

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



**UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
KOMUNALNA SMER**

Kandidatka:

**PRIMOŽ NOVAK**

**LASTNOSTI APNENIH OMETOV NANEŠENIH NA KAMNIT  
ZID KAPELE GRADU CRNELO**

Diplomska naloga št.: 3198\KMS

**PROPERTIES OF LIME RENDERS APPLIED TO STONE  
MASONRY WALL OF THE CRNELO CASTLE CHAPEL**

Graduation thesis No.: 3198\KMS

**Mentor:**  
Izr.prof.dr. Violeta Bokan Bosiljkov

**Predsednik komisije:**  
Izr.prof.dr. Janko Logar

Ljubljana, 2011

## **IZJAVE**

Podpisani PRIMOŽ NOVAK izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Lastnosti apnenih ometov, nanešenih na kamniti zid kapele gradu Črnelo«

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 08.12.2011

Primož Novak

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>693.611:692.22(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Primož Novak</b>
<b>Mentorica:</b>	<b>izr. prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Lastnosti apnenih ometov, nanešenih na kamniti zid kapele gradu Črnelo</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – Univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>70 str., 10 pregl., 46 sl., 3 en.,</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>apnena malta, apneni omet, apnena fasada, fini omet, grobi omet, konsistenca, tlačna trdnost, vodovpojnost</b>

### **Izvleček:**

V okviru diplomske naloge sem raziskoval lastnosti novih apnenih fasadnih ometov na kulturno zgodovinskem objektu.

Poudarek preiskav je bil na terenskih analizah petih vzorcev apnenih fasadnih ometov, nanesenih na 258 let star kamnit zid kapelice gradu Črnelo. Vzporedno s terenskimi so potekale tudi laboratorijske preiskave. Vzorec fasadnega ometa je bil sestavljen iz vzorca grobega ometa (prvi sloj), vzorca finega ometa (zaključni sloj) in enakega apnenega premaza (barva) čez vse vzorce fasadnega ometa. Vzorci so se razlikovali le v vezivu – uporabili smo zračna apna različnih slovenskih proizvajalcev, apnenčev pesek in mivka, pa sta bila enaka za vse vzorce.

Na terenu smo, s pomočjo izkušenih zidarskih mojstrov, ki so omete nanašali na zid, ocenjevali lastnosti povezane z vgradljivostjo in obdelovalnostjo ometov, na strjenih vzorcih ometov pa smo merili vodovpojnost pri nizkem pritisku, globino karbonatiziranosti vzorcev grobih ometov in vršili vizualne preglede poškodb ometov zaradi zmrzovanja/tajanja. Laboratorijske preiskave so obsegale preiskave razleza in prostorninske mase na svežih apnenih maltah ter trdnosti, krčenja in vpijanja vode s kapilarnim srkom na strjenih maltah. Za potrebe tlačnega preizkusa vzorcev finih malt je bila v okviru naloge razvita metoda priprave prizmic.

Na podlagi analize dobljenih rezultatov preiskav lahko zaključim, da je za kakovostno izdelavo apnenih ometov potrebno izdelovati le-te v primernih klimatskih pogojih, na dobro pripravljeno podlago, za vezivo uporabiti apno v obliki apnenega testa, nameniti dovolj časa strjevanju posameznega sloja (najmanj 4 mesece za grobi omet), predvsem pa je pomembna praksa, ki jo pridobiš z večletnimi izkušnjami z delom na terenu.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 693.611:692.22(497.4)(043.2)

**Author:** Primož Novak

**Supervisor:** assoc. prof. Violeta Bokan Bosiljkov, Ph.D.

**Title:** Properties of lime renders applied to stone masonry wall of the Črnelo castle chapel

**Document type:** Graduation Thesis – University studies

**Scope and tools:** 70 p., 10 tab., 46 fig., 3 eq.,

**Keywords:** lime mortar, lime render, lime façade, fine render, rough render, consistency, compressive strength, water absorption,

### **Abstract:**

In the diploma work a research about the properties of the new lime renders applied to historical building was carried out.

The emphasis of the research work was on the analysis of five samples of lime façade systems that were applied to a 258-year old stone-masonry wall of the Črnelo castle chapel. Along with the in-situ tests also laboratory tests were carried out. The façade samples were composed of rough render layer (the first layer), fine render layer and of coloured lime wash applied to all façade samples. The samples of rough and fine renders differ only in the binder - aerial limes of various Slovene manufacturers were used, together with the calcareous crushed sands with different maximum sizes of aggregate (4 or 1 mm), which were the same for all samples. In the framework of in-situ tests, first properties of lime mortars connected with workability and casting of the renders were evaluated. This was done with the help of experienced masons, who applied the renders on the wall. On the hardened samples water absorption at low pressure and the depth of carbonisation of the samples of the rough renders were measured, along with the visual examinations of renders in order to detect damages due to freezing and thawing. The laboratory tests encompassed determination of flow value and density of fresh lime mortars, and compressive strength, shrinkage and water absorption of the hardened mortars.

Based on the analysis of obtained results, a conclusion can be made that for high quality of lime facades several conditions have to be fulfilled. The execution of layers has to be done in adequate weather conditions, on an adequately prepared surface of masonry wall, lime putty has to be used as binder, enough time has to be given to the separate layers to harden (at least four months for the rough render), and most of all, expertise achieved with years of practical work in the field of lime based mortars and renders is important.



## **ZAHVALE**

Zahvaljujem se očetu in lastniku podjetja **Gradbeništvo Franc Novak s.p.**, g. Francu Novaku, ki je s svojimi zidarskimi mojstri, z opremo, s stroji in z materialom velikodušno pomagal izdelati in preiskovati apnene omete.

Za strokovno pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorici izr. prof. dr. Violeti Bokan Bosiljkov.

Zahvala gre tudi najboljši pomočnici pri izdelavi te diplomske naloge, moji ženi.

## KAZALO VSEBINE

	Izjave	I
	Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	II
	Bibliographic-documentalistic information and abstract	III
	Zahvale	IV
<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>APNENE MALTE</b>	<b>2</b>
2.1	Sestava apnene malte	2
2.1.1	Apno	2
2.1.2	Agregat	5
2.1.3	Voda	6
2.1.4	Razmerja (apno : agregat)	6
2.2	Apneni omet	7
2.3	Poškodbe ometov	8
2.4	Lastnosti apnene malte in ometa ter njihovo določanje	10
2.4.1	Sveža malta	11
2.4.2	Strjena malta	12
2.5	Obnova zidov kulturnozgodovinskih objektov z novimi apnenimi ometi	12
<b>3</b>	<b>RAZISKAVE VZORCEV APNENIH OMETOV NA KAMNITEM ZIDU KAPELE GRADU ČRNELO</b>	<b>14</b>
3.1	Izbira in priprava podlage za nanašanje ometov	14
3.1.1	Kriteriji pri izbiri podlage (stene)	14
3.1.2	Priprava gradbišča in podlage (stene)	16
3.2	Izdelava vzorcev apnenih ometov	17
3.2.1	Sestave grobih ometov	18
3.2.2	Izdelava grobih ometov	20
3.2.2.1	Izdelava malt	20
3.2.2.2	Nanos in nega ometov	22
3.2.3	Sestave finih ometov	25
3.2.4	Izdelava finih apnenih ometov in opleska	27
3.2.4.1	Izdelava malt	28
3.2.4.2	Nanos in obdelava vzorcev finih ometov	29
3.2.4.3	Barvni premaz (oplesk)	31

3.3	Preiskave vzorcev apnenih malt in ometov	32
3.3.1	Preiskave svežih grobih malt in ometov na terenu	32
3.3.2	Preiskave strjenih grobih ometov na terenu	33
3.3.3	Laboratorijske preiskave svežih grobih malt	36
3.3.4	Laboratorijske preiskave strjenih grobih malt	38
3.3.5	Preiskave svežih finih malt in ometov na terenu	46
3.3.6	Laboratorijske preiskave svežih finih malt	47
3.3.7	Laboratorijske preiskave strjenih finih malt	48
3.3.8	Preiskave končanega (strjenega) fasadnega ometa na terenu	57
<b>4</b>	<b>ZAKLJUČEK – NAVODILO ZA IZDELAVO KAKOVOSTNIH IN EKONOMIČNIH APNENIH OMETOV</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>PREGLED LITERATURE</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>DODATEK K DIPLOMI</b>	<b>68</b>
6.1	Dodatek 1 - vremenski podatki	68

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1:	Oznaka apnenih grobih malt/ometov z recepturo	19
Preglednica 2:	Oznaka apnenih finih malt/ometov z recepturo	27
Preglednica 3:	Razlez in prostorninska masa sveže grobe malte	33
Preglednica 4:	Razlez in prostorninska masa sveže grobe malte	38
Preglednica 5:	Prostorninska masa, krčenje grobih apnenih malt in kakovost prizmic	40
Preglednica 6:	Koeficienti kapilarnega vpijanja grobih apnenih malt	42
Preglednica 7:	Tlačne trdnosti 441 dni starih vzorcev grobih apnenih malt	43
Preglednica 8:	Razlez in prostorninska masa sveže fine malte	48
Preglednica 9:	Tlačna trdnost od 467 do 531 dni starih vzorcev finih apnenih malt	55
Preglednica 10:	Primerjava tlačnih trdnosti vzorcev grobih in finih malt/ometov	57

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Preobrazba apna	5
Slika 2:	Poškodbe apnenega fasadnega ometa zaradi neprimerne barvnega premaza	10
Slika 3:	Visokotlačno pranje in očiščena stena kapele gradu Črnelo	16
Slika 4:	Očiščena podlaga s prikazom velikosti povprečne luknje in krpanje le-teh	17
Slika 5:	Zrnavostna sestava drobljenega apnenčevega peska iz Stahovice (rdeča črta) in standardna zrnavostna sestava SIA04 (črna črta)	18
Slika 6:	Izdelava grobe malte in izgled gotove (primerne) malte v mešalcu	21
Slika 7:	Priprava gomile iz živega apna in peska ter gašenje apna v pesku (gomili)	22
Slika 8:	Odvzem peska z apnom iz gomile in prvi cikel mešanja brez dodane vode	22
Slika 9:	Načrt razporeditve vzorcev grobih ometov	23
Slika 10:	Nanašanje grobega ometa in horizontalna poravnava z leseno poravnalno letvijo	24
Slika 11:	Prikaz debeline vzorcev grobih ometov	25
Slika 12:	Vsi vzorci grobega ometa	25
Slika 13:	Zrnavostna sestava uporabljene kalcitne mivke iz Stahovice	26
Slika 14:	Mešanje in izgled gotove fine malte	29
Slika 15:	Načrt razporeditve vzorcev finih ometov (rdeče = fini ometi, sivo = grobi ometi)	30
Slika 16:	Izdelava vzorcev finih ometov	30
Slika 17:	Priprava premaza (barve) in slikanje fasade na še sveže vzorce finega ometa	31
Slika 18:	Meritve vodovpojnosti na vzorcih grobih ometov	35
Slika 19:	Primerjava hitrosti absorpcije vode posameznega vzorca grobega ometa	35
Slika 20:	Krtačenje ometa za prikaz globine karbonatizacije ometa	36
Slika 21:	Prizmica grobe malte (vzorec I)	39
Slika 22:	Pripravljene prizmice grobih malt za meritve vodovpojnosti in tlačne trdnosti	39
Slika 23:	Razpolavljanje prizmic vzorcev grobih malt in meritev vodovpojnosti	41
Slika 24:	Primerjava vodovpojnosti vzorcev grobih malt	41
Slika 25:	Prikaz porušitve prizmice vzorca grobe malte pri upogibnem in tlačnem preizkusu	44
Slika 26:	Primerjava diagramov Tlačna napetost – pomik glave preizkuševalnega stroja za 441 dni stare grobe malte	44
Slika 27:	Primerjava diagramov Tlačna napetost – pomik glave preizkuševalnega stroja za vzorce III, IV, V/1 in V/2	45
Slika 28:	Razlez fine malte po 15 padcih na stresalni mizici (vzorec IIf)	47
Slika 29:	Vgradnja in razpokanost prizmic v standardnem kalupu	49
Slika 30:	Izdelava prizem fine malte v posebnem dreniranem opažu	50

Slika 31:	Prikaz skrčka fine malte po 5 dneh zaradi izgube vode	51
Slika 32:	Prizmice tik po razopaženju in strjevanje	51
Slika 33:	Izdelava izravnave prizmic fine malte s cementno pasto za tlačni preizkus	52
Slika 34:	S cementno pasto izravnane prizme finih malt	53
Slika 35:	Tlačni preizkus prizmice vzorca fine malte	53
Slika 36:	Tlačna trdnost 531(oranžna) in 467 dni (rumena) starih prizmic vzorca IVf	56
Slika 37:	Primerjava izbranih diagramov Tlačna napetost – pomik glave preizkuševalnega stroja finih malt	56
Slika 38:	Meritve vodovpojnosti fasadnega ometa (grobi + fini +oplesk)	58
Slika 39:	Prikaz površine vzorcev fasadnega ometa po meritvi vodovpojnosti	58
Slika 40:	Vodovpojnost fasadnega ometa na mestu s finim ometom If	59
Slika 41:	Vodovpojnost fasadnega ometa na mestu s finim ometom IIf	59
Slika 42:	Vodovpojnost fasadnega ometa na mestu s finim ometom IIIf	60
Slika 43:	Vodovpojnost fasadnega ometa na mestu s finim ometom IVf	60
Slika 44:	Primerjava vodovpojnosti fasadnega ometa na mestih s finim ometom IIIf in IVf	61
Slika 45:	Prikaz stanja vzorcev fasadnih ometov na dan 10.11.2007 (17 dni star fini omet in oplask) in na dan 9.4.2008 (168 dni star fini omet in oplask)	62
Slika 46:	Odstopljeni fini omet (If, IIf in IVf)	62

## 1 UVOD

V Sloveniji je veliko pomembnih objektov stavbne dediščine, ki zahtevajo stalno primerno vzdrževanje. Del te stavbne dediščine se je pogosto obnavljalo s sodobnimi gradbenimi tehnologijami in materiali, kar se je izkazalo za napako, saj so tako obnovljene stavbe med drugim izgubile tudi velik del svoje pristnosti. K sreči se v strokovnih krogih, ki skrbijo za vzdrževanje tovrstnih stavb, širi spoznanje, da je dobro vzdrževana stavbna dediščina tista, ki poleg svojega videza ohranja tudi tehnologijo, v kateri je bila zgrajena, kar enostavno pomeni, da se staro obnavlja s starim.

Izstopajoči del vzdrževanj pri zgodovinsko pomembnih stavbah je obnova njihovih fasad, ki so bile pri večini izdelane v tehnologiji apna. To pomeni, da za njihovo primerno obnovo ne potrebujemo sodobnih materialov in tehnologij, temveč mojstre (zidarje), ki bodo obvladovali tehnologijo apnenih ometov in te fasade obnovili podobno, kot so bile prvotno izdelane. Poznavanje lastnosti in tehnologije izdelave apnenih ometov, pa je danes skoraj že pozabljeno znanje. Sodobni zidarji ga praviloma nimajo, zaradi tehnološko drugačne sodobne gradnje, ki jo je omogočila poplava sodobnih materialov, sad razvoja kemijske industrije in globalizacije.

V okviru te diplomske naloge sem hotel raziskati pomembne lastnosti zunanjih apnenih ometov na kamnitih zidovih, poglobiti svoje poznavanje ometov in s prikazom procesa izdelave kakovostnih apnenih ometov prispevati k trajnostnemu vzdrževanju slovenske stavbne dediščine.

Za preiskave sem izdelal 5 različnih vzorcev apnenih fasadnih ometov v skupni površini 25,5 m<sup>2</sup> na 258 let starem kamnitem zidu kapelice gradu Črnelo. Posamezni vzorec fasadnega ometa je bil sestavljen iz grobega ometa (prvi sloj) in finega ometa (zaključni sloj) ter enakega apnenega opleska (barva) čez vse vzorce fasadnega ometa. Vzorci so se med seboj razlikovali le v uporabi različnih zračnih apen slovenskih proizvajalcev, agregat (apnenčev pesek in mivka) pa je bil enak za vse vzorce.

Poudarek raziskav je bil na terenskih analizah, pri katerih so zidarski mojstri, ki poleg modernih ometov izdelujejo tudi klasične, apnene omete, izkustveno ocenjevali in med seboj primerjali različne apnene malte za izdelavo ometov. Preiskave na terenu so dopolnile laboratorijske raziskave na svežih in različno starih strjenih maltah.

## **2 APNENE MALTE**

V Sloveniji ni starejše stavbe, v kateri ne bi našli v zgodovini zelo uporabljenega materiala, apnene malte. Ta se je v gradbeništvu množično uporabljal vse do iznajdbe sodobnega cementa v začetku 19. stoletja. S koncem secesije (prva polovica 20. stoletja) v Sloveniji pa je postal skoraj pozabljen gradbeni material. V secesiji zgrajeni objekti se danes pogosto obnavljajo. Ena izmed značilnosti tega obdobja pa je tudi sožitje cementa in apna, ki se je odražalo v sočasni uporabi cementa za konstrukcijske elemente in apna za izdelavo bogato dekorativnih fasad.

Apnena malta se je uporabljala kot vezivo za povezovanje zidakov v zidovih in v obliki ometov kot zaščita konstrukcij pred atmosferskimi vplivi ter kot podlaga za okrasni sloj.

### **2.1 Sestava apnene malte**

Apnena malta je mešanica apna, agregata in vode. Hidratizirano apno –  $\text{Ca(OH)}_2$  (imenujemo ga tudi gašeno apno) – skupaj z vodo v sveži malti predstavlja vezivno pasto, ki se s kemijsko reakcijo v nekem časovnem intervalu strdi in tako poveže zamešana zrna agregata med seboj v nov mineralni kompozitni material – apneno malto. Danes se za pripravo malt uporablja apno v dveh oblikah, kot apneno testo in kot apno v praškasti obliki (v nadaljevanju bom uporabljal izraz hidrat). Prvo nastopa v obliki paste in v tem primeru dodajanje vode malti služi le za korigiranje konsistence sveže malte. Hidrat, to je apno v prahu, pa potrebuje zadostno količino vode, da se prah spremeni v vezivno pasto in tako v sveži malti oblije zrna agregata. V preteklosti (pred 1. svetovno vojno) niso poznali hidrata, zato so poleg apnenega testa uporabljali apno v obliki žganega apna –  $\text{CaO}$  (imenujemo ga tudi živo apno), ki se ga je zmletega v zrna uporabljalo za pripravo tako imenovane živoapnene malte ali plemenite malte (več v poglavju 3.2.2).

#### **2.1.1 Apno**

Poznamo dve obliki apna: žgano in hidratizirano apno. Hidratizirano apno se v obliki dveh produktov, apnenega testa (gašeno apno) in hidrata (apno v prahu), uporablja za različne namene v gradbeništvu.

- **Pridobivanje žganega apna**

Žgano apno ali kalcijev oksid dobimo z žganjem apnenca pri temperaturah okrog  $900^\circ\text{C}$ . Pri tem se izloča ogljikov dioksid.





$\text{CaCO}_3(\text{s})$  ... kalcijev karbonat

$\text{CaO}(\text{s})$  .... kalcijev oksid (žgano apno ali »živo apno«)

$\text{CO}_2(\text{g})$  .... ogljikov dioksid

Iz čistega apnenca je mogoče pridobiti največ 56 % žganega apna. Za pridobivanje apna je priporočljiva uporaba apnenca s čim manj primesmi, s katerim je mogoče proizvesti žgano apno z najmanj 90 % CaO. V naravi apnenec zaradi procesa diagenoze (dolomitizacije) pogosto vsebuje mineral dolomit ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ) ter glinene minerale in železov oksid. Vse te primesi skupaj z načinom žganja vplivajo na končno lastnost apna.

Vsebnost deleža minerala dolomita v apnencu ima velik pomen pri namembnosti uporabe apna pridobljenega iz te kamnine. Apno iz dolomitnega apnenca je pusto in nemastno. Njegova uporaba za fasadni omet ni priporočljiva, saj omet iz takega apna ni nikoli dovolj trd in odporen na vremenske vplive.

Količina glinenih mineralov v kamnini najbolj vpliva na način vezanja (strjevanja) apna. Tako poznamo:

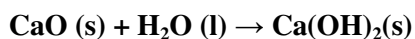
- **zračno apno** – brez reaktivnih silikatov in aluminatov – veže samo na zraku (potreben  $\text{CO}_2$ )
- **delno hidravlično apno** – do 18 % reaktivnih silikatov in aluminatov – zveže v 5 do 21 dneh (Forsyth, 2008)
- **hidravlično apno** – več kot 18 % reaktivnih silikatov in aluminatov – zveže v 1 do 4 dneh ob prisotnosti vode (Forsyth, 2008)

Poleg primesi na kvaliteto apen vpliva tudi način žganja apnenca. Priporoča se postopno segrevanje do razpada apnenca (kalcinacija) in zadrževanje na tej temperaturi. Popolna kalcinacija se izvrši pri temperaturi okrog 900 °C. Pri previsokih temperaturah v delih peči za žganje apna je lahko kalcijev oksid podvržen sintranju, pri čemer nastanejo kompaktni delci, ki ne reagirajo z vodo med procesom gašenja apna. Reagirajo pa pozneje (lahko tudi čez sto in več let), reakcija je ekspanzivna in povzroči drobljenje malte ali ometa (Torraca, 2009).

Žgano apno je zelo higroskopično, jedko in reaktivno. V gradbeništvu se ga uporablja za pridobivanje hidratiziranega (gašenega) apna.

- **Pridobivanja hidratiziranega (gašenega) apna**

Z gašenjem žganega apna dobimo hidratizirano (gašeno) apno. Kemijska reakcija pri gašenju je eksotermna, zaradi česar se lahko razvije visoka temperatura in pride do vretja vode, s katero gasimo žgano apno.



CaO (s) ... kalcijev oksid (žgano apno)

H<sub>2</sub>O(l) ... voda

Ca(OH)<sub>2</sub>(s) ... kalcijev hidroksid (gašeno apno)

Za izdelavo **apnenega testa** (Ca(OH)<sub>2</sub>) kose žganega apna (od 0,2 dm<sup>3</sup> do 0,8 dm<sup>3</sup>) v bazenu prelivamo z vodo. Najboljše gašenje je pri temperaturi 80 do 90 °C, kar dosežemo z neprestanim mešanjem in dodajanjem sveže vode. Za kvalitetno apneno testo mora le-to odležati v apneni jami vsaj 3 leta, pokrito z zadostno količino vode in zaščiteno pred zmrzaljo.

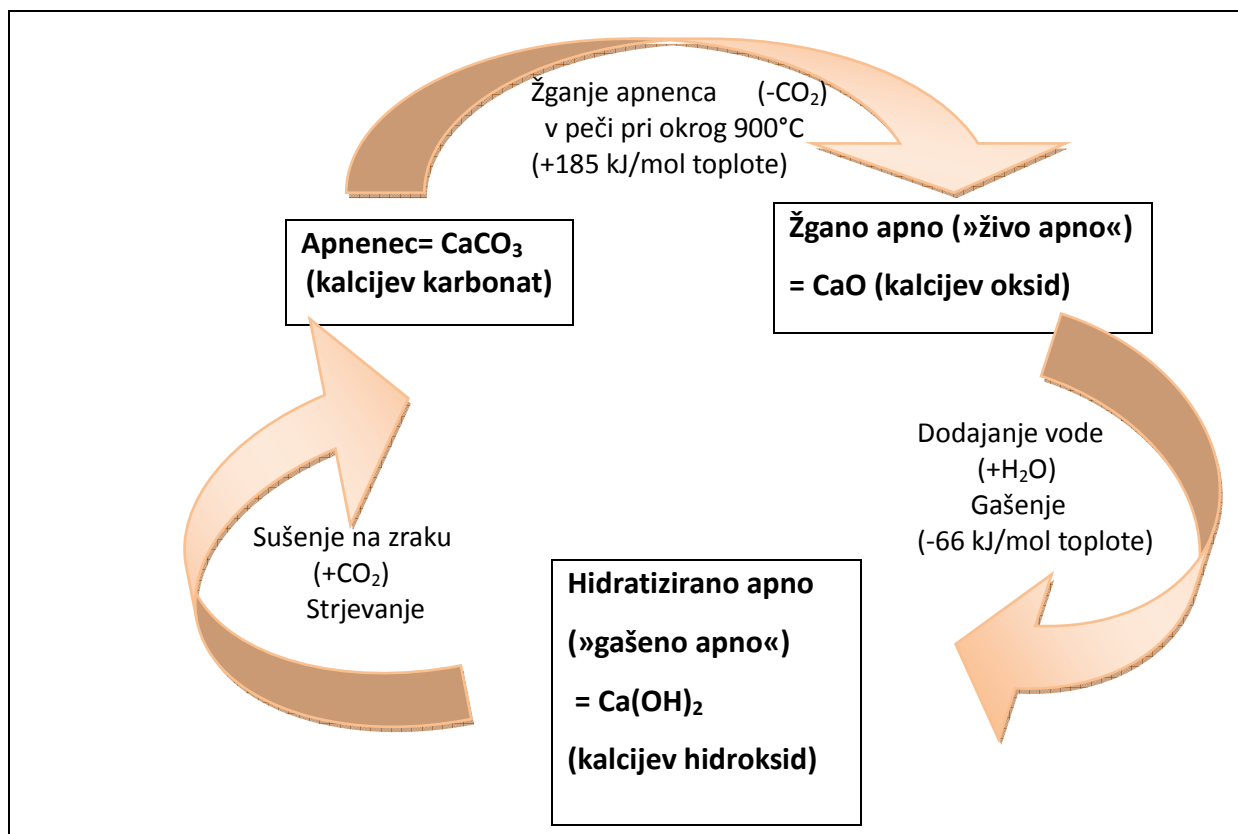
**Apneni hidrat** (apno v prahu) (Ca(OH)<sub>2</sub>) pa nastane z gašenjem z minimalno količino vode, ki še omogoča popolno hidratizacijo žganega apna. Za ta postopek gašenja zadošča približno 33 % vode glede na maso žganega apna. To apno vsebuje največ 5 % proste vode in se uporablja predvsem za izdelavo apneno-cementnih malt.

- **Strjevanje (vezanje) apna**

V stiku z zrakom hidratizirano (gašeno) apno počasi prehaja v svoje izvorno stanje, to je v kalcijev karbonat. Pri tem prehodu se v normalnih atmosferskih pogojih (temperatura > od 4 °C in vlaga < 90 %) odvijata sočasno dva procesa:

- izhlapevanje vode in postopna kristalizacija kalcijevega hidroksida iz zasičene vodne raztopine,
- karbonatizacija kalcijevega hidroksida pod vplivom ogljikovega dioksida iz zraka.

Rastoči kristali kalcijevega hidroksida v raztopini oblikujejo apneno mrežo, ki obkroža zrna agregata v malti in se z njimi poveže. Nato hidratizirano apno reagira s CO<sub>2</sub>, začne se spreminjati v kalcijev karbonat. Bližje površini dostopa CO<sub>2</sub> iz zraka lažje, zato najprej karbonatizira vrhnji sloj malte, nato pa se karbonatizacija počasi širi v globino. Ko se kalcijev hidroksid pretvori v karbonat, se mu poveča volumen za 10 %. S tem se do neke mere poveča kompaktnost površine, zmanjšajo se pore in tako še bolj omeji prehod CO<sub>2</sub> v globino. Posledično se upočasni napredovanje karbonatizacije malte. Zaradi tega lahko najdemo še nekarbonatizirano malto v zidovih iz rimskih časov. Povečanje volumna pri prehodu v kalcijev karbonat ne more nadomestiti skrčenja (zmanjšanje volumna) zaradi izgube vode.



Slika 1: Preobrazba apna

### 2.1.2 Agregat

Agregat za malte je sippek, relativno homogen, kemijsko obstojen material, sestavljen iz medsebojno nevezanih zrn določene velikosti, in ima v maltah vlogo polnila. Za apnene malte mora ustrezati enakim zahtevam kot agregat za druge debeloslojne mineralne malte (tankoslojne polimerne malte s klasično malto povezuje samo ime). Te zahteve so:

- čistost – brez organskih primesi, soli in žveplovih spojin (sulfatov, sulfidov, kloridov, nitratov in nitritov),
- ustrezna zrnovostna sestava – za različne uporabe je različna, skupna pa je zahteva po zelo majhnem deležu finih delcev (delci pod 0,02 mm največ 2 %),
- ustrezna trdnost in obstojnost – pričakuje se večja tlačna trdnost od veziva, brez preperelih zrn, glinenih grud ...

Oblika zrn za malte ne igra bistvene vloge. Znano je le, da okrogla zrna porabijo za doseganje enakih trdnosti malt več veziva in manj vode. Velikost zrn naj bo raznolika, da manjša zapolnijo prostor med večjimi.

Izbira agregata je odvisna od zahtevanih lastnosti malte (namen uporabe) in od razpoložljivosti agregatov. V večini primerov se uporabljajo različni peski, najpogosteje apnenčev in kremenčev pesek, iz kamnolomov ali rečnih korit, v frakcijah od 0 do 4 mm. Redkeje se za agregat uporabljajo razna industrijsko pridelana polnila, kot je ekspandirana glina ali vermikulit, v preteklosti pa opečnati drobir.

Peski za omete ne smejo vsebovati več kot 3 % glinenih primesi in ne več kot 1 % krede in apnenčaste moke. Ti fini delci zadržujejo vodo, zato obstaja nevarnost poškodb pri zmrzovanju, hkrati pa nastopajo pri teh maltah pri sušenju veliki skrčki in posledično razpoke. Pravilna izbira peska zmanjšuje potrebo po vezivu, zmanjšuje krčenje, večja trdnost in togost, v primeru poroznih zrn peska se poveča zmrzljinska odpornost in uravnava prostorninska teža.

### **2.1.3 Voda**

Voda za izdelavo malt mora biti čista, brez škodljivih primesi, kot so: maščobe, soli, kisline, organske in druge snovi, ki škodljivo vplivajo na vezanje in strjevanje veziva. Vrednost pH mora biti vsaj 4,5, pri čemer je boljše mehka voda kot trda, ker slednja lahko povzroča cvetenje. Načeloma se lahko za izdelovanje malt brez predhodnih preiskav uporabi vsaka pitna voda. Voda drugega izvora pa mora biti pred uporabo preiskana; dokazana mora biti njena neškodljivost na kakovost malte.

### **2.1.4 Razmerja (apno : agregat)**

Razmerje med agregatom (peskom) in apnom je odvisno od:

- agregata: za dobro povezavo zrn mora apnena pasta oblitati vsa zrna in hkrati zapolniti ves prazen prostor med zrn, kar pomeni, da čim večja kot je površina zrn in čim bolj so zrna podobne velikosti (premera), tem več veziva rabimo v malti,
- vrste apna: npr. dolomitno apno je puho in nemastno, zato ga za izdelavo malte enake vgradljivosti in obdelovalnosti potrebujemo več kot kalcitnega apna,
- debelina sloja malte: debelejši sloji imajo lahko večje največje zrno agregata in posledično manjšo količino apna, kot tanjši sloji,
- zahtev po vgradljivosti in obdelovalnosti: pri maltah za zidanje ni potrebe, da so mastne, zato potrebujemo manj apna kot pri maltah za omete, kjer zahtevana vgradljivost narekuje bolj mastne malte.

Običajna volumska razmerja za apnene malte so od 1 : 1 (1 del apna in 1 del peska) do 1 : 4 (1 del apna in 4 deli peska). Pri malti za zidanje je dovolj razmerje 1 : 3 do 1 : 4, pri ometih pa so zaradi

zahtev glede vgradljivosti in obdelovalnosti razmerja nižja in se gibljejo od 1 : 1 (npr. za fini zaključni sloj pod sliko v fresko tehniki) do 1 : 3 (npr. grobi omet).

## 2.2. Apneni omet

Omet opravlja trojno funkcijo: zaščiti konstrukcijski element (zid, obok, lok ...), izravna neravnine in služi kot podlaga za poslikavo ali kak drug okrasni sloj. Apnene malte za omete so v bistvu izboljšane malte za zidanje. Dodana je večja količina apna, skrbnejše je izbran agregat, v malto so lahko že dodani mineralni pigmenti, ki obarvajo omet in tako že sam omet brez poslikave nudi zadovoljiv estetski videz.

Večina apnenih ometov, tako notranjih kot zunanjih ali fasadnih, je sestavljena iz:

- **podložnega ometa (obrizg)**

Za kvaliteto ometov je bistvena prijemnost s podlago. To dosežemo s podložnim ometom, ki utrdi, poenoti in ustvari porozno hrapavo podlago. Malta za izdelavo obrizga je podobna malti za grobi omet, le da je skoraj tekoče konsistence z 10 do 15 % večjim deležem veziva kot pri grobi malti. V skoraj tekoči konsistenci se jo strojno ali ročno nanaša na očiščeno in navlaženo podlago 2 do 4 dni pred grobim ometom.

- **grobega ometa**

Grobi omet je debelejši sloj ometa, ki s svojo debelino izravna in zaščiti konstrukcijo pred neugodnimi atmosferskimi vplivi ter nudi zaključnemu sloju kontrolirano kakovostno podlago. Izdela se ga običajno iz grobe malte sestavljene iz peska frakcije od 0 do 4 mm in apna v volumskem razmerju 1 : 2 do 1 : 3 (apno : pesek). Nanaša se jo strojno ali ročno v mehko plastični konsistenci v debelini približno 1,5 cm. Čim debelejša je plast ometa, tem več časa je potrebnega za popolno strjen omet, ki je pogoj za možno izdelavo zaključnega finega ometa.

- **finega ometa**

Ker je grobi omet zaradi debelozrnate strukture hrapav, onemogoča kvaliteten nanos barvnega premaza, hkrati pa zaradi velike poroznosti premalo ščiti sebe in notranjost konstrukcije. Zato je potreben dodatni sloj – fini omet, ki s svojo fino zrnastostno sestavo omogoča izdelavo gladkega sloja, hkrati pa zelo zmanjša poroznost. Običajno je fina malta sestavljena v razmerju 1 : 1 do 1 : 2 (apno : mivka) in se nanaša ročno v nekaj milimetrov debel sloj. Fini omet se izdeluje na popolnoma strjen (karbonatiziran) grobi omet, saj v nasprotnem primeru fini omet zelo omeji prehod CO<sub>2</sub> v še ne strjen grobi omet v globini. Posledica je zadrževanje

vode v nestrjenem delu, ki lahko zmrzne in poškoduje omet. Zato je časovni razmik med izdelavo grobega in finega ometa več mesecev.

Kakovost apnenih ometov je odvisna od pravilne izbire agregata, kakovosti uporabljenega apna in od obvladovanja tehnologije izdelave ometov. Pri tem igrajo največjo vlogo ustrezne izkušnje zidarjev in proizvajalcev veziva, saj recepta za kvaliteten apnen omet ni. Glede na svoje izkušnje bi rad poudaril, da je potrebno kvaliteten apnen omet v praksi pogosto izdelati z omejenimi viri – lokalno razpoložljivimi materiali, zato je ustrezno strokovno znanje zidarjev tako pomembno in ga ne morejo nadomestiti še tako obsežne predhodne laboratorijske preiskave, ki praviloma potekajo v idealnih pogojih in pri katerih pogosto uporabljamo specifične materiale. Številni tovrstni materiali so za prakso predragi. Dokaz za to, kako pomembno je obvladovanje tehnologije apnenih ometov, so ohranjeni apneni ometi iz antičnega Rima, ki so jih izdelali Rimljani pred 2000 leti, brez poznavanja kemijskih enačb.

### **2.3 Poškodbe ometov**

Najpogostejše poškodbe na ometih so:

- razpoke različnih oblik,
- nabrekanje ometa na posameznih mestih,
- odstopanje ali odpadanje celotnega ometa ali posameznih delov,
- madeži, cvetenje, plesen ali gubanje na površini ometa.

Mnoge poškodbe na ometih so posledica pojavov, kot so posedanje objekta, tresljaji zaradi prometa itd., na katere ne moremo vplivati. Velik del poškodb pa je posledica nepravilne kombinacije gradbenih materialov ali nepravilne tehnologije izdelave.

Pomembna za trpežnost ometa je njegova sprijemnost s podlago. Odvisna je od poroznosti oziroma vodovpojnosti podlage. Kapilare namreč vsrkajo vodo z vezivom in s finimi delci agregata in tako malto usidrajo v podlago. Podlage, ki ne vpijajo vode, niso primerne za omete. Podlago lahko izboljšamo s podložnim ometom, ki je tanek hrapav sloj poroznega materiala. Sprijemnost ometa se izboljša tudi s poglobljenimi spojnicami v zidu, zato spojnic med kamnitimi ali opečnimi zidaki ne smemo popolnoma zapolniti.

Apnena malta se zelo počasi strjuje, zato je potrebno posebej previdno navlažiti podlago. Bolj porozne, suhe podlage (opečnati zid) dobro navlažimo, da ni prevelikega srka vode iz malte, kar bi povzročilo, da bi se malta zasušila in hitro skrčila ter posledično odpadla. Slabo vpojne podlage

(kamniti zid) navlažimo zelo malo ali nič, da ne pride do odpadanja malte zaradi filma vode, ki se ustvari med podlago in ometom.

Nenazadnje je sprejemnost ometa s podlago odvisna tudi od načina nanašanja. Glede na svoje izkušnje z apnenimi ometi bi rekel, da je najučinkovitejše strojno nanašanje pod pritiskom v tankih slojih. Vendar pa uporaba te (moderne) tehnologije ni vedno mogoča, saj je v določenih primerih potrebno uporabiti tradicionalne tehnologije nanašanja apnenih ometov (zahteve konzervatorjev).

Pri oddajanju vode iz konstrukcije in ometa pride do krčenja materiala. Če poteka izhlapevanje počasi in enakomerno, ni nevarnosti pokanja ometa. Z umetnim izsuševanjem pa lahko pride do tega pojava, v skrajnem primeru lahko popusti vez med podlago in ometom ter tako omet odpade.

Posebno področje so poškodbe ometov zaradi slabe kakovosti apen in agregatov. Primesi v apnu lahko pripomorejo k luščenju ometa. Takšne nevarne primesi so preveč oziroma pretrdo žgani delci apna, ki se pod vplivom vlage počasi gasijo v še vgrajenem ometu in s svojim nabrekanjem povzročajo luščenje. Podobno se obnašajo določene sestavine agregatov. Razne soli se raztapljajo v vodi v zidu ali ometu, med fazo sušenja se transportirajo na zunanost ometa, kjer kristalizirajo; npr. izločanje solitra. Samo izločanje soli ometa praviloma ne poškoduje, poškoduje pa barvne premaze, še posebno, če so ti izdelani na osnovi polimernih veziv.

Za kvalitetne fasadne omete so pomembne vremenske razmere v času od izdelave ometa do končanega strjevanja le-tega. Velja pravilo, da se v poletni vročini, v času nizkih temperatur (pod 5 °C) in pri močnem vetru zunanji ometi ne izdelujejo. Idealni čas izdelave fasadnih ometov je zgodnja jesen za podložni in grobi omet ter pozna pomlad za končni sloj, fini omet.

Danes je poleg vseh že naštetih dejavnikov pomemben povzročitelj hitrega propadanja ometov uporaba nekompatibilnih barvnih premazov. Večina barv na polimerni osnovi ima zelo majhno paroprepustnost, apnen omet pa v nasprotju z njimi zelo veliko. S takšnim premazom preprečimo vstopanje atmosfere vode v omet, vendar hkrati omejimo/preprečimo oddajanje vode iz zidu. Za premazom v ometu se tako zbira voda, ki lahko zmrzne in omet propade (slika 2).



Slika 2: Poškodbe apnenega fasadnega ometa zaradi neprimerne barvnega premaza

Če povzamemo, nastopajo poškodbe na ometih iz naslednjih vzrokov:

- deformacije objekta zaradi posedanja, tresljajev ...
- nezadostna zaščita pred prodiranjem vlage v konstrukcijo
- nezadostno oziroma ovirano odvajanje vlage iz ometa
- zid iz zelo higroskopičnega (vpojnega) materiala
- pregladke in premalo porozne površine podlage
- prevlažen zid
- uporaba nekakovostnega apna, npr. apno z negašenimi delci
- uporaba neprimerne agregata (peska); prisotnost organskih snovi in soli v pesku
- nepravilno razmerje apno : agregat ter prevelike količine vode
- nepravilno umetno izsuševanje
- neprimerni vremenski pogoji pri izdelavi ometov in v času nege
- pomanjkljiva obdelava podlage
- nepravilna nega posameznih slojev
- prekratki časovni intervali med izdelavami posameznih slojev ometa
- slabo nanašanje ometa in nekvalitetna končna obdelava

## **2.4 Lastnosti apnene malte in ometa ter njihovo določanje**

V osnovi so malte drobnozrnati betoni, zato zanje velja večina principov preiskav, ki veljajo za betone. Poudarek je na besedi principi, kajti kakršnokoli iskanje podobnosti med betonom in apneno malto je nemogoče, že zaradi samega procesa strjevanja, kaj šele s kakega drugega vidika.

V naslednjih podpoglavjih so opisane preiskave, ki jih je možno izvesti na apnenih maltah in ometih in so hkrati tudi potrebne za dobro poznavanje apnenih malt in ometov. Možnost izvedbe je potrjena, ker so bile vse opisane preiskave preizkušene in izvedene na vzorcih malt in ometov na kapeli.

### **2.4.1 Sveža malta**

Pri sveži malti nas zanimajo predvsem lastnosti, ki so v povezavi z vgradljivostjo in obdelovalnostjo malte.



- **Konsistenca**

Konsistenca se na terenu ocenjuje vizualno, empirično pa jo ovrednotimo z laboratorijsko preiskavo, npr. razlez na stresalni mizici.

Zidarji izkustveno ugotavljajo konsistenco že v mešalcu, da jo lahko še pred nanosom na zid korigirajo z dodajanjem vode, če je pregosta, ali z dodajanjem apna in peska, če je preveč tekoča. Standardnega postopka preskušanja konsistence malte na terenu ni, ker si ga vsak zidar sam izdelava na podlagi izkušenj. Primer: prava konsistenca grobe malte za ročno nanašanje je, ko le-ta v mešalnem bobnu lepo plava v spodnji polovici bobna, se ne zavrti v zgornjo točko bobna.

Razlez na stresalni mizici po SIST EN 1015 – 3 se izvaja tako, da vzorec sveže malte, ki ga oblikujemo s pomočjo definiranega priskekanega stožca, namestimo na ploščo stresalne mizice. Po definiranem številu 15-ih padcev plošče stresalne mizice se izmeri razlez vzorca v dveh pravokotnih smereh. Kot rezultat preiskave se poda povprečna vrednost obeh meritev v mm.

Povezava terenskih preizkusov z metodo razleza pokaže, da je za omete primerna mehko plastična malta razleza od 150 mm do 200 mm. Ustrezen razlez je odvisen od: vrste ometa, za katerega je malta namenjena (grobi ali fini omet), poroznosti podlage in načina vgradnje (strojno ali ročno).

- **Adhezija (sprijemnost) s podlago**

Pomembna lastnost je tudi adhezija s podlago. Zidarji jo preizkušajo izkustveno s pomočjo zidarske žlice. Kakšen deciliter dobro premešane malte zajamemo s čisto in vlažno zidarsko žlico, jo poravnamo po žlici in nato obrnemo. Pri tem opazujemo, kako hitro malta odpade in kakšno sled (sloj veziva) pusti na žlici. Čim hitreje malta odpade in čim manj je ostane na žlici, slabšo adhezijo ima. Adhezijo izboljšamo z dodajanjem apna.

Vse apnene malte imajo zelo dobro adhezijo s podlago, zato laboratorijske ali terenske meritve (pull-off preiskus) niso smiselne.

- **Prostorninska masa (sveže malte)**

Velika prostorninska masa pri debelejšem ometu skupaj s premajhno adhezijo s podlago in preredko konsistenco, lahko povzroči lezenje ometa oziroma odpadanje le-tega s podlage.

Posoda za določanje prostorninske mase sveže malte po SIST EN 1015-6 mora imeti prostornino 1 l, premer 125 mm in pred poskusom jo moramo stehtati. Standard priporoča uporabo posode za določanje poroznosti sveže mešanice (SIST EN 1015-7), način vgradnje malte pa je odvisen od njene konsistence. Če je razlez manjši od 140 mm, uporabljamo vibracijsko mizico, pri mešanicah srednje konsistence (razlez med 140 in 200 mm) vgrajujemo malto tako, da posodo z malto 10-krat spustimo z višine 13 mm, mešanice z razlezom večjim od 200 mm, pa vgrajujemo z vlivanjem.

## 2.4.2 Strjena malta

Preiskave na strjeni malti in ometu so opisane v poglavju 3.3.4, zato so tu samo naštet:

### Strjena malta

- **Upogibna trdnost** (ni pomembna lastnost apnenih malt za omet, sicer pa je tudi zanemarljivo majhna;  $<0,8$ [MPa])
- **Tlačna trdnost in duktilnost**
- **Vodovpojnost in poroznost**
- **Prostorninska masa**
- **Krčenje**

### Strjeni omet

- **Vodovpojnost in poroznost**
- **Hitrost strjevanja (karbonatizacija) ometa**
- **Končni izgled**

## 2.5 Obnova zidov kulturnozgodovinskih objektov z novimi apnenimi ometi

Diplomsko delo ne obravnava obnove pristnega ometa na zgodovinskem objektu z restavratorskimi posegi (ohranitev prvotnega ometa za vsako ceno), ampak se ukvarja z apnenim ometom kot z nekim primernim materialom za zamenjavo starega poškodovanega ometa v celoti. Govorimo o apnenem ometu izdelanem s sodobnimi pristopi, iz kakovostnega testiranega peska in industrijsko ali tradicionalno proizvedenega apna (apneno testo ali apneni hidrat).

Pri obnovah fasad naj bi pazili, da bi bili materiali, dodatki in tehnologije, ki jih uporabljamo, v vseh pogledih podobni zgodovinskim iz izvirnega časa, ali pa bi jim vsaj funkcijsko ustrezali. Funkcijska ustreznost je mišljena kot združljivost oziroma kompatibilnost ometa s podlago in doseganje podobnih fizikalno-kemijskih lastnosti kot jih imajo izvorni materiali. Te smernice se v preteklosti niso upoštevale. Pri obnovah fasad v bližnji preteklosti (konec 20. stol.) so se uporabljali sodobni materiali (cement, umetni polimeri ...) in rezultat je izguba velikega dela pristnosti zgodovinskega objekta, saj le- ta tudi s fasado izkazuje svojo zgodovinsko vrednost. Nova estetsko »preveč popolna – plastična« fasada naredi iz starega novo, s tem pa se tudi izniči zgodovinska vrednost.

Danes se v Sloveniji fasadni omet na zgodovinskem objektu izvede v skladu s kulturnovarstvenimi pogoji Zavoda za varstvo naravne in kulturne dediščine (ZVKD), ki veljajo za konkreten objekt oziroma poseg. ZVKD jih izdelava na podlagi predhodnih raziskav objekta, na katerem se bodo izvedli

posegi. Tudi če zgodovinska stavba ni pod varstvom ZVKD-ja, je smiselno fasadni omet obnavljati v skladu s smernico pri obnovi zgodovinskih objektov (2. odstavek tega poglavja), že zaradi tega, da se izognemo intenzivnemu propadanju novega ometa zaradi nekompatibilnosti s podlago.

Novi apneni fasadni omet je podoben izvornim fasadnim ometom na večini stavbne dediščine, zato povsem ustreza vsem kulturnovarstvenim pogojem ali smernicam, ki danes veljajo pri tovrstnih obnovah. Izdelava se ga na posameznih zaplatah ali na celotni površini v naslednjih korakih (slojih):

- popolna odstranitev propadlega ometa do kompaktne podlage (kamen, opeka),
- krpanje oziroma zazidanje lukenj v zidu,
- izdelava apnenega **podložnega ometa**,
- izdelava izravnave z apnenim **grobim ometom**,
- izdelava **finega ometa** z različnimi reliefnimi končnimi videzi (hrapavi zaribani ali gladek zaglajeni),
- visoko paroprepusten barvni premaz (najbolj priporočen je apneni premaz v fresko tehniki).

### **3 RAZISKAVE VZORCEV APNENIH OMETOV NA KAMNITEM ZIDU KAPELE GRADU ČRNELO**

Apnene omete je v Sloveniji, z množično uporabo cementa po drugi svetovni vojni, zamenjal oziroma nadgradil omet iz apneno–cementne malte. Strokovno se ta malta imenuje podaljšana malta in jo dobimo tako, da se apneni malti doda cement (do 50 % delež veziva). S tem se poenostavi tehnologija izdelave ometa in izboljšajo mehanske lastnosti ometa. Dobro poznavanje podaljšane malte in ometov ter podobnost v tehnologiji z apnenimi maltami in ometi smo izkoristili pri izdelavi in preiskavah naših vzorcev ometov, ki so bili naneseni na konkreten kamnit zid zgodovinskega objekta (severna stena kapele gradu Črnelo). Raziskave so temeljile na dvoletnih terenskih (primerjalnih) raziskavah vzorcev apnenih fasadnih ometov v sestavi:

- prvi sloj (grobi omet): 5 vzorcev grobega ometa, 5 različnih zračnih apen slovenskih proizvajalcev ter enak apnenčev pesek za vse vzorce,
- drugi sloj (fini omet): 4 vzorci finega ometa, ista različna apna kot pri prvem sloju ter enaka kalcitna mivka za vse vzorce,
- zaključni sloj (barva): čez vse vzorce enak apneni oplesk v fresco tehniki.

Ugotovitve s terena so bile preverjene in dopolnjene z laboratorijskimi preiskavami sveže in strjene malte ter fasadnega ometa kot celote (grobi + fini + oplesk).

#### **3.1 Izbira in priprava podlage za nanašanje ometov**

Diplomsko delo sloni na terenskih raziskavah, zato je bilo pomembno najti reprezentativen objekt s primerno podlago in le-to dobro pripraviti. V naslednjih podpoglavjih je opisano, kaj vse je bilo strojeno, preden je bila nanesena prva zidarska žlica ometa.

##### **3.1.1 Kriteriji pri izbiri podlage (stene)**

Iz prakse vemo, da ima podlaga (stena ali strop), poleg sestave in obdelave ometa, velik vpliv na lastnosti ometa. Zato smo določili kriterije, ki jih je morala podlaga izpolniti, da lahko rečemo, da so bili ometi nanešeni na reprezentativno (realno) podlago.

Za podlago sem izbral severni zunanji zid kapele gradu Črnelo v Turnšah pri Domžalah, ker je ustrezal naslednjim kriterijem:

1. Velika skupna ravna površina podlage z 32 m<sup>2</sup>, zato lahko površina posameznega vzorca znaša več kot 4 m<sup>2</sup>. Z veliko površino se vpliv lokalnih napak podlage na lastnosti ometov zmanjša na najmanjšo možno mero, lažje se izdelajo normativi, posamezni vzorci ometov se med seboj lažje primerjajo, dobi se dovolj prostora in materiala za preiskave ...
  2. Razpotegnjenost površine posameznega vzorca čez različno vlažne in izpostavljene podlage. To pomeni, da se vzorec razteza od tal, kjer imamo območje kapilarnega dviga in močenja ob padavinah (podlaga zasičena z vodo), do suhega (higroskopičnega) območja višje gor po steni.
- Homogen zid iz leta 1748, pozidan iz apnenčastega in dolomitnega lomljenca v apneni malti, kar zagotavlja enakost podlage za vseh pet vzorcev in tudi neko realno podlago, kakršno lahko pričakujemo pri večjem številu zgodovinskih objektov v (osrednji) Sloveniji.
  - Lokacija podlage s stališča vremenskih pogojev je odlična, ker bodo vzorci ometov izpostavljeni vsem možnim neugodnim vremenskim vplivom, ki se pričakujejo za vse podobne fasadne omete v Sloveniji (razpon temperature od -15 °C do +35 °C in relativna zračna vlaga od 30 % do 100 %). Poleg tega je podlaga na osojni strani (severna stena), kar še dodatno poveča neugodni vpliv na fasadni omet.

V dodatku **1** k temu diplomskemu delu so podani vremenski podatki za čas opazovanja vzorčnih ometov iz avtomatske vremenske postaje v Krtini, ki je oddaljena od mesta preizkušanja ometov 3,5 km.

- Možnost izvedbe raziskav, saj se lastnik in Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Enota Kranj, ki skrbita za kapelo, strinjata s posegi potrebnimi za raziskave.

Ker bodo dela, potrebna za raziskave ometov, posegala v kapelo in okolico dlje časa, je bila z lastnikom g. Janezom Burico sklenjena najemna pogodba za koriščenje severne stene kapele in okolice za obdobje dveh let.

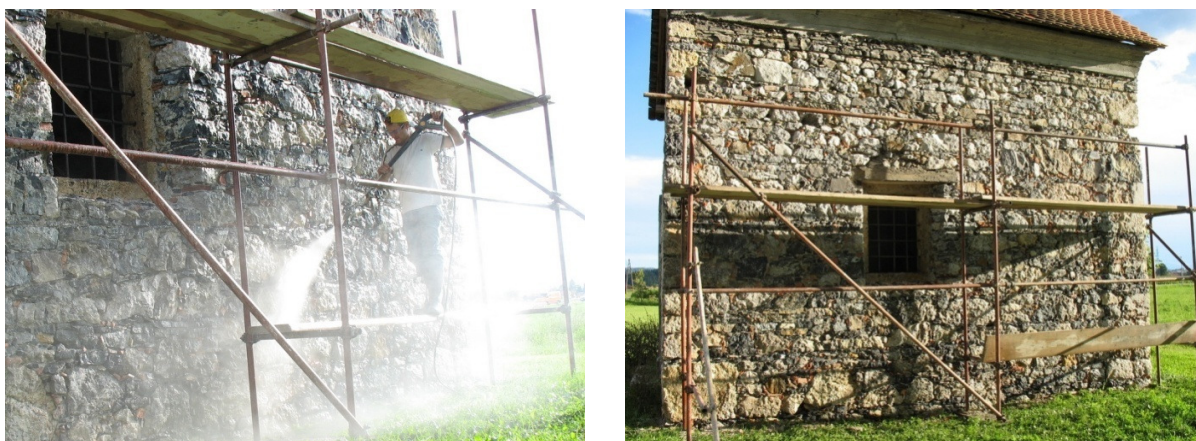
Kapela je kot del grajskega kompleksa spomeniško zaščitena, zato je bilo pridobljeno tudi dovoljenje Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Enota Kranj, za vse posege na kapeli, ki so potrebni za raziskave ometov. S strani zavoda je dela spremljala ga. Maja Avguštin.

- Že odstranjen prvotni fasadni omet in objekt potreben temeljite obnove, je bil tudi velik plus pri izbiri podlage, saj z našimi raziskavami tako ne bi ničesar odvzeli objektu, temveč bi ga samo nadgradili z novimi vzorčnimi fasadnimi ometi, ki bi jih lastnik lahko zadržal kot del nove fasade objekta. Prvotni fasadni omet so pred leti že odstranili domačini, ki so nameravali obnoviti zunanost kapele.

### 3.1.2 Priprava gradbišča in podlage (stene)

V fazi priprave gradbišča smo postavili oder (31 m<sup>2</sup>), ki je bil v uporabi ves čas terenskih preiskav (od avgusta 2006 do aprila 2007), saj so vzorci ometa segali od tal do višine 4,2 m.

Veliko dela je bilo s pripravo podlage za nanos vzorčnih ometov. Praksa pokaže, da se od 25 % – 30 % časa pri zamenjavi fasadnih ometov na zgodovinskih objektih porabi za pripravo podlage. Ta vključuje: mehansko odstranitev obstoječega ometa, visokotlačno pranje, s katerim se odstranijo še preostali deli starega ometa in delno poglobijo spojnice (fuge), zazidanje večjih lukenj, ki jih samo z ometom ne bi mogli prekriti. Z našega zidu je bil omet že pred leti odstranjen, ker pa so se tekom let na zidu zarasli alge in lišaji, sem podlago očistil z vodnim curkom pod pritiskom 180 barov in pretokom vode 2,1 m<sup>3</sup>/h. Za večji učinek je bila uporabljena še rotacijska šoba, ki poveča energijo vodnega curka.



Slika 3: Visokotlačno pranje in očiščena stena kapele gradu Črnelo

Med čiščenjem so iz spojníc (fug) med večjimi kamni odpadli manjši kamni velikosti pesti ali manj in malta. Nastale so luknje velikosti 1– 3 dm<sup>3</sup>, katere je bilo potrebno pred nanosi ometov zapolniti. Luknje, ki so bile enakomerno razporejene po vsej steni, sem zapolnil z grobo apneno malto zamešano v razmerju 1 : 2,6 (apneno testo : apnenčev pesek 0 – 4 mm). Večje luknje sem poleg malte zapolnil tudi z manjšimi kamni, ki so med pranjem odpadli. Za zapolnitev vseh lukenj sem porabil 0,16 m<sup>3</sup> grobe apnene malte. Luknje sem pokrpal dva dni pred nanašanjem vzorčnih grobih ometov, da je bila malta že toliko strjena, da ob nanašanju vzorcev grobega ometa ni imela vpliva na hitrost strjevanja letega.



Slika 4: Očiščena podlaga s prikazom velikosti povprečne luknje in kranje le teh

Del priprav podlage (stene) je bila priprava vodil („suhi faž“) kot pomoč pri izdelavi ravnih ometov. To je v nasprotju s prakso v preteklosti, ko je omet v debelini do maksimalno 2 cm bolj ali manj sledil površini stene in ni bilo mogoče na celem objektu najti stene z ravnim ometom. Danes pri ljudeh neraven omet meče slabo luč na zidarja in kvari estetiko objekta, pa četudi gre za nov omet na zgodovinskem objektu. Zaradi tega splošnega trenda po »popolnosti« sem se odločil, da bodo vzorčni ometi vsaj približno ravni. Približno pa zato, ker je bilo še vedno potrebno izpolniti pogoj o minimalni in maksimalni debelini klasičnega (apneni-cementnega) ometa. Ta debelina je v praksi za grobi apneni omet enaka dvakratnemu premeru maksimalnega zrna peska (0,8 cm) za minimalno debelino. Maksimalna debelina pa je dobljena z nanosom ometa v dveh slojih in znaša okoli 4 cm. Podlaga je neravna za več kot 10 cm (izbočenost sredine zidu), zato sem jo poravnal v dveh različnih ravninah, ki se stikata na sredini (pri oknu). Na vogalih sem za vodilo uporabil lesene deske, v sami steni pa pod vrstico zabite zidarske sponke, ki ob nanosu grobega ometa služijo kot fiksne podporne točke poravnalni letvi.

Ustaljena praksa pri pripravi podlage je tudi nanos obrizga (podložni omet), tankega sloja ometa iz redke podaljšane grobe malte, za boljšo sprijemljivost novega ometa s podlago. Le-tega na naši podlagi nisem izvedel, ker sem smatral, da je dovolj hrapava za omogočanje dobre sprijemnosti z grobim ometom.

### 3.2 Izdelava vzorcev apnenih ometov

Nov fasadni apneni omet na zgodovinskih objektih je pogosto sestavljen iz naslednjih slojev: grobi obrizg, grobi apneni omet, fini omet in oplesk (barva). V našem primeru smo vzorce ometov v vseh slojih izdelali tako, kot bi jih izdelali izkušeni zidarji v praksi. Izdelanih je bilo 5 vzorcev grobih apnenih ometov, po več kot enoletnem premoru so bili nanje naneseni 4 vzorci finih ometov, kot zaključni sloj je bil čez vse nanesen barvni premaz iz obarvanega apnenega premaza v fresco tehniki.

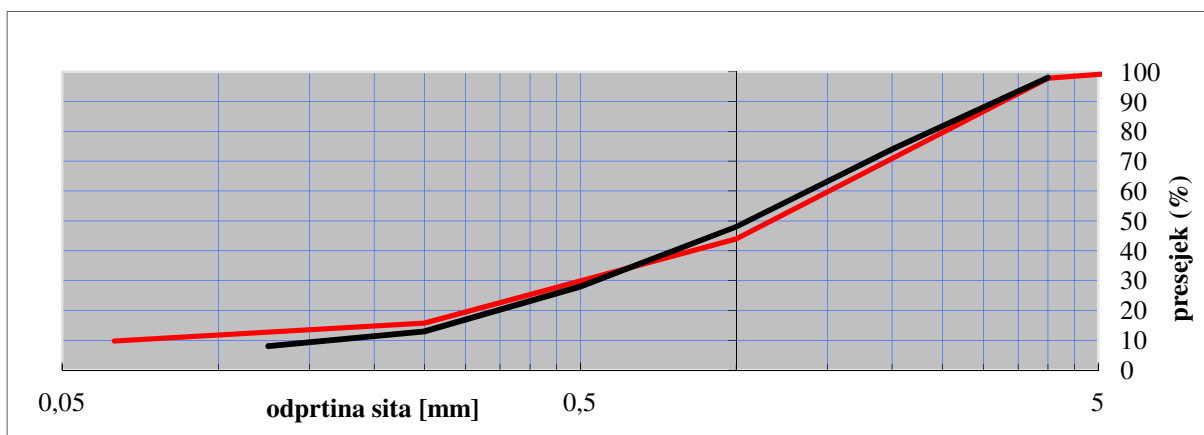
### 3.2.1 Sestave grobih ometov

Za vseh 5 vzorcev grobega ometa so bile malte sestavljene iz enakega agregata – drobljeni apnenčev pesek 0 – 4 mm iz kamnoloma v Stahovici, različnega veziva (različna zračna apna) in pitne vode.

Pesek je bil izbran na podlagi:

- priporočila zidarjev, ki so že izdelovali apnene omete z njim,
- zagotovljene stalne kontrole kakovosti s strani proizvajalca,
- primerne zrnastostne sestave in visoke kemične čistosti,
- rentabilnega prevoza zaradi bližine separacije mestu gradnje,
- dejstva, da gre za najbolj razširjeno vrsto peska v Sloveniji (apnenčev pesek).

Na sliki 5 je prikazana primerjava med zrnastostno sestavo uporabljenega peska, določeno s strani proizvajalca peska, in zrnastostno sestavo, ki jo za malte za omete priporoča švicarski standard (oznaka SIA04).



Slika 5: Zrnastostna sestava drobljenega apnenčevega peska iz Stahovice (rdeča črta) in standardna zrnastostna sestava SIA04 (črna črta)

Vzorci so se med seboj razlikovali glede na uporabljeno apno in glede na njegov delež v malti. Končni delež apna in vode v posameznem vzorcu je izkustveno določil zidar, ki je nanašal vzorce grobega ometa, da je bilo zadoščeno pogoju dobre vgradljivosti in obdelovalnosti (pogoj opisan v poglavju 3.2.2).

V vzorcih grobega ometa so bila za vezivo uporabljena naslednja zračna apna Slovenskih proizvajalcev:

- vzorec I : apno testo iz Podpeči (surovina je dolomit, žgan in gašen na tradicionalni način, apno odležano več kot 3 leta),



- vzorec **II**: apneno testo iz Stranj (surovina je kalcit, žgan in gašen na tradicionalni način, apno je odležano več kot 3 leta),
- vzorec **III**: hidrat iz Solkana (surovina je kalcit, ki vsebuje 97 %  $\text{CaCO}_3$ , žgan v jaškastih pečeh na zemeljski plin, delno gašen),
- vzorec **IV**: živo apno iz Solkana (surovina je kalcit, ki vsebuje 97 %  $\text{CaCO}_3$ , žgan v jaškastih pečeh na zemeljski plin, CaO je drobljen na zrna velikosti 3 – 9 mm za potrebe v kmetijstvu , čistost >90 %),
- vzorci **V/1, V/2, V/3**: apneno testo iz Žirov (surovina je kalcit, ki vsebuje 97 %  $\text{CaCO}_3$ , žgan v jaškastih pečeh na zemeljski plin, prebrano kakovostno živo apno gašeno na tradicionalni način, apno odležano več kot 3 leta).

V preglednici 1 so prikazani količine in razmerja uporabljenih materialov pri izdelavi posameznih vzorcev malt, iz katerih smo nato napravili vzorce grobih ometov. Pri tem je oznaka vzorca malte enaka oznaki vzorca ometa, v katerega je bila malta vgrajena.

Vzorec	Material	Masa [kg]	Volumen [dm <sup>3</sup> ]	Masno razmerje	Volumensko razmerje
<b>I</b>	Drobljeni apnenčev pesek	242,55	153	3.18	<b>2.83</b>
	Apneno testo iz Podpeči	76,35	54	1	<b>1</b>
	Pitna voda		21.5		
<b>II</b>	Drobljeni apnenčev pesek	239,75	153	3.29	<b>2.83</b>
	Apneno testo iz Stranj	72,95	54	1	<b>1</b>
	Pitna voda		25		
<b>III</b>	Drobljeni apnenčev pesek	232,05	156	5.77	<b>2.167</b>
	Hidrat iz Solkana	40,2	72	1	<b>1</b>
	Pitna voda		55		
<b>IV</b>	Drobljeni apnenčev pesek s suho gašenim apnom	232	180		
	Samo apno iz sredine kupa	10	10		
	Voda dodana v mešalec		37.7		
<b>V/1</b>	Drobljeni apnenčev pesek	229,75	153	3,25	<b>2.81</b>
	Apneno testo iz Žirov	70,65	54	1	<b>1</b>
	Pitna voda		16,4		
<b>V/2</b>	Drobljeni apnenčev pesek	81,85	54	3,03	<b>2,57</b>
	Apneno testo iz Žirov	27	21	1	<b>1</b>
	Pitna voda		5,7		
<b>V/3</b>	Drobljeni apnenčev pesek	48,8	33	2.97	<b>3</b>
	Apneno testo iz Žirov	16,45	11	1	<b>1</b>
	Pitna voda		2,7		

Preglednica 1: Oznaka apnenih grobih malt/ometov z recepturo

### 3.2.2 Izdelava grobih ometov

Poleg reprezentativne (realne) podlage je bila tudi sama izdelava vzorcev malt na gradbišču, nanos letih na podlago in končna obdelava ter nega grobih ometov enaka ustaljeni praksi izdelave klasičnih grobih ometov iz podaljšane malte na večini gradbišč v Sloveniji.

#### 3.2.2.1 Izdelava malt

Površina posameznega vzorca ometa se giblje med 4,0 do 4,5 m<sup>2</sup>, za kar po GNG gradbenih normah (GIPOSS, 1984) potrebujemo od 0,16 m<sup>3</sup> do 0,18 m<sup>3</sup> malte. Zaradi kasnejših laboratorijskih preiskav malte in rezerve za primer večjega odpada ometa, sem izdelal približno 0,2 m<sup>3</sup> malte za posamezni vzorec ometa.

Za vsak posamezen vzorec ometa sem malto zamešal naenkrat s klasičnim prenosnim mešalcem za beton kapacitete mešanja 0,27 m<sup>3</sup>. Posamezne sestavine (apno, pesek in vodo) sem pred stresanjem v mešalec tehtal z digitalno osebno tehtnico natančnosti  $\pm 0,1$  kg in meril nasipni volumen z umerjenim 18-litrskim gradbenim vedrom (količine prikazane v preglednici 1). V prvem ciklu mešanja sem zamešal vodo, pesek in apno v količinah, izračunanih iz GNG gradbenih norm. Zaradi ekonomičnosti je bilo izbrano višje začetno razmerje apno : pesek 1 : 3, ki se ga je kasneje v mešalnih ciklih zmanjševalo, dokler ni bila malta primerna za izdelavo ometa. Zaradi optimalnega in kakovostnega mešanja je pomemben način in vrstni red stresanja materialov v mešalec. Najboljši način mešanja je, da se ob stalnem vrtenju bobna postopoma stresa material v mešalec, in sicer najprej večino potrebne vode, sledi 1/3 peska, zatem vse apno in na koncu preostali pesek ter po potrebi še voda. Z opisanim vrstnim redom se prepreči lepljenje apnenega testa na stene bobna, ki podaljša čas mešanja za več kot dvakrat.

Tako zmešano malto sva preizkusila z zidarjem (izšolan zidar s 27 leti prakse na področju izdelave klasičnih ometov, sam imam tudi 8-letno zidarsko prakso), in če ni ustrezala zahtevam po dobri vgradljivosti in obdelovalnosti, sva jo v naslednjih ciklih izboljševala z dodajanjem apna in vode. V žargonu zidarjev je zahtevana mehka in ravno prav mastna malta. V skladu z veljavnimi standardi pa mora malta biti mehko plastične konsistence (razlez na stresalni mizici po SIST EN 1015-3 od 15 do 16,5 cm), poleg tega pa še ustrezna kohezivnost in homogenost malte z istočasno visoko sprijemnostjo s podlago.

Malta je bila po prvem ciklu priprave po mnenju zidarjev „suha in pusta“, kar sva ugotovila z vizualnim pregledom malte v mešalnem bobnu, s preizkusom lepljivosti na čisti zidarski žlici in s

poskusnim nanosom ometa na podlago. Malto sem zato izboljšal v novem ciklu z dodajanjem apna in vode. Tako so se 10-minutni cikli mešanja seštevali, dokler ni bila zamešana malta primerna za nanos na podlago. Primerna pomeni, da v mešalnem bobnu izgleda homogeno in plastične konsistence, pri preizkusu z zidarsko žlico se ravno prav sprijema z njo in na njej pusti dobro viden film veziva, ko jo stresemo z nje. In nazadnje, ko vržemo vzorec malte na podlago (steno), se enakomerno razleze in sprime s podlago (nič je ne odpade). Ker gre pri tem predvsem za izkušnje, ki jih vsak zidar pridobi s prakso, teh preizkusov ni mogoče dosledno zapisati, še manj pa empirično ovrednotiti.



Slika 6: Izdelava grobe malte in izgled gotove (primerne) malte v mešalcu

Posebnost je bila izdelava grobe malte iz živega apna, imenovane tudi živoapnena malta (vzorec **IV**), po zgodovinskem postopku, ki ga je demonstriral priznani avstrijski strokovnjak za obnovo zgodovinskih objektov v okviru delavnice Apno in apnene tehnologije, Prapreče pri Lukovici, 2003 (organizator Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenje).

Izdelava živoapnene malte se odvija v dveh delih in sicer:

1. del: Gašenje živega apna v pesku 3 do 5 dni pred pričetkom izdelave ometa.

Iz  $342 \text{ dm}^3$  (516 kg) apnenčevega peska in  $54 \text{ dm}^3$  (50 kg) živega apna zrnivosti od 3 do 9 mm (volumsko razmerje živo apno : pesek = 1 : 6,4; priporočilo 1 : 7) sem napravil gomilo (»sendvič« iz peska in živega apna). Polovico peska sem razgrnil po geotekstilu (možnost odtekanja viška vode v teren in hkrati ločitev gomile od podlage), položenem na travo, na ta pesek nato razgrnil živo apno (slika 7 levo) in vse skupaj prekril še s preostalim peskom. Na nastalo gomilo sem z vrha počasi nalival vodo (50 litrov) in pri tem pazil, da je vsa poniknila. Živo apno se je začelo „kuhati“ v pesku, nastajale so razpoke na gomili in sproščala se je toplota. Da je prišlo do kemične reakcije z veliko količino sproščene toplote, kaže slika 7 desno, kjer se vidi izparevanje vode iz gomile.



Slika 7: Priprava gomile iz živega apna in peska ter gašenje apna v pesku (gomili)

2. del: Mešanje sestavin iz gomile tik pred izdelavo ometa.

5 dni po pripravi gomile sem zamešal približno polovico gomile v malto.  $180 \text{ dm}^3$  (232 kg) peska in apna sem vzel čelno iz gomile (pri tem sem pazil na ohranitev razmerja apno : pesek) in dal v mešalec, kjer se je 10 minut mešalo brez dodane vode. V naslednjih dveh 10-minutnih ciklih mešanja sem dodal vodo (37,7 litra) in izboljšal malto z apnom ( $10 \text{ dm}^3$ ) iz sredine gomile, ker je zidar ocenil, da je malta „pusta“. V mešalnem bobnu je bilo zaznati povišanje temperature, kar kaže na to, da so se med mešanjem in dodajanjem vode v mešalcu še gasila zrna živega apna.



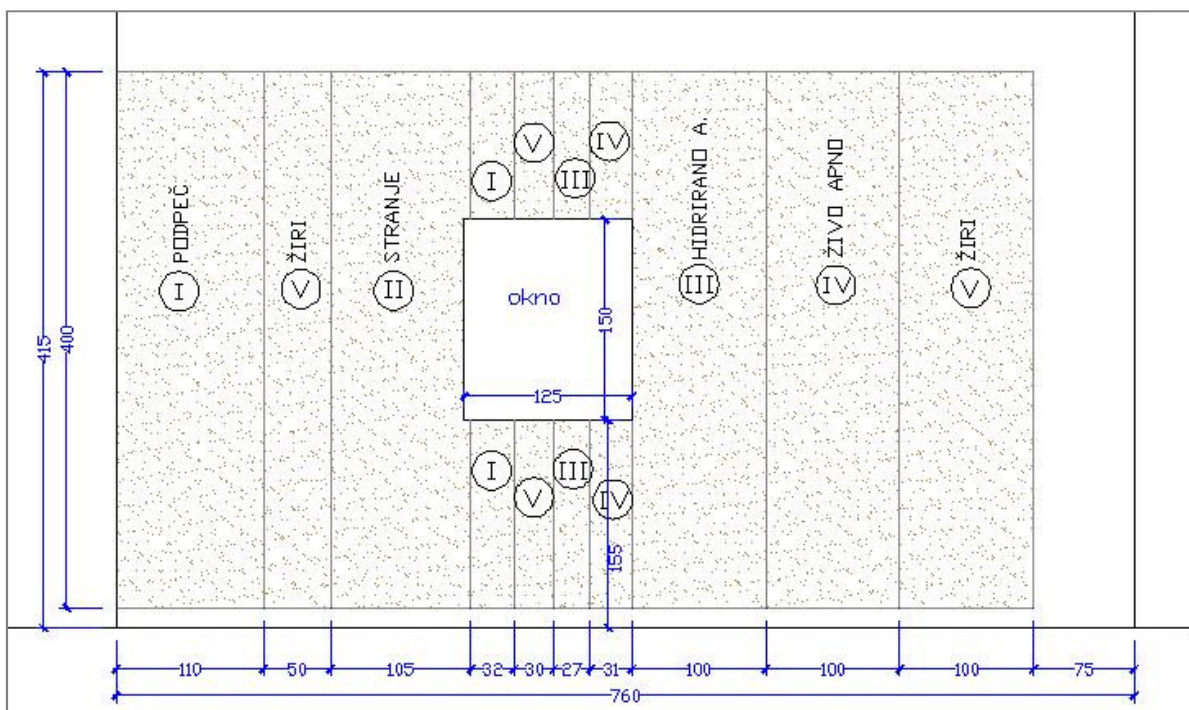
Slika 8: Odvzem peska z apnom iz gomile in prvi cikel mešanja brez dodane vode

### 3.2.2.2 Nanos in nega ometov

Na pripravljeno podlago je kvalificirani zidar z mojo pomočjo nanašal vzorce grobih ometov. Malta za vsak posamezen vzorec je bila zmešana ločeno (en mešalec malte je en vzorec ometa), kot je bilo



predstavljeno v poglavju 3.2.2.1. Vzorci pa so bili razporejeni v vertikalnih pasovih dimenzij približno 400 cm x 100 cm (prikazano na sliki 9).



Slika 9: Načrt razporeditve vzorcev grobih ometov

V prvem dnevu (11.09.2006, sončno 20 °C, RH = 56 %) sva od 9.00 do 16.00 nanesla vzorce v naslednjem vrstnem redu: **II**, **I**, **V/1** in **V/2**. Vzorca V/1 in V/2 sta ometa iz enake malte, vendar je bilo potrebno napraviti dva mešalca malte zaradi večje površine (skupaj 6,8 m<sup>2</sup>) vzorca ometa in premajhne kapacitete mešalca. V drugem dnevu (12.9.2006 sončno 22 °C, RH = 54 %) sva od 9.00 do 15.00 nanesla vzorce preostalih ometov (**III** in **IV**).

Postopki izdelave vzorcev ometov so bili enaki, kot so za izdelavo klasičnega (iz podaljšane malte) grobega ometa. Na vlažno podlago se z zidarsko žlico nameče malta, nato se odvečna malta poreže (postrga) s poravnalno letvijo in po približno 30 minutah (odvisno od poroznosti podlage, debeline ometa, zračne vlage ...), ko omet postane kompakten, zariba z leseno gladilko (štosman). V primeru vzorca **III** je bilo potrebno zaribati dvakrat, drugič po 2 urah, ker je omet že v tem času zelo razpokal.

Zaribati omet pomeni, da se z leseno gladilko s pritiskom s krožnimi potegi ravna in komprimira omet, ki je ravno toliko strjen oziroma kompakten, da prst težko vtisnemo vanj (trdo plastičen). Tako obdelan omet je zaradi uporabe lesene gladilke in zrn peska še vedno hrapav.



Slika 10: Nanašanje grobega ometa in horizontalna poravnava z leseno poravnalno letvijo

Med ometavanjem sva v vsak vzorec ometa, v pasu cca 80 cm od tal in 1,5 cm pod površino ometa, vgradila 15 x 15 cm velike plošče iz pocinkane pločevine kot del priprave za kasnejše meritve vodovpojnosti vzorcev grobih ometov (več v poglavju 3.3.1.2).

Dodatna obdelava grobega ometa v skladu z dobro prakso pri fasadnih ometih zajema tudi struganje (praskanje) malo strjenega grobega ometa kak dan po njegovem nanosu. Z mačkom (orodje z jeklenimi žebli, gosto razporejenimi po ravni nosilni podlagi), s katerim se struga (praska) grobi omet, se ustvari enakomerna hrapava površina za boljši sprijem s finim ometom, poravna morebitne manjše neravnine in „odpre“ površino ometa, kar še pospeši njegovo nadaljnje strjevanje. Vzorce ometov sem ostrgal po 4 dneh na zgornji polovici stene in po 6 dneh na preostali spodnji polovici, saj se je tu omet strjeval opazno počasneje. Razlog je v vlažnosti spodnjega dela zidu in dežju dva dni po nanosu ometov, ki je še dodatno navlažil spodnji del ometov.

Pomemben del nege ometov je primerno vlaženje podlage in kasneje ometa, da se le-ta ne »zapeče«. Naše podlage pred nanosom in po njem nisva vlažila (razen naravnega posrednega vlaženja zaradi dežja), zaradi zadostne vlažnosti in majhne vpojnosti podlage, saj je zid večinoma iz dolomitnega lomljenca, ki je zelo kompakten (malo porozen). Dodatno vlaženje podlage tik pred nanosom ometa bi povečalo možnost odpadanja ometa zaradi vodnega filma, ki bi se ustvaril med podlago in ometom. Vlažna neporozna podlaga namreč ne bi absorbirala vode, ki bi jo oddal omet. Nastal bi vodni film med podlago in ometom, kar bi izničilo adhezijo in omet bi po nekaj urah odpadel.





Slika 11: Prikaz debeline vzorcev grobih ometov



Slika 12: Vsi vzorci grobega ometa

### 3.2.3 Sestave finih ometov

Za vse 4 vzorce finega ometa so bile malte sestavljene iz enakega agregata (kalcitna mivka 0/1 mm, surovina iz kamnoloma v Stahovici), različnega veziva (različna zračna apna) in pitne vode.

Mivka je bila izbrana na podlagi:

- priporočila zidarjev,
- zagotovljene stalne kontrole kakovosti s strani proizvajalca,
- primerne zrnastostne sestave,
- rentabilnega prevoza – zaradi bližine separacije,
- izvora surovine iz istega kamnoloma kot pesek za grobo malto,
- visoke kemijske čistosti.

Za uporabljeno mivko proizvajalec podaja naslednje fizikalno – kemijske karakteristike:

- **Fizikalne lastnosti**

pH - vrednost (ISO 787/9) = 9

Vlaga (ISO 787/2) = max.0,2 %

Nasipna gostota (ISO 787/11) = 1,5 g/ml

Trdota po Mohs-u = 3

- **Kemična analiza**

CaCO<sub>3</sub> = 98 %

MgCO<sub>3</sub> = 1,5 %

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,02 %

SiO<sub>2</sub> = maks.0,05 %

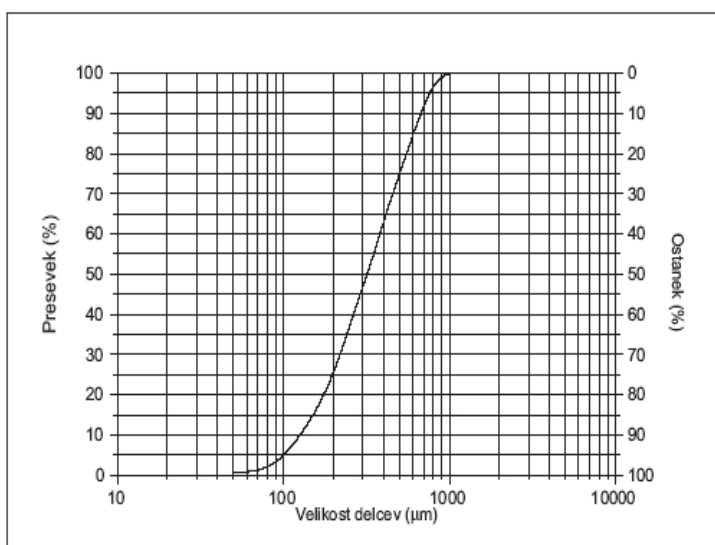
Žaroizguba = 42,8 %

Netopno v HCl = 0,07 %

- **Območje velikosti delcev**

R 1,0 mm = max.1 %

R 0,1 mm = min.90 %



Slika 13: Zrnastostna sestava uporabljene kalcitne mivke iz Stahovice



Vzorci so se med seboj razlikovali glede na uporabljeno apno in glede na njegov delež v malti. V vzorcih finega ometa so bila uporabljena enaka zračna apna slovenskih proizvajalcev kot za izdelavo grobih ometov, le da fina malta iz živega apna ni bila izdelana. Povezava apna in vzorca je naslednja:

- vzorec **If**: apneno testo iz Podpeči,
- vzorec **IIf**: apneno testo iz Stranj,
- vzorec **IIIf**: hidrat iz Solkana,
- vzorec **IVf**: apneno testo iz Žirov.

V preglednici 2 so prikazane količine in razmerja uporabljenih materialov pri izdelavi posameznih vzorcev malt, iz katerih sem nato napravil vzorce finih ometov. Pri tem je oznaka vzorca malte enaka oznaki vzorca ometa, v katerega je bila malta vgrajena.

Vzorec	Material	Masa [kg]	Volumen [dm <sup>3</sup> ]	Masno razmerje	Volumensko razmerje
<b>If</b>	Kalcitna mivka	82,7	49	2,07	<b>1,81</b>
	Apneno testo iz Podpeči	40,03	27	1	<b>1</b>
	Pitna voda		15		
<b>IIf</b>	Kalcitna mivka	82,6	49	2,13	<b>1,76</b>
	Apneno testo iz Stranj	38,82	27,08	1	<b>1</b>
	Pitna voda		15		
<b>IIIf</b>	Kalcitna mivka	82,6	49	5,29	<b>1,69</b>
	Hidrat iz Solkana	15,6	29	1	<b>1</b>
	Pitna voda		33		
<b>IVf</b>	Kalcitna mivka	53,7	32	2,15	<b>1,78</b>
	Apneno testo iz Žirov	24,9	18	1	<b>1</b>
	Pitna voda		10		

Preglednica 2: Oznaka apnenih finih malt/ometov z recepturo

### 3.2.4 Izdelava finih apnenih ometov in opleska

Zaključni sloj (omet) pri klasičnem fasadnem ali notranjem ometu je danes večinoma zariban fini omet zaradi svoje ekonomičnosti, enostavne izdelave in enakomerno hrapave teksture, ki je zelo dobra podlaga za vse vrste barvnih nanosov. Pri obnovi fasad zgodovinskih objektov pa se uporablja tudi zalikan fini omet, ki se od zaribanega loči le po končni tehniki obdelave. Zaribanega napravimo, ko z

leseno gladilko (štosman) s krožnimi gibi poravnamo naneseo fino malto, zalikan fini omet pa poravnamo in zagladimo z jekleno gladilko. Še svež zalikan fini omet lahko hitro spremenimo v zariban fini omet: malo ga poškopimo z vodo zalikan omet in nato z leseno gladilko s krožnimi gibi ustvarimo enakomerno hrapavo teksturo. To pa tudi potrjuje majhno razliko med obema vrstama ometa in sprejemljivost izbire zaribanega finega ometa za naš zaključni omet.

Tako kot ima podlaga pomembno vlogo pri grobem ometu, ima tudi grobi omet kot podlaga finemu ometu pomembno vlogo pri lastnostih finega ometa oziroma posledično pri lastnostih fasadnega ometa kot celote. Pri podlagi je tako pomembna njena zrelost, karbonatiziranost (strjenost) grobega ometa, ki mora biti čim večja. Povedano drugače, grobi omet mora biti popolnoma strjen pred nanosom finega ometa. Dobra praksa narekuje večmesečni presledek med izdelavo grobega in finega ometa. V našem primeru so bili vzorci grobega ometa ob nanosu vzorcev finega ometa stari 16,5 meseca (499 dni).

### 3.2.4.1 Izdelava malt

Ob védenju, da je apnena malta lahko izdelana prej (za strjevanje apnene malte potreben CO<sub>2</sub>-karbonatizacija, primer iz prakse: zidarji ob koncu dneva neporabljeno apneno malto pustijo v mešalcu prelito z vodo in drugi dan samo odlijejo višek vode, premešajo in nadaljujejo z izdelavo finega ometa); zato sem vzorce finih malt zaradi ekonomičnosti in prihranka časa izdelal 4 dni (20.10.2007) pred nanosom (24.10.2007) na bližnjem gradbišču novogradnje.

Za vsak posamezni vzorec ometa sem malto (0,076 m<sup>3</sup>) zamešal naenkrat s klasičnim prenosnim mešalcem za beton kapacitete mešanja 0,15 m<sup>3</sup> (slika 14). Posamezne sestavine (apno, mivko in vodo) sem pred stresanjem v mešalec tehtal z digitalno osebno tehtnico natančnosti ± 0,1 kg in meril nasipni volumen z umerjenim 18-litrskim gradbenim vedrom (količine prikazane v preglednici 2). V prvem 10-minutnem ciklu mešanja sem zamešal vodo, mivko in apno v količinah, izračunanih iz internih norm podjetja. Zaradi ekonomičnosti je bilo izbrano višje začetno razmerje apno : mivka 1 : 1,9, ki se je kasneje v mešalnih ciklih zmanjševalo, dokler ni bila malta primerna za izdelavo ometa. Želel sem, da bi malte imele lastnosti dobre vgradljivosti in obdelovalnosti ter bi bile hkrati izdelane približno iz enakega volumskega razmerja sestavin. Tako sem dosegel razmerje za malte iz apnenega testa od 1 : 1,76 do 1 : 1,81 in za malto iz hidrata 1 : 1,69. Ali je posamezna fina malta primerne vgradljivosti in obdelovalnosti, sem preizkušal po vsakem mešalnem ciklu z izdelavo vzorca finega ometa na opečnem zidu novogradnje. Glede na izkušnje iz prakse sem ocenil, ali se vzorec nanaša v skladu s pričakovanji in nato dobro poravna in zariba. Vsi vzorci fine malte so se po prvem ciklu sprejemljivo nanašali, vendar se je pri vseh med zaribavanjem mivka izločevala iz ometa (nekohezivna malta zaradi premalo apna). Tako sem v drugem ciklu mešanja dodal od 1 dm<sup>3</sup> do 2 dm<sup>3</sup> apna na 0,076 m<sup>3</sup> malte (količina izdelane posamezne vrste fine malte). Po drugem ciklu mešanja (skupno 20 minut mešanja) so bile že

vse malte primerne. Nato sem jih stresel v plastične 150-litrne sode, prelil z 10 litri vode in transportiral do kapele.



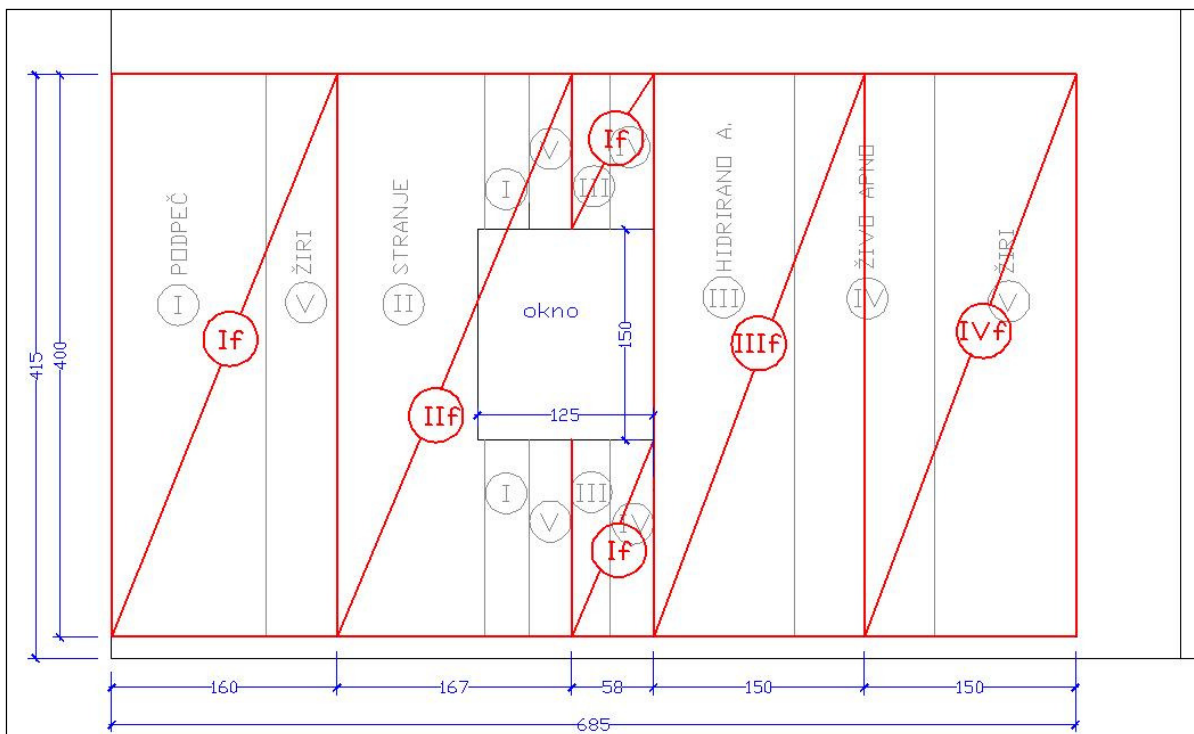
Slika 14: Mešanje in izgled gotove fine malte

#### 3.2.4.2 Nanos in obdelava vzorcev finih ometov

Vzorci finega ometa sta dne 24.10.2007 (499 dni po izdelavi grobega ometa), pri 7,5 °C in pri 90 % zračni vlagi izdelovala ob moji pomoči kvalificirana zidarja. Prvi (15 let izkušenj z izdelavo ometov) je izdeloval vzorce finega ometa v višini prve etaže odra, drugi (35 let izkušenj z izdelavo ometov) pa je sočasno izdeloval iste vzorce v višini druge etaže odra.

Pred nanašanjem fine malte sta grobi omet minimalno navlažila z zidarskim čopičem (zgornji del bolj in spodnjega manj). Visoka relativna zračna vlaga in od jesenske jutranje megle vlažen grobi omet sta zahtevala pazljivo močenje podlage, saj se v nasprotnem primeru fini omet med nanašanjem ne bi sušil in ga tako ne bi mogli končno obdelati (zaribati) v istem dnevu. Na rahlo vlažen vzorec grobega ometa sta zidarja nato z leseno gladilko (štosman) nanesele oziroma navlekla tanek (2 – 3 mm) sloj fine malte in ga v grobem poravnala. Po približno 10 minutah, ko se je prvi sloj malo osušil, sta nanj ponovno nanesele fino malto v zelo tankem sloju, toliko da je prekril luknjice, ki so ostale še od prvega nanosa. Zadnji nanos finega ometa sta s krožnimi gibi ob rahlem vlaženju zaribala v enakomerno hrapavo teksturo. Opisani postopek se je ponovil pri vzorcih **If**, **IIIIf** in **IVf**. Vzorec **IIIIf** pa je bil izdelan do zadnjega sloja enako, le končna obdelava je bila izvedena za zalikani omet. Zadnji poravnalni sloj se je za razliko od ostalih nanesele z jekleno gladilko in z njo tudi zagladil v zalikani fini omet.

Na sliki 16 desno se lepo vidi razlika med zaribanim (levo na sliki) in zalikanim finim ometom (desno na sliki). Zaradi lažjih kasnejših analiz sta zidarja tudi ta zalikani omet kasneje (po 30 minutah) z leseno gladilko zaribala enako kot ostale vzorce.



Slika 15: Načrt razporeditve vzorcev finih ometov (rdeče = fini ometi, sivo = grobi ometi)



Slika 16: Izdelava vzorcev finih ometov



### 3.2.4.3 Barvni premaz (oplesk)

Na vseh vzorcih fasadnega ometa se je kot končni (barvni) sloj izvedel oplesk z apnenim premazom v fresco tehniki (slikanje na sveži omet).

Premaz sem napravil, po priporočilu slikopleskarskega mojstra (Klemen Kikelj) iz:

- 4,5 litra apnenega cveta (tanka kristalasta skorjica apnenega veziva), ki se je ustvarila na vrhu vode, s katero so bili prekriti vzorci finih malt (ti so bili do porabe posamično skladiščeni v plastičnih sodih in preliteri z vodo),
- 4,5 litra apnene vode (apneno testo : voda = 1 : 2),
- 0,09 litra (1 %) rumenega mineralnega (oksid) pigmenta v prahu.

Vse sestavine sem dobro premešal z zidarsko žlico, precedil skozi sito 0,8 mm in tako dobil zelo voden apneni premaz (slika 17 levo). Slikal sem z dobro namočenim zidarskim čopičem iz žime v horizontalnih potegih. Zgornji del je bil ravno prav suh in se je odlično slikal. Spodnji pas finega ometa (cca 50 cm pri tleh) pa je bil še preveč svež. Zato je bilo potrebno z zelo namočenim čopičem narahlo vleči, da se ni apno vleklo ven iz ometa (posledica bi bil svetlejši ton). Kljub temu da sem čopič maksimalno močil, sem za slikanje vseh vzorcev fasadnih ometov (25,5 m<sup>2</sup>) porabil le 1,5 litra (0,06 l/m<sup>2</sup>) premaza, kar je za več kot dvakrat manj, kot če bi slikal s katero izmed industrijsko pripravljenih fasadnih barv.



Slika 17: Priprava premaza (barve) in slikanje fasade na še sveže vzorce finega ometa

### 3.3 Preiskave vzorcev apnenih malt in ometov

Preiskave apnenih malt in ometov so bile:

- standardne preiskave (tlačna trdnost, vodovpojnost, konsistenca, prostorninska masa grobih malt ...)
- modificirane standardne preiskave materialov (tlačna trdnost finih malt, vodovpojnost grobih ometov ...)
- vizualne ocene, temelječe na dobrem poznavanju klasičnih ometov (vgradljivost malt in obdelovalnost ometov na terenu)

Kljub temu da pridobljeni rezultati v večini primerov niso eksaktno empirično dokazovali lastnosti posameznih vzorcev, so bili dovolj natančni in jasni za določitev okvirnih karakteristik apnenih malt in ometov, za medsebojno primerjavo vzorcev in posledično za oblikovanje pravil izdelave kakovostnih apnenih ometov.

#### 3.3.1 Preiskave svežih grobih malt in ometov na terenu

Med izdelavo ometov se je na gradbišču izkustveno preiskovala vgradljivost malt in obdelovalnost ometov. Tako sva z zidarjem, ki mi je pomagal izdelovati vzorce, s klasičnimi zidarskimi preizkusi izkustveno ocenjevala:

- konsistenco in homogenost malte,
- adhezijo s podlago,
- sposobnost zadrževanja vode,
- hitrost strjevanja in krčenje ometa (nastajanje razpok) v prvih urah po nanosu.

Del teh preizkusov je že opisan v poglavju 3.2.2.1, peti odstavek. Preizkusi so bili vizualni pregled vzorcev. Enostaven preizkus zadrževanja zmesne vode sva izvedla tako, da sva dala v vedro 5 litrov sveže malte, tako da se je še videl del dna vedra, vzorec malte pokrila s PVC folijo in nato po 2 urah preverila, če se je ob vznožju malte pojavila voda. Po pričakovanju so vsi vzorci dobro zadrževali zmesno vodo, saj se pri nobenem preizkusu ni pojavila ob vznožju kupa malte. Posamezne ocene preizkusov sem, skupaj z utemeljitvijo v žargonu zidarjev, strnil v skupno oceno, ki je za vsak posamezen vzorec prikazana v preglednici 3. Iz nje lahko posredno razberemo, da je strošek dela (ometavanje, poravnava in utrditev ometa) najmanjši pri izdelavi vzorca **II**, ker delo z idealno malto (ocena 5) poteka hitro, brez odpadanja in z minimalno nego ometa za doseganje enake kakovosti ometov kot z drugimi vzorci.

Vzorec	Površina vzorca ometa [m <sup>2</sup> ]	Čas nanosa	Ocena zidarjev ob izdelavi ometa od 1 do 5  (1 – slabo, 5 – odlično)
<b>I</b>	4,4 + 0,8	11. 6. 2011  od 11.00 do 15.30	<b>4</b> Idealno mastna in mehka malta, ki se zelo dobro sprime s podlago ter enostavno nanaša, ravna in zaribava. Strjevanje ometa v prvem dnevu enakomerno in pričakovano hitro z minimalnimi razpokami.
<b>II</b>	4,2	11. 6. 2011  od 9.00 do 11.00	<b>5</b> Idealno mastna in mehka malta, ki se zelo dobro sprime s podlago. Enostavno nanašanje, ravnanje in zaribavanje. Malenkostno hitrejše strjevanje z manj razpokami v primerjavi z I.
<b>III</b>	4,0 + 0,8	12. 6. 2011  od 9.00 do 11.30	<b>3</b> Mastna malta, ki se zelo dobro sprime s podlago. Enostavno nanašanje, ravnanje in zaribavanje. Časovno spreminjanje mastnosti malte ob nespremenljivih sestavinah (daljše mešanje da bolj mastno malto). Hitro in neenakomerno strjevanje v prvem dnevu z veliko razpokami.
<b>IV</b>	4,0 + 0,8	12. 6. 2011  od 12.00 do 15.00	<b>4</b> Mastna in mehka malta, ki se zelo dobro sprime s podlago. Enostavno nanašanje, ravnanje in zaribavanje. Strjevanje ometa v prvem dnevu enakomerno in hitro z minimalnimi razpokami. V ometu vidna zrna apna.
<b>V/1</b>	4	11. 6. 2011  od 15.30 do 19.00	<b>4</b> Idealno mastna in mehka malta, ki se zelo dobro sprime s podlago. Enostavno nanašanje, ravnanje in zaribavanje. Strjevanje enako kot omet I.
<b>V/2</b>	2,0 + 0,8	11. 6. 2011  od 15.30 do 19.00	<b>4</b> Enako kot V/1

Preglednica 3: Ocenitev svežih grobih malt in ometov na terenu

### 3.3.2 Preiskave strjenih grobih ometov na terenu

Na 402 dni starih vzorcih grobih ometov smo na terenu preiskovali vodovpojnost in globino karbonatiziranosti (strjenosti) ometa.

- **Vodovpojnost (hitrost vpijanja vode) ometov**

Preizkus vodovpojnosti ometa smo uporabili za medsebojno primerjavo poroznosti posameznih vrst grobega ometa, kajti čim bolj je omet vodovpojen, tem bolj je porozen (praviloma). Izhodišče meritve vodovpojnosti je bilo določanje absorpcije vode pri nizkem pritisku (Water absorption under low pressure – pipe method) po metodi, ki jo priporoča RILEM komisija 25-PEM za oceno propadanja kamna in za oceno učinkovitosti konzervatorskih posegov. Toda zaradi velike poroznosti vzorcev

grobih apnenih ometov ni mogoče meriti količine absorbirane vode v priporočenih časovnih intervalih (5, 10, 15, 30 in 60 min), ker pri večini meritev že v prvem časovnem intervalu (5 min) ometi absorbirajo vso vodo iz cevke. Zaradi tega je bilo možno meriti vodovpojnost le z meritvijo hitrosti absorpcije vode, in sicer, v kolikšnem času vzorec ometa vpije 4 ml (območje merilne skale na graduirani cevki) vode skozi presek  $5,72 \text{ cm}^2$  (površina razširjene baze cevke, ki je s tesnilnim kitom pritrjena na omet).

Meritve sem, ob pomoči mentorice izr. prof. dr. Violete Bokan Bosiljkov in asistenta dipl. ing. grad. Francija Čepona, izvajal pri idealnih vremenskih pogojih (oblačno,  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH} = 92 \%$ ), saj se je tako res merila le voda, ki jo omet absorbira.

Graduirane cevke z razširjeno bazo smo s pomočjo ogretega tesnilnega kita, natančno nanesenega po obodu baze, pritrjili na skrbno izbrana mesta na ometih. Mesta meritev (4 do 8 meritev na vzorec) smo izbrali v pasu od 90 do 150 cm od tal in pazili, da je bil omet na mestu in v bližnji okolici homogen, brez razpok in nepoškodovan. Pri vseh vzorcih ometa je bilo dodano še eno merilno mesto na delu, kjer je bila pod ometom vgrajena kovinska ploščica, ki naj bi zagotovila, da je omet na mestu meritve debel točno 1,5 cm, in odpravila vpliv stene (podlage) na vodovpojnost ometa. V pritrjene graduirane cevke smo nato zelo hitro nalili vodo do nivoja 0 in merili čas, ko se je nivo vode spustil do nivoja 4 (omet absorbira 4 ml vode skozi presek  $5,72 \text{ cm}^2$ ).

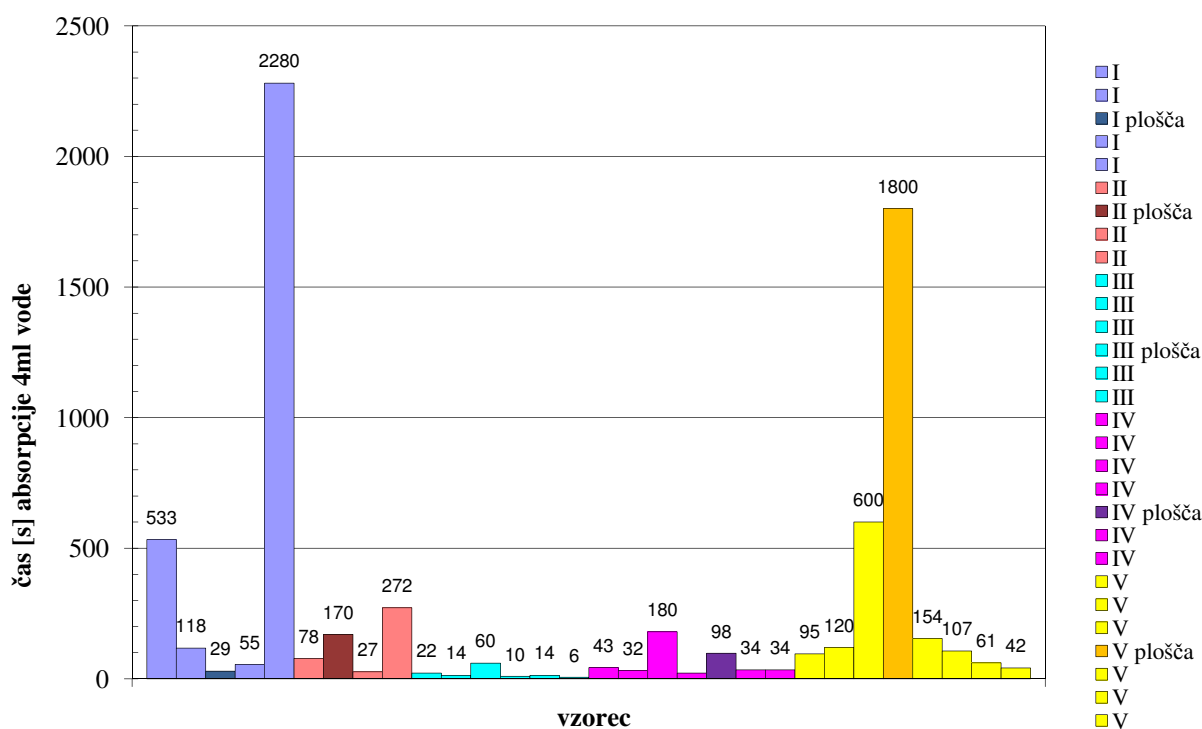
Iz rezultatov meritev, ki so prikazani v grafu na sliki 19, je razviden zelo velik raztros časov, kljub temu pa se jasno vidi, da vzorec **III** najhitreje vpija vodo, kar posredno pomeni, da je izmed vseh vzorcev najbolj porozen. Za razliko od finega ometa in opleska, kjer je vodovpojnost pomemben podatek in se pričakuje čim manjša vodovpojnost (zaščita konstrukcijskih elementov pred vremenskimi vplivi), je pri grobih apnenih ometih obratno. Če hočemo, da se nam grobi apneni omet hitro strdi, mora biti zelo porozen, kar pomeni hitro vpijanje vode (kot vzorec **III**). Strjevanje apnene malte je namreč posledica delnega izhlapevanja vode, pretežno pa je to posledica kemične reakcije, kjer se apno pod vplivom  $\text{CO}_2$  pretvori v karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), in čim bolj je omet porozen, tem hitreje  $\text{CO}_2$  iz zraka prodira vanj in reagira z apnom.

S primerjavami meritev na mestu vgrajenih ploščic in na mestih brez njih smo dokazali, da niso imele vpliva na meritve vodovpojnosti. Vzrok temu je v načinu meritve vodovpojnosti in zelo veliki poroznosti ometov. Skozi majhen presek ( $5,72 \text{ cm}^2$ ) se je vpijala premajhna količina vode (4 ml), kar ni zadostovalo, da bi omet namočila do globine ploščice (1,5 cm) in bi z meritvijo zaznali ploščico. Povedano drugače, da bi namočili 1,5 cm debel grobi apneni omet skozi presek  $5,72 \text{ cm}^2$ , bi potrebovali veliko več vode kot samo 4 ml. Rezultati to tudi potrjujejo, saj se iz grafa na sliki 19 ne da razbrati, da bi na mestih z vgrajenimi ploščicami dobili daljše čase absorpcije 4 ml vode. Ker pa so vsi vzorci grobih ometov debelejši od 1,5 cm, lahko zaključim, da podlaga pri takšni meritvi vodovpojnosti nima nikakršnega vpliva na rezultat meritve.





Slika 18: Meritve vodovpojnosti na vzorcih grobih ometov



Slika 19: Primerjava hitrosti absorpcije vode posameznega vzorca grobega ometa

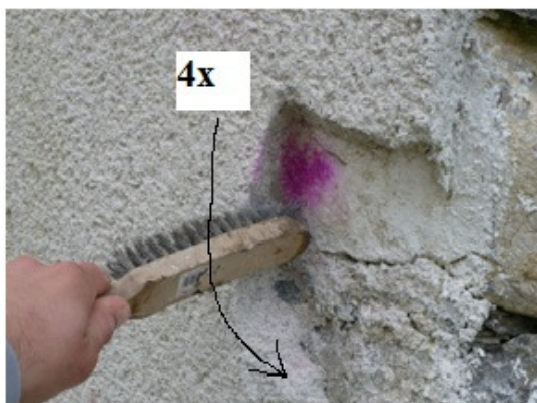
- **Globina karbonatizacije ometa**

Hkrati (19. 10. 2007) z meritvami vodovpojnosti grobega ometa sem preiskoval tudi globino karbonatiziranosti ometa. Strjenost oziroma, kako globoko je omet karbonatiziral, sem sprva hotel preiskovati s kemičnim indikatorjem baz fenolftaleinom, ki se v primeru, da je v ometu še prisotno apno, obarva vijolično, ker je  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  baza. V nasprotnem primeru pa, kjer je že vse apno karbonatiziralo, se ne bi obarval. Izkazalo se je, da kjerkoli sem s pršilko nanesel 1 % raztopino fenolftaleina, se je le-ta bolj ali manj obarvala. Tudi na sami površini grobega ometa, kjer bi

pričakovali, da je ta že popolnoma karbonatiziral, so se posamezna mesta obarvala, kar je vidno na sliki 20 desno, kjer se je obarval tudi vrhnji karbonatiziran sloj (obarvanost skorje pri merilnem traku). Zato sem to metodo zavrnil in uporabil določitev globine karbonatizacije z žičnato krtačo.

Z žičnato krtačo sem prečno po globini enakomerno krtačil omet, dokler se ni jasno videlo, kateri del je trdnjši in kateri mehkejši in ga zato s potegom krtače več odpade. Že po štirih potegih krtače se je jasno videla meja med bolj in manj trdnim ometom (slika 20). Sklepal sem, da je vrhnji del ometa (skorja), ki je trdnjši, karbonatiziral, naprej v globini, kjer je več ometa odpadlo, pa še ni prišlo do karbonatizacije. Z žičnato krtačo sem preizkušal trdnost ometa, enkrat na vzorcu ometa **I**, enkrat na vzorcu ometa **III** in enkrat na vzorcu **V**, vedno v višini približno 3 m od tal. Pri tem preizkusu se poruši del (vsaj 0,1 m<sup>2</sup>) ometa in bi tako z več preizkusi preveč zmanjšali površino vzorcev ometov, rezultati pa se med seboj ne bi razlikovali.

Po krtačenju sem na vseh preizkusnih mestih izmeril približno 8 mm debelo plast vrhnjega karbonatiziranega (trdnjšega) sloja – skorje (slika 20 desno). Bolj kot majhna globina karbonatiziranosti je presenetljivo to, da ni zveznega prehoda od bolj strjenega vrhnjega dela k nestrjenemu delu ometa v notranjosti, ampak je jasno vidna meja karbonatiziranega dela, ki se kaže kot 8 mm debela skorja nad nekarbonatiziranim (mehkim) delom ometa v globini.



Slika 20: Krtačenje ometa za prikaz globine karbonatizacije ometa

### 3.3.3 Laboratorijske preiskave svežih grobih malt

Na vzorcih svežih grobih malt, ki so bili izdelani na terenu (pri kapeli gradu Črnelo), sem v laboratoriju s standardiziranimi meritvami preverjal konsistenco in meril prostorninsko maso sveže malte z namenom, primerjati kvaliteto malt in podpreti vizualne preiskave sveže grobe malte na terenu.

- **Konsistenca sveže grobe malte**

Za določanje konsistence svežih malt sem izbral metodo razleza na stresalni mizici po SIST EN 1015-3 zaradi enostavnosti in dostopnosti opreme.

Na sredino čiste in navlažene stresalne mizice sem postavil čist in navlažen kovinski konus ( $h = 60$ ,  $\varnothing_1 = 70$  in  $\varnothing_2 = 100$  mm), v katerega sem v dveh enakih plasteh vgradil in z nabijačem s po 10 udarci zgostil malto. Zatem sem hitro in previdno odstranil konus in nato z vrtenjem ročice 15-krat stresel mizico (padec vsako sekundo za 10 mm). Rezultat je povprečje dveh med seboj pravokotnih premerov razlezene malte (preglednica 4).

Konsistenca naših vzorcev malt se giblje od 143 mm do 170 mm razleza. Ker vemo iz izkušenj s terena, da so se vsi vzorci malt dobro vgrajevali in obdelovali, lahko sklepam, da razlez od 140 do 170 mm pomeni kvalitetno grobo apneno malto z vidika vgradljivosti in obdelovalnosti za ročno izdelavo grobih ometov. Natančneje rečeno, zidarju, ki ometava z močnimi zamahi, bo idealna malta z manjšim razlezom (blizu 140 mm) in zidarju, ki ometava bolj narahlo, bo idealna malta z večjim razlezom (blizu 170 mm).

Poudarek je na ročni izdelavi ometov (nanašanje malte z ometavanjem z zidarsko žlico). Pri strojni izdelavi apnenih ometov se zahteva malta redkejšje konsistence z razlezom od 180 do 200 mm. Iz izkušnje, ki sem jo dobil pri strojni izdelavi teranove (strugan zaključni fasadni omet iz grobe apnene malte) na župnijski cerkvi v Zagorju ob Savi, vem, da za strojno ometavanje s klasičnimi grobimi maltami potrebujemo točno določeno konsistenco, ki je malo redkejša od enake malte za ročno ometavanje. Stroj s polžjo črpalko po ceveh do brizgalne šobe potiska malto in že majhno povečanje konsistence zelo poveča trenje malte v ceveh in s tem povečuje tlak v transportnem sistemu stroja in posledično lahko tudi ustavitev le-tega.

- **Prostorninska masa sveže malte**

Prostorninsko maso sveže malte sem določil po SIST EN 1015-6. V posodo s prostornino  $1 \text{ dm}^3$  za določanje poroznosti svežih mešanic (SIST EN 1015-7) sem v dveh enakih plasteh vgradil in s standardnim nabijačem s po 20 udarci zgostil malto, na koncu pa pri vrhu z zidarsko žlico porezal višek. Razlika med maso prazne in polne posode je prostorninska masa. V preglednici 4 je prikazana kot povprečje treh meritev na vzorcu.

Prostorninske mase posameznih vzorcev se zelo malo razlikujejo; razlika med najtežjo malto (vzorec **V/1**) in najlažjo (vzorca **II** in **III**) je  $98 \text{ g/dm}^3$  oziroma  $4,8 \%$ . Presegajo pa vrednost za prostorninsko maso apnene malte  $1700 \text{ g/dm}^3$ , ki jo navajajo GNG gradbene norme (GIPOSS,1984).

Vzorec	Material	Masa [kg]	Volumen [dm <sup>3</sup> ]	Volumensko razmerje	Prostorninska masa malte [g/dm <sup>3</sup> ]	Povprečni razlez [mm]
<b>I</b>	Drobljeni apnenčev pesek	242,55	153	2.83	<b>2022</b>	<b>160</b>
	Apneno testo iz Podpeči	76,35	54	1		
	Pitna voda		21.5			
<b>II</b>	Drobljeni apnenčev pesek	239,75	153	2.83	<b>1966</b>	<b>170</b>
	Apneno testo iz Stranj	72,95	54	1		
	Pitna voda		25			
<b>III</b>	Drobljeni apnenčev pesek	232,05	156	2.167	<b>1966</b>	<b>143</b>
	Hidrat iz Solkana	40,2	72	1		
	Pitna voda		55			
<b>IV</b>	Drobljeni apnenčev pesek s suho gašenim apnom	232	180		<b>2012</b>	<b>152,5</b>
	Samo apno iz sredine kupa	10	10			
	Voda, dodana v mešalec		37.7			
<b>V/1</b>	Drobljeni apnenčev pesek	229,75	153	2.81	<b>2064</b>	<b>154</b>
	Apneno <b>testo iz Žirov</b>	70,65	54	1		
	Pitna voda		16,4			
<b>V/2</b>	Drobljeni apnenčev pesek	81,85	54	2,57	<b>2060</b>	<b>151</b>
	Apneno testo iz Žirov	27	21	1		
	Pitna voda		5,7			
<b>V/3</b>	Drobljeni apnenčev pesek	48,8	33	3		
	Apneno testo iz Žirov	16,45	11	1		
	Pitna voda		2,7			

Preglednica 4: Razlez in prostorninska masa sveže grobe malte

### 3.3.4 Laboratorijske preiskave strjenih grobih malt

V laboratoriju sem na 441 dni starih standardnih prizmicah iz vzorcev grobih apnenih malt meril vodovpojnost in osno tlačno trdnost, skupaj s spremljajočimi meritvami prostorninske mase in krčenja.

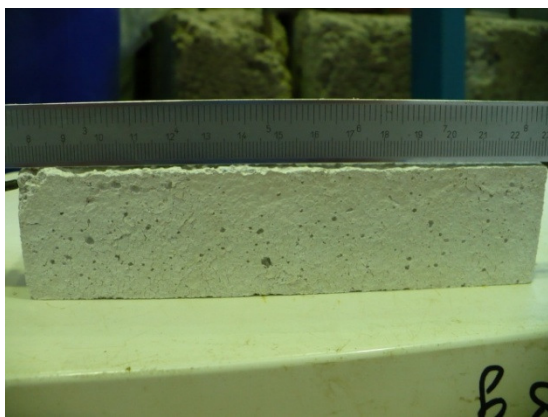
Iz vsakega vzorca malte, ki so bile izdelane na terenu za izdelavo vzorcev grobih ometov, sem izdelal po 3 standardne maltne prizmice, skupaj 15. Po laboratorijskih preiskavah sveže malte sem to vgradil v standardne kalupe za malte (40 x 40 x 160 mm), ki niso bili premazani z opažnim ločilnim sredstvom (olje), ampak samo dobro očiščeni in zloščeni s kovinsko (»putz«) volno. Premaz kalupov z opažnim oljem bi zaviral že tako počasno strjevanje (izhlapevanje in karbonatizacija) malte in vplival na meritve vodovpojnosti prizmic. Vse vzorce sem vgrajeval po enakem postopku, in sicer: kalup sem

do polovice napolnil z malto, jo z lesenim standardnim nabijalom zgostil, nato kalup v celoti zapolnil in zopet z nabijalom zgostil, površino malte na vrhu z zidarsko žlico porezal in natančno zgladil. Malta se je nato strjevala v laboratoriju pri 18 do 20 °C in pri od 60 do 70 % relativni zračni vlagi, prvih 10 dni v kalupih in nato do preiskav na rešetkah, tako da je bil z vseh strani omogočen dostop zraka, potreben za strjevanje prizmic.

- **Prostorninska masa in prostorninska obstojnost (krčenje)**

Dan pred meritvami vodovpojnosti in osne tlačne trdnosti sem prizmice natančno pregledal, premeril in stehtal. Ker so kljub velikemu krčenju obdržale pravokotno obliko (slika 21), sem lahko izmeril in izračunal volumen ( $V = a \times b \times c$ ). Iz podatka volumna prizmice in volumna kalupa sem izračunal krčenje. Pri tem gre za oceno krčenja, ki se giblje med 4,5 % do 6,5 % zmanjšanja volumna, pri čemer se da razbrati, da ima vzorec **III** izkazano tendenco večjega krčenja v primerjavi z drugimi vzorci.

Prav tako sem iz volumna in mase prizmic izračunal prostorninsko maso strjene malte, ki se giblje od 1784 kg/m<sup>3</sup> (vzorec **II**) do 1905 kg/m<sup>3</sup> (vzorec **I**). Prostorninska masa strjene malte se je zmanjšala od 117 kg/m<sup>3</sup> do 235 kg/m<sup>3</sup> glede na prostorninsko maso sveže malte. Podrobnejši rezultati teh meritev in izračunov so podani v preglednici 5.



Slika 21: Prizmica grobe malte (vzorec I)



Slika 22: Pripravljene prizmice grobih malt za meritve vodovpojnosti in tlačne trdnosti



Vzorec	Dolžina [mm]	Širina [mm]	Višina rob [mm]	Višina sredina [mm]	Pov. višina [mm]	Masa prizme [g]	Prostorn. masa [kg/m <sup>3</sup> ]	Prostorn. masa sveže malte [kg/m <sup>3</sup> ]	Uporaba prizem za meritve:	Stanje prizme	Krčenje [%]
<b>I</b>											
1	158,4	39,8	39,0	39,0	39,00	463,40	1884,75		tlačna trdnost	Ok	3,96
2	157,7	39,8	39,0	39,0	39,00	467,36	1909,29		tlačna trdnost	Ok	4,38
3	157,8	39,7	39,0	38,4	38,70	465,64	1920,62	Δ117	vodovpojnost	Ok	5,30
						Povprečna	<b>1904,89</b>	2022,00			
<b>II</b>											
1	157,4	39,0	39,2	39,2	39,20	430,62	1789,53		tlačna trdnost	Ok	6,00
2	157,5	39,6	39,0	38,5	38,75	434,55	1798,01		tlačna trdnost	Ok	5,59
3	157,0	39,7	39,8	38,6	39,20	431,15	1764,62	Δ182	vodovpojnost	Ok	4,56
						Povprečna	<b>1784,05</b>	1966,00			
<b>III</b>											
1	156,6	39,4	39,2	39,0	39,10	440,02	1823,93		vodovpojnost	Ok	5,76
2	156,3	39,0	40,7	39,0	39,85	437,22	1799,90		tlačna trdnost	Ok	5,11
3	156,3	39,0	38,9	38,7	38,80	431,03	1822,44	Δ151	tlačna trdnost	Okrušena	7,61
						Povprečna	<b>1815,42</b>	1966,00			
<b>IV</b>											
1	157,2	39,2	39,4	39,0	39,20	451,81	1870,39		vodovpojnost	Ok	5,64
2	158,5	39,4	39,7	39,7	39,70	454,42	1832,91		tlačna trdnost	Ok	3,16
3	159,8	40,0	39,5	39,6	39,55	461,12	1824,02	Δ170	tlačna trdnost	Okrušena	1,25
						Povprečna	<b>1842,44</b>	2012,00			
<b>V/1</b>											
1	157,6	39,7	39,0	39,5	39,25	457,16	1861,58		vodovpojnost	Ok	4,07
2	159,0	40,0	40,7	39,0	39,85	452,22	1784,29		tlačna trdnost	Okrušena	1,00
3	159,1	39,6	40,0	39,2	39,60	459,56	1841,97	Δ235	tlačna trdnost	Okrušena	2,54
						Povprečna	<b>1829,28</b>	2064,00			
<b>V/2</b>											
1	159,9	40,0	40,0	40,0	40,00	460,90	1801,52		tlačna trdnost	Okrušena	0,06
2	160,0	39,9	39,9	39,4	39,65	471,15	1861,33		tlačna trdnost	Okrušena	1,12
3	160,0	40,0	40,3	38,5	39,40	464,99	1844,03	Δ225	vodovpojnost	Okrušena	1,50
						Povprečna	<b>1835,62</b>	2060,00			
	160,00	40,00	40,00	40,00	40,00	mere standardiziranega kalupa					

Preglednica 5: Prostorninska masa, krčenje grobih apnenih malt in kakovost prizmic

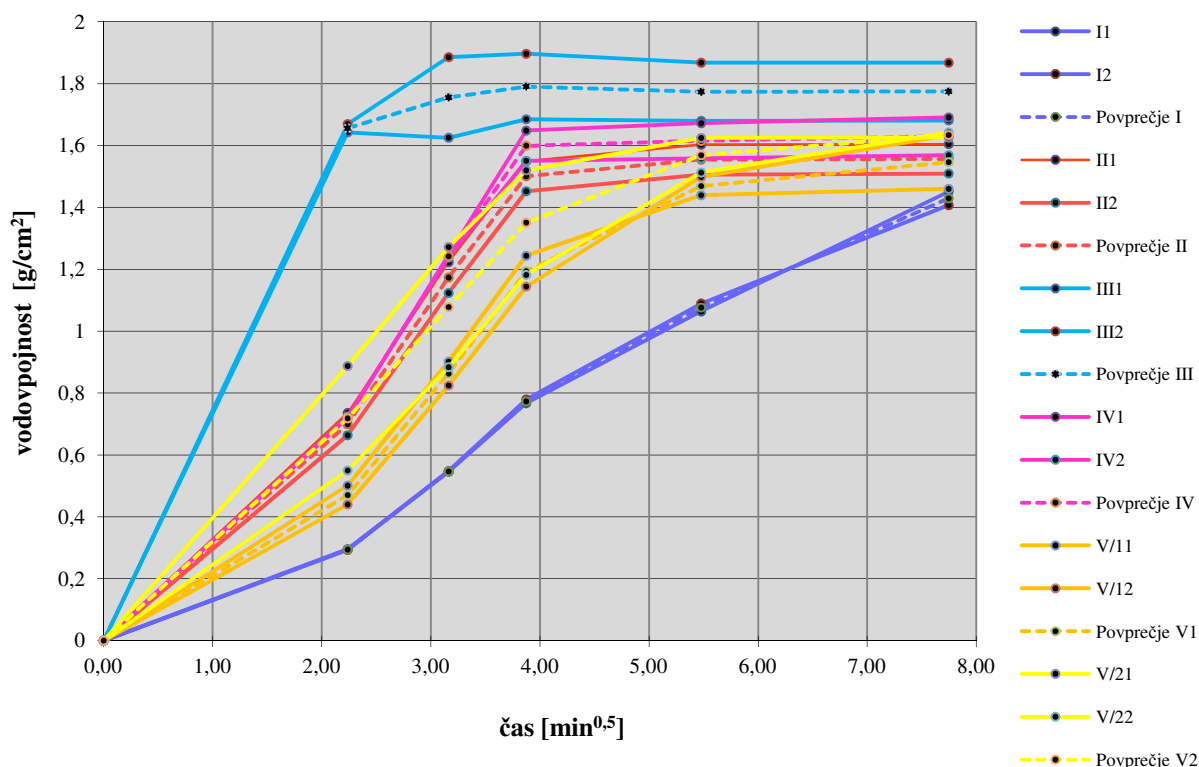
- **Vodovpojnost vzorcev grobih malt**

Vodovpojnost grobih apnenih malt sem preizkušal po standardni metodi za določevanje kapilarnega vpijanja vode strjene malte, SIST EN 1015-18, 2004. Prizmice sem najprej razpolovil, nato sem večino plašča razpolovljenih prizmic oblepil z lepilnim trakom, preostanek ob spodnjem prelomljenem robu pa prekril s silikonskim kitom. Tako je bila zagotovljena polna zatesnitev prizmice po obodu (spodnji prelomljeni prerez in zgornji sta bila prosta). Pripravljene vzorce sem stehtal ( $M_0$ ) s tehtnico natančnosti  $\pm 0,1$  g, nato sem jih na prelomljeno površino postavil na mreže (neoviran dostop vode) v pladnjih, dolil vodo, tako da so bili vzorci v vodi do globine 10 mm, in meril čas. Po preteku intervalov 5, 10, 15, 30 in 60 minut sem vzel prizmice iz vode, s papirnato brisačo popivnal vidno vodo in jih ponovno stehtal ( $M_t$ ). Z odštetjem začetne mase  $M_0$  od  $M_t$  sem dobil maso vode, ki jo posamezna prizmica absorbira v časovnih intervalih skozi presek  $15,6 \text{ cm}^2$ .



Slika 23: Razpolavljanje prizmic vzorcev grobih malt in meritev vodovpojnosti

Na sliki 24 so prikazani rezultati vodovpojnosti posameznih polovic prizmic – vzorcev grobih malt. Na ordinatni osi je podana masa absorbirane vode na enoto površine, na abscisi pakoren časa v minutah. Vidimo, da vsi vzorci absorbirajo v prvih 15 minutah večino vode, hitrost absorbiranja pa je najhitrejša v prvih 5 minutah. Po eni uri se absorbiranje vode s kapilarnim srkom praktično konča. Iz grafa izstopata vzorca **I** z najmanjšo vodovpojnostjo in **III** z največjo vodovpojnostjo. Vzorec malte **III** se že v prvih 10 minutah zasiti in vpije največ vode izmed vseh vzorcev. Tako imamo jasno potrditev rezultatov vodovpojnosti ometov s terena. Tudi preiskave na terenu so namreč pokazale največjo/najhitrejšo vodovpojnost prav pri ometu **III**.



Slika 24: Primerjava vodovpojnosti vzorcev grobih malt

Za lažjo primerjavo sem določil koeficiente kapilarnega vpijanja. Koeficient označimo s  $C_{cc_{t_2-t_1}}$  in ga določimo v nekem časovnem intervalu (med  $t_1$  in  $t_2$ ) z naslednjo enačbo:

$$C_{cc_{t_2-t_1}} = \frac{M_2 - M_1}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \quad [\text{kg/m}^2\sqrt{\text{h}}] \quad \text{Enačba: 1}$$

$M_1$ ... masa absorbirane vode do časa  $t_1$

$M_2$  ... masa absorbirane vode do časa  $t_2$ .

V preglednici 6 sta za vse vzorce izračunana koeficienta kapilarnega vpijanja za interval od 0 do 5 minut (oznaka  $C_{cc_5}$ ) in za interval od 0 do 10 minut (oznaka  $C_{cc_{10}}$ ).

Vzorec	I1	I2	pov. I	II1	II2	pov. II	III1	III2	pov. III
<b>Ccc5</b>	10,25	10,16	10,2	25,49	22,99	24,24	56,9	57,83	57,36
<b>Ccc10</b>	13,37	13,42	13,4	29,96	27,52	28,74	39,81	46,19	43
vzorec	IV1	IV2	pov. IV	V/11	V/12	pov. V1	V/21	V/22	pov. V2
<b>Ccc5</b>	24,88	25,11	24,99	17,35	15,24	16,3	30,74	19,05	24,89
<b>Ccc10</b>	30,53	30,32	30,43	22,08	20,19	21,14	31,16	21,64	26,4

Preglednica 6: Koeficienti kapilarnega vpijanja grobih apnenih malt

- **Tlačna trdnost**

Meritve enoosne tlačne trdnosti sem izvajal po standardu SIST EN 1015-11, 2001 na sodobni računalniško krmiljeni preši pri temperaturi 20 °C in relativni zračni vlagi 65 %. Polovičke prizmic sem vstavil v pripravo, ki s pomočjo fiksne spodnje jeklene ploščice (40/40 mm) in členkasto vpete zgornje ploščice (40/40 m) v preizkušancu ustvari enoosno napetostno stanje (slika 25 desno). Vzorec sem nato obremenjeval s hitrostjo 0,05 mm/s, pri tem je računalnik beležil reakcijsko silo in pomik glave preizkuševalnega stroja. Z nadaljnjo obdelavo podatkov (sila in pomik) sem s pomočjo programa Excel izrisal diagrame Tlačna napetost – pomik glave preizkuševalnega stroja ter določil tlačno trdnost vzorcev (sliki 26 in 27).

Tlačno trdnost sem določil z izrazom:

$$f = \frac{P_m}{A} \quad [\text{MPa}] \quad \text{Enačba: 2}$$

$P_m$ ... mejna sila [N]

$A$ ...stična površina (39 x 40= 1560 mm<sup>2</sup>)



Vrednosti tlačne trdnosti 441 dni starih grobih apnenih malt se giblje med 1,34 MPa in 2,25 MPa. Kljub veliki razpršenosti vrednosti pri posameznem vzorcu grobe malte je za lažjo primerjavo v preglednici 7 poleg posameznih tlačnih trdnosti izračunana tudi povprečna in karakteristična tlačna trdnost za vsak vzorec grobe malte.

Karakteristično tlačno trdnost sem določil z izrazom:

$$f_{ck} = f_{cm} - \sigma \cdot t_n \text{ [MPa]}$$

Enačba: 3

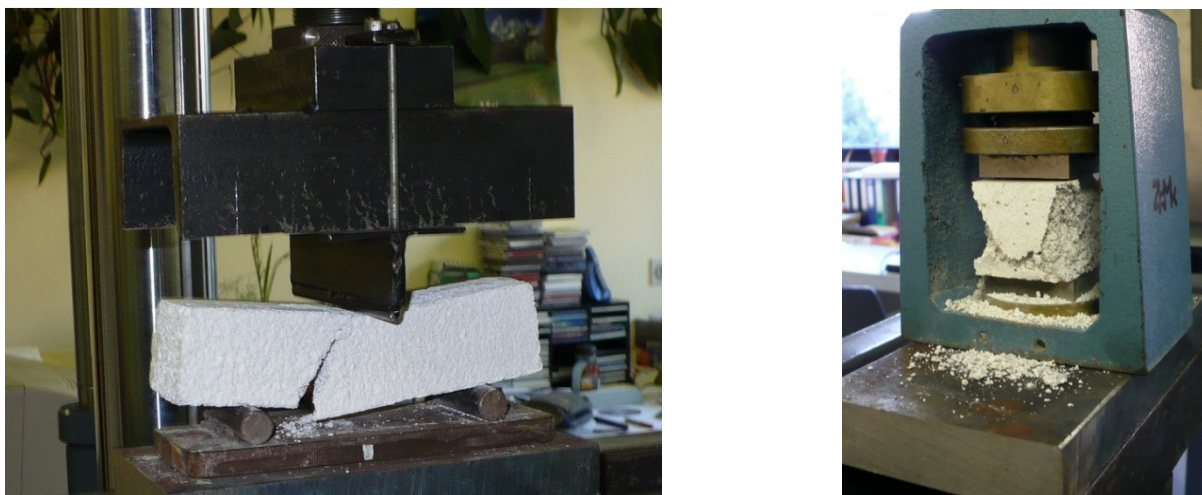
$f_{cm}$  ...povprečna tlačna trdnost [MPa]

$\sigma$  ... standardna deviacija tlačne trdnosti [MPa]

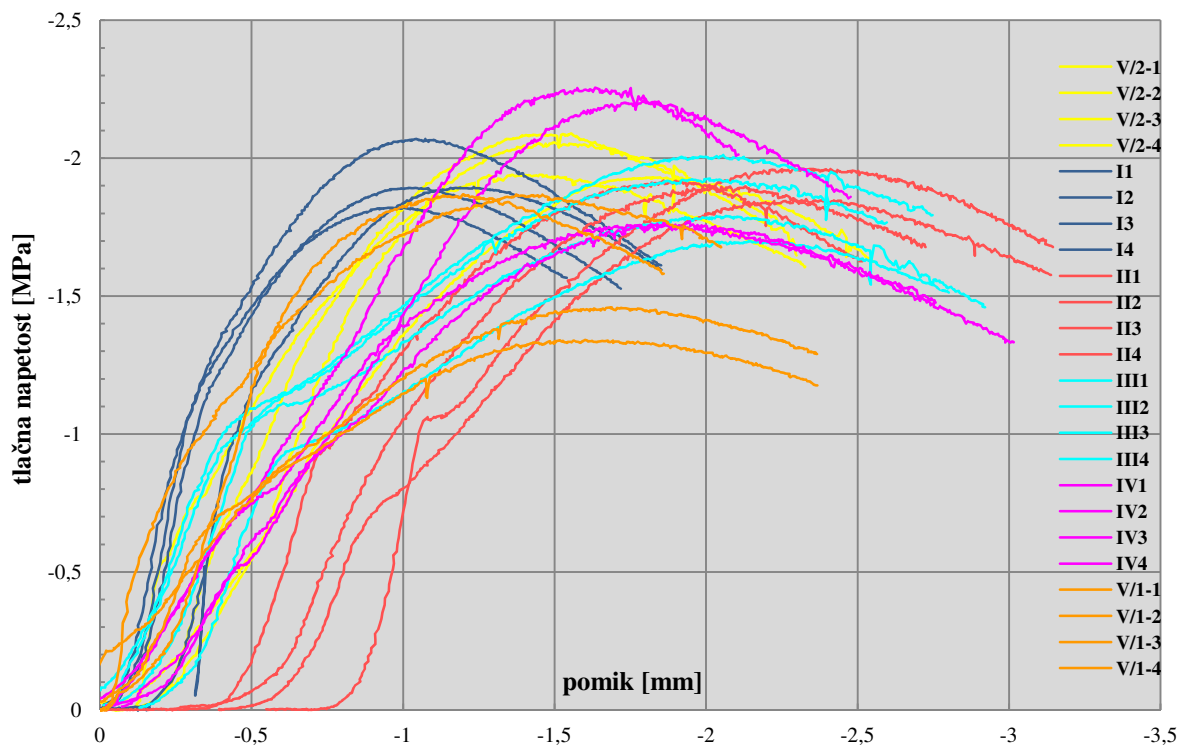
$t_n$  ... studentov koeficient porazdelitve za (5 % fraktila, 10 preizkušance  $\rightarrow t_n=1,813$ )

Vzorec	Meritev	Tlačna trdnost [MPa]	Povprečna tlačna trdnost [MPa]	St.d.	Karakteristična tlačna trdnost [MPa]	Vzorec	Meritev	Tlačna trdnost [MPa]	Povprečna tlačna trdnost [MPa]	St.d.	Karakteristična tlačna trdnost [MPa]
<b>I</b>	1	<b>2,07</b>	1,92	0,106	1,69	<b>IV</b>	1	<b>2,25</b>	2	0,27	1,42
	2	<b>1,9</b>					2	<b>2,21</b>			
	3	<b>1,9</b>					3	<b>1,76</b>			
	4	<b>1,82</b>					4	<b>1,77</b>			
<b>II</b>	1	<b>1,9</b>	1,91	0,046	1,81	<b>V/1</b>	1	<b>1,87</b>	1,63	0,275	1,05
	2	<b>1,92</b>					2	<b>1,87</b>			
	3	<b>1,96</b>					3	<b>1,46</b>			
	4	<b>1,85</b>					4	<b>1,34</b>			
<b>III</b>	1	<b>1,7</b>	1,86	0,139	1,56	<b>V/2</b>	1	<b>1,93</b>	2	0,08	1,83
	2	<b>1,79</b>					2	<b>1,94</b>			
	3	<b>2,01</b>					3	<b>2,09</b>			
	4	<b>1,93</b>					4	<b>2,06</b>			

Preglednica 7: Tlačne trdnosti 441 dni starih vzorcev grobih apnenih malt



Slika 25: Prikaz porušitve prizmice vzorca grobe malte pri upogibnem in tlačnem preizkusu

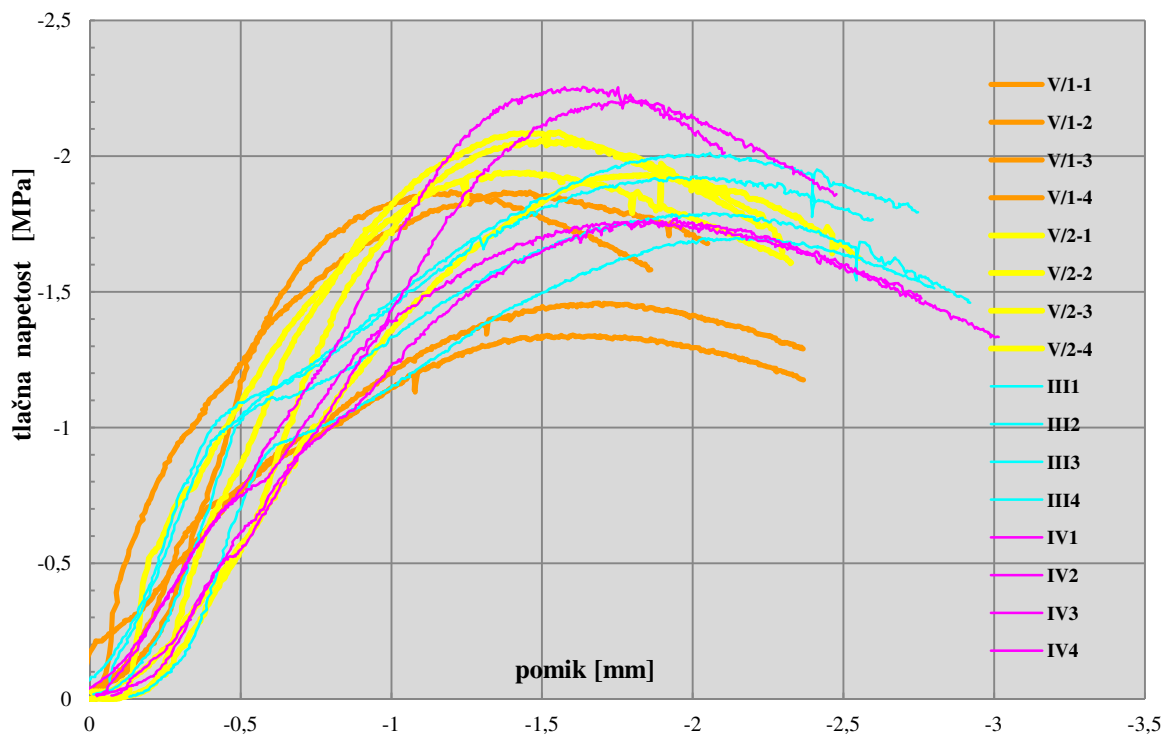


Slika 26: Primerjava diagramov Tlačna napetost – pomik glave preizkuševalnega stroja za 441 dni stare grobe malte

Na sliki 26 so prikazani diagrami Tlačna napetost – pomik glave preizkuševalnega stroja za apnene malte, pri katerih je bilo uporabljeno kot surovina za vezivo enako živo apno, in sicer:

- v vzorcu **IV** je bilo uporabljeno direktno živo apno, ki se je gasilo na gradbišču v gomili peska,
- v vzorcu **III** je bil uporabljen hidrat, pripravljen industrijsko iz živega apna,
- v vzorcu **V** je bilo uporabljeno apneno testo, izdelano iz prebranega živega apna z gašenjem z viškom vode in več kot 3-letnim odležavanjem.

Vzorec **IV** (živoapnena malta): diagram roza barve kaže najvišjo trdnost, vendar je razlika med trdnostjo dveh prizmic istega vzorca malte prevelika (več kot 23 % odstopanje), da bi lahko trdili na podlagi diagramov s slike 27, da z direktno uporabo živega apna v malti dobimo višjo tlačno trdnost, kot če ga predelamo v hidrat ali v apneno testo in nato zamešamo v malto.



Slika 27: Primerjava diagramov Tlačna napetost – pomik glave preizkuševalnega stroja za vzorce **III**, **IV**, **V/1** in **V/2**

Potrebovali bi veliko več kot 4 meritve tlačne trdnosti na posameznem vzorca malte, da bi lahko pri tako veliki razpršenosti vrednosti z gotovostjo zaključili, katera apnena malta ima največjo tlačno trdnost.

Pomembnejša karakteristika kot tlačna trdnost je pri maltah za omete njihova duktilnost ali sposobnost ometa, da prenese ovirane deformacije brez oblikovanja razpok. Čim večjo deformacijo je material sposoben prenesti brez porušitve, tem bolj je duktilen. Duktilnost lahko ocenimo iz diagramov, prikazanih na slikah 26 in 27. Čim bolj je vrh diagrama razpotegnjen, tem bolj je material (apnena malta) duktilen. Zaradi kombinacije visoke duktilnosti in nizke tlačne trdnosti pri apnenih ometih lokalna deformacija (mehanska poškodba ometa, razpoka podlage ...) na apnenem ometu oz. podlagi ne vpliva na večjo površino ometa. Primer: če močno udarimo s kladivom po apnenem ometu, bo nastala samo lokalna poškodba (udrtina), če pa enako udarimo po cementnem ometu, bo le-ta razpokal in odstopil od podlage na veliki površini.

### 3.3.5 Preiskave svežih finih malt in ometov na terenu

Kljub pogosti uporabi v Sloveniji fine malte za zaključni sloj ometa v literaturi niso posebej obravnavane. Zato sem se pri ocenjevanju malt na terenu zanašal samo na znanje zidarjev, ki sta izdelovala vzorce finih ometov.

Dobra fina malta po mnenju zidarjev je:

- »Ravno prav mastna in mehka malta«, kar pomeni, kohezivna malta z dobrimi adhezijskimi lastnostmi.

Adhezija s podlago je bila pri vseh vzorcih zelo dobra, saj malta pri nobenem preizkusu z obračanjem zidarske žlice ni odpadla samodejno. Tudi pri stresanju žlice malta ni odpadla, ampak se je razporedila v 5-milimetrski sloj čez celotno površino žlice.

- »Ne pregosta in ne preredka«, kar pomeni, da je malta na meji med mehko plastično in tekočo konsistenco, ki omogoča optimalno vgradljivost.

Z mešanjem vzorca v vedru z zidarsko žlico smo vizualno ocenili konsistenco, ki je bila pri vseh vzorcih mehko plastična. Vgradljivost vseh vzorcev je bila po pričakovanju zelo dobra: nobenega odpadanja malte, naneseni vzorci so se zelo lahko razvlekli po podlagi in dovolj hitro strjevali, da je bila možna končna obdelava, to je zaribavanje ometa z leseno gladilko v fino in enakomerno hrapavo teksturo, še v istem dnevu. Zidarja običajno rada nanašata fino malto z zidarsko zajemalko (»fangl«), kjer skoraj tekočo malto pljuskneta na podlago in nato razvlečeta. V našem primeru je bila malta namensko gostejša, da se bo hitreje primerno strdila za kasnejše zaribavanje.

- »Dobra mivka, ravno prav groba.« Velik pomen pri fini malti ima zrnastostna sestava agregata. Mivka za kakovostno fino malto mora biti, po mnenju zidarskega mojstra, iz drobljenega apnenca, sestavljena večji del iz frakcije 0,25 do 1 mm, z minimalnim deležem finih delcev pod 50 µm in z največjim zrnom 1 mm pri finem ometu debeline 3 mm. Preveč finih delcev naredi malto navidezno kohezivno, zato se zmanjša potreba po apnu in tako posledično dobimo manjšo trdnost, večje krčenje in težje zaribavanje ometa.

V našem primeru smo mivko izbrali na podlagi priporočil zidarjev (poglavje 3.2.3) in izkazalo se je, da je bila izbira pravilna, saj sta bila zidarja z mivko zadovoljna.

Mnenja zidarjev, ki sta izdelovala vzorce finega ometa (poglavje 3.2.4.2), so bila vsa pozitivna, vendar takšna mnenja zidarjev o dobri vgradljivosti in obdelelovalnosti vzorcev še ne pomenijo, da so fini ometi tudi kakovostni in med seboj enaki, kar bodo pokazale opisane preiskave v nadaljnjih poglavjih.

### 3.3.6 Laboratorijske preiskave svežih finih malt

Na vzorcih svežih finih malt, ki so bile izdelane na terenu (pri kapeli gradu Črnelo), sem v laboratoriju s standardiziranimi postopki preverjal konsistenco in meril prostorninsko maso sveže malte. Meritve sem delal enako kot na vzorcih grobih malt (poglavje 3.3.3), rezultate pa sem strnil v preglednico 8.

Konsistenca naših vzorcev malt se giblje od 179 mm do 195 mm razleza. S terena vem, da je ta konsistenca ravno še na meji, ko se malta dobro nanaša in razvleče po podlagi, zidarja pa bi v bolj suhih pogojih delala z malto bolj tekoče konsistence. Lahko trdim, da konsistenca finih malt ni pomemben podatek, saj so primerne konsistence od plastične do skoraj tekoče, z razlezom do 200 mm.

Tako kot pri grobih maltah tudi prostorninska masa vzorcev finih malt služi le kot orientacijski podatek. Prostorninska masa vzorcev fine malte je za spoznanje manjša od prostorninske mase vzorcev grobe malte zaradi zračnih žepkov, ki jih ni mogoče iztisniti iz merilne posode, in manjšega deleža agregata (nižje razmerje vezivo : agregat).



Slika 28: Razlez fine malte po 15 padcih na stresalni mizici (vzorec **IIf**)

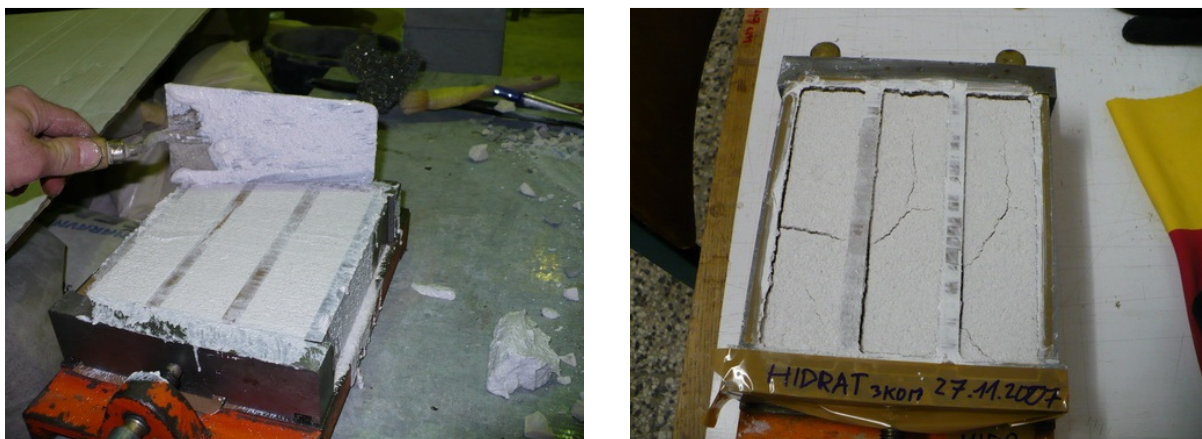
Vzorec	Material	Masa [kg]	Volumen [dm <sup>3</sup> ]	Volumensko razmerje	Prostorninska masa malte [g/dm <sup>3</sup> ]	POVPREČNI RAZLEZ [mm]
<b>If</b>	Kalcitna mivka	82,7	49	1,81	<b>1972</b>	<b>195</b>
	Apneno testo iz Podpeči	40,03	27	1		
	Pitna voda		15			
<b>IIf</b>	Kalcitna mivka	82,6	49	1,76	<b>1806</b>	<b>191</b>
	Apneno testo iz Stranj	38,82	27,08	1		
	Pitna voda		15			
<b>IIIf</b>	Kalcitna mivka	82,6	49	1,69	<b>1800</b>	<b>160</b>
	Hidrat iz Solkana	15,6	29	1		
	Pitna voda		33			
<b>IVf</b>	Kalcitna mivka	53,7	32	1,78	<b>1966</b>	<b>179</b>
	Apneno testo iz Žirov	24,9	18	1		
	Voda, dodana v mešalec		10			

Preglednica 8: Razlez in prostorninska masa sveže fine malte

### 3.3.7 Laboratorijske preiskave strjenih finih malt

Priročnik Gradbeni materiali in njihova zaščita (Črepinšek, 198?) navaja, da pri večslojnih ometih velja pravilo, da zgornji sloj nikoli ne sme biti »trši/močnejši« od spodnjega, ker obstaja nevarnost odpadanja površinskega sloja. Za potrditev/zavrnitev ustreznosti vzorcev finih ometov tega pravila potrebujemo podatke o duktilnosti (navezava na »trši«) in trdnosti (navezava na »močnejši«) vzorcev finih malt, ki jih dobimo z enosnim tlačnim preizkusom, za kar pa potrebujemo preizkušance primernih dimenzij in oblik, kot so npr. standardne prizmice za preizkušanje malt dimenzij 40 x 40 x 160 mm. Teh prizmic z enostavno vgradnjo malte v standardne kalupe, tako kot grobe malte (poglavje 3.3.4, prvi odstavek), ni mogoče izdelati zaradi velikega krčenja (>13 %) in zelo počasnega strjevanja fine malte. Prizmice, ki sem jih izdelal na tak način, so že v samem kalupu zaradi krčenja tako razpokale, da od 15 prizmic ni bil niti en delček uporaben za tlačni preizkus (slika 29). Zato sem na podlagi ideje in priporočil izr. prof. dr. Violete Bokan Bosiljkov izdelal primeren postopek izdelave in priprave prizmic za osni tlačni preizkus, ki temelji na prisilnem odvzemu vode iz vzorcev in zagotavljanju kontroliranega postopnega krčenja.





Slika 29: Vgradnja in razpokanost prizmic v standardnem kalupu

Primeren način izdelave in priprave prizmic za tlačni preizkus je bil naslednji:

1. Modifikacija standardnega opaža

Za pospešitev strjevanja je potrebno iz svežih prizmic čim hitreje izločiti vodo in hkrati onemogočiti nastanek razpok zaradi krčenja (izguba vode) s stiskanjem malte.

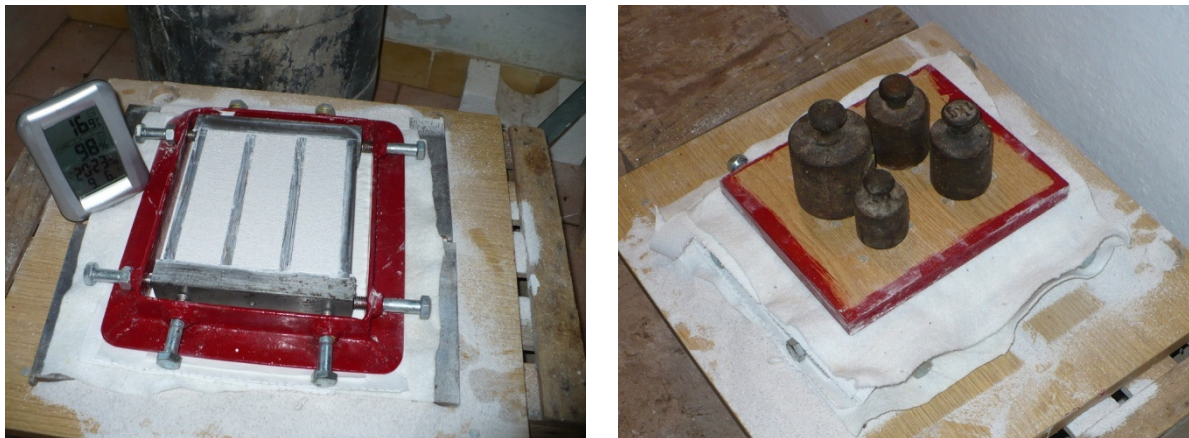
Standardne kalupe prizmic sem predelal v prešo, in sicer sem podporno spodnjo ploščo zamenjal z drenažnim slojem, ki je bil sestavljen iz 1-centimetrskega sloja suhe mivke, enake kot je bila mivka, iz katere so bili izdelani vzorci fine malte, iz 5 plasti papirnatih brisač in 3 plasti filtrskega papirja, ki je pivnal in hkrati ločeval malto od drenažnega sloja. Vrhnji del sem prekril z vpojnim slojem, sestavljenim iz 5 plasti papirnatih brisač, 1 plasti geotekstila, 3 slojev filtrskega papirja in izravnalne plošče, ki je bila obtežena z 4,5-kilogramsko utežjo. Odstranjena spodnja plošča kalupa služi tudi za vpetje in poravnavo vertikalnih stranic kalupa. To funkcijo je v tem kalupu prevzel železni okvir z regulacijskimi vijaki. Enako kot pri grobi malti tudi tu nisem premazal stranic kalupa z opažnim ločilnim sredstvom, ampak sem jih samo spoliral s kovinsko »putz« volno, na čelne stranice, ki jih ni bilo mogoče spolirati (utor za merilni čepek), pa sem nalepil povoščeni lepilni trak (krep trak).

2. Vgradnja v kalup in nega

Vzorci finih malt, ki sem jih pripeljal v laboratorij v nepredušno zaprtih vedrih, sem vgrajeval v kalupe v osmih fazah, ker sem imel naenkrat pripravljene kalupe za samo 6 prizmic. V prvi fazi sem izdelal prizmice iz vzorca **IVf**, po 8 dneh, ko sem te razkalupil, sem izdelal prizmice iz vzorca **III f**, zatem iz vzorca **If** in na koncu še iz vzorca **III f**. Ko sem iz vseh vzorcev enkrat že izdelal prizmice, sem cikel ponovil, tako da sem imel na koncu pri vsakem vzorcu izdelanih po 12 prizmic.

Vse vzorce sem vgrajeval po enakem postopku, in sicer: na ravno podlago sem razgrnil suho mivko, nanjo položil plasti papirnate brisače in plasti filtrskega papirja, na ta drenažni sloj sem

položil kalup, ki sem ga do polovice napolnil z malto, jo z lesenim standardnim nabijalom zgostil, nato kalup v celoti zapolnil in zopet z nabijalom zgostil ter površino malte na vrhu z zidarsko žlico poravnal. Na koncu sem vrh kalupa prekril s plastmi filtrskega papirja, papirnate brisače, geotekstila in z izravnalno ploščo ter vse skupaj obtežil (slika 30).



Slika 30: Izdelava prizem fine malte v posebnem dreniranem opažu

### 3. Razopaženje in nega

Prizmice sem shranil v prostoru z 98 % relativno zračno vlago in temperaturo 16 °C. Peti dan po vgradnji sem jih pregledal in zamenjal namočene plasti papirnate brisače. Prizmice se pri vseh vzorcih v petih dneh niso dovolj strdile, da bi jih bilo možno razkalupiti, vidni pa so bili veliki skrčki prizmic, saj se je njihova višina pri večini malt zmanjšala za več kot 2 mm (slika 31). Pazljivo sem jih razkalupil po sedmih do desetih dneh, ko so bile že toliko strjene, da so lahko obdržale obliko, še vedno pa so bile tako mehke, da se je poznal na njih odtis prsta. Razopažene prizmice sem nato, razporejene po geotekstilu, pustil v istem prostoru še nadaljnjih 14 dni, nato pa sem jih prestavil v prostor s 85 % relativno zračno vlago in temperaturo 15 °C, kjer so se strjevale od 150 do 207 dni (slika 32). Preostali čas (približno 300 dni) do tlačnega preizkusa so bile prizmice na mrežici v prostoru s 50 do 65 % relativno zračno vlago in temperaturo 18 do 20 °C.

Enak postopek sem uporabil pri izdelavi prizmic iz vseh preostalih vzorcev finih malt, le da so imele prizmice, izdelane v kasnejših fazah, posledično krajši čas strjevanja pri sobni temperaturi in vlagi.





Slika 31: Prikaz skrčka fine malte po 5 dneh zaradi izgube vode



Slika 32: Prizmice tik po razopaženju in strjevanje

#### 4. Izravnava prizmic

Prizmic vzorcev grobih malt za tlačni preizkus ni bilo potrebno dodatno pripravljati, ker smo imeli dve vzporedni stranici (stranici, ki sta mejili na vertikalni kalup) ravni, gladki in dovolj veliki, da sta lahko jekleni ploščici (40 x 40 mm) preše lepo nalegali. Pri prizmicah vzorcev finih malt so bile skoraj vse stranice hrapave in neravne. Stranski stranici (stranici, ki sta mejili na vertikalni kalup), ki bi bili pogojno primerni, pa nista bili dovolj visoki/široki, da bi lahko ploščici preše nalegali po vsej površini in tako zagotovili natančnejšo meritev. Razlog je v velikem skrčku prizmic. Prizmice so se skrčile iz dimenzije kalupa 40/40/160 na približno  $\text{š/v/d} = 38/37/158$  mm. Izjema sta bili dve prizmici vzorca **If**, kjer sta bili po dve stranici zadovoljivo ravni in gladki ter dovolj veliki, da izravnava ni bila potrebna.

Poizkus izravnati površino z brušenjem se ni posrečil, ker je bil agregat (mivka) veliko trdnjši kot apneno vezivo, kar je povzročilo, da so se med brušenjem odstranjevala zrna mivke s površine prizmic, to pa je naredilo površino še bolj hrapavo.

Drugi poizkus izravnave s cementno pasto se je izkazal za primernega. Pasto sem izdelal po naslednjem postopku:

- tik pred nanosom cementne paste sem vse prizmice v celoti narahlo namočil z vodo, da sem preprečil srk vode iz cementne paste,
- po površini največjo stranico sem nato pomočil v cementno pasto ravno toliko, da se je cela površina stranice, ki sem jo hotel izravnati, prekrila z nekajmilimetrskim slojem paste (slika 33 levo),
- z namazano stranico navzdol sem položil prizmice na ravno gladko ploščo, premazano z lanenim oljem (slika 33 desno),
- na koncu sem prizmice neprodušno pokril s PVC folijo, da sem zagotovil vlago, potrebno za nego cementne paste,
- po enem dnevu sem postopek ponovil na nasproti ležeči stranici,
- dva dni po izdelavi prve izravnave sem višek cementnega kamna odbrusil, tako da sem izravnavo poravnal z zunanjo obliko prizmice,
- za 24 dni (do tlačnega preizkusa) sem pripravljene prizmice shranil v prostor s od 50 do 65 % relativno zračno vlago in temperaturo od 18 °C do 20 °C (isti prostor, v katerem so bile pred izdelavo izravnave), da je cementna izravnava dosegla visoko trdnost (>35MPa).



Slika 33: Izdelava izravnave prizmic fine malte s cementno pasto za tlačni preizkus





Slika 34: S cementno pasto izravnane prizme finih malt

- **(Osna) tlačna trdnost**

Na izravnanih prizmicah sem meritve enosne tlačne trdnosti izvajal enako kot na prizmicah vzorcev grobe malte, po standardu SIST EN 1015-11 na sodobni računalniško krmiljeni preši, pri temperaturi 20 °C in relativni zračni vlagi 65 %.



Slika 35: Tlačni preizkus prizmice vzorca fine malte

Zaradi zadostnega števila meritev pri posameznem vzorcu sem podatke obdelal tudi statistično v preglednici 9. Za karakteristično tlačno trdnost je vzeta 5 % fraktila, enaka kot za betone, upošteval pa sem vse meritve z namenom prikazati velikost raztrosa rezultatov.

Lahko zatrdim, da cementna izravnava zaradi velike trdnosti, zelo tankega sloja (maks. 2 mm) in porušitve v sami prizmici ni imela vpliva na rezultate meritev. To potrjujejo rezultati vzorca **If**, kjer so bile 4 meritve opravljene tudi na prizmicah brez izravnave. Pri tem vzorcu fine malte se vrednosti tlačne trdnosti tako na prizmicah z izravnavo kot na prizmicah brez izravnave gibljejo zelo blizu povprečne tlačne trdnosti, ki je enaka 2,83 MPa za prizmice z izravnavo in brez nje (preglednica 9, prva tabela).

Meritve tlačne trdnosti pri vzorcih finih malt so se izvajale na različno starih prizmicah (od 467 do 531 dni), za razliko od meritev pri vzorcih grobih malt, kjer so bile vse prizme stare 441 dni. Vsak vzorec fine malte je imel dve starostni skupini prizmic, poleg tega pa tudi posamezni vzorci med seboj niso imeli enako starih skupin. Pričakoval sem, da maksimalna dvomesečna razlika pri več kot leto in pol starih prizmicah ne bo vplivala na rezultate meritev, ker naj bi po enem letu vzorci pridobili končno trdnost. Kako starost prizmic vpliva na trdnost, se lahko jasno vidi pri vzorcu **IVf**, pri katerem so se meritve izvedle tako na najstarejši skupini (prizmice, stare 531 dni) kot tudi na najmlajših skupini (prizmice, stare 467 dni) izmed vseh prizmic. Pri vzorcu **IVf** je tako povprečna trdnost na 531 dni starih prizmicah 4,85 MPa, na 467 dni starih prizmicah pa 4,04 MPa, kar pomeni povprečno povečanje trdnosti za 0,81 MPa oziroma 20 % v 53 dneh. Nazorno se vidi povečanje trdnosti na slikah 36 in 37. Pri ostalih vzorcih so časovne razlike med posameznima časovnima skupinama prizmic manjše (**If** 31 dni, **IIIf** 24 dni in **IIIIf** 16 dni), povečanje trdnosti pa je komaj opazno, če primerjamo diagrame na sliki 37. Diagrami z začetkom v izhodišču so meritve na starejši skupini prizmic znotraj posameznega vzorca, diagrami, pomaknjeni na pomik -1 mm, pa so meritve na mlajši skupini. Pri tem barve črt diagramov označujejo vzorce enako smiselno kot v preglednici 9.

Namen tlačne preiskave vzorcev finih malt je bil, ugotoviti duktilnost finih ometov in ali je tlačna trdnost vzorcev finih ometov manjša od tlačne trdnosti vzorcev grobih ometov. Priporočilo, predstavljeno na začetku poglavja, namreč pravi, da naj bi imel fini omet manjšo trdnost (in s tem togost) kot grobi omet. Primerjava tlačnih trdnosti finih in grobih malt pokaže, da vzorci fasadnih ometov, sestavljeni iz grobega in finega ometa, **I+If** (vzorec grobega ometa **I** + vzorec finega ometa **If**), **II+IIIf** in **IV+IIIIf** zadostijo pravilu o manjši trdnosti finega ometa v primerjavi z grobim. Pri ostalih vzorci fasadnega ometa je bil fini omet vedno trdnější (močnejši) od grobega (preglednica 10). Enako je z duktilnostjo, ki jo ocenimo iz diagramov na sliki 37 in je pri vzorcih **IIIf** in **IIIIf** izrazito večja kot pri ostalih (zelo razpotegnjen plato diagramov).

Iz tega sklepam, da bi bila vzorca **IIIf** in **IIIIf** idealna za zaključni sloj z vidika ujemanja s podlago (grobim ometom), ker razlike v deformiranju med grobim in finim ometom ne bi povzročile pretrganja vezi med slojema. V nasprotnem primeru bi fini omet najverjetneje odstopil.

	vzorec	opombe	max [MPa]	[MPa]	[MPa]
starost <b>If</b> : 483 dni	<b>If</b> 23	odpade	-3,227	2,47	-2,926
	<b>If</b> 24	odpade	-3,186		
	<b>If</b> 25	brez cement izravnave	-2,681		
	<b>If</b> 26		-2,752		
	<b>If</b> 27		-3,119		
	<b>If</b> 28		-2,792		
	<b>If</b> 29		-2,792		
	<b>If</b> 30		-2,672		
	<b>If</b> 31	odpade	-2,619		
	<b>If</b> 32		-3,026		
	<b>If</b> 33	odpade	-3,321		
	starost <b>If</b> : 514 dni	<b>If</b> 34	odpade		
<b>If</b> 35			-3,009		
<b>If</b> 36			-3,115		
<b>If</b> 37			-3,073		
<b>If</b> 38			-3,321		
<b>If</b> 39		odpade	-3,478		
<b>If</b> 40		odpade	-2,811		
<b>If</b> 41			-2,974		
<b>If</b> 42		odpade	-3,668		
<b>If</b> 43			-3,227		
<b>If</b> 44			-3,253		
povpre. t. trd.		skupaj vse meritve		<b>-3,04</b>	[MPa]
stand. od.			0,2866677	[MPa]	
<b>kara. t. trd.</b>			<b>2,54</b>	[MPa]	

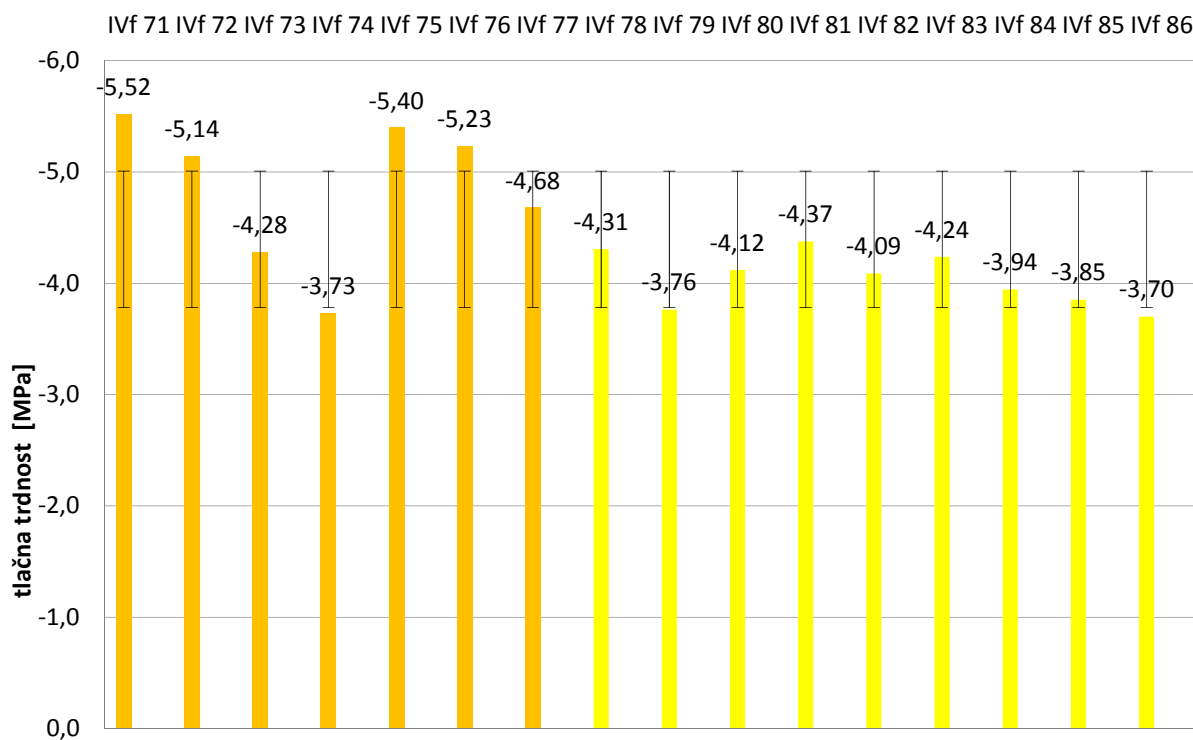
	vzorec	opombe	max [MPa]	[MPa]	[MPa]
starost <b>IIf</b> 500dni	<b>IIf</b> 53		-1,653	1,42	-1,735
	<b>IIf</b> 54		-1,790		
	<b>IIf</b> 55	odpade	-1,998		
	<b>IIf</b> 56		-1,906		
	<b>IIf</b> 57	odpade	-1,954		
	<b>IIf</b> 58		-1,815		
	<b>IIf</b> 59	odpade	-1,449		
	<b>IIf</b> 60		-1,633		
	<b>IIf</b> 61		-1,788		
	<b>IIf</b> 62		-1,590		
	<b>IIf</b> 63		-1,755		
	<b>IIf</b> 64		-1,489		
starost <b>IIf</b> 524dni	<b>IIf</b> 65		-1,884	1,5	-1,78102
	<b>IIf</b> 66		-1,609		
	<b>IIf</b> 67		-1,684		
	<b>IIf</b> 68		-1,660		
	<b>IIf</b> 69		-1,953		
	<b>IIf</b> 70	odpade	-1,896		
	povpre. t. trd.	skupaj vse meritve			
stand. od.			0,1635335	[MPa]	
<b>kara. t. trd.</b>			<b>1,47</b>	[MPa]	

	vzorec	opombe	max [MPa]	[MPa]	[MPa]
starost <b>IIf</b> 524 dni	<b>IIf</b> 47	dodatno stisnjeni v opažu	-2,898		-2,963
	<b>IIf</b> 48		-2,868		
	<b>IIf</b> 49		-3,207		
	<b>IIf</b> 50		-3,020		
	<b>IIf</b> 51		-2,823		
pov. tl.					<b>-2,963</b>
trd.					

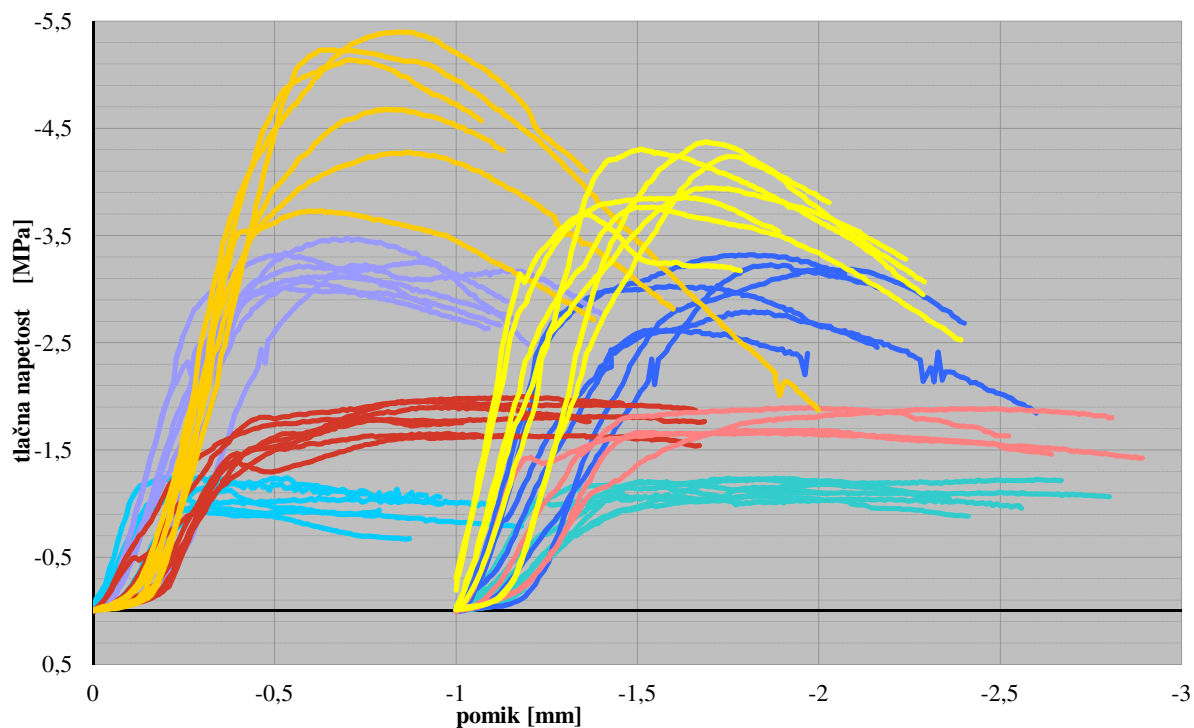
	vzorec	opombe	max [MPa]	[MPa]	[MPa]
starost <b>IIIf</b> : 506dni	<b>IIIf</b> 1		-1,050	0,95	-1,119
	<b>IIIf</b> 2		-1,095		
	<b>IIIf</b> 3	odpade	-1,252		
	<b>IIIf</b> 4	odpade	-1,011		
	<b>IIIf</b> 5		-1,182		
	<b>IIIf</b> 6		-1,047		
	<b>IIIf</b> 7		-1,123		
	<b>IIIf</b> 8	odpade	-1,241		
	<b>IIIf</b> 9	odpade	-1,234		
	<b>IIIf</b> 10		-1,055		
	<b>IIIf</b> 11		-1,020		
starost <b>IIIf</b> : 490 dni	<b>IIIf</b> 12		-1,208	0,95	-1,179
	<b>IIIf</b> 13		-1,223		
	<b>IIIf</b> 14		-1,204		
	<b>IIIf</b> 15	odpade	-1,426		
	<b>IIIf</b> 16	odpade	-1,034		
	<b>IIIf</b> 17		-1,067		
	<b>IIIf</b> 18		-1,237		
	<b>IIIf</b> 19		-1,237		
	<b>IIIf</b> 20		-1,245		
	<b>IIIf</b> 21	odpade	-1,009		
	<b>IIIf</b> 22		-1,082		
povpre. t. trd.	skupaj vse meritve		<b>-1,15</b>	[MPa]	
stand. od.			0,1099002	[MPa]	
<b>kara. t. trd.</b>			<b>0,96</b>	[MPa]	

	vzorec	opombe	max [MPa]	[MPa]	[MPa]
starost <b>IVf</b> 531dni	<b>IVf</b> 71	odpade	-5,518	3,58	-4,853
	<b>IVf</b> 72		-5,138		
	<b>IVf</b> 73		-4,278		
	<b>IVf</b> 74	odpade	-3,733		
	<b>IVf</b> 75		-5,397		
	<b>IVf</b> 76		-5,231		
	<b>IVf</b> 77		-4,677		
starost <b>IVf</b> 467dni	<b>IVf</b> 78	odpade	-4,306	3,57	-4,043
	<b>IVf</b> 79	odpade	-3,763		
	<b>IVf</b> 80		-4,119		
	<b>IVf</b> 81	odpade	-4,375		
	<b>IVf</b> 82		-4,087		
	<b>IVf</b> 83		-4,237		
	<b>IVf</b> 84		-3,944		
	<b>IVf</b> 85		-3,854		
	<b>IVf</b> 86	odpade	-3,701		
povpre. t. trd.	skupaj vse meritve		<b>-4,40</b>	[MPa]	
stand. od.			0,6124586	[MPa]	
<b>kara. t. trd.</b>			<b>3,32</b>	[MPa]	

Preglednica 9: Tlačna trdnost od 467 do 531 dni starih vzorcev finih apnenih malt



Slika 36: Tlačna trdnost 531(oranžna) in 467 dni (rumena) starih prizmic vzorca **IVf**



Slika 37: Primerjava izbranih diagramov Tlačna napetost – pomik glave preizkuševalnega stroja finih malt

vzorec groba	Povprečna tlačna trdnost [MPa]	Karakteristična tlačna trdnost [MPa]		vzorec fina	Povprečna tlačna trdnost [MPa]	Karakteristična tlačna trdnost [MPa]	Primerna kombinacija za fasadni omet
<b>I</b>	1,9	1,7	+	<b>If</b>	3,0	2,5	neprimerno
<b>II</b>	1,9	1,8	+	<b>IIIf</b>	1,8	1,5	primerno
<b>III</b>	1,9	1,6	+	<b>IIIIf</b>	1,2	1,0	primerno
<b>IV</b>	2,0	1,4	+	<b>IVf</b>	4,4	3,3	neprimerno
<b>V/1</b>	1,6	1,1	+	<b>IVf</b>	4,4	3,3	neprimerno
<b>V/2</b>	2,0	1,8	+	<b>IVf</b>	4,4	3,3	neprimerno
<b>IV</b>	2,0	1,4	+	<b>IIIIf</b>	1,2	1,0	primerno
<b>V/1</b>	1,6	1,1	+	<b>If</b>	3,0	2,5	neprimerno

Preglednica 10: Primerjava tlačnih trdnosti vzorcev grobih in finih malt/ometov

### 3.3.8 Preiskave končanega (strjenega) fasadnega ometa na terenu

- **Vodovpojnost vzorcev fasadnega ometa (grobi + fini + oplesk)**

Dober fasadni omet na zgodovinskih objektih zagotavlja zelo majhno vodovpojnost in hkrati zelo dobro oddaja vodo v okolico, kajti njegova pomembna naloga je zaščita konstrukcije (zidov) pred atmosferskimi vplivi in hkrati omogočanje »dihanja« konstrukcije. Vodovpojnost fasadnim ometom bistveno zmanjšajo različni barvni premazi (silikatne, apnene, silikonske barve ...), ki jim je skupno to, da s časom izgubijo svojo zaščitno funkcijo. Takrat postane pomembna vodovpojnost sklopa fini/grobi omet. Na vseh vzorcih fasadnega ometa je bil kot zaključni sloj uporabljen enak apneni oplesk v fresco tehniki, ki je bil izbran tudi zato, ker izmed vseh premazov najmanj (praviloma zanemarljivo) zmanjša vodovpojnost fasadnega ometa.

Z določanjem absorpcije vode pri nizkem pritisku (Water absorption under low pressure – pipe method) po metodi, ki jo priporoča RILEM komisija 25-PEM, sem hotel ugotoviti, kateri vzorec fasadnega ometa ima najmanjšo vodovpojnost oziroma najbolje zaščiti samega sebe in konstrukcijo pred vremenskimi vplivi. Oddajanja vode oziroma, kateri vzorec najbolj omogoča »dihanje«, pa nisem preiskoval, ker je splošno znano, da izmed vseh obstoječih fasadnih ometov apneni ometi v kombinaciji z apnenim opleskom zaradi svoje poroznosti najbolj omogočajo oddajanje vode (»dihanje«).

Meritve so bile sprva predvidene na terenu. Ker pa je bilo potrebno vzorce fasadnih ometov odstraniti s stene pred dogovorjenim rokom, smo kose fasadnega ometa prenesli v laboratorij, kjer smo lahko še bolj natančno opravili meritve. Merili smo na 261 dni starih vzorcih fasadnih ometov z graduiranimi cevkami z razširjeno bazo premera 2,5 cm, ki smo jo s pomočjo tesnilnega kita po obodu baze



vodotesno pritrdili na nepoškodovano mesto na vzorcu. V tako pripravljene cevke sem nalil 4 ml vode in v priporočenih časovnih intervalih (5, 10, 15, 30 in 60 min) meril količino absorbirane vode (sliki 38 in 39), ravno obratno kot pri vzorcih grobih ometov, kjer sem meril potrebni čas absorbiranja 4 ml.



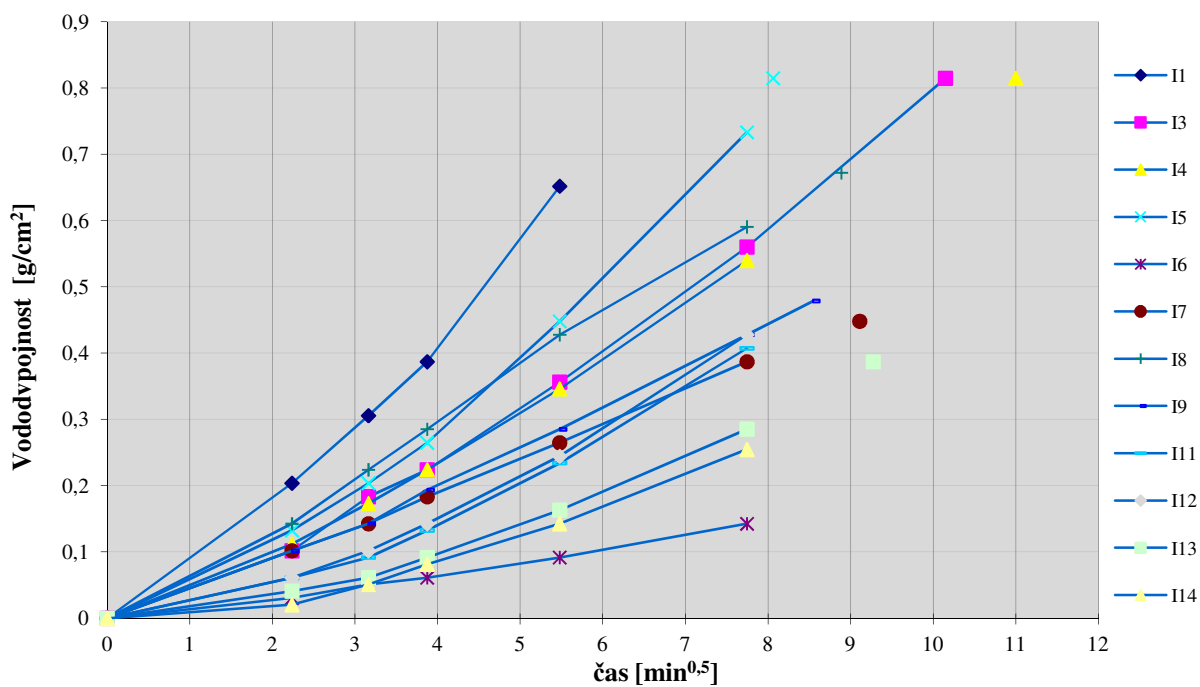
Slika 38: Meritve vodovpojnosti fasadnega ometa (grobi + fini + oplešk)



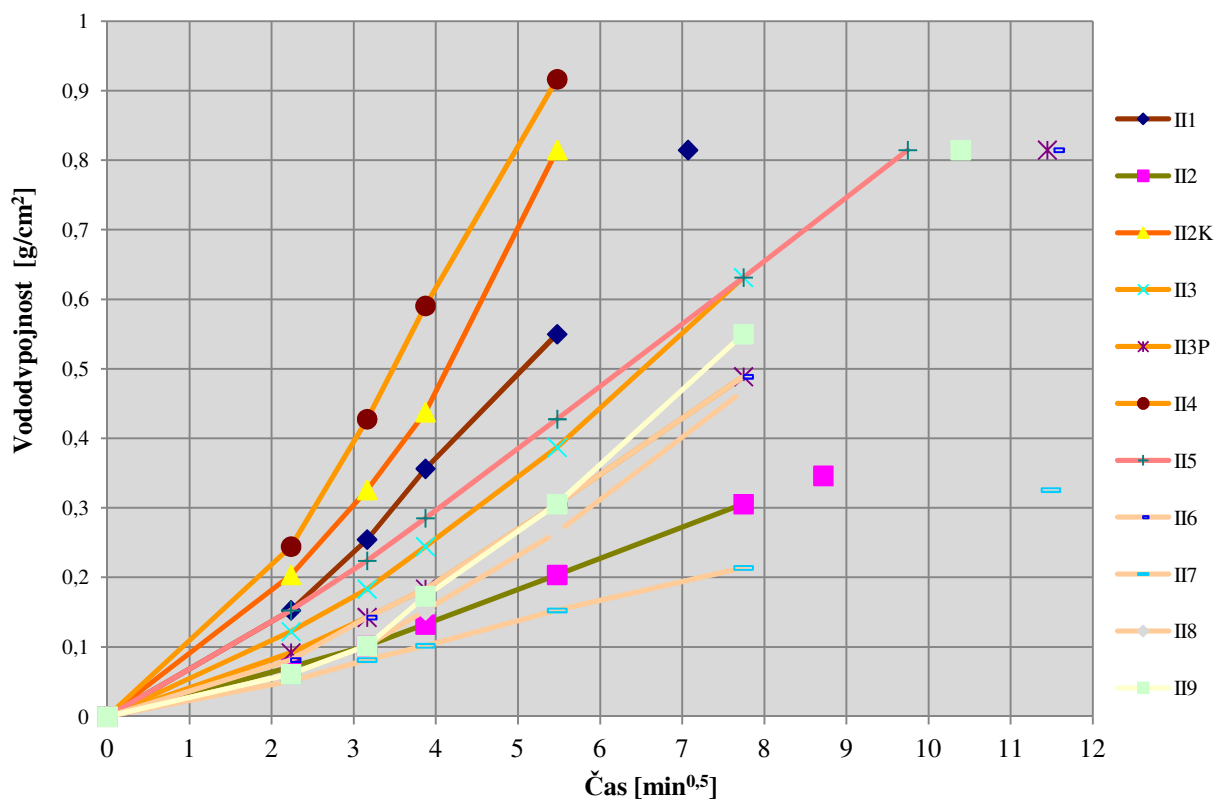
Slika 39: Prikaz površine vzorcev fasadnega ometa po meritvi vodovpojnosti

Ker vodovpojnost fasadnemu ometu določa fini omet skupaj z apnenim opleškom, se rezultati na slikah od 40 do 44 nanašajo na vzorce finega ometa, čeprav govorimo o vodovpojnosti fasadnega ometa kot celote.

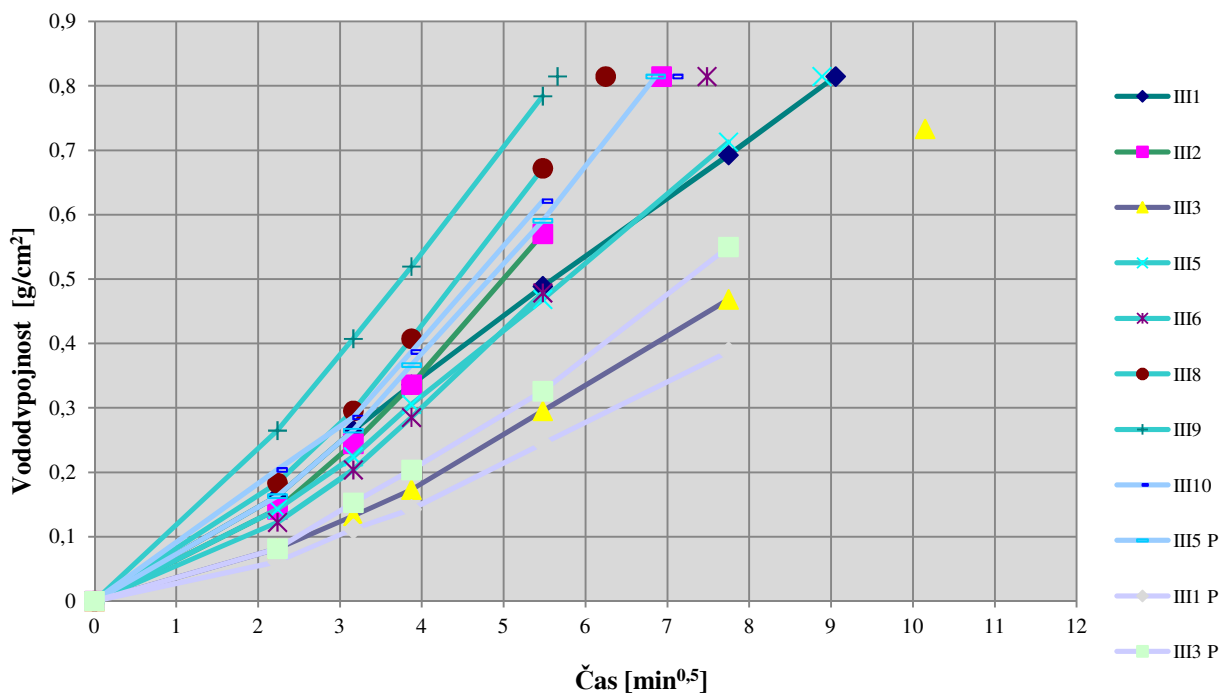




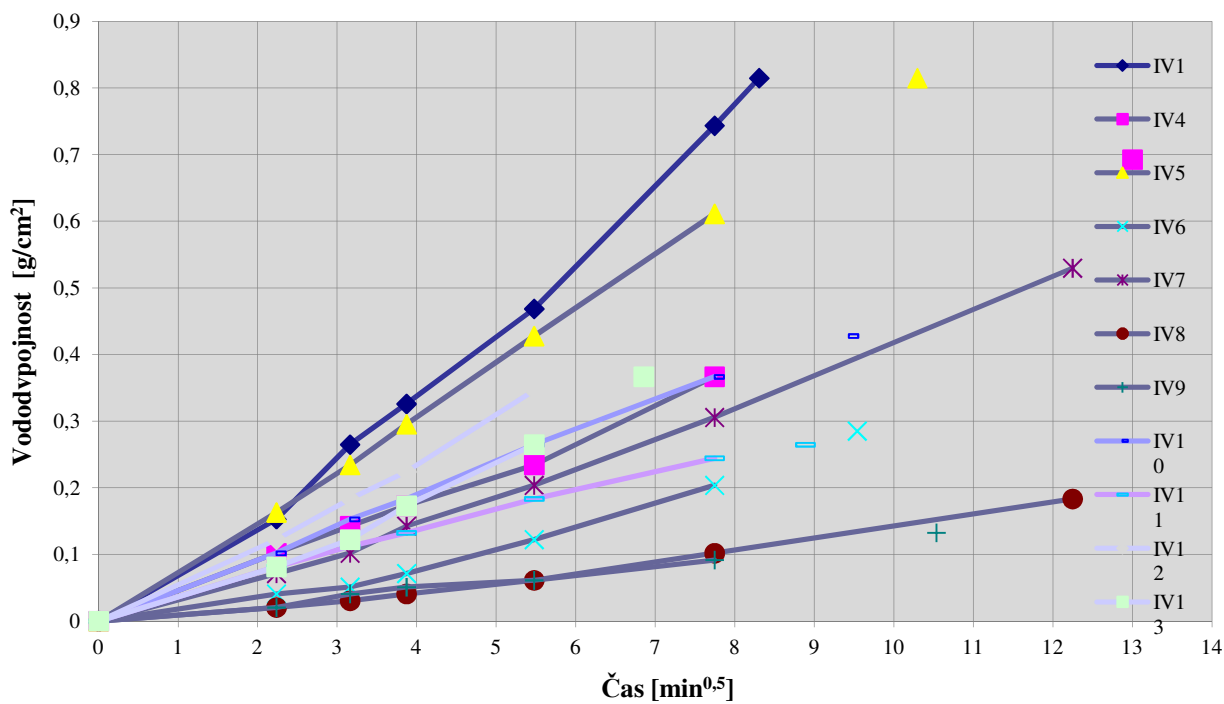
Slika 40: Vododvpojnost fasadnega ometa na mestu s finim ometom **I**f



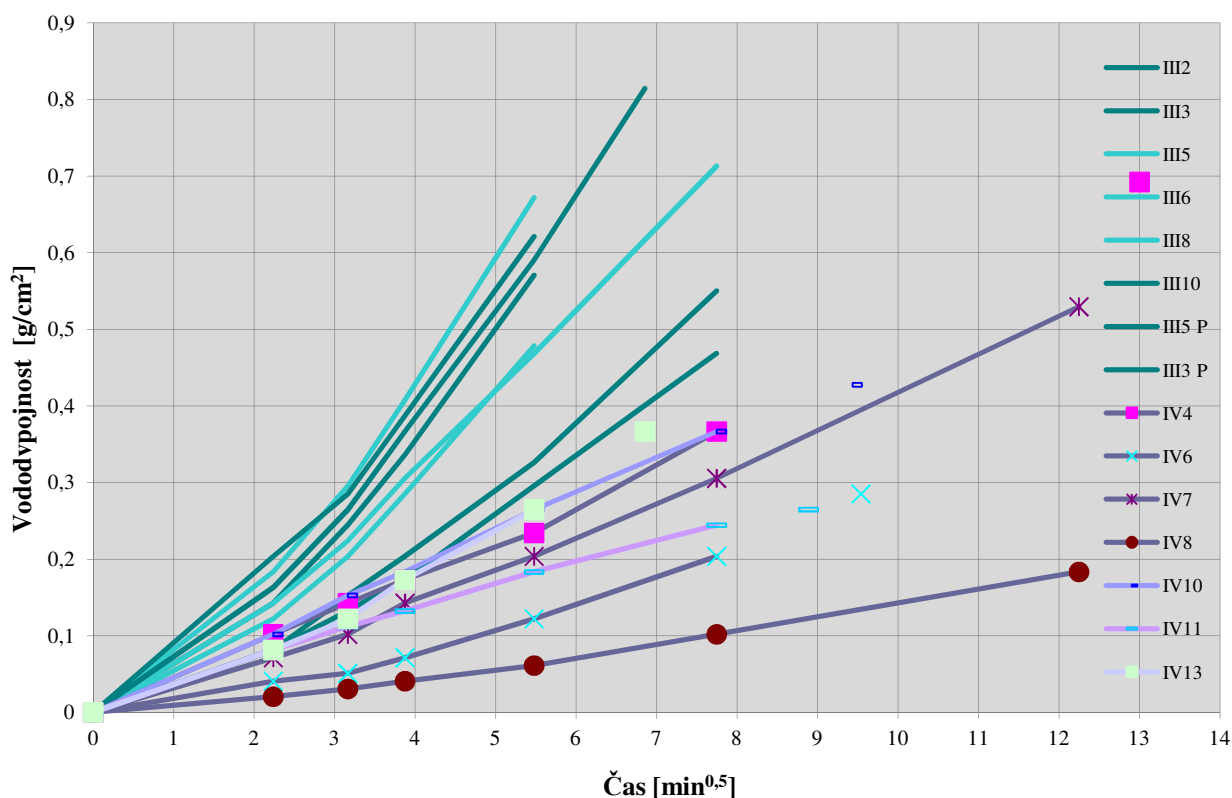
Slika 41: Vododvpojnost fasadnega ometa na mestu s finim ometom **II**f



Slika 42: Vododvpojnost fasadnega ometa na mestu s finim ometom IIIf



Slika 43: Vododvpojnost fasadnega ometa na mestu s finim ometom IVf



Slika 44: Primerjava vododvpojnosti fasadnega ometa na mestih s finim ometom **III**f in **IV**f

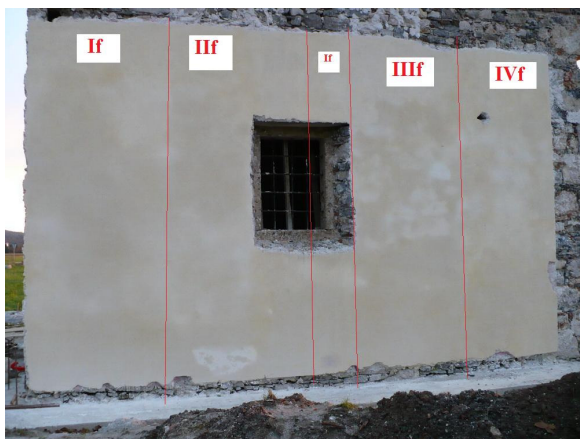
Iz rezultatov na slikah od 40 do 44 razberemo, da z največjo vododvpojnostjo izstopa fasadni omet, ki ima za zaključni sloj fini omet **III**f (hidrat iz Solkana). Najmanjšo vododvpojnost pa ima omet, ki ima za zaključni sloj fini omet **IV**f (apneno testo Žirov). Še vedno pa govorim o veliki vododvpojnosti fasadnih ometov, saj tudi najmanj vododvpojen vzorec v večini meritev absorbira skozi presek 4,9 cm<sup>2</sup> 4 ml vode prej kot v 60 minutah.

Velika vododvpojnost je slabost apnenih fasadnih ometov, vendar se korigira z enako veliko sposobnostjo oddajanja vode (»dihanje ometov«). Vododvpojnost lahko hitro zmanjšamo z naknadnim apnenim opleskom z naravnimi polimernimi dodatki (firnež, kazein ...), sposobnosti oddajanja vode pa ne moremo preprosto povečati (s kakim premazom).

- **Vizualna kontrola kakovosti fasade kot celote**

Vzorci fasad sem opazoval od jeseni 2007, ko smo izdelali zadnja dva sloja (fini omet in oplesk), do poletja 2008. V tem času so nastale poškodbe vseh vzorcev le zaradi zmrzali v spodnji tretjini stene, kjer je odstopil fini sloj z opleskom, grobi omet pa je ostal nepoškodovan. Omet je odstopil zaradi izdelave vzorcev finih ometov pozno v jeseni in hkratne velike količine vlage v spodnjem delu stene,

kar je finemu ometu onemogočilo pravočasno karbonatizacijo po vsej debelini pred nastopom temperatur pod 0 °C. Nekarbonatiziran fini omet v notranjosti je v bistvu trdoplastična malta, ki je v zimskem času zmrznila in odrinila vrhnji, karbonatiziran sloj. Dovolj, da omet odstopi (»zacveti«), je že tanka plast nekarbonatiziranega finega ometa na stiku z grobim ometom, ki ob prisotnosti vode (atmosferske ali vlage iz notranjosti zidu) zmrzne, nabrekne in odrine vrhnji sloj.



Slika 45: Prikaz stanja vzorcev fasadnih ometov na dan 10. 11. 2007 (17 dni star fini omet in oplesk) in na dan 9. 4. 2008 (168 dni star fini omet in oplesk)



Slika 46: Odstopljeni fini omet (**If, IIf in IVf**)

## **4 ZAKLJUČEK – NAVODILO ZA IZDELAVO KAKOVOSTNIH IN EKONOMIČNIH APNENIH OMETOV**

Lastniki so pogosto v dilemi, kako dolgoročno in v skladu s smernicami obnove stavbne dediščine (uporaba materialov in tehnologij, podobnih originalnim) obnoviti propadajočo fasado na svojem kulturnozgodovinskem objektu. Zato v nadaljevanju podajam navodilo za kakovostno in ekonomično ugodno zamenjavo propadlega fasadnega ometa z novim apnenim fasadnim ometom, ki je zaradi svoje podobnosti (lahko rečemo tudi enakosti) z originalnimi ometi na zgodovinskih stavbah v Sloveniji najbolj primeren. Pri tem predpostavim, da je obstoječi omet poškodovan do te mere, da posamično krpanje in barvanje ni dovolj. Edini smiselni ukrep je zamenjava starega ometa z novim.

Navodilo je podkrepjeno z rezultati preiskav vzorcev fasadnega ometa na severnem kamnitem zidu kapele gradu Črnelo. Ti so bili sestavljeni iz 5 vzorcev grobega ometa, 4 vzorcev finega ometa, čez vse pa je bil nanesen apneni premaz v fresco tehniki.

Nov apneni fasadni omet na zgodovinskem objektu izdelajo zidarski mojstri v naslednjih korakih:

### **1. Priprava podlage**

- Popolna odstranitev starega ometa skupaj s poglobitvijo spojnic (fug) med kamni oziroma opeko.

Z udarnimi kladivi majhne moči ali ročno s kladivom previdno odstranimo vse plasti ometa do kamnite oziroma opečnate podlage. Pri tem smo pozorni na morebitne s poslikavami prekrите plasti ometov. Če ni poslikav, poškodovan omet odstranimo. Po odstranitvi ometa zid temeljito operemo z napravo za visokotlačno pranje, s čimer odstranimo vse slabo vezane delce in hkrati iz fug izperemo vrhnji del preperete malte. Da se zid ne namoči pretirano, se uporabi za pranje poleg visokega pritiska še posebna rotacijska šoba, ki dodatno poveča moč curka brez povečanja pretoka vode.

- Krpanje lukenj in večjih neravnin v zidu

Luknje v zidu zazidamo oziroma zapolnimo z grobo apneno malto in s kamenjem, ki je odpadlo med čiščenjem podlage. Idealna malta za zapolnitev je živoapnena malta, ki po vgraditvi še dodatno nabrekne in tako bolj kompaktno zapolni prazen prostor. Popolnoma zadovoljiva za krpanje se je pri naših vzorcih izkazala tudi malta iz apnenega testa in drobljenega apnenčevega peska frakcije 0–4 mm v razmerju 1 : 2,6, ki jo je, za razliko od živoapnene malte, lažje in varneje izdelati. Dovolj strjena malta je pogoj za nadaljnjo izdelavo ometa, zato se krpanje izvede vsaj 2 dni pred nanosom ometa.

- Izdelava podložnega ometa (grobi obrizg)

Izdelava podložnega ometa je nujna pri kamnitem zidu, ne zaradi premajhne hrapavosti, ampak zaradi majhne poroznosti kamnov v zidu, kar med drugim tudi poslabša oprijem sveže malte. To potrjujejo tudi vzorci grobih ometov, ki so bili naneseni direktno na kamnito podlago. Na delu, kjer je bila v podlagi skala z večjo stično površino z ometom, je le-ta odpadel naslednji dan po nanosu (vodni film med kamnom in ometom poslabša adhezijo).

Podložni omet, ki je sestavljen iz enakih sestavin kot grobi, le z večjim deležem apna in skoraj tekoče konsistence, nanesemo strojno ali ročno na vlažno podlago. Zaželeno je, da ta sloj ometa ne prekriva podlage v celoti, ampak pusti fuge odprte. Dovolj strjen podložni omet je pogoj za nadaljnjo izdelavo ometa, zato se grobi obrizg izvede v tankem sloju vsaj 3 dni pred nanosom grobega ometa.

## **2. Izdelava grobega (izravnalnega) ometa**

Zaradi zelo počasnega strjevanja apnenih malt zidu ne ravnamo z debelino ometa, ampak le-ta v enakomerno debelem sloju (od 1 cm do 1,5 cm) sledi ravnini podlage. Zato se odsvetuje poravnava ometa po vodilih (»fažah«) s poravnalnimi letvami. Ravnanje ometa se izvede izključno samo s krajšo (dolžine cca 1,5 m) poravnalno letvijo in leseno gladilko. Večanje debeline zelo podaljša čas med nanosom grobega in finega ometa.

- Nanos in obdelava svežega ometa

Grobo malto nanašamo na vlažno podlaga strojno ali ročno. Iz preiskav na vzorcih ometov se je izkazalo, da so najbolj primerne malte iz apnenega testa in peska frakcije 0–4 mm, v razmerju od 1 : 2,8 do 1 : 3 (apneno testo : pesek). Malta iz apnenega hidrata (apno v prahu) je pogojno primerna zaradi hitrega začetnega krčenja, ki povzroča razpokanje ometa v prvih urah po nanosu. Drugih razmejitvenih razlik med posameznimi vzorci ni. Tlačna trdnost se giblje od 1,5 do 2,2 MPa, končno krčenje strjenih vzorcev malt je od 4 do 7,6 %.

Pomembno lastnost da malti oziroma ometu pesek. Ta je bil pri vseh vzorcih enak, drobljen apnenčev pesek iz nepreperete hribine. Zrnastostna sestava je bila zelo podobna zrnastosti sestavi z oznako SIA04, ki jo za malte priporoča švicarski standard. Kremenčevi peski iz slovenskih peskokopov (Moravče, Puconci) niso primerni zaradi vsebnosti soli.

- Nega in struganje (hrapavljenje) ometa

Ob normalnih vremenski pogojih, ki omogočajo enakomerno počasno izhlapevanje vode iz ometa, nega ni potrebna. Če pride do hitrega in neenakomernega izhlapevanja, omet zaščitimo, npr. z mokrim geotekstilom. V nobenem primeru ometa ne močimo direktno s polivanjem.

### **3. Izdelava finega (tankoslojnega) ometa**

Fini omet mora biti duktilen in hkrati z nižjo trdnostjo (in togostjo) kot grobi omet, da ne pride do porušitve stika med njima zaradi različnega deformiranja obeh in posledično luščenja vrhnjega sloja ometa.

- Nanos in obdelava svežega ometa

Nanaša se na povsem strjeni grobi omet v zelo tankem sloju (3 mm). Navadno je dovolj od 3 do 5 mesecev, da se grobi omet primerno strdi za nanos finega ometa, če njegova debelina ne presega 1,5 cm.

Izdelamo ga iz malte, sestavljene iz kateregakoli hidratiziranega apna (apneno testo, apno v prahu) in kalcitne mivke v razmerju od 1 : 1,7 do 1 : 1,8.

Končna obdelava je lahko zaglajeni (bolj starinski izgled) ali fino zaribani omet, ki omogoča boljše nanašanje barvnega premaza in bolj enovit izgled.

### **4. Barvni premaz (oplesk)**

Najbolj kompatibilen z apnenim fasadnim ometom in hkrati obstojen je apneni premaz, ki je lahko izveden v secco ali fresco tehniki.

Za premaz na vzorcih je bil zaradi cenenosti in enostavnosti nanosa izbran apneni belež, obarvan z oksidom in nanesen v fresco tehniki.

Pri porušeni vzorcih ometov se je jasno videla glavna lastnost fresco tehnike, in sicer to, da ni na fasadnem ometu barvnega sloja, ampak imamo obarvan vrhnji sloj finega ometa (barvni premaz in fini omet sta en sloj). Primerjava meritev vodovpojnosti na vzorcih fasadnega ometa kot celote (grobi + fini + oplesk) po RILEM metodi je pokazala, da z apnenim barvnim premazom v fresco tehniki pomembno ne zmanjšamo vodovpojnosti fasadnega ometa, kar istočasno pomeni, da ne zmanjšamo njegove paropropustnosti. To je sicer zelo dobra lastnost fasad, ki niso pretirano izpostavljene vremenskim vplivom (prisojne strani). Načeloma pa želimo z barvnimi premazi tudi malo zmanjšati vodovpojnost in s tem zaščititi omet, zato bi bil s tega vidika primernejši apneni premaz z dodatki (npr. kazein) v secco tehniki. Poudarek je na „malo“ zaradi ravnovesja, ker z zmanjšanjem vodovpojnosti zmanjšamo tudi paropropustnost apnenih ometov.

## **5. Čas izdelave**

Optimalen čas izvajanja del v osrednji Sloveniji je zgodaj jeseni (september in oktober) za pripravo podlage in izdelavo grobega ometa ter pomlad za izdelavo finega ometa in barvnega premaza. Hkrati morata biti izpolnjena pogoja: temperatura od 7 °C do 20 °C in relativna zračna vlaga pod 90 %. Omejitev izvajanja del zgolj s podajanjem temperaturnih mej ni dovolj, ker moramo zagotoviti primerne temperature tudi za čas nege ometa (več tednov), le-te pa lahko zagotovimo samo z izvajanjem del v primernem letnem času.

Primer slabe izbire časa izdelave ometov so vzorci finih ometov skupaj z barvnim premazom, ki smo jih izdelali konec oktobra. Prepozna izdelava teh vzorcev je razlog, da je spomladi večji del spodnje tretjine zidu „cvetel“ (odpadanje finega ometa). Na razpolago ni bilo dovolj časa, da bi se fini omet na bolj vlažnem delu zidu do nastopa temperatur pod 0 °C v celoti strdil (karbonatiziral).

Ne glede na obseg del je najkrajši možni čas trajanja zamenjave fasadnega apnenega ometa 6 mesecev, predvsem zaradi počasnega strjevanja grobega ometa.

Vse opisano lahko služi kot pomoč investitorjem/lastnikom za lažje razumevanje obnove fasade z novim apnenim ometom. Zidarjem, ki bi se radi priučili izdelave apnenih ometov, diplomsko delo ne bo koristilo, ker je problem v detajlih, le-ti pa niso obravnavani v tem delu. Primer: k obnovi fasade na kulturnozgodovinski stavbi sodi velikokrat tudi sočasna obnova vseh reliefnih okraskov in poslikav (venci, štukature, poudarjeni portali, šivani vogali ...).



## 5 PREGLED LITERATURE

1. Arhiv vremenskih podatkov. <http://www.geostik.com/arhivpod.asp> (Pridobljeno 15.10.2011)
2. Baroš, V. 2004. Fizikalne in mehanske karakteristike zgodovinskih apnenih malt kot izhodišče za zasnovo kompatibilnih malt za njihovo obnovo. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer: 9-43 str.
3. Bokan Bosijkov, V., Bosiljkov, V., Žarnič, R. 2008. Water absorption of lime-based facades. V: MASIA, Mark (ur.). Proceedings of the 14th International Brick and Block Masonry Conference : (Incorporating the 8th Australasian Masonry Conference) : Sydney, Australia, 13.-20. February 2008. Newcastle, University of Newcastle, 2008, 10 str.
4. Forsyth, M. 2008. Materials & Skills for Historic Building Conservation. Oxford, Blackwell Publishing: 220 str.
5. Kavčič, M. 2006. Apno – ohranjanja vredna tehnologija fasad. Gradbenik 10, 10: 42-43 str.
6. Kavčič, M. 2007. Konserviranje - restavriranje ometov po načelu minimalnega poseganja. Varstvo spomenikov 42-43: 246-264 str.
7. Kikelj, K. 2006. Vplivi vrste apna, dodatkov in tehnike izdelave na karakteristike apnenih fasad. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, smer operativno gradbeništvo: 3-17, 45-68 str.
8. Priprava živoapnene malte. 2003.  
[http://ocra.si/uploads/ocra/public/document/7-priprava\\_zivoapnene\\_malte\\_sl.pdf](http://ocra.si/uploads/ocra/public/document/7-priprava_zivoapnene_malte_sl.pdf)  
(Pridobljeno 15.10.2011)
9. RILEM. 1980. Water absorption under low pressure (pipe method). Test No. 11.4. Commission 25-PEM. International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM), Paris.
10. SIST EN 1015-3. Določitev konsistence sveže malte z metodo razleza na stresalni mizici
11. SIST EN 1015-11. Določitev upogibne in enosne trdnosti tlačne malte
12. SIST EN 1015-18:2004. Določitev koeficienta kapilarnega vpijanja vode strjene malte
13. SODZ ZGP. 1984. GNG gradbene norme. GIPOSS. Ljubljana: 45, 67, 68, 184 str.
14. Stojan-Čerpinšek E. 1987. Gradbeni materiali in njihova zaščita. Oddelek za razvoj, tehnologijo in mehanizacijo GIP INGRAD: 13-19 str.
15. Vidrih, R. 2002. Svet mineralov. Ljubljana, Tehniška založba Slovenija: 61-63 str.
16. Torraca, G. 2009. Lectures on Materials Science for Architectural Conservation. The Getty Conservation Institute: 194 str.
17. Žitnik, D. 2006. Gradbeniški priročnik. Ljubljana, Tehniška založba Slovenija: 171, 172, 184 str.

## **6 DODATEK K DIPLOMI**

### **6.1 Dodatek 1 – vremenski podatki**

Na priloženih grafih sta prikazani temperatura in vlaga po dnevih za čas izdelave vzorcev apnenih ometov na zidu kapele gradu Črnelo. Podatki so zbrani iz avtomatske amaterske vremenske postaje v Krtini, ki je oddaljena od kapele 3,5 km zračne razdalje. Arhiv podatkov vodi vremensko društvo ZEVS.

