повећане вредности адхезије како би се обезбедила што јача приошљивост плочица мозаика и фиксирала арматура;

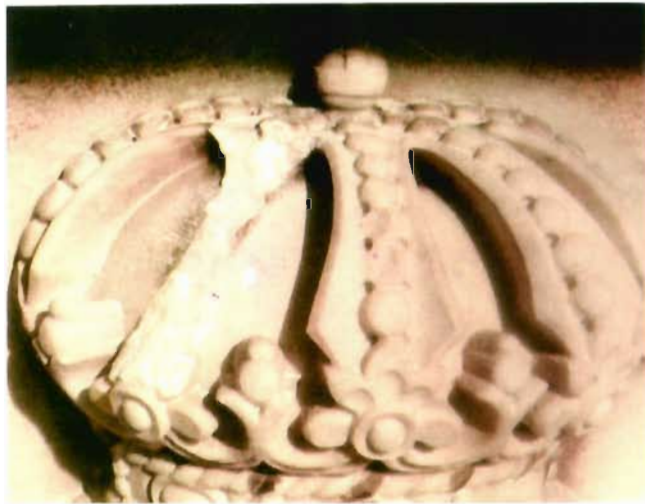
- \* други слој мешавине, служи као испуна, лаган је, али обезбеђује добру стабилност мозаика као целине, и

- \* трећи слој мешавине, има задатак да побољша отпорност на влагу и смањи пенетрацију јона (хлорида, сулфата, нитрата и других штетних материјала) у унутрашњост композита.

#### 4.1. Састав и карактеристике малтера за први слој

Највише вредности адхезије показао је полимер—цементни малтер следећег састава:

Кварцини песак, гранулације 0,0-2,0 mm	50%,
Портланд-цемент РС 45	50%,



Сл. 6. Консолидована мермерна круна на грбу дома Карађорђевића пре и после реститурације

Сл. 7. Консолидовани фрагменти постоља крета – храм св. Ђорђа пре и после реститурације



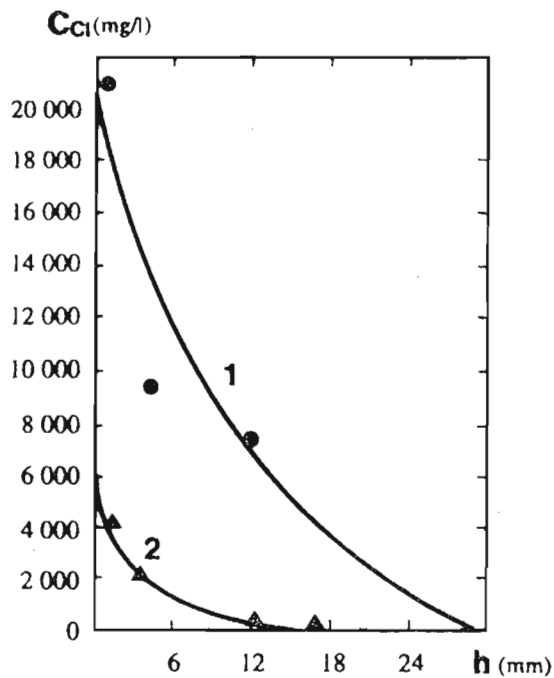
Полимер - „Полибет” 20% (рачунато на тежину цемента) р/с однос вода до потребне конзистенције. 0,08,

Адхезија после 28 дана, МРа  
 за постољу од мермера 2,09  
 за постољу од мозаика 1,84

Својства овога композита су:  
 Чврстоћа после 3 дана, МРа  
   на савијање 7,62  
   на притисак 20,40  
 Чврстоћа после 28 дана, МРа  
   на савијање 9,76  
   на притисак 41,12

4.2. Састав и карактеристике малтера за други слој

Као што је напоменуто, други слој служи као испуна, према томе, мора бити лаган и поседовати добру приоњљивост за први слој, а његова



Сл. 8. Дијаграм пенетрације јона хлорида: 1) кроз обичан бетон, 2) кроз композициј модификован полимером

чврстоћа на притисак кретала би се између 3,5-5,0 МПа. Ова својства полимером модификованог перлит-малтера добијена су за композит следећег састава: перлит, гранулације 0,0-2,0 мм 2 запремине, портланд-цемент РС 45 1 запремина, полимер „Полибет” 0,18 запремина.

Својства перлит-малтера предњег састава су:

Чврстоћа после 7 дана, МПа	
на савијање	0,80
на притисак	2,65
Чврстоћа после 28 дана, МПа	
на савијање	1,50
на притисак	4,80
Адхезија после 28 дана, МПа	
за подлогу од бетона	0,60
Запреminsка маса перлит-малтера, kg/m <sup>3</sup>	620.

#### 4.3. Састав и карактеристике малтера за завршну обраду

За заштиту перлитно-малтерске површине мозаика (други слој) од штетног утицаја састојака атмосфере (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Cl<sup>-</sup> и др.) коришћен је полимер-цементни премаз следећег састава:

портланд-цемент РС 45	66,67%
-----------------------	--------

бутадиенстиролни латекс „Полицем” 33,33%.  
Својства ове мешавине су:

Чврстоћа после 28 дана, МПа	
на савијање	10,80
на притисак	40,50
Чврстоћа после 56 дана, МПа	
на савијање	13,10
на притисак	49,70
Адхезија после 28 дана, МПа	
за подлогу од перлит-малтера	0,80 (лом по малтеру)
Водонепропустљивост	V-12.

Испитивања полимер-цементног премаза на пенетрацију јона хлорида (сл. 8) су показала да је пенетрациона способност јона хлорида кроз обичан бетон (линија 1) много већа од пенетрационе способности јона хлорида (линије 2) кроз композит модификован бутадиенстиролним латексом, па је ово својство полимер-цементног премаза искоришћено за заштиту полимер-перлитног малтера.

#### Закључак

Прецизним компоновањем мешавина, правилном припремом подлога на оштећеним каменим површинама, савесном уградњом и неговањем рестаурираних делова, остварен је висок квалитет санације овог објекта на свим његовим деловима.

Рестаурацијом пукотина, недостајућих делова, „кратерастих” оштећења, спајањем фрагмената камена и њиховом консолидацијом за вертикалне и хоризонталне површине, те рестаурацијом спојница заустављен је, са свих страна, продор влаге и воде у унутрашњост објекта. С обзиром на број оштећења, њихову врсту и степен и површину објекта, радови су обављени у кратком временском периоду, а да то није утицало на квалитет обављених радова. Напротив, у току извођења рестаураторско-конзерваторских радова посебна пажња била је посвећена квалитету изведених радова. Својства композита који су коришћени за рестаурацију појединих оштећења су прилагођена врсти и степену тих оштећења. Та квалитативна својства нарочито се огледају у њиховим вредностима чврстоћи на притисак и савијање, адхезији (прионљивост) за подлогу, отпорности на дејство воде, мраза и аерозагађења, а постигнута је и висока компатибилност са материјалом (мермером) којим је обложена фасада и поједини делови храма св.Ђорђа. Сви оштећени делови мермера на фасади, куполама и степеницама су рестаурирани. Ниједан мермерни блок нити мермерна плоча нису замењени што је омогућило остваривање и значајних економских ефеката. На основу податка о старости (дужини трајања) уграђених материјала са

Сл. 9. Богородица са Христом,  
мозаик (170x129 цм)



високим степсном поузданости можемо тврдити, да је, за дужи период времена Црква св. Ђорђа на Опленцу заштићена од влаге и воде на најквалитетнији начин, а самим тим и последица које вода и влага проузрокују на стабилност објекта и уметничко благо у њему.

Све радове на рестаурацији храма св. Ђорђа на Опленцу финансирао је Министарство културе Републике Србије, а надзор је вршио Завод за заштиту споменика културе из Крагујевца.

Када је у питању полимера у изради нових уметничких дела, поступак ливења се обавља у неколико фаза:

\* први слој, нанет по целој површини мозаика у дебљини 4-5 мм. Има задатак да фиксира арматуру, повеже плочице мозаика и оствари добру адхезиону везу између плочица мозаика и полимер-цементног малтера. Малтер се одликује до-

бром обрадљивошћу, што је омогућило да се у танком и хомогеном слоју распростре преко припремљене подлоге од плочица мозаика;

\* други слој, добијен мешањем бутадиен-стиролног латекса („Полибст“), перлита (Р-2) као агрегата и портланд-цемента у сразмерама које су дате у одељку 4.2. овога рада, наноси се у слоју дебљине 40-50 мм, и намењен је као испуна ради добијања мозаика који су знатно лакши од оних за чије се ливење користи цементни малтер или ситнозрни бетон;

\* трећи слој, наносен је након два месеца рачунато од момента њиховог ливења и коришћен је за побољшање отпорности на влагу и смањење пенетрације јона хлорида, сулфата, нитрата и других штетних материја у унутрашњост композита.

Тежине овако изливених мозаика износиле су 96-97 кг што одговара запреминској маси од



Сл. 10. Христос, мозаик (170x129 цм)

приближно 885 кг/м<sup>3</sup>. Изглед ових мозаика приказан је на сл.9 и 10.

Поред приказаних састава комозита и њиховог коришћења, у процесу ливења мозаика, могу се користити и други састави, али тако да први слој остаје непромењен, а трећи се потпуно елиминиса.

У оваквом случају, као други слој, користи се мешавина агрегата (гранулације 0,0-8,0 мм), портланд-цементна и бугариенетиrolног латекса („Полибет“), а дебелина панелог слоја износи 25-30 мм.

Оваквим поступком ливења скраћено је време одлежавања и неговања полимер-малтера, а за око 40% остварено је смањење тежине мозаика у односу на тежине мозаика добијених класичним начином ливења.

Као и остали Србиговићеви мозаици и ова два се одликују јединством израза и богатством

садржаја што на посматрача оставља утисак чистог и сигурног склада и ову хармоничну кристализацију у којој је животна материја, на уметничком плану, постала жива и стварна. Квалитет кристализације се осећа у чврстој вези између Србиговићевих осећања, запажања и мисли, а зрелост свих фрагмената се огледа у заједничком сливању у складно јединство које се исказује активним утицајем на посматрача, зрачећи при томе новим вредностима. Јер њихов творац — Србиговић — је строг уметник: строг према себи - строг према свом делу. Личном строгићу и уметничком одговорношћу Србиговић је створио архитектонику у којој су удружене покретачке побуде, интелектуална суптилност и емотивна тананост, мудра мисао и звучно богатство.

Својом сензуалном природом Србиговић је овим мозаицима удахнуо живот, приказујући пам и

најситније појединости, ставља их у покрет, који осветљава својим суптилним интелектом.

Оркестрација светла и боја отвара очи, хармонија звукова и тонова очарава уши, форме прште од богатства садржаја, све вибрира у тананом ритму гibaња и тада од фрагмената почињемо, постепено, обухватати целину. И ту је све: изражена мисао, објашњен садржај, испричана фабула, хармонија потеза и боја, те јачина и чистота доживљаја.

### Напомене:

Делови овог рада публиковани су у зборнику радова IX-th International Congress on Polymers in Concrete. Bologna. Italy, September 14-18, 1998, CONFERENCE PROCEEDINGS, у делу који се односи на примену полимера у рестаурацији споменика културе

### Литература

1. Љ. Драгићевић: „Савремени материјали у заштити споменика културе”, Републички Завод за заштити споменика културе, Београд и Задужбина краља Пејтра I Карађорђевића, 1996.
2. Љ. Драгићевић, М. Ризумовић, С. Баришић, APPLICATION OF POLYMERS IN THE RESTORATION OF DAMAGED STPME SURFACES, Conference Proceedings, Editor Franco Sandrolini, IXth International Congress on Polymers in Concrete, Bologna, Italy, September 14-18, 1998, 547-556
3. Љ. Драгићевић, М. Ризумовић, В. Танасковић, APPLICATION OF POLYMERS IN THE MAKING OF NEW WORKS OF ART, Conference Proceedings, Editor Franco Sandrolini, IXth International Congress on Polymers in Concrete, Bologna, Italy, September 14-18, 1998, 569-575.

## R e s u m e

*Ljubinko Dragičević*  
*Mihailo Rušmović*

APPLICATION OF POLYMERS IN  
RESTORATION OF STONE SURFACES AND  
CREATION OF NEW ARTISTIC WORKS

The results of exploration of the effects of butadiene-styrene latex on the properties of portland cement and cement plasters are here presented. It has been attested that the properties of portland cement, cement plasters and concrete are considerably reinforced if this polymer was added. Reinforcement of these properties is especially well manifested regarding their stability in water, resistance to freezing, persistence to pressure and folding, firmness of adhesion, where the addition of butadiene-styrene latex strengthens these properties.

Compositions used in consolidation and restoration of the marble plaques at the church of St. George

(King Petar I Karadjordjević memorial) at Oplenac are presented in this paper: mending the crevices, repairing of damaged stone surfaces, restoration of the missing parts of stone, etc.

Composition and properties of mixtures used in 1992 in casting the mosaic for iconostasis in the church of Zica monastery are also described.

Two mosaics created by the painter Mladen Srbinović, the Holy Virgin with infant Christ (170 x 129 cm) and Christ (170 x 129 cm), are casted with mixture of cement, sand and cement and perlite. Butadiene-styrene latex was used to improve the properties of the noted mixture.