



**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE
MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE**

**SOCIETY FOR MATERIALS AND
STRUCTURES TESTING OF SERBIA**

MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM

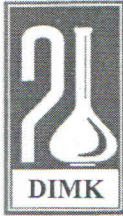
**O ISTRAŽIVANJIMA I PRIMENI SAVREMENIH DOSTIGNUĆA
U GRAĐEVINARSTVU U OBLASTI MATERIJALA I
KONSTRUKCIJA**

INTERNATIONAL SYMPOSIUM

**ON RESEARCHING AND APPLICATION OF CONTEMPORARY
ACHIEVEMENTS IN CIVIL ENGINEERING IN THE FIELD OF
MATERIALS AND STRUCTURES**

**ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS**

**XXVII Kongres - Vršac, 18-20. oktobar 2017.
XXVII Congress - Vrsac, October 18-20, 2017.**



**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE
MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE**

**SOCIETY FOR MATERIALS AND
STRUCTURES TESTING OF SERBIA**

MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM

**O ISTRAŽIVANJIMA I PRIMENI SAVREMENIH DOSTIGNUĆA
U GRAĐEVINARSTVU U OBLASTI MATERIJALA I
KONSTRUKCIJA**

INTERNATIONAL SYMPOSIUM

**ON RESEARCHING AND APPLICATION OF CONTEMPORARY
ACHIEVEMENTS IN CIVIL ENGINEERING IN THE FIELD OF
MATERIALS AND STRUCTURES**

**ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS**

**XXVII Kongres - Vrsac, 18-20. oktobar 2017.
XXVII Congress - Vrsac, October 18-20, 2017.**

CIP- Каталогизacija u publikaciji
Народна библиотека Србије

624/628(082)
69(082)
666.7/.9(082)

МЕЂУНАРОДНИ симпозијум о истраживањима и примени савремених достигнућа у грађевинарству у области материјала и конструкција (2017 ; Вршац)

Zbornik radova = Proceedings / Međunarodni simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, [u okviru] XXVII kongres[a Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije] - Vrsac, 18-20. oktobar 2017. = International Symposium on Researching and Application of Contemporary Achievements in Civil Engineering in the Field of Materials and Structures, [within] XXVII Congress [of Society for Materials and Structures Testing of Serbia] - Vrsac, October 18-20, 2017. ; [editor Dragica Jevtić, Radomir Folić]. - Beograd : Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije, 2017 (Beograd : Razvojno istraživački centar grafičkog inženjerstva TMF). - 563 str. : ilustr. ; 30 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 100. - Napomene uz radove. - Bibliografija uz većinu radova. - Summaries.

ISBN 978-86-87615-08-3

1. Друштво за испитивање и истраживање материјала и конструкција Србије (Београд). Конгрес (27 ; 2017 ; Вршац)

a) Грађевински материјали - Зборници

b) Грађевинске конструкције - Зборници

c) Грађевински објекти - Зборници

COBISS.SR-ID 247427852

Izdavač: **Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije**
Beograd, Kneza Miloša 9/I

Editor: **Prof. dr Dragica Jevtić, dipl.inž.tehn.**
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
Emeritus prof. dr Radomir Folić, dipl.inž.građ.
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Štampa: Razvojno istraživački centar grafičkog inženjerstva, Karnegijeva 4,
Beograd

Tiraž: 100 primeraka

"Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija", koji je upriličen u okviru **XXVII Kongresa Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije**, Vršac 18.-20. oktobra 2017. godine, održan je u saradnji sa **Institutom za ispitivanje materijala IMS Beograd**, a pod pokroviteljstvom **MINISTARSTVA PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA REPUBLIKE SRBIJE**.

Vršac, oktobar 2017. godine

ORGANIZACIONI ODBOR

1. Prof. dr Dragica Jevtić
2. Prof. dr Branko Božić
3. Dr Vencislav Grabulov
4. Prof. dr Mihailo Mura
5. Prof. dr Boško Stevan
6. Prof. dr Dragoslav Šun
7. Prof. dr Zoran Grdić
8. Prof. dr Vlastimir Ra
9. Prof. dr Karolj Kasaš
10. Prof. dr Milan Dimki
11. Milutin Ignjatović, Sa
12. Jožef Balint, dipl.inž.
13. Vesna Zvekić, dipl.in

PROGRAMSKI ODBOR

1. Prof. dr Radomir Fol
 2. Prof. dr Dragoslav S
 3. Prof. dr Mirjana Mal
 4. Prof. dr Miroslava R
 5. V.prof. dr Gordana
 6. Dr Zagorka Radojev
 7. Dr Nenad Šušić, Inst
 8. Dr Ksenija Janković
 9. Dr Milorad Cmijan
 10. Prof. dr Dubravka B
 11. Prof. dr Nina Štirma
 12. Prof. dr Ivana Banja
 13. Predrag Popović, U
 14. Professor Asterios I
 15. Prof. dr Meri Cvetk
 16. Prof. dr Damir Zen
 17. V. prof. dr Merima
 18. V. prof. dr Srđa Al
 19. Prof. dr Radomir Z
 20. Prof. dr Miloš Kne
 21. Dr Jakob Šušteršič
 22. Doc.dr Andrej Zaj
 23. Professor Mihailo
- California, Los An

XXVII KONGRES I MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM O ISTRAŽIVANJIMA I PRIMENI SAVREMENIH DOSTIGNUĆA U GRAĐEVINARSTVU U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA

Dimitrije Zakić¹, Aleksandar Savić², Marina Aškračić³, Marina Lukičić⁴, Dragica Jevtić⁵

ISPITIVANJE SVOJSTAVA MATERIJALA I SISTEMA ZA UNUTRAŠNJE OBLAGANJE KUPOLE SPOMEN HRAMA SVETOG SAVE

Rezime na srpskom jeziku: Prema projektu, za unutrašnje oblaganje kupole Spomen hrama svetog Save predviđena je izrada mozaika. U radu su prikazani rezultati ispitivanja osnovnih fizičko-mehaničkih svojstava materijala, odabranih kao podloga za postavljanje mozaika: dve vrste reparaturnih maltera i jedna vrsta lepka proizvođača „Mapei“, Italija. Posebna pažnja posvećena je ispitivanjima adhezije predmetnih materijala za betonsku podlogu, korišćenjem „Pull-off“ metode. Ispitivanja su vršena, kako u laboratoriji, tako i na probnim poljima izvedenim unutar kupole hrama. Osim na pojedinačnim materijalima, ispitivanja su vršena i na višeslojnim sistemima odabranim od strane Projektanta, u svemu prema propisanim tehničkim uslovima.

Ključne reči na srpskom jeziku: Hram svetog Save, reparaturni malteri, lepkovi, adhezija, mozaik

PROPERTIES OF MATERIALS AND SYSTEMS FOR THE INTERNAL COATING OF THE DOME OF MEMORIAL CHURCH OF SAINT SAVA

Summary: According to the project, for the internal coating of the dome of the Memorial Church of Saint Sava, mosaic tiles will be used. This paper presents the results of the examination of the basic physical and mechanical properties of materials, that are selected as a substrate for mosaic installation: two kinds of repair mortar and one kind of adhesive produced by "Mapei", Italy. The most important were the adhesion (Pull-off) tests of the selected materials with the concrete substrate. Examinations were performed both in the laboratory and in situ - inside of dome of the Church. Apart from individual materials, tests were performed also on multi-layered systems selected by the Designer, according to the technical conditions.

Key words in English: Memorial Church of Saint Sava, repair mortar, adhesives, pull-off test, mosaic tiles

¹ V. prof. dr., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, dimmy@imk.grf.bg.ac.rs

² Doc. dr., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, sasha@imk.grf.bg.ac.rs

³ Asistent – student doktorskih studija, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, amarina@imk.grf.bg.ac.rs

⁴ msr inž. građ., marinalukicic@gmail.com

⁵ Red. prof. dr., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, dragica@imk.grf.bg.ac.rs

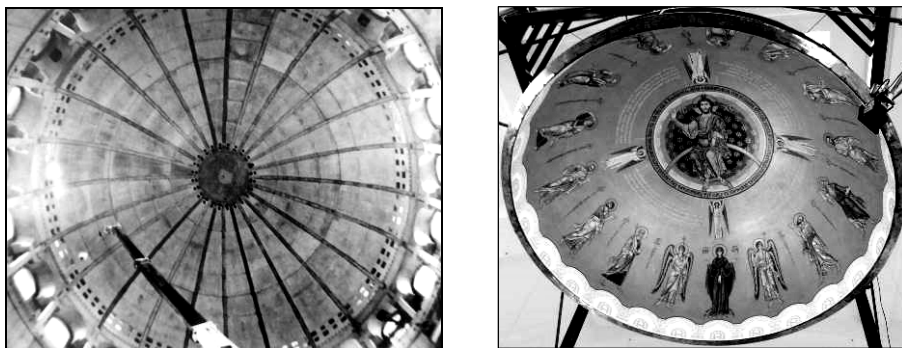
1. UVOD

Izgradnja kupole Hrama svetog Save u Beogradu završena je 1989. godine, iako je izgradnja Hrama započeta još 1935. godine. S obzirom na vremenski raspon od pedeset godina, usvojeno rešenje obuhvatalo je prilagođavanje prvobitnog projekta savremenim dostignućima građevinske tehnike. Postupak izgradnje kupole sastojao se iz izrade montažne armirano-betonske konstrukcije na zemlji, a zatim, njenog podizanja u projektovani položaj (slika 1 – levo) [1].

Dvadeset pet godina nakon izgradnje kupole, započeti su radovi na njenom unutrašnjem uređenju. Konačno rešenje podrazmeva izradu mozaika, korišćenjem pločica od prirodnog kamena i stakla (slika 1 - desno). Segmenti mozaika, dimenzija 1.2×0.8 m, oslikavani su i dopremani iz Rusije. Nakon usvojenih rešenja za pripremu podloge i odabira materijala koji se koriste prilikom izvođenja radova, 2016. godine započete su aktivnosti na uređenju kupole, postavljenjem čelične konstrukcije i radne platforme na visini od 60 m, u podnožju kupole.

Ovakvo rešenje je bilo moguće s obzirom na to da su izmerena odstupanja krivina kupole od planiranog položaja bila zanemarljiva. Ipak, bilo je neophodno planirati i izvesti opsežne pripremne radove na unutrašnjoj površini kupole koji su obuhvatali čišćenje površina peskarenjem, ispunjavanje svih otvora (u najvećem broju radi se o akustičnim otvorima) i spojnica (koje postoje usled montažnog karaktera konstrukcije kupole), kao i sanaciju postojećih površinskih oštećenja. Nakon toga je bilo predviđeno malterisanje kupole, pri čemu bi bilo izvršeno i ravnanje površina preko kojih bi bio zalepljen mozaik [2,3]. Prilikom izvođenja radova na podlozi ovakvih razmera, preporučeno je korišćenje gotovih (prethodno spravljenih) materijala, jer oni omogućavaju ujednačen kvalitet, kao i lakše doziranje i pripremu na gradilištu [4].

Zahtevane karakteristike reparaturnih maltera, namenjenih za sanaciju i reprofilaciju unutrašnje površine kupole hrama, (koje prethode lepljenju segmenata mozaika), bile su: zadovoljavajuća adhezija za podlogu, zapreminska stabilnost (što manje skupljanje), termička kompatibilnost sa podlogom, visok pH faktor (zaštita armature), lako pripremanje, obrađivanje i ugrađivanje.



Slika 1. Izgled unutrašnjosti kupole nakon montaže (levo) [1] i maketa mozaika koji će biti postavljen na kupoli (desno)

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja osnovnih fizičko-mehaničkih svojstava materijala, odabranih za sanaciju betonskih površina, odnosno kao podloga za

postavljanje mozaika. Pri tome, posebna pažnja je posvećena ispitivanjima adhezije predmetnih materijala za betonsku podlogu, korišćenjem „Pull-off“ metode [5]. Ispitivanje adhezije vršeno je kako za pojedinačne materijale (u laboratoriji i in situ), tako i za sisteme koji su se sastojali od više slojeva različitih materijala. Na ovaj način su obuhvaćene različite situacije koje mogu da nastanu tokom sanacije i reprofilacije podloge, odnosno tokom postavljanja mozaika.

2. MATERIJALI I METODE

2.1 Ispitivani materijali

U radu su prikazani rezultati ispitivanja izvršena na tri kompozitna materijala – maltera proizvođača Mapei, Italija:

- Mapegrout BM, koji je namenjen za saniranje oštećenih slojeva betona,
- Planitop HDM Maxi, koji je namenjen za ujednačavanje i ravnanje (reprofilaciju) unutrašnje površine kupole,
- Kerabond T, koji je predviđen za malterisanje celokupne površine kupole, ali i kao lepak za mozaik.

Mapegrout BM (MPG) je dvokomponentni, tiksotropni, malter na bazi cementa. Sastoji se od dve fabrički pripremljene komponente (A i B), koje se mešaju u masenom odnosu A:B=5.3:1. Komponenta A (prah) sačinjena je od cementa, agregata, polipropilenskih vlakana i aditiva koji smanjuju skupljanje. Komponenta B (tečnost) je rastvor sintetičke smole u vodi [6].

Planitop HDM Maxi (PLT) je dvokomponentni malter, mikroarmiran staklenim vlaknima. Ukoliko je potrebno, koristi se u kombinaciji sa Mapegrid mrežama. Prilikom izvođenja radova na kupoli Hrama, predviđeno je nanošenje dva sloja ovog maltera, maksimalne debljine od 1 cm, između kojih će se umetati mrežica od staklenih vlakana Mapegrid G 120. Planitop HDM Maxi se sastoji od dve fabrički pripremljene komponente (A i B), koje se mešaju u masenom odnosu A:B=4:1. Komponenta A (prah) sačinjena je od cementa, agregata i aditiva. Komponenta B (tečnost) predstavlja polimere u vodenom rastvoru [7].

Kerabond T (KRB) je lepak na cementnoj osnovi, čija je osnovna namena lepljenje keramičkih pločica. U formi je sivog ili belog praha, u čijem sastavu se nalaze: cement, fini pesak, sintetička smola i posebni aditivi. Spravlja se sa vodom u masenom odnosu K:V=3,846:1 [8].

2.2 Ispitivanje odabranih sistema metodom Pull-off

Podloge na kojima su vršena ispitivanja adhezije pojedinačnih maltera i višeslojnih sistema, a koje simuliraju površinu kupole (izrađenu od prefabrikovanih betonskih elemenata), bile su betonske kocke ivica 20 cm. Ispitivanje adhezije vršeno je na sledećim sistemima:

I sistem (MPG+PLT), uz pomoć koga je ispitivano sadejstvo korišćenih maltera, sačinjen je od sanacionog maltera Mapegrout BM i reprofilacionog maltera Planitop HDM Maxi. U prvom sloju, na postojeću betonsku površinu nanošen je malter

Mapegrout BM debljine 1cm, a u drugom sloju malter Planitop HDM Maxi. Ovaj malter je nanošen u dva sloja debljine po 6 mm, između kojih je umetnuta mrežica Mapegrid G120.

II sistem (MPG+PLT+KRB) sačinjen je tako što je, preko dva sloja maltera nanese (u svemu kao što je opisano za I sistem), nanese lepak Kerabond T u debljini od 5 mm, u koji su zatim utisnute tri keramičke pločice dimenzija 5×5 cm (slika 2 levo).

III sistem (PLT+KRB) usvojen je kao model za delove kupole na kojima će biti izvršeno samo izravnjanje površina, bez prethodnog nanošenja sanacionog maltera Mapegrout BM. Ovaj sistem sačinjavali su reprofilacioni malter Planitop HDM Maxi, lepak Kerabond T i pločica koja simulira mozaik. U prvom sloju, na postojeću betonsku površinu nanese je malter Planitop HDM Maxi u debljini od 6 mm, preko koga je zatim umetnuta mrežica Mapegrid G120, i nanese još jedan sloj istog maltera u debljini od 6 mm. Na kraju je nanese sloj lepka Kerabond T u debljini od 5 mm, preko koga je utisnuta jedna pločica dimenzija 20×20 cm (slika 2 desno).

Metoda „Pull off“, podrazumeva bušenje udubljenja (opsecanje) ispitivanog materijala koji je prethodno nanese na podlogu oko „pečata“ u dubini od oko 10 mm unutar podloge, pri čemu „pečati“ mogu biti kvadratni ivice 5 cm ili kružni $\varnothing=5$ cm [8]. Nakon što je površina podloge dobro očišćena i ohrapavljena, zasićena je vodom. Malteri su zatim nanošeni ručno u prvom sloju na podlogu. U slučaju višeslojnih sistema, vremenski period nanošenja narednog sloja, u odnosu na prethodni, iznosio je 7 dana, a prema preporukama proizvođača.

2.3 Ispitivanja adhezije in situ - na probnim poljima na kupoli hrama

U okviru probnih polja na kupoli hrama ispitivana je adhezija za podlogu reparaturnog maltera Planitop HDM Maxi, sa mrežicom Mapegrid G 120 u međusloju. Ispitivanja su vršena na 5 probnih polja, pri čemu je u okviru svakog polja ispitano po 5 mernih mesta. Dva probna polja nalazila su se na kupoli, a tri polja na severnoj galeriji hrama. Prilikom zasecanja površina nije bilo moguće ankerovati bušilicu u zidove (svodove) hrama, pa je zasecanje izvršeno „iz ruke“ burgijom prečnika $\varnothing=5$ cm. Iz tog razloga od pet mernih mesta u okviru svakog probnog polja, na dva merna mesta ispitivanje adhezije, vršeno je bez prethodnog opsecanja podloge oko „pečata“.

2.4 Različite dispozicije ispitivanja adhezije

Prilikom ispitivanja adhezije sistema II i III, kod kojih su završni sloj činili lepak na bazi cementa Kerabond T i keramička pločica, uzorci su formirani na dva načina. U slučaju sistema II, pre ispitivanja izvršeno je zasecanje podloge pomoću brusilice, duž sve četiri ivice postavljenih pločica kvadratnog oblika (slika 2 levo). Zatim su preko pločica zalepljeni pečati kružnog poprečnog preseka prečnika $\varnothing=5$ cm. U slučaju sistema III, zasecanje je vršeno burgijom prečnika $\varnothing=5$ cm kroz pločicu čije su dimenzije odgovarale dimenziji podloge - 20×20 cm (slika 2 desno). Ukoliko je uzorak za ispitivanje adhezije uz pomoć Pull-off metode kvadratnog poprečnog preseka, u ćoškovima uzorka se obično javljaju povećani naponi zatezanja. Sa druge strane, prilikom zasecanja uzorka uz pomoć burgije preko pločice dolazi do određenih

poremećaja unutar uzorka pre nego što se izvrši ispitivanje. U cilju poređenja ova dva postupka, prilikom ispitivanja su primenjene obe metode, uz napomenuda je kod oba sistema bilo očekivano da do loma dođe po sloju lepka (tj. maltera sa najnižim mehaničkim karakteristikama).

3. REZULTATI ISPITIVANJA

U sklopu ispitivanja svojstava pripremljenih gotovih malterskih mešavina izmerene su vrednosti zapreminskih masa u svežem i očvrslom stanju, čvrstoća pri savijanju i pritisku pri starostima od 7 i 28 dana, kao i adhezije za betonsku podlogu pri istim starostima. U slučaju lepka Kerabond T, ispitivanja su vršena pri starostima od 7 i 14 dana, u skladu sa tehničkom listom proizvođača, u kome se navodi da je lepak nakon 14 dana spreman za upotrebu.

3.1. Rezultati laboratorijskih ispitivanja

U okviru tabele 1 prikazani su rezultati ispitivanja vršenih na uzorcima lepka Kerabond T, dok su u okviru tabele 2 prikazani rezultati fizičko-mehaničkih ispitivanja obavljenih na malterima Mapegrout BM i Planitop HDM Maxi.

Kako je reč o gotovo spravljenim (ready mix) materijalima dobijeni rezultati poređeni su sa vrednostima deklarisanim od strane proizvođača, datim u tehničkim listovima predmetnih materijala [6,7,8]. Kao što se može videti, vrednosti dobijene u laboratorijskim uslovima veće su od deklarisanih. Za lepak Kerabond T ispitivanja su rađena na uzorcima starosti 14 dana, dok su u tehničkom listu date vrednosti čvrstoća pri starosti od 28 dana. Dobijene vrednosti pri manjoj starosti su, kao što je i očekivano, bile nešto manje (za 27%) u odnosu na deklarisane vrednosti.

Oznaka maltera	Čvrstoća pri savijanju (MPa)		Čvrstoća pri pritisku (MPa)		Adhezija za podlogu (MPa)		Smicanje (MPa)	
	t=7	t=14	t=7	t=14	t=7	t=14	t=7	t=14
Kerabond T	1.58	1.58	4.64	6.15	0.8	1.01	0.73	0.99
Deklarisana vrednost (pri starosti od 28 dana)	-		-		1.4		-	

Tabela 1. Rezultati fizičko-mehaničkih ispitivanja lepka Kerabond T [8,9]

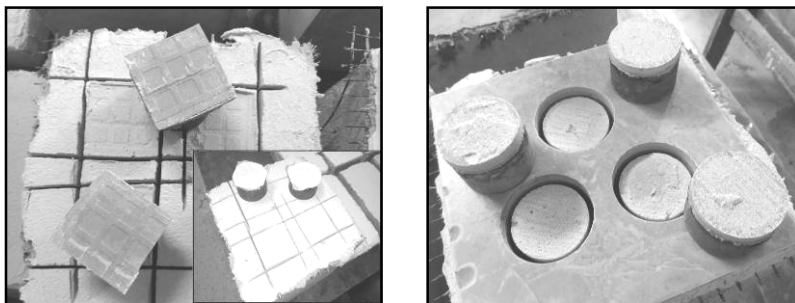
U slučaju višeslojnih sistema ispitivanje adhezije, za sisteme čiji je završni sloj lepak Kerabond T, vršeno je na uzorcima starosti 7 i 14 dana od nanošenja poslednjeg sloja (sistemi II i III – slika 2). Adhezija u slučaju višeslojnog sistema I ispitivana je na uzorcima starosti 7 dana od nanošenja poslednjeg sloja sistema, i 28 dana od nanošenja

prvog sloja sistema. Vrednosti ispitivanja adhezije za višeslojne sisteme prikazane su u okviru tabele 3.

Oznaka maltera	Zapreminska masa (g/cm ³)		Čvrstoća pri savijanju (MPa)		Čvrstoća pri pritisku (MPa)		Adhezija za podlogu (MPa)	
	t=0	t=28	t=7	t=28	t=7	t=28	t=7	t=28
Mapegrout BM (MPG)	2.088	2.035	8.1	10.6	49.8	58.6	1.4	2.5
Deklarisane vrednosti	2.100	-	5.0	10.0	38.0	47.0	-	2.0
Planitop HDM Maxi (PLT)	1.869	1.729	5.5	8.8	22.7	32.4	1.9	2.8
Deklarisane vrednosti	1.850	-	6.0	8.0	15.0	25.0	-	2.0

Tabela 2. Rezultati laboratorijskih ispitivanja maltera Mapegrout BM i Planitop HDM Maxi[6,7,9]

Kao što je očekivano, prilikom ispitivanja sistema II i III do loma je došlo po završnom sloju. Do razlika u vrednosti adhezije izmerene na ova dva sistema, došlo je zbog različitih načina postavljanja keramičke pločice i kasnijeg opsecanja uzoraka, kao što je to objašnjeno u tački 2.4. Bolji rezultati (za 50%) pri starosti od 7 dana, ostvareni su primenom postupka usvojenog za sistem II (slika 3-levo). Prilikom ispitivanja sistema II pri starosti od 14 dana, došlo je do odvajanja pločica pre početka ispitivanja, pa je vrednost prikazana u tabeli dobijena ispitivanjem na pečatima koji su direktno zalepljeni za sloj lepka.



Slika 2. Lom uzoraka nakon ispitivanja adhezije višeslojnih sistema II (levo) i III (desno)

Oznaka maltera	Adhezija za podlogu (MPa)	Karakter loma	Adhezija za podlogu (MPa)	Karakter loma
Mapegrout BM + Planitop HDM Maxi (MPG +PLT)	1.85 (t=7 dana)	Po površinskom sloju Planitop HDM Maxi	2.04 (t=28 dana)	Po kontaktu sloja Mapegrout BM i betonske površine
Mapegrout BM + Planitop HDM Maxi + Kerabond T + pločica (MPG +PLT + KRB)	0.59 (t=7 dana)	Po kontaktu sloja Kerabond T i pločice	1.18* (t=14 dana)	Po sloju Kerabond T
Planitop HDM Maxi + Kerabond T + pločica (PLT + KRB)	0.39 (t=7 dana)	Po kontaktu sloja Kerabond T i pločice	0.74 (t=7 dana)	Po površinskom sloju Kerabond T

Tabela 3. Rezultati laboratorijskog ispitivanja adhezije sistema I, II i III [9]

3.2. Rezultati ispitivanja in situ-na kupoli hrama

Unutar hrama, u okviru probnih polja vršeno je ispitivanje adhezije reprofilacionog maltera Planitop HDM Maxi, sa mrežicom Mapegrid G 120 u međusloju, za postojeću podlogu-površinu kupole. Rezultati ispitivanja prikazni su u tabeli 4.

Prva tri polja ispitana su na severnoj galeriji, i to polja I i II na vertikalnim, a polje III na lučnoj površini. Na samoj kupoli su formirana dva probna polja IV i V od kojih se polje IV nalazilo na bočnoj strani (slika 3.desno), dok se polje V nalazilo u vrhu kupole (slika 3. levo).



Slika 3. Ispitivanje adhezije IN SITU-na kupoli hrama: probno polje na vrhu kupole (levo), probno polje u podnožju kupole tokom izvođenja opita (desno)

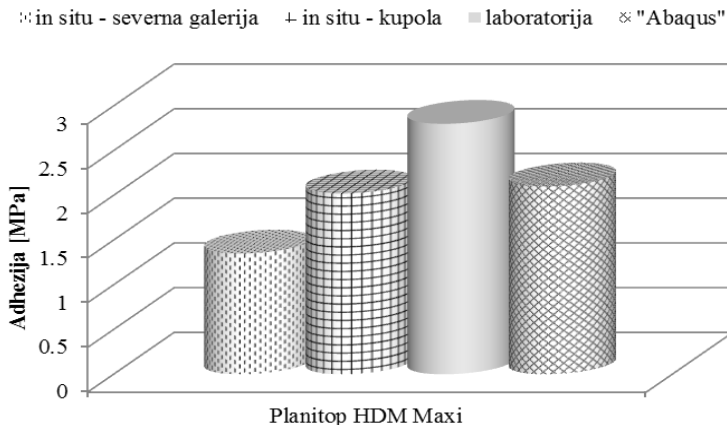
Oznaka polja		Adhezija za betonsku podlogu (MPa) t=28 dana					Prosečna adhezija za podlogu (MPa)
		Uzorci formirani zasecanjem			Uzorci formirani bez zasecanja		
Potkupolni deo	I polje	1.28	1.12	1.18	1.6	1.32	1.3
	II polje	0.79	1.16	0.94	1.18	1.23	1.06
	III polje	1.21	1.78	1.78	1.79	1.85	1.68
Kupola	IV polje	2.01	2.02	1.93	2.08	2.11	2.03
	V polje	2.02	1.97	1.83	2.16	2.09	2.01

Tabela 4. Rezultati in situ ispitivanja adhezije u okviru probnih polja, na kupoli hrama

U većini slučajeva bolji rezultati adhezije dobijeni su prilikom ispitivanja uzoraka koji nisu bili prethodno pripremani opsecanjem. To je posebno izraženo na vertikalnim ili skoro vertikalnim površinama (polja I, II i IV). Odstupanja između ispitivanja sprovedenih sa različitom pripremom uzoraka kretala su se, na ovim poljima između 5.8 i 25.5%.

3.3. Medusobno poređenje rezultata adhezije

U okviru rada [10] prikazani su rezultati dobijeni modeliranjem „Pull off” testa pomoću 3D konačnih elemenata, korišćenjem programskog paketa „Abaqus”. U model je implementirana veza između postojećeg betona i reparaturnog maltera, pa dobijena vrednost adhezije iznosi 2.1 MPa. Poređenjem vrednosti adhezija izmerenih na strani i vrhu kupole, kao i vrednosti izmerenih u laboratorijskim uslovima sa kompjuterski proračunatom vrednosti adhezije (slika 4), dolazi se do zaključka da rezultati modela u potpunosti odgovaraju rezultatima dobijenim merenjima in situ unutar kupole hrama. Ove vrednosti su više u odnosu na vrednost od 2 MPa, deklarisanu od strane proizvođača. Vrednosti dobijene ispitivanjem na poljima formiranim na severnoj galeriji su niže za 33% u proseku najverovatnije iz razloga koji su prethodno navedeni. Najviša vrednost dobijena je na uzorcima ispitanim u laboratorijskim uslovima.



Slika 4. Poređenje vrednosti adhezija dobijenih in situ, u laboratoriji i kompjuterskim putem

4. ZAKLJUČAK

Ispitivanjem osnovnih fizičko-mehaničkih svojstava dva gotova maltera Mapegrout BM i Planitop HDM Maxi, proizvođača Mapei (Italija), koji su namenjeni za pripremu unutrašnjih površina kupole Hrama svetog Save za postavljanje mozaika, dobijene su vrednosti u svemu prema tehničkim listovima proizvođača. Ovakvo poređenje nije bilo moguće uraditi za vrednosti izmerene kod lepka na bazi cementa Kerabond T, istog proizvođača, s obzirom na to da je u tehničkom listu dat podatak o vrednosti adhezije za betonsku podlogu pri starosti od 28 dana. Međutim, s obzirom da izmerene vrednosti adhezije pri starosti od 14 dana dostižu 73% deklarisanе vrednosti, može se smatrati da bi i ovaj uslov bio zadovoljen nakon 28 dana.

Najveći deo istraživanja bio je posvećen ispitivanju adhezije (prionljivosti) pojedinačnih materijala, kao i sistema formiranih od ovih materijala u laboratorijskim i realnim uslovima na terenu. Dobijeni rezultati prilikom ispitivanja formiranih sistema pokazuju da se postiže zadovoljavajuće sadejstvo između korišćenih materijala jer ni u jednom slučaju nije došlo do loma po kontaktnoj površini dva ispitivana materijala.

Takođe, vrednost adhezije višeslojnog Sistema I (Mapegrout BM+Planitop HDM Maxi), dobijene u laboratorijskim uslovima, za uzorak starosti 28 dana premašuje vrednost adhezije deklarisanе u tehničkom listu maltera Mapegrout BM (2 MPa). Iz toga se može zaključiti da malteri koji sačinjavaju ovaj sistem imaju veoma dobru međusobnu kompatibilnost, kao i to da ovaj sistem predstavlja adekvatan izbor za predviđenu namenu.

U slučaju vrednosti adhezija prikazanih za višeslojne sisteme II (Mapegrout BM+Planitop HDM Maxi+Kerabond T+pločica) i III (Planitop HDM Maxi+Kerabond T+pločica), treba obratiti pažnju na to da su vrednosti adhezije (prikazane u tabeli 3) izmerene nakon 14 dana od nanošenja poslednjeg sloja (lepak Kerabond T). Takođe treba imati u vidu da su korišćena dva načina pripreme uzoraka, kao što je objašnjeno u delu 2.4. Uvidom u rezultate prikazane u tabeli 3, može se zaključiti da se veće vrednosti adhezije dobijaju kada je zasecanje izvršeno oko „pečata“ kvadratnog oblika. Naime do

manjih poremećaja sistema dolazi pri vertikalnom zasecanju betona oko pločice manjih dimenzija (sistem II), nego pri kružnom bušenju podloge kroz uzorak pločice ivice 20 cm (sistem III).

Analizom vrednosti adhezije prikazanih u tabeli 4, izmerenih in situ na probnim poljima na severnoj galeriji i na kupoli hrama, dolazi se do zaključka da na ove vrednosti utiču položaj probnog polja na kupoli i kao i prethodna priprema uzoraka. Merna mesta kod kojih nije došlo do poremećaja usled bušenja podloge dala su do 20% veće vrednosti adhezije. Takođe mesta koja su pristupačnija za postavljanje uređaja i samo izvođenje opita (vrh i strana kupole-polja IV i V) dala su veće vrednosti adhezije.

Poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima dobijenim kompjuterskom simulacijom testa prijanjanja maltera za reprofilaciju Planitop HDM Maxi za betonsku podlogu, uz pomoć programskog paketa Abaqus pokazala su dobra poklapanja sa rezultatima ispitivanja sprovedenih na terenu unutar kupole Hrama. Ove vrednosti su istovremeno veće od 2 MPa, koliko je deklarirano od strane proizvođača, a niže u odnosu na vrednosti adhezije izmerene u laboratorijskim uslovima.

Prilikom procene eksploatacionih opterećenja, treba imati u vidu da se malteri na podlogu nanose u tri sloja (prosečne debljine od po ~ 1 cm), nakon čega se instalira mozaik. Na osnovu ovih podataka, može se zaključiti, da prosečno opterećenje koje podloga trpi od ovakvog sistema iznosi $50-100 \text{ kg/m}^2$ ($\approx 0.1 \text{ MPa}$), što je 15-20 puta manje od vrednosti adhezije dobijenih tokom ispitivanja.

LITERATURA

- [1] Pešić B., Milovanović V., Mileusnić S., Acović D., Janković M., „*Hram Svetog Save u Beogradu*“ -monografija, Pravoslavna reč, Novi Sad, 2005
- [2] Izvod iz tehničke dokumentacije kompanije Mapei, „*Metodologija izvođenja radova na pripremi podloge za mozaik*“
- [3] Izvod iz tehničke dokumentacije kompanije Mapei, „*Tehničko rešenje pripremnih radova na kupoli*“
- [4] Radonjanin S. Vlastimir, Malešev M. Mirjana: „*Reparaturni malteri-primena u okviru sanacionih radova*“ -stručni rad, Savremeni materijali i postupci sanacije građevinskih objekata, Zbornik radova 2013, Beograd, 26. novembar 2013., str. 1-19
- [5] Skup propisa i standarda-SRPS EN 1542 : 2010, „*Proizvodi i sistemi za zaštitu i sanaciju betonskih konstrukcija-Metode ispitivanja-Merenje prionljivosti „Pull off*““
- [6] Tehnički list- *Mapegrout BM*, preuzeto sa www.mapei.com
- [7] Tehnički list- *Planitop HDM Maxi*, preuzeto sa www.mapei.com
- [8] Tehnički list- *Kerabond T*, preuzeto sa www.mapei.com
- [9] Lukičić M., Ispitivanje svojstava materijala i sistema za unutrašnje oblaganje Hrama svetog Save, master rad, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2017.
- [10] Matović V., Nikolić D., Dimitrijević V., Tošković R.: „*Radovi na stvaranju uslova za izradu mozaika u spomen Hramu Svetog Save u Beogradu*“, Građevinski kalendar 2017., Beograd, 2017., str. 282-340