

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Vasić, M., 2016. Vpliv vrste veziva na lastnosti sanacijskih ometov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Bokan Bosiljkov, V., somentorica Štukovnik, P.): 47 str.

Datum arhiviranja: 16-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Vasić, M., 2016. Vpliv vrste veziva na lastnosti sanacijskih ometov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bokan Bosiljkov, V., co-supervisor Štukovnik, P.): 47 pp.

Archiving Date: 16-09-2016

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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidatka:

MATEJA VASIĆ

**VPLIV VRSTE VEZIVA NA LASTNOSTI SANACIJSKIH
OMETOV**

Diplomska naloga št.: 123/OG-MO

**INFLUENCE OF BINDER TYPE ON THE PROPERTIES
OF RESTORATION RENDERS**

Graduation thesis No.: 123/OG-MO

Mentorica:

prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Somentorica:

asist. dr. Petra Štukovnik

Ljubljana, 29. 06. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani/-a študent/-ka Mateja Vasić, vpisna številka 26110528 avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Vpliv vrste veziva na lastnosti sanacijskih ometov

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljani

Datum: 29.6.2016

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 691:620.1(043.2)

Avtor: Mateja Vasić

Mentorica: prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov

Somentorica: asist. dr. Petra Štukovnik

Naslov: Vpliv vrste veziva na lastnosti sanacijskih ometov

Tip dokumenta: Diplomaska naloga – VSŠ

Obseg in oprema: 47 str., 22 pregl., 5 graf., 16 sl., 4 en.

Ključne besede: vrsta veziva, sanacijski ometi, razlez, prostorninska masa, vsebnost por, tlačna trdnost, difuzija vodne pare

Izvleček

V sklopu diplomske naloge smo opravili preiskave na svežih in strjenih maltnih mešanica, namenjenih izdelavi sanacijskih ometov. Glavni namen je bil pripraviti različne sestave malt za sanacijske omete, ki bodo dosegale čim večjo poroznost in paroprepustnost pri ustrezni tlačni trdnosti. Ugotoviti smo želeli, kako različna vrsta veziva in kemijski dodatki vplivajo na te lastnosti malt. V prvem delu diplomske naloge smo na podlagi izbranih razmerij med agregatom, vezivom in dodatki po več poizkusih dodajanja različnih količin vode dobili končne recepture mešanic. Kot kemijska dodatka smo uporabili superplastifikator in aerant, kot vezivo pa dve različni vrsti cementa in apno. Na svežih mešanica smo raziskave opravili s standardizirano metodo določanja razleza na stresalni mizici ter določili prostorninsko maso malt in vsebnost por. V drugem delu smo na strjenih vzorcih starih 28 dni določili tlačno trdnost in merili difuzijo vodne pare. Vse rezultate, ki smo jih dobili s preiskavami, smo podali v preglednicah in na grafih.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	691:620.1(043.2)
Author:	Mateja Vasić
Supervisor:	Prof. Violeta Bokan Bosiljkov, Ph.D.
Co-supervisor:	Assist. Petra Štukovnik, Ph.D.
Title:	Influence of binder type on the properties of restoration renders
Document type:	Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes:	47 p., 22 tab., 5 graph., 16 fig., 4 eq.
Key words:	type of binder, restoration plaster, flow value, density, porosity, compressive strength, water vapour diffusion

Abstract

As part of this thesis, a test was made on fresh and hardened mortar mixtures aimed at preparing restoration renders. The main purpose was to prepare various compositions of mortar for restoration renders that would have the highest possible air content and water vapour permeability at adequate compressive strength. We wanted to find out how different types of binders and chemical admixtures affect these properties of mortars. Based on the given ratio between the aggregate, the binder and the admixtures, the first part of the thesis focuses on the final mixture compositions that were obtained after several attempts of adding different amounts of water to them. Superplasticizer and air entraining agent were used as chemical admixtures and as binders two different types of cement and lime were used. Research on the fresh mixtures was conducted with standardized methods of determining the flow value on the flow table, after which the density and porosity of mortar were determined. In the second part of the thesis, compressive strength and water vapour diffusion were tested on 28-day-old hardened samples. All the results obtained during the tests are given in tables and graphs.

ZAHVALA

Rada bi se zahvalila mentorici prof. dr. Violeti Bokan-Bosiljkov in somentorici asist. dr. Petri Štukovnik za strokovno pomoč, nasvete in spodbudo pri nastajanju diplomske naloge. Hvala Franciju Čeponu, ki mi je pomagal pri izvedbi preiskav v laboratoriju.

Zahvalila bi se svoji družini in fantu, ki so me podpirali in spodbujali tekom celotnega študija.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD	1
2 MALTE IN OMETI	2
2.1 Malta.....	2
2.1.1 Klasifikacija malt	2
2.1.2 Apnena malta	3
2.1.3 Cementna malta	3
2.1.4 Podaljšana cementna malta.....	3
2.2 Omet.....	3
2.3 Sanacijski omet.....	5
2.4 Problem vlage in soli.....	6
2.5 Difuzija vodne pare	7
3 UPORABLJENI MATERIALI ZA IZDELAVO MALTE	8
3.1 Agregat.....	8
3.2 Vezivo.....	10
3.2.1 Cement.....	10
3.2.2 Apno	12
3.3 Dodatki	12
3.4 Voda	13
4 EKSPERIMENTALNI DEL.....	14
4.1 Potek dela na sveži malti	14
4.2 Recepture mešanic.....	14
4.2.1 Konsistenca sveže malte	16
4.2.2 Postopek priprave.....	16
4.2.3 Dodane količine vode z razlezi.....	20
4.3 Preiskave na strjenih vzorcih maltnih mešanic.....	22
4.3.1 Vgradnja mešanic v kalupe in priprava vzorcev	22

4.4	Tlačna trdnost.....	26
4.5	Paroprepustnost	28
5	REZULTATI SVEŽIH MALTNIH MEŠANIC	31
5.1	Razlez in prostorninska masa	31
5.2	Vsebnost por v mešanici.....	32
6	REZULATI STRJENIH MALTNIH MEŠANIC	35
6.1	Rezultati tlačne trdnosti	35
6.2	Rezultati difuzije vodne pare.....	40
6.3	Primerjava rezultatov poroznosti in difuzije vodne pare	41
7	ZAKLJUČEK.....	43
VIRI	45

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Paroprepustnost malt [15].	8
Preglednica 2: Fizikalno-kemijske lastnosti agregata (apnenca).	9
Preglednica 3: Karakteristike CEM II/B-M (L-P) 42,5 N – osnovni.	10
Preglednica 4: Karakteristike CEM I 52,5 R [18].	11
Preglednica 5: Po specifikaciji dobljene karakteristike hidratiziranega kalcitnega apna.	12
Preglednica 6: Karakteristike superplastifikatorja na osnovi polikarboksilata.	13
Preglednica 7: Recepture – osnovna mešanica.	15
Preglednica 8: Recepture – osnovna mešanica + superplastifikator.	15
Preglednica 9: Recepture – osnovna mešanica + superplastifikator + aerant.	15
Preglednica 10: Hitrost in število obratov mešalca RILEM-CEN [23].	16
Preglednica 11: Osnovna mešanica – količina vode in razlez.	20
Preglednica 12: Osnovna mešanica + superplastifikator – količina vode in razlez.	21
Preglednica 13: Osnovna mešanica + superplastifikator + aerant – količina vode in razlez.	22
Preglednica 14: Pregled oznak za strjene vzorce.	24
Preglednica 15: Rezultati razleza in prostorninskih mas mešanic.	31
Preglednica 16: Rezultati izmerjenih in izračunanih poroznosti mešanic.	32
Preglednica 17: Prostorninske mase mešanic 1-apnena malta.	35
Preglednica 18: Prostorninske mase mešanic 2-podaljšana cementna malta.	36
Preglednica 19: Prostorninske mase mešanic 3-cemetna malta.	38
Preglednica 20: Paroprepustnost osnovnih mešanic (A).	40
Preglednica 21: Paroprepustnost osnovnih mešanic + SP + aerant (C).	40
Preglednica 22: Primerjava poroznosti in difuzije vodne pare.	41

KAZALO GRAFIKONOV

Graf 1: Primerjava vsebnosti por v mešanicah.	33
Graf 2: Tlačna trdnost apnene malte po 28 dneh.	35
Graf 3: Tlačne trdnosti podaljšane cementne malte po 28 dneh.....	36
Graf 4: Tlačne trdnosti cementne malte po 28 dneh.....	37
Graf 5: Primerjava povprečnih vrednosti tlačnih trdnosti na strjenih mešanicah.	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Vodoodbojnost/paroprepustnost ometa [11].	4
Slika 2: Poškodovan zid zaradi prodora vlage [3].	6
Slika 3: Graf presevek – velikost delcev.	8
Slika 4: Mešalec RILEM-CEN v Konstrukcijsko - prometnem laboratoriju na FGG.	17
Slika 5: a) Stresalna mizica, b) vgrajena malta v konusnem kalupu.	18
Slika 6: Merjenje razleza sveže malte.	18
Slika 7: Tehtanje sveže malte v laboratoriju.	19
Slika 8: Porozimeter.	20
Slika 9: Priprava kalupov za tlačno trdnost.	23
Slika 10: a) Vgrajena malta v valjih, b) Vgrajena malta v valjastih pokrovih.	24
Slika 11: Razkalupljeni vzorci valjev.	25
Slika 12: a) Tehtanje preizkušanca, b) Merjenje višine preizkušanca.	25
Slika 13: a) Dimenzije tlačnih preizkušancev, b) Tlačna sila na preizkušanec [23].	26
Slika 14: Tlačna porušitev valja v preši.	27
Slika 15: Vzorčki vstavljeni v komoro.	28
Slika 16: Celoten vzorec s silikonom ob robu.	29

KAZALO ENAČB

Enačba 1: Izračun prostorninske mase [24].	19
Enačba 2: Izračun tlačne trdnosti [23].	26
Enačba 3: Difuzijska upornost prehoda vodne pare [25].	29
Enačba 4: Vrednost S_d [25].	30

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Ometavanje zidov je tradicionalna obrtna dejavnost, ki je tako stara, kot je staro zidanje stavb. Zidovi so običajno zgrajeni iz poroznih materialov, katerih struktura je prepredena z drobnimi kapilarami. To predstavlja problem pri objektih s slabo izvedeno horizontalno hidroizolacijo ali pri starejših stavbah, kjer te sploh ni. Zato se v takih stavbah velikokrat pojavi dvig kapilarne vlage. Zaradi kapilarne vlage in transporta vodotopnih soli, ki jih omogoča, nastajajo poškodbe na zidovih in/ ali na ometu. Napredovanje tovrstnih poškodb lahko preprečimo z ustreznim sanacijskim ometom [1].

Razlog za degradacijo objektov je vdor agresivnih snovi iz okolja, ki s časom povzročajo poškodbe na konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementih (zidakih, maltah za zidanje in ometih) ter propadanje materiala z mineralnim vezivom [2].

Danes lahko na trgu najdemo številne specialne suhe maltne mešanice, predhodno pripravljene v tovarni, ki so namenjene preprečevanju škodljivih procesov v zidu ali preprečevanju škodljivih posledic teh procesov [3].

V okviru diplomske naloge smo hoteli raziskati vpliv različnih veziv in dodatkov, ki vplivajo na lastnosti sanacijskih ometov, in sami narediti malto, ki bo ustrezala postavljenim zahtevam, kot so poroznost, paroprepustnost in ustrezna tlačna trdnost za sanacijski omet.

V laboratoriju smo pripravili različne sestave malt za sanacijske omete. Skupno smo pripravili 9 različnih mešanic, v katerih je bilo kot vezivo uporabljeno apno, ter cementa CEM I in CEM II. Uporabili smo še dva kemijska dodatka (superplastifikator in aerant). Najprej smo izvedli preskuse na svežih maltnih mešanicah. Nato smo malte vgradili v kalupe in na strjenih maltah določili njihove mehanske lastnosti. Na vzorcih sanacijskih ometov pa smo določili difuzijo vodne pare skozi omet.

2 MALTE IN OMETI

Po sestavi sta omet in malta zelo podobna materiala, razlikujeta se v namenu uporabe. Omet ščiti strukturo zidu pred vremenskimi vplivi, zato se nanaša na zidove in fasade objekta. Malta pa lahko služi kot malta za omete ali kot konstrukcijski material, ki povezuje gradbeni kamen ali opeko in poveča stabilnost zidu [4].

2.1 Malta

Malta je homogenizirana zmes, ki sestoji iz veziva, agregata, vode in dodatkov. Vsaka izmed teh sestavin pa vpliva na določene lastnosti malte. Večji del malte je sestavljen iz agregata, ki je lahko umetnega ali naravnega izvora. Uporabljamo jo za ometavanje, zidanje, izdelavo talnih oblog ter za izdelavo zaključnih oblog stropov in sten [5]. Glede na vrsto uporabljenega mineralnega veziva se določi razmerje med sestavinami, ki je odvisno od namena uporabe malte. Narava veziva pogojuje, kakšne lastnosti ima malta [6].

Zagotoviti je treba, da je sveža malta dovolj lepljiva, plastična in se dobro prilega na površino. Pri strjeni malti je pomembno, da ima zadostno trdnost, stalno prostornino in da je obstojna na zunanje vplive [5].

2.1.1 Klasifikacija malt

Malte delimo glede na:

- vrsto in količino dodatkov,
- razmerje agregat/vezivo,
- porazdelitev velikosti delcev agregata,
- mineralno in petrografsko sestavo [7].

Glede na način vezanja lahko malte razdelimo na zračne malte, ki vežejo in se strjujejo samo na zraku, in hidravlične malte, ki vežejo in se strjujejo na zraku in v vodi [5].

Vrste zračnih malt:

- apnena,
- mavčna,
- magnezitna,
- glinena,
- šamotna [5].

Vrste hidravličnih malt:

- hidravlična apnena,
- cementna,
- podaljšana cementna,
- s polimeri modificirana [5].

2.1.2 Apnena malta

Apnena malta se izdelava v prostorninskem razmerju apno : pesek = od 1 : 1 do 1 : 4 [5].

Glavne lastnosti in značilnosti apnene malte so:

- nizke mehanske lastnosti zaradi šibke vezi med delci kalcita,
- enostavna uporaba zaradi počasnega strjevanja, odvisnega od pogojev okolja,
- visoka kapaciteta deformacij (nizek modul elastičnosti) dopušča materialu, da absorbira majhne premike sosednjih materialov,
- visoka prepustnost za vodo in vodno paro,
- nizka odpornost na cikle zmrzovanja/tajanja [6].

2.1.3 Cementna malta

Izdelava se v prostorninskem razmerju med cementom in peskom, ki je cement : pesek = od 1 : 1 do 1 : 4 [5].

Malto je treba vgraditi v času ene ure, ta čas je lahko tudi daljši, pomembno je, da jo vgradimo, preden začne cement vezati. Pri procesu hidratizacije cementa se 15–20 % vode veže, ostala voda pa izhlapi [5]. Količino vode prilagajamo, da dosežemo zeleno konsistenco. Večja, kot je količina vode pri enaki količini cementa, manjša je trdnost. Pri normalnih razmerah uporabe je malta s cementnim vezivom trajna [8].

2.1.4 Podaljšana cementna malta

Podaljšana cementna malta je sestavljena iz prostorninskega razmerja cementa, apna in peska, ki je lahko v razmerju cement:apno:pesek = 1:2:5, 1:1:6, 1:2:6 [5].

Značilnosti podaljšane cementne malte so:

- podaljšan čas vgradnje v odvisnosti od deleža cementa,
- daljši proces vezanja,
- manjša trdnost v primerjavi s cementno malto,
- višja trdnost glede na apneno malto,
- večja duktilnost in boljše vgradljivost od cementne malte,
- nizka paroprepustnost [5].

2.2 Omet

Omet je kombinacija materialov (agregata, veziva in dodatkov), ki se pri mešanju z ustrezno količino vode spremenijo v plastično maso [9] in izboljšujejo njegove lastnosti [7]. Ko omet nanese na površino, se nanjo prilepi in strdi. Izraz omet se uporablja glede na specifično sestavo materiala in ni izrecno določeno, ali se uporablja za notranjo ali za zunanjo rabo [9].

Namen obdelave površin z ometom je:

- zaščita zidu pred okoljem, mehanskimi poškodbami in vlago,

- izboljšanje izolativnosti pred zvokom, vodo, ognjem, toploto,
- priprava podlage za dodatno oblogo ali barvo,
- izravnava površin,
- doseganje estetskih učinkov,
- izboljšanje higienskih pogojev [5].

Omete razdelimo v dve glavni skupini glede na vrsto veziva:

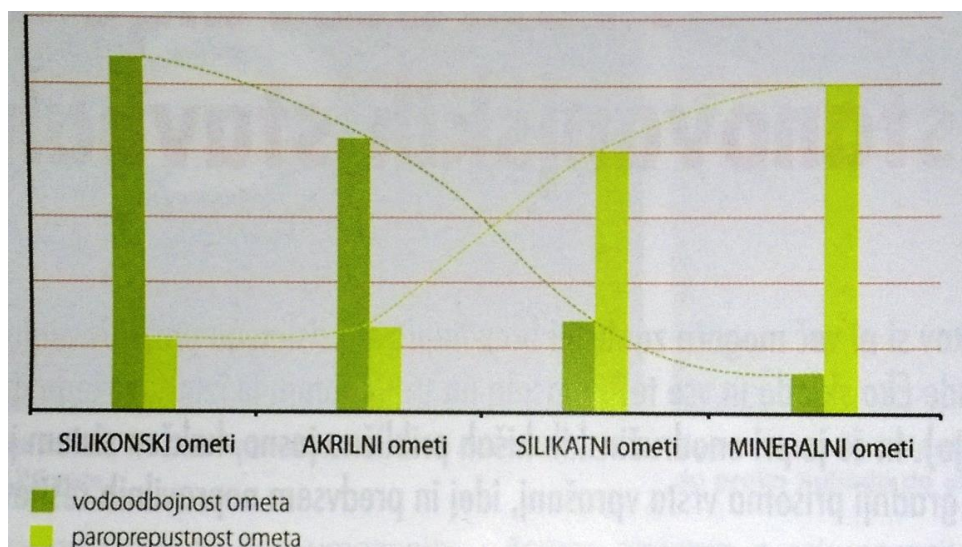
- ometi z mineralnim vezivom (vezivo: apno, mavec, pucolani, cement ali glina),
- ometi z organskim vezivom (vezivo: polimerna disperzija, polimerna disperzija + vodno steklo, ...) [10].

Glede na kemično sestavo se ometi delijo na silikatne, silikonske, akrilne in mineralne omete (Slika 1). Razlikujejo se po paroprepustnosti, sestavi, hidrofobnosti/higroskopičnosti, barvni obstojnosti, elastičnosti, trdnosti, občutljivosti na vremenske pogoje, itd. [11].

V diplomski nalogi smo kot vezivo uporabili apno in cement, ki skupaj z agregatom in vodo tvorita mineralni omet. Tak omet odlično uravnava vlago, je dobro paroprepusten in slabo vodoodbojen [11]. Njegove izjemne gradbeno-fizikalne lastnosti so razlog za široko uporabo. Tudi cenovno so najbolj ugodni. Po načinu vgradnje so lahko klasični, ročno izvedeni ometi ali pa strojni ometi [12, 13].

Apneni ometi se odlikujejo predvsem po dobri paroprepustnosti in sposobnosti uravnavanja klime v prostoru. Apno z visokim pH omejuje rast in razvoj alg, bakterij ter plesni [12].

Ometi na cementni osnovi se odlikujejo po visoki neobčutljivosti na vlago in visoki tlačni trdnosti. Primerni so za površine, kjer je treba zadostiti višjim potrebam po odpornosti in trdnosti na zmrzal in vlago. Ker se cement med sušenjem krči, lahko krčenje povzroči nastanek razpok [12, 13].



Slika 1: Vodoodbojnost/paroprepustnost ometa [11].

2.3 Sanacijski omet

Sanacijski omet je vrsta ometa iz kombinacije agregata, veziv, dodatkov in vode, ki pa se največkrat uporablja pri objektih, ki jih je poškodovala kapilarna vlaga, ali pa pri novogradnji kot preventivna zaščita [14]. Primerni so za uporabo pri nizki do visoki navlaženosti zidu. Skozi življenjsko dobo izpolnjujejo svojo funkcijo in ves čas ohranjajo estetski videz [3].

To vrsto ometov odlikujeta visoka poroznost in prepustnost za vodno paro ter bistveno nižja kapilarna prevodnost. S tem, ko izberemo ustrezne agregate, veziva in dodatke, je mogoče izdelati sanacijske omete z nizko vsebnostjo kapilarnih por in z visoko skupno prostornino por. Z optimalno sestavo dosežemo, da bo omet zdržal dolgo brez poškodb in bil dolgoročno učinkovit. Optimalno sestavo dobimo z ustrezno izbiro velikosti in oblike zrn, vrste veziva, vrste in količine dodatkov ter mešalnega razmerja [3].

Značilne lastnosti idealne malte za saniranje so:

- enostavna obdelava,
- hiter in zanesljiv nanos v suhem in mokrem okolju,
- počasno strjevanje med nanašanjem,
- mehanske in toplotne lastnosti so podobne lastnostim originalnega materiala,
- čim manjša vsebnosti topnih soli,
- večja ali vsaj enaka paroprepustnost ter manjša trdnost in togost kot originalen material [6].

S sanacijskim ometom lahko omečemo tudi zasoljene in/ali navlažene zidove. Pri tem se škodljive snovi odložijo v ometu in se ne prenašajo na površino fasade. Omet zadržuje škodljive soli in z njimi zapolni obstoječe zračne in makro pore. Zato se spreminja stopnja zasoljenosti in s tem tudi funkcija sistema ometa. Pri prekomerni obremenjenosti z vlago je potrebno omete, ki so popolnoma zasičeni, v celoti zamenjati [3].

Poškodbe in posledično odstopanje ometa so lahko posledica:

- zasoljenosti zidu,
- neustrezne izbire materialov,
- vremenskih vplivov,
- poškodb pod vplivom zmrzali in vlage,
- mehanskih poškodb (razpok ipd.),
- napačnih premaznih sistemov [3],
- školjkastega luščenja zaradi večjih zrn živega apna,
- pokanja ometa zaradi krčenja (prevelika količina cementa v mešanici),
- delovanja plesni in alg na območju toplotnih mostov [5].

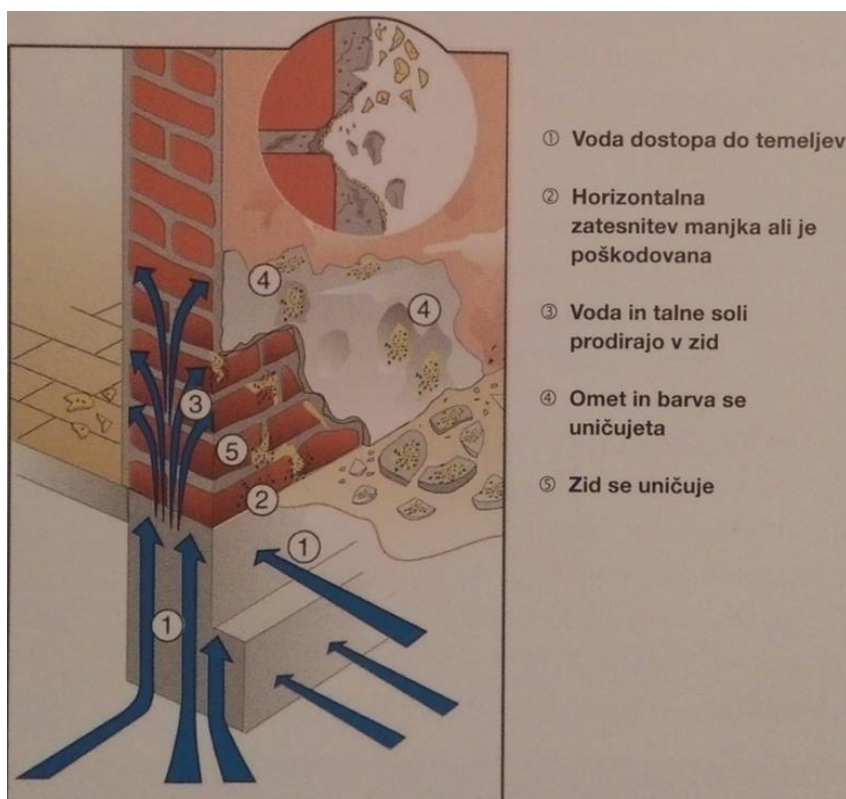
Poškodbe so odvisne predvsem od okolice, v kateri hiša je (hiša ob cesti, v mestnih predelih, na strmih pobočjih, v bližini rečne struge, ...), saj dejavniki v okolici negativno vplivajo na zidovje in ometane površine [3].

2.4 Problem vlage in soli

Voda zaradi površinske napetosti potuje po kapilarah materialov (opeka, malta, kamen) v kateri koli smeri do višine, ki je odvisna od koncentracije vlage in velikosti kapilar. Sama kapilarna vlaga ne predstavlja večjih težav, če njen pojav ne bi imel škodljivih posledic za konstrukcijo in gradbeno substanco, kot je razvidno na Sliki 2 [1].

Glavni povzročitelj škode in težav gradbenikov je vlaga, ki je prisotna v poroznih materialih. Vlaga v gradbenem materialu vpliva na kristalizacijo soli, zmrzovanje, spremembe izolacijskih sposobnosti, propadanje gradbenega materiala in ima še mnoge druge neugodne vplive. Pri povečanju vlage v zidu za 1 % se njegova toplotna izolativnost zmanjša za približno 5 %. Voda v obliki pare, ledu in tekočine precej poškoduje objekte [3].

Vlaga izhlapi ob suhem vremenu, medtem ko soli ostanejo higroskopsko dejavne. Ob vsakem porastu vlage v okolju soli v zidu vežejo določeno količino vode in s tem povečajo vlažnost zidu [3].



Slika 2: Poškodovan zid zaradi prodora vlage [3].

Kristalizacija soli (cvetenje) se pojavi, ko v zid prodre voda z raztopljenimi solmi, ki v fazi sušenja zidu kristalizirajo. Ko voda izhlapi, soli kot cvetenje ostanejo vidne na ometu ali zidu. Zaradi tega ostanejo na ometu madeži in vlažni robovi na fasadi. Neprestano navlaževanje zasoljenega zidu privede do odstopanja ometa [3]. Soli zaradi svoje higroskopičnosti navlažujejo omet z vlago iz zraka in posledično širijo vlago naprej po zidu in ometu. Nakopičena sol ovira tudi izhlapevanje vlage [1].

Srečujemo se z veliko različnimi vrstami soli, ki negativno vplivajo na elemente zgradb in povzročajo dolgotrajne poškodbe na objektu. Najbolj pogoste škodljive soli so kloridi, sulfati in nitrati, ki so v gradbenem materialu ali zemlji. Ker kapilarna vlaga ne potuje po zidu sama, ampak skupaj s solmi, topnimi v vodi, se te spremenijo v solne kristale. Kristalizacija soli povzroča pritiske v strukturi poroznega materiala, kar pripelje do poškodb [1, 3].

2.5 Difuzija vodne pare

Besedno zvezo »dihanje sten« vse pogosteje slišimo zaradi različnih vzrokov. Najpogosteje jo srečamo za potrebe marketinga in za reklamne namene. Pojem »dihanje sten« ni mišljen kot strokovni izraz, ampak se uporaba tega pojma razume kot prehod ali difuzija vodne pare skozi stene stavbe iz notranjosti stavbe navzven in varovanje konstrukcijskega sklopa pred pretiranim navlaženjem in posledicami le tega. Med prehodom vlage skozi steno se stena vlaži in je lahko podvržena notranji kondenzaciji, razvoju gob in plesni ter zmanjšanju nosilnosti [15].

Ker je velika večina gradbenih materialov poroznih, je navlaževanje gradbenih konstrukcij posledica difuzijskega prehoda vodne pare skozi porozne gradbene snovi [16].

Količino vodne pare lahko opredelimo na primer z vlažnostjo zraka ali z delnim tlakom vodne pare v zraku. V opazovanem sistemu se pojavi difuzijski tok molekul vodne pare, kadar imata opazovani področji različni specifični vlažnosti zraka. Skozi sloj snovi prehaja vodna para tako dolgo, dokler sta vlažnosti zraka na obeh straneh različni. Difuzijski tok vodne pare se prekine, ko se na obeh straneh vlažnosti zraka izenačita, prav tako se izenačita tudi delna tlaka vodne pare [16].

Fizikalni pojav difuzije vodne pare nastane zaradi razlike parcialnih tlakov pare na obeh straneh stene. Tok vlage se vedno giblje iz notranjih ogrevanih prostorov proti hladni okolici, torej v isti smeri kot toplotne izgube oziroma toplotni tok. Posledica tega je razlika v parnih tlakih, saj je notranji parni tlak občutno višji od zunanjega [15].

Z oznako » μ «, ki je brez enote, označimo koeficient prehoda vodne pare, faktor upornosti difuzijske vodne pare ali koeficient paroprepustnosti. Pove nam, za koliko je upor proti

prehodu vodne pare pri materialu večji, kot je prehod vodne pare po zraku. Višja vrednost pomeni večjo parozapornost materiala (Preglednica 1) [15].

Da dobimo S_d vrednost, moramo pomnožiti koeficient paroprepustnosti in debelino materiala v metrih. Ta vrednost je bila uvedena za izredno tanke in nehomogene gradbene materiale, ki nimajo konstantnih debelin in so reliefne strukture. Manjšo vrednost imajo paroprepustni materiali. Ometi morajo imeti dve nasprotujoči si lastnosti, in sicer, da so dobro paroprepustni in hkrati visoko vodoodbojni [15].

Preglednica 1: Paroprepustnost malt [15].

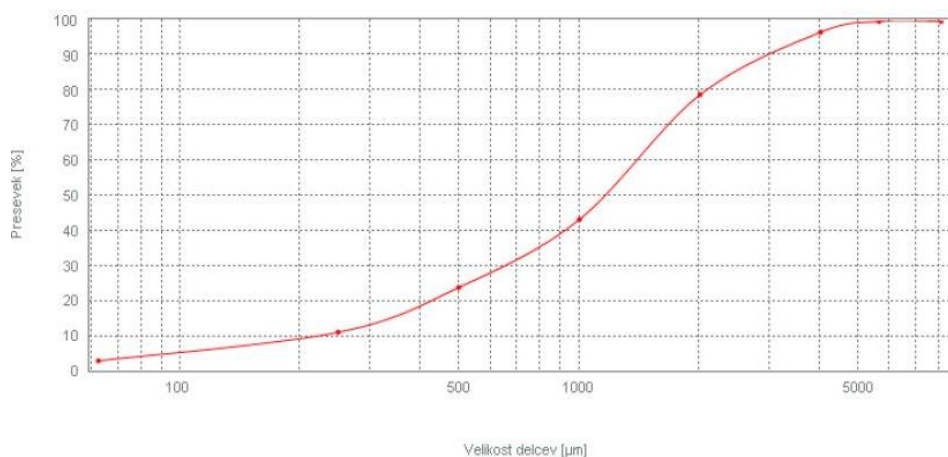
Material	Koeficient paroprepustnosti » μ «	S_d vrednost $S_d = \mu \cdot d$
Enota	[-]	[m]
Apnena malta	10	/
Apneno-cementna podaljšana malta	15–25	/
Cementna malta	30–40	/

3 UPORABLJENI MATERIALI ZA IZDELAVO MALTE

3.1 Agregat

Pri raziskavah, ki smo jih izvedli v laboratoriju, smo imeli na voljo drobljeni agregat iz kamnoloma Stahovica, ki je v okolici Kamnika. V kamnolomu Stahovica pridobivajo apnec in mineral kalcit zgornje triasne starosti.

Uporabili smo certificirani agregat nazivne frakcije 0/4 mm. Graf presevek – velikost delcev, ki je del specifikacije uporabljenega agregata – je podan na Sliki 3. Fizikalno-kemijske lastnosti agregata pa so podane v Preglednici 2.



Slika 3: Graf presevek – velikost delcev.

Preglednica 2: Fizikalno-kemijske lastnosti agregata (apnenca).

Bistvene značilnosti	Lastnost	
Oblika zrn, velikost in prostorninska masa	Velikost agregata	0/4 mm
	Zrnavost	G_{F85} , f_{10}
	Oblika grobega agregata	/
	Prostorninska masa zrn	2,71
Čistost	Vsebnost školjk v grobem agregatu	/
	Fini delci	SE=85 % MB _F =1,7 g/kg
Delež drobljenih zrn	Delež drobljenih ali lomljenih ali popolnoma zaobljenih zrn v grobih agregatih	/
Odpornost proti drobljenju	Odpornost grobega agregata proti drobljenju	/
Odpornost proti zaglajevanju/obrusu/obrabi	Odpornost grobega agregata proti obrabi	/
	Odpornost proti zaglajevanju	/
	Odpornost proti obrabi površine	/
	Odpornost proti obrabi zaradi ježevk	/
Sestava/vsebnost	Kloridi	0,000
	Sulfati, topni kristali	0,00
	Celokupno žveplo	0,0
	Sestavine, ki spremenijo dinamiko vezanja in strjevanja betona	/
	Vsebnost karbonatov v drobnem agregatu za površinske sloje betonskih oblog	99 %
Prostorninska stabilnosti	Prostorninska stabilnost krčenja zaradi sušenja	/
	Sestavine, ki vplivajo na prostorninsko stabilnost zračno hlajene plavžne žindre	/
Vpijanje vode	Vpijanje vode	WA ₂₄ =1,2 %

Nevarne snovi: Radioaktivno sevanje (pri agregatih iz radioaktivnih izvorov, predvidenih za uporabo v betonskih stavbah) Sproščanje težkih kovin Sproščanje poliaromatičnih ogljikov Sproščanje drugih nevarnih snovi	Poznavanje surovine Vodenje proizvodnje	APNENEC
Odpornost proti zmrzovanju/tajanju	Odpornost grobega agregata proti zmrzovanju/tajanju	/
Odpornost proti alkalijsko silikatni reaktivnosti	Alkalijsko-silikatna reaktivnost	NPD

3.2 Vezivo

3.2.1 Cement

Kot vezivo smo za izdelavo mešanic uporabili dve vrsti cementa.

Prvo uporabljeno vezivo pri pripravi mešanic je bilo CEM II/B-M (L-P) 42,5 N – osnovni. Po specifikaciji, ki smo jo dobili s strani proizvajalca, je to portlandski mešani cement trdnostnega razreda 42,5 z običajno zgodnjo trdnostjo (N) ter z dvema mineralnima dodatoma (M). Namenjen je za široko uporabo v gradbeništvu.

Sestavljen je iz 65–79 % portlandskega klinkerja, in 21–35 % mešanega mineralnega dodatka (apnenec (L) in naravni pucolan (P)). Vsebuje do 5 % dodatkov (polnil) in sadro kot regulator vezanja. Vrednosti so podane s strani proizvajalca na podlagi rezultatov notranje kontrole v tovarni. Po specifikaciji, ki smo jo dobili s strani proizvajalca, so karakteristike cementa navedene v Preglednici 3.

Preglednica 3: Karakteristike CEM II/B-M (L-P) 42,5 N – osnovni.

	Dosežene vrednosti	Zahteve standarda
Kemijska sestava		
Vsebnosti sulfata SO ₃	2,4 %	≤ 3,5 %

Vsebnosti klorida, Cl	0,05 %	≤ 0,1 %
Fizikalne lastnosti		
Ostanek na 90µm	0,5 %	-
Specifična masa	2,97 g/cm ³	-
Specifična površina	4700 cm ² /g	-
Standardna konsistenca	29,5 %	-
Pričetek vezanja	190 min	≥ 60 min
Konec vezanja	225 min	-
Prostorninska obstojnost Le Chatelier	0,3 mm	≤ 10 mm
Mehanske lastnosti		
Tlačna trdnost (MPa)		
2dni	23 MPa	≥ 10 MPa
28dni	48 MPa	≥ 42,5-62,5 MPa

Kot drugi cement smo uporabili beli Portland cement CEM I 52,5 R. To je portlandski cementni klinker brez mineralnih dodatkov, trdnostnega razreda 52,5, z visoko hitrostjo vezanja (R) [17], katerega bistvene značilnosti so predstavljene v Preglednici 4.

Sestavljen je iz 95–100 % klinkerja in 0–5 % sadre kot regulatorja vezanja [17]. Primeren je za široko uporabo od restavratorskih del do zahtevnih gradenj, kjer se zahtevajo visoke začetne in končne trdnosti [18].

Preglednica 4: Karakteristike CEM I 52,5 R [18].

Bistvene značilnosti	Lastnost
Tlačna trdnost po 2 dneh	≥ 30 N/mm ²
Tlačna trdnost po 28 dneh	≥ 52,5 N/mm ²
Čas vezanja	≥ 45 min
Volumska obstojnost -Le Chatelier -Vsebnost SO ₃	≤ 10 mm ≤ 4%
Vsebnost klorida	≤ 0,1%

3.2.2 Apno

Pri izdelavi mešanic v laboratoriju smo uporabili hidratizirano kalcitno apno v praškasti obliki. Uporablja se kot vezivo za pripravo malt za zidanje in ometavanje ter za proizvodnjo drugih gradbenih proizvodov. V Preglednici 5 so navedene karakteristike proizvoda iz specifikacije.

Preglednica 5: Po specifikaciji dobljene karakteristike hidratiziranega kalcitnega apna.

Karakteristike proizvoda po SIST EN 459-1:2010		Vsebnost
CaO+MgO		≥ 90 %
MgO		≤ 5 %
CO ₂		≤ 4 %
SO ₃		≤ 2 %
Aktivno apno		≥ 80 %
Prosta voda		≤ 2 %
Prostorninska obstojnost		obstojno
Velikost delcev – ostanek na situ	0,2 mm	≤ 2 %
	0,09 mm	≤ 7 %
Vsebnost zračnih por		≤ 12 %
Ugrez		>10 mm in <50 mm
Trajnost		NPD (ni podatka)

3.3 Dodatki

Uporabili smo dva različna kemijska dodatka, in sicer superplastifikator (v nadaljevanju SP) na osnovi polikarboksilatov in aerant.

Pri izdelavi mešanic sem uporabila SP nove generacije, torej na bazi polikarboksilatnih polimerov (PCE), ki imajo veliko močnejši učinek kot običajni SP. Običajni SP so na osnovi sulfoniranih naftalenformaldehidnih kondenzatov ali na osnovi sulfoniranih melamin-formaldehidnih kondenzatov [19].

Običajni SP zmanjšajo potrebo po vodi za 5–25 %, medtem ko SP nove generacije zmanjšajo količino vode za 25–40 %. SP se razlikujejo med sabo v kemijski sestavi. SP nove generacije je sestavljen iz dolgih stranskih verig iz polietilen oksidov in samo ene glavne polimerne verige ter iz krajših stranskih verig z negativnimi karboksilatnimi skupinami [20].

Po specifikaciji, ki smo jo dobili z dobavljenim materialom, so lastnosti superplastifikatorja podane v Preglednici 6.

Preglednica 6: Karakteristike superplastifikatorja na osnovi polikarboksilata.

Bistvene značilnosti	Lastnosti
Oblika	tekoča
Homogenost	Homogen
Barva	Rahlo rumena
Vsebnost suhe snovi	10,0 ± 1,0m.- %
Gostota	1,02 ± 0,02 g/cm ³
Zmrziščna točka	ca. 0°C
Ph vrednost	3,8 ± 1
Priporočeni odmerek	0,20-2,00m.-% veziva

Kot drugi kemijski dodatek smo uporabili aerant, za katerega smo lastnosti in uporabo, opisano v nadaljevanju, pridobili iz specifikacije, ki jo je pripravil proizvajalec. Aerant je tekoči dodatek za pripravo sušilnih (sanacijskih) ometov in malt za restavriranje. Zmanjšuje nastanek plesni, kondenza in cvetenja soli.

Uporablja se za pripravo visoko paroprepustnih ometov in malt za razvlaževanje sten, ki so vlažne zaradi dvigovanja kapilarne vlage. Primeren je za uporabo s katero koli vrsto malte. Z dodatkom aeranta dosežemo, da ima omet makro-porozno strukturo s sposobnostjo povečanega izhlapevanja vlage zaradi neoviranega prehoda zraka. Koeficient difuzije μ takega ometa je približno 10,5, medtem ko je koeficient toplotne prevodnosti λ približno 0,41 W/m°C.

3.4 Voda

Za izdelavo mešanic smo uporabili pitno vodo iz ljubljanskega vodovodnega omrežja, ki je povsem ustrezna za pripravo mešanic.

4 EKSPERIMENTALNI DEL

Eksperimentalni del naloge smo izvedli v Konstrukcijsko – prometnem laboratoriju UL FGG (KPL). V eksperimentalnem delu diplomskega dela smo se ukvarjali s preizkušanjem vpliva dodatkov in vrste veziva na malte za sanacijske omete. Najprej smo izvedli poskuse na svežih mešanicah. Potem smo malte vgradili v kalupe ter v nadaljevanju naredili poskuse na strjenih maltah.

4.1 Potek dela na sveži malti

V prostorih Konstrukcijsko – prometnega laboratorija na FGG smo izvedli vse potrebne preizkuse in pripravili 9 različnih svežih maltnih mešanic.

Najprej smo izdelali osnovne mešanice, nato mešanice s SP in na koncu še mešanice s SP in aerantom.

Za izdelavo mešanic smo na začetku izbrali masna razmerja med sestavinami:

1. APNENA MALTA: pesek:apno = 3 : 1,
2. PODALJŠANA CEMENTNA MALTA: pesek:apno:cement = 6 : 1 : 1,
3. CEMENTNA MALTA: pesek:cement = 3 : 1.

Na svežih maltnih mešanicah smo preverjali:

- razlez,
- prostorninsko maso,
- vsebnost zraka v sveži malti.

4.2 Recepture mešanic

Pri mešanicah je bilo treba določiti količino vode, ki smo jo dodali k ostalim sestavinam. Ustreznost dodane količine vode smo preverjali z metodo razleza po SIST EN 1015-3 [21]. Izbrani razlez malte je bil med 130–140 mm. S tem smo kontrolirali, ali je konsistenca malte ustrezna.

V Preglednicah 7, 8 in 9 so podane končne recepture naših mešanic, ki smo jih dobili z več poskusi, ki so navedeni in opisani v poglavju 4.2.3 (Preglednica 11, 12 in 13).

Poleg osnovnih sestavin, tj. pesek, cement, apno in voda, smo uporabili še superplastifikator in aerant. Delež superplastifikatorja in aeranta, ki smo ju dodali, je izražen glede na maso veziva. Dodana količina SP je 0,5 %, količina aeranta pa je 2 % glede na maso veziva.

Preglednica 7: Recepture – osnovna mešanica.

OSNOVNA MEŠANICA (A)					
MEŠANICA 1		MEŠANICA 2		MEŠANICA 3	
SESTAVINA	ETALON	SESTAVINA	ETALON	SESTAVINA	ETALON
Agregat 0/4	1590 g	Agregat 0/4	1590 g	Agregat 0/4	1590 g
Apno	530 g	Apno	265 g	CEM II	530 g
Voda	500 ml	CEM I	265 g	Voda	270 ml
		Voda	450 ml		

Preglednica 8: Recepture – osnovna mešanica + superplastifikator.

OSNOVNA MEŠANICA + SUPERPLASTIFIKATOR (B)					
MEŠANICA 1		MEŠANICA 2		MEŠANICA 3	
SESTAVINA	ETALON	SESTAVINA	ETALON	SESTAVINA	ETALON
Agregat 0/4	1590 g	Agregat 0/4	1590 g	Agregat 0/4	1590 g
Apno	530 g	Apno	265 g	CEM II	530 g
Superplastifikator	2,65 g	CEM I	265 g	Superplastifikator	2,65 g
Voda	450 ml	Superplastifikator	2,65 g	Voda	250 ml
		Voda	380 ml		

Preglednica 9: Recepture – osnovna mešanica + superplastifikator + aerant.

OSNOVNA MEŠANICA + SUPERPLASTIFIKATOR + AERANT (C)					
MEŠANICA 1		MEŠANICA 2		MEŠANICA 3	
SESTAVINA	ETALON	SESTAVINA	ETALON	SESTAVINA	ETALON
Agregat 0/4	1590 g	Agregat 0/4	1590 g	Agregat 0/4	1590 g
Apno	530 g	Apno	265 g	CEM II	530 g
Superplastifikator	2,65 g	CEM I	265 g	Superplastifikator	2,65 g
Aerant	10,6 g	Superplastifikator	2,65 g	Aerant	10,6 g

Voda	450 ml	Aerant	10,6 g	Voda	250 ml
		Voda	380 ml		

4.2.1 Konsistenca sveže malte

Kvaliteto sveže malte lahko določimo že na podlagi opazovanja lastnosti, kot so poroznost, konsistenca, prostorninska masa, sposobnost zadrževanja vode, sprijemnost malte s svežo opeko in krčenje.

Konsistenca pomeni stopnjo povezanosti med posameznimi komponentami malte. Močno vpliva na obdelovalnost sveže malte in na notranje trenje v sveži mešanici. Dobra obdelovalnost nam omogoča, da malto razporedimo po podlagi v tankem homogenem sloju.

Parametri ki vplivajo na konsistenco so:

- količina vode,
- vsebnost dodatkov,
- količina in vrsta veziva,
- količina, vrsta in zrnastostna sestava agregata [22].

4.2.2 Postopek priprave

Vsa orodja, ki smo jih uporabili pri mešanju in preiskavah, je bilo potrebno predhodno navlažiti in jih po vsaki uporabi tudi temeljito očistiti.

Mešalec

Za izdelavo mešanic smo uporabili specialni mešalec RILEM-CEN (Slika 4), ki se obrača okoli svoje vzdolžne osi in se istočasno planetarno obrača okoli pogonske osi. Na voljo smo imeli dve hitrosti mešanja mešalca, ki sta navedeni v Preglednici 10 [23].

Preglednica 10: Hitrost in število obratov mešalca RILEM-CEN [23].

Hitrost mešanja	Število obratov okoli lastne osi (v minuti)	Število obratov okoli pogonske osi (v minuti)
I	140 ± 5	62 ± 5
II	285 ± 10	125 ± 10

Postopek mešanja

Najprej smo stehali vse sestavine, katerih količine smo imeli natančno podane (agregat, vezivo, superplastifikator in aerant). Nato smo izbrali poljubno količino vode, ki smo jo dodali mešanici in jo glede na rezultate razleza nato tudi korigirali. Količina dodane vode se je za vsako mešanico razlikovala.

V posodo smo naprej dali vodo in nato še vezivo (cement in/ali apno) ter mešali s prvo hitrostjo 30 sekund. Naslednjih 30 sekund smo dodajali pesek in mešali še vedno v prvi hitrosti. Nato smo mešalec preklpili na drugo hitrost in mešali še 30 sekund [23].

Potem smo naredili premor dolg 90 sekund in v tem času odstranili malto, ki se je prilepila na stene posode in na lopatico. V tej fazi smo določenim mešanici dodali še dodatek (SP in/ali aerant), ki je bil pomešan z majhno količino vode. Za konec smo nadaljevali z mešanjem pri drugi hitrosti še naslednjih 60 sekund [23].

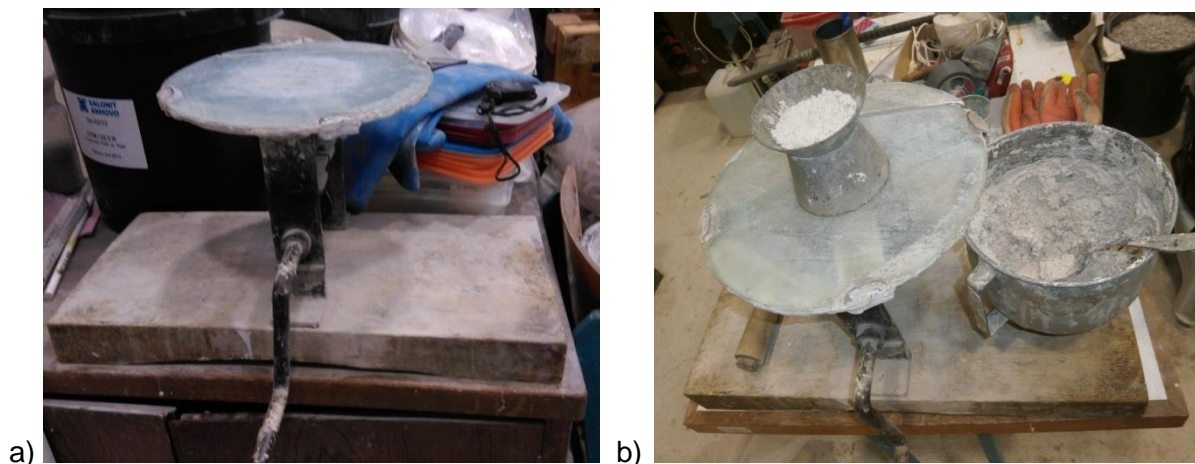


Slika 4: Mešalec RILEM-CEN v Konstrukcijsko - prometnem laboratoriju na FGG.

Določanje razleza

V okviru preiskave smo za določanje konsistence uporabili metodo razleza na stresalni mizici (Slika 5a), pri kateri se je konsistenca vzorca sveže malte določala s pomočjo konusnega kalupa z nastavkom za polnjenje, ki se ju je namestilo na stresalno mizico. Najprej smo

navlažili ploščo stresalne mizice, notranjo stran konusnega kalupa in nastavek za polnjenje ter ju postavili na sredino plošče. Malto smo vgradili v dveh plasteh in vsako plast posebej zgostili z lesenim nabijačem z 20 udarci, kot je razvidno s Slike 5b. Nastavek za polnjenje smo odstranili in z zidarsko žlico odrezali presežek malte. Nato smo konusni kalup pazljivo dvignili in ročaj stresalne mizice vrteli z enim padcem na sekundo. Po 15 padcih smo izmerili razlez v dveh med seboj pravokotnih smereh (Slika 6) in kot rezultat upoštevali povprečje obeh razlezov [23].



Slika 5: a) Stresalna mizica, b) vgrajena malta v konusnem kalupu.



Slika 6: Merjenje razleza sveže malte.

Prostorninska masa

Pri določitvi prostorninske mase sveže malte smo delali po navodilu standarda SIST EN 1015-6:1999 [24]. Uporabili smo kovinsko cilindrično posodo z volumnom enega litra in z notranjim premerom $d=125$ mm [22]. Posodo smo napolnili do vrha v plasteh, višek odstranili

z lopatico, stehali maso sveže malte (Slika 7) in nato iz enačbe (Enačba 1) izračunali prostorninsko maso:

$$\rho = m/V$$

Enačba 1: Izračun prostorninske mase [24].

Kjer je:

- ρ – prostorninska masa sveže mešanice (g/l),
- m – masa sveže mešanice brez posode (g),
- V – prostornina posode (l).



Slika 7: Tehtanje sveže malte v laboratoriju.

Določanje vsebnosti zraka v sveži malti

Vsebnost zraka v sveži malti smo določali s porozimetrom (Slika 8). Pri preskusu smo uporabili posodo s prostornino enega litra s svežo malto, ki smo jo že predhodno rabili za določanje prostorninske mase. Nato smo pazljivo očistili nalegajoče površine pokrova in posode. Na osnovno posodo smo pritrdili pokrov in skozi odprtini z ventilom vtili vodo, s katero se je zapolnil prostor med pokrovom in osnovno posodo. Ko so prenehali izhajati zračni mehurčki, smo ventila zaprli. Nato smo z ročno črpalko polnili predkomoro s stisnjenim zrakom toliko časa, da se je kazalec na manometru pomaknil v skrajno lego. Z gumbom za sproščanje zračnega pritiska smo zrak spustili v posodo z mešanico in odčitali vsebnost zraka na manometru [23].



Slika 8: Porozimeter.

Porozimeter, ki smo ga uporabili pri izdelavi mešanic, ni pokazal ustreznih rezultatov meritev, saj smo dobili prevelike razlike med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi vsebnosti por v sveži malti. Naknadno se je pokazalo, da je treba porozimeter kalibrirati. Po dogovoru z mentorico smo zato za vseh 9 mešanic izračunali tudi poroznost, zato da smo videli, kakšna je razlika med izračunanimi in izmerjenimi vrednostmi.

4.2.3 Dodane količine vode z razlezi

Preglednica 11: Osnovna mešanica – količina vode in razlez.

OSNOVNA MEŠANICA (A)	MEŠANICA 1		MEŠANICA 2		MEŠANICA 3				
	VODA	RAZLEZ [cm]		VODA	RAZLEZ [cm]		VODA	RAZLEZ [cm]	
		d ₁	d ₂		d ₁	d ₂		d ₁	d ₂
POSKUS 1	611 ml	14,8	15,0	500 ml	14,7	14,6	300 ml	17,4	17,7
POSKUS 2	500 ml	13,8	13,6	400 ml	11,1	11,2	270 ml	13,2	13,3
POSKUS 3	/	/	/	450 ml	13,1	13,4	/	/	/

Pri izdelavi mešanic A nismo imeli večjih težav, saj smo dodano količino vode pri vseh treh mešanicah dokaj hitro določili.

Opazimo lahko, da je bila pri mešanici 1 (apnena malta), potrebna največja količina vode. Pri mešanici 3 (cementna malta) pa skoraj polovična količina v primerjavi z apneno malto, kar je najbolj odvisno od vrste uporabljenega veziva.

Preglednica 12: Osnovna mešanica + superplastifikator – količina vode in razlez.

OSNOVNA MEŠANICA + SP (B)	MEŠANICA 1		MEŠANICA 2		MEŠANICA 3				
	VODA	RAZLEZ [cm]		VODA	RAZLEZ [cm]		VODA	RAZLEZ [cm]	
		d ₁	d ₂		d ₁	d ₂		d ₁	d ₂
POSKUS 1	450 ml	12,4	12,6	400 ml	14,8	14,6	230 ml	10,7	10,8
POSKUS 2	450 ml	13,3	13,6	380 ml	13,8	13,5	260 ml	16,7	16,8
POSKUS 3	/	/	/	/	/	/	240 ml	12,1	12,2
POSKUS 4	/	/	/	/	/	/	250 ml	13,1	13,5

Superplastifikator ima velik vpliv na razlez, saj znižuje viskoznost malte in s tem veča njeno sposobnost tečenja. Pri mešanicah B smo zmanjšali količino vode, zato je bilo treba ugotoviti ustrezno količino vode, ki ni bila enaka kot pri osnovnih mešanicah. Z dodajanjem superplastifikatorja se je zmanjšala potreba po vodi, medtem ko je razlez moral ostati med 130–140 mm.

Pri mešanici 1 smo takoj ugotovili ustrezno količino vode, vendar smo prehitro dodali superplastifikator, zato se masa ni primerno zmešala in ostale so grudice. V drugem poskusu smo SP dodali, ko je bila mešanica že dovolj dobro zmešana (lepa, homogena masa), zato je SP deloval bolje in pravilno na celotno maso.

Pri mešanici številka 3 pa je bilo vprašanje, ali je bil kemijski dodatek kompatibilen s cementom. Največja razlika je bila med poskusom 2 in poskusom 4, in sicer glede na dodano količino vode in pripadajočim razlezom.

Če primerjamo osnovno mešanico (A) in osnovno mešanico s SP (B), opazimo, da se je količina vode pri mešanici 1 zmanjšala za 50 ml, pri mešanici 2 za 70 ml in pri mešanici 3 za 20 ml.

Preglednica 13: Osnovna mešanica + superplastifikator + aerant – količina vode in razlez.

OSNOVNA MEŠANICA + SP + AERANT (C)	MEŠANICA 1		MEŠANICA 2			MEŠANICA 3			
	VODA	RAZLEZ [cm]		VODA	RAZLEZ [cm]		VODA	RAZLEZ [cm]	
		d ₁	d ₂		d ₁	d ₂		d ₁	d ₂
POSKUS 1	450 ml	14,1	14,3	380 ml	13,9	13,8	250 ml	14,6	15,2

Pri mešanicah z dvema dodatkom, in sicer superplastifikatorjem in aerantom (C), smo uporabili enako količino vode kot v mešanicah B, kjer je bil dodan samo SP.

Za razliko od predhodnih mešanic je bil v te dodan še aerant, zaradi katerega so bile vse tri mešanice malo bolj tekoče oziroma so imele večji razlez. Če primerjamo s Preglednico 12, je bil razlez pri mešanici 1 in 3 nekoliko večji, pri mešanici 2 pa skoraj enak.

Mešanica 2 je glede razleza ostala v okvirju določenega razleza, navedenega v poglavju 4.2. Če primerjamo med sabo vse tri mešanice, je bila mešanica 3 zelo redka v primerjavi z ostalima dvema, zato bi bilo treba še zmanjšati količino vode, da bi dobili razlez med 130 in 140 mm.

4.3 Preiskave na strjenih vzorcih maltnih mešanic

4.3.1 Vgradnja mešanic v kalupe in priprava vzorcev

Za preiskave strjenih maltnih mešanic je bilo treba najprej pripraviti kalupe, v katere smo vgradili malto. Recepture mešanic so take, kot je navedeno v poglavju 4.2.

Odločili smo se, da bomo na strjeni malti preverili tlačno trdnost in paroprepustnost maltnih mešanic.

Izdelava kalupov – tlačna trdnost

Odločili smo se, da bomo tlačno trdnost malt določali na valjastih preizkušancih. Zato smo za njihovo izdelavo uporabili kalupe v obliki valjev – narezane plastične cevi z višino 5 cm in premerom $\Phi 50$ mm (Slika 9). Najprej je bilo treba narezati valje na izbrano dimenzijo ter jih s silikonom pritrditi na leseno podlago, da se med vgradnjo malte kalup ne bi premaknili. Malto smo v kalupe vgradili naslednji dan, ko se je silikon strdil. Predhodno smo na podlago napisali oznake vrst mešanic, ki smo jih potem vgradili v kalup, da ne bi prišlo kasneje do napak.



Slika 9: Priprava kalupov za tlačno trdnost.

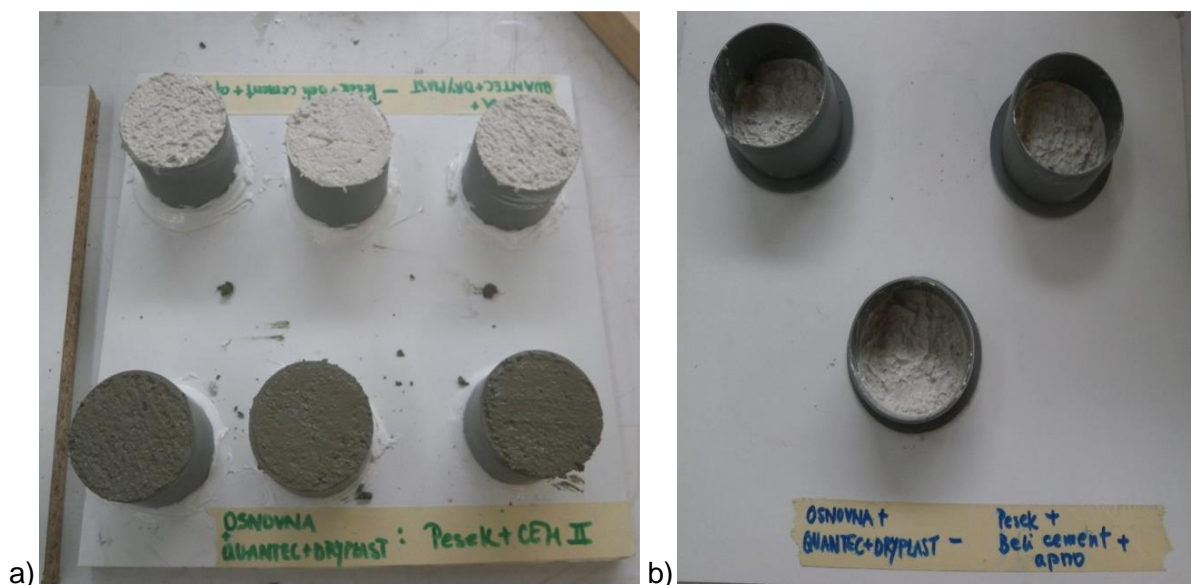
Za preskušanje paroprepustnosti smo tudi uporabili valjaste kalupe – pokrove za plastične vodovodne cevi ustreznega premera. Te kalupe smo prav tako dali na leseno podlago, vendar jih nismo pritrdili s silikonom. Na vsakem kalupu smo začrtali višino 1 cm od spodnjega roba. Do te višine smo vgradili malto. Tako smo dobili disk premera 50 mm in višine 10 mm.

Vgradnja malte v kalupe za preskus tlačne trdnosti in paroprepustnosti

V laboratoriju smo naslednji dan izdelali sveže mešanice in jih vgradili. Najprej smo vse valje in cilindrične kalupe z notranje strani premazali z mineralnim oljem, zato da smo vzorčke lažje dobili iz kalupa po koncu sušenja in/ali vezanja/strjevanja, da nam niso razpadali. V valjaste kalupe smo vgradili malto za določitev tlačne trdnosti po plasteh do vrha roba valja in površino zagladili z zidarsko žlico (Slika 10 a). Istočasno smo vgradili malto v valjaste pokrove do višine 1 cm (Slika 10 b).

Za tlačno trdnost smo izdelali 27 vzorcev, torej za vseh 9 mešanic po 3 vzorčke. Pri paroprepustnosti pa smo testirali osnovne mešanice (A) in osnovne mešanice + SP + aerant (C), to je za 6 mešanic po 3 vzorce.

Po končani vgradnji smo preizkušance pokrili s folijo in jih pustili 28 dni v laboratorijskih pogojih (laboratorij KPL).



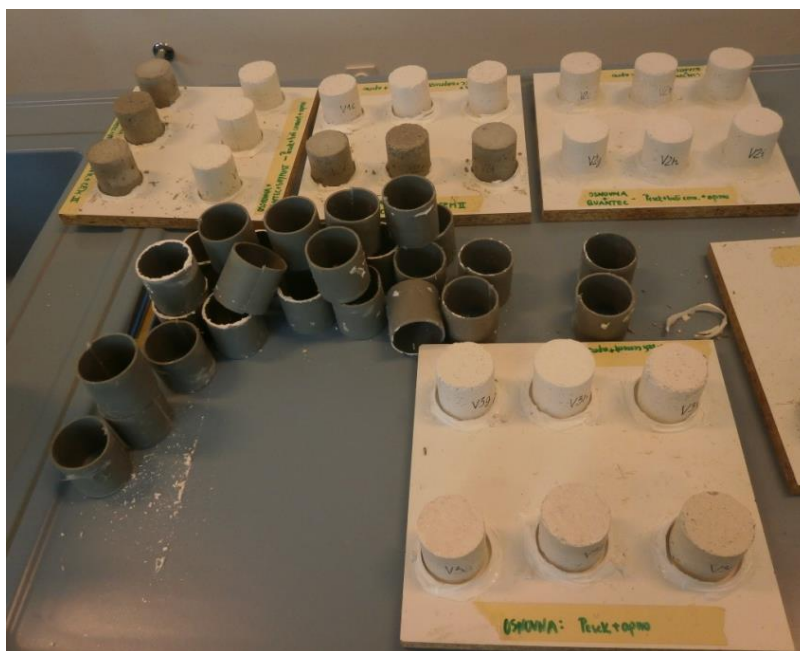
Slika 10: a) Vgrajena malta v valjih, b) Vgrajena malta v valjastih pokrovi.

Razkalupljanje vzorcev

Po preteku 28 dni smo preizkušance iz plastičnih cevi razkalupili. Pri odstranitvi kalupa (Slika 11) se nam ni poškodoval noben preizkušanec, zato so bili vsi primerni za nadaljnji preizkus tlačne trdnosti. Nato smo na vsak vzoreček napisali oznako za nadaljnjo evidenco rezultatov, kot je razvidno v Preglednici 14.

Preglednica 14: Pregled oznak za strjene vzorce.

OZNAKE VZORČKOV	OSNOVNA MEŠANICA (A)	OSNOVNA MEŠANICA + SP (B)	OSNOVNA MEŠANICA + SP + AERANT (C)
MEŠANICA 1 Apnena malta	A1a, A1b, A1c	B1a, B1b, B1c	C1a, C1b, C1c
MEŠANICA 2 Podaljšana cementna malta	A2d, A2e, A2f	B2d, B2e, B2f	C2d, C2e, C2f
MEŠANICA 3 Cementna malta	A3g, A3h, A3i	B3g, B3h, B3i	C3g, C3h, C3i



Slika 11: Razkalupljeni vzorci valjev.

V naslednjem koraku smo vse preizkušance:

- stehali (Slika 12 a),
- izmerili premer,
- izmerili višino (Slika 12 b).



Slika 12: a) Tehtanje preizkušanca, b) Merjenje višine preizkušanca.

4.4 Tlačna trdnost

Ko govorimo o trdnosti malt/ometov, imamo največkrat v mislih tlačno trdnost (f_c). Je ena pomembnejših lastnosti strjenih malt, saj v svoji vlogi pogosto prevzema visoke tlačne napetosti. Istočasno pa so tudi druge trdnosti, upogibna in natezna, korelirane s tlačno trdnostjo. Tlačna trdnost je definirana kot maksimalna izmerjena odpornost malte na osno tlačno obremenitev pri starosti 28 dni. Določamo jo na standardiziranih preizkušancih, ki so oblikovani kot valji ali kocke. Na trdnost malt ima velik vpliv tudi vodocementno razmerje (V/C); večje kot je razmerje, manjša je trdnost [5, 23].

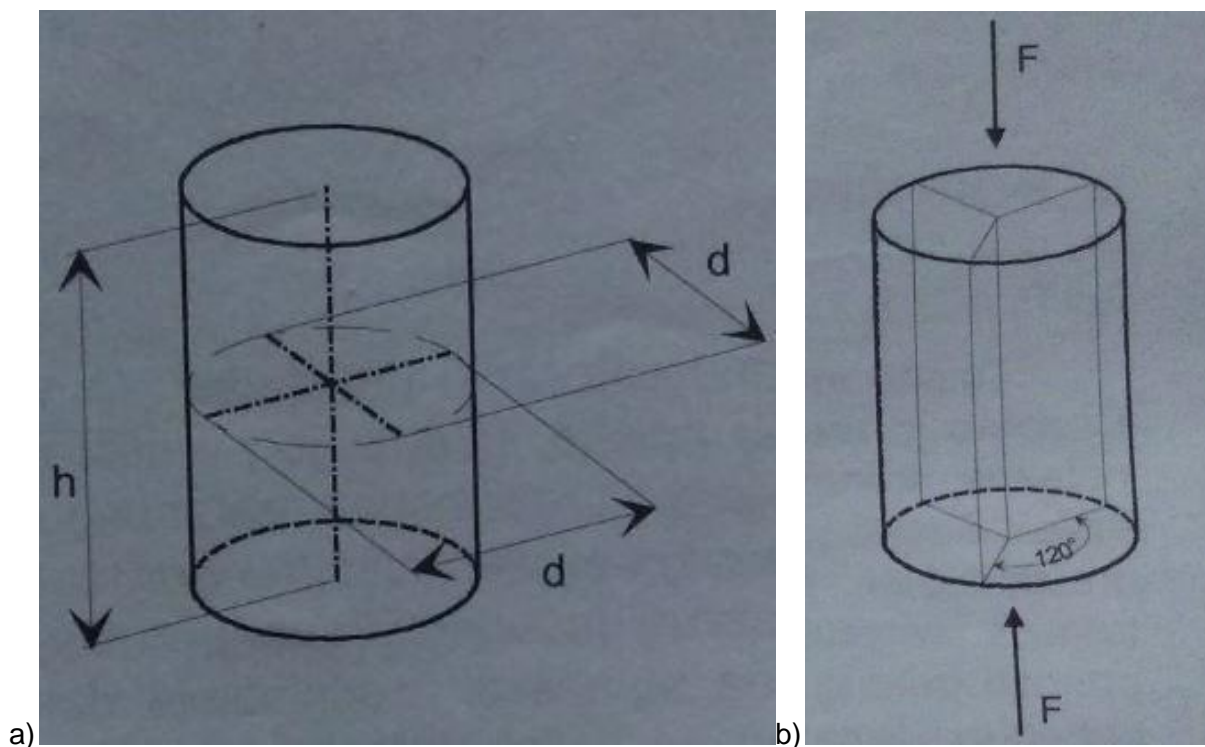
Pred pričetkom preizkusa natančno določimo maso in dimenzije preizkušanca (Slika 13 a in Slika 13 b). V laboratoriju smo s pomočjo preše, s katero smo strli preizkušane (Slika 14), določili porušno silo, ki je potrebna za porušitev valja. Glede na znane dimenzije in izmerjeno porušno silo smo določili tlačno trdnost preizkušanca (Enačba 2):

$$f_c = F/A_c$$

Enačba 2: Izračun tlačne trdnosti [23].

Kjer je:

- f_c – tlačna trdnost ($N/mm^2 = MPa$),
- F – tlačna sila (N),
- A_c – površina vodoravnega prereza preizkušanca (mm^2).



Slika 13: a) Dimenzije tlačnih preizkušancev, b) Tlačna sila na preizkušane [23].

Pri samem preizkusu smo morali paziti, da smo valj v prešo vstavili tako, da je površina lepo nalegala na eno od jeklenih plošč naprave. Nato se je preko računalnika sprožila naprava za stiskanje vzorca, ki je beležila vrednosti sile stiskanja in pomikov ploščice, dokler se vzorec ni porušil.



Slika 14: Tlačna porušitev valja v preši.

Napetosti so se pri običajnem tlačnem preizkusu porazdelile v prečni smeri in v smeri osi preizkušanca, ker je na stiku med stiskalnico in preizkušancem delovalo trenje.

Pri izvedbi tlačnega preizkusa sta morali biti obe horizontalni ploskvi valja vzporedni in obremenjeni v pravokotni smeri. Členek, ki je v glavi stiskalnice, je omogočal plošči stiskalnice, da se je ta prilagodil minimalnemu odstopanju od paralelnosti površin vzorcev. Od načina preizkušanja je bil lahko odvisen tudi raztros rezultatov [5].

4.5 Paroprepustnost

Ena izmed glavnih zahtev za sanacijske omete je, da so visoko paroprepustni oziroma, da je prehod vodne pare skozi omet čim večji.

V cilindričnih kalupih smo na strjenih maltnih mešanica z oznakami A1a-c, A2d-f, A3g-i in C1a-c, C2d-f, C3g-i merili, kolikšen je prehod vodne pare skozi preizkušanece (Slika 15).

Meritve prehoda vodne pare so se izvedle po standardu ISO 12572:2001 [25] z metodo čaš in kalcijevim kloridom (CaCl_2).

Najprej smo v čašo (plastični pokrov) dali cca. 15 g kalcijevega klorida (CaCl_2), tako da je bilo med površino kalcijevega klorida in spodnjo površino vzorčka približno od 1,5 do 2 cm praznega prostora. Lastnost CaCl_2 je, da nase veže vlago, ki pride skozi vzorec.

Nato se je čašo s soljo in čašo z malto skupaj prilepilo s silikonom in vstavilo v komoro. Po notranjih robovih vzorčkov smo nanесли silikon, kot je razvidno na Sliki 16. Z nanosom silikona smo preprečili prehajanje vodne pare skozi razpoke, ki so se pojavile na stiku s čašo med sušenjem vzorcev.



Slika 15: Vzorcev vstavljeni v komoro.



Slika 16: Celoten vzorec s silikonom ob robu.

Analize so se izvajale v klimatiziranem prostoru (komori) s konstantno relativno vlago 60 ± 5 % in temperaturo 20 ± 1 °C. Zaradi razlike parnih tlakov (986 Pa) se je pričela difuzija vodne pare skozi omete. Vodna para je difundirala iz komore, kjer je bila višja relativna zračna vlažnost, v čašo z nižjo vlažnostjo zraka [25].

Preiskava je za vzorce iz apnene malte (A1a-c, C1a-c) in za vzorce iz podaljšane cementne malte (A2d-f, C2d-f) trajala 21 dni, za vzorce iz cementne malte (A3g-i, C3g-i) pa 28 dni oziroma toliko časa, da se je vzpostavil stalen difuzijski tok vodne pare.

Masa celotnega vzorca je predstavljala: maso soli, 2 čaši in maso malte. Tehtanje celotnega vzorca je potekalo vsakih 24 ur. Beležili smo, za koliko se je masa vsak dan povečala. Za končni izračun rezultatov se je uporabilo samo zadnjih 5 dobljenih vrednosti. Izmeriti je bilo treba celotni in efektivni premer vzorčka malte, pri čemer je efektivni premer predstavljal površino oziroma premer med robovi silikona. To je bila površina, skozi katero je prehajala vodna para.

Po končanem tehtanju smo vzorček razkalupili in izmerili njegovo debelino. Debelina vzorca je pomembna lastnost, saj debelejša plast lahko vpliva na poslabšanje prehoda vodne pare ali obratno – tanjša kot je plast, boljši je prehod vodne pare.

Difuzijska upornost prehoda vodne pare μ je določena z enačbo (Enačba 3):

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta}$$

Enačba 3: Difuzijska upornost prehoda vodne pare [25].

Kjer je:

- μ – difuzijska upornost prehoda vodne pare z enoto 1,
- δ_a – difuzijski koeficient vodne pare v zraku ($\text{kg/m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa}$),
- δ – difuzijska prepustnost materiala za vodno paro ($\text{kg/m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{Pa}$) [25].

Difuzijska upornost prehoda vodne pare μ se uporablja za merjenje prepustnosti gradbenih materialov na difuzijski tok molekul vodne pare in je brezdimenzijsko število. Je snovna lastnost materiala, ki pove, kolikokrat je difuzijski upor v ometu večji, kot je ta upor v zračni plasti enake debeline (difuzijski upor zraka je 1).

Vrednost S_d pomeni glede na prepustnost vodne pare enakovredno debelino zračnega sloja.

Izračunamo jo na naslednji način (Enačba 4):

$$S_d = \mu * d$$

Enačba 4: Vrednost S_d [25].

Kjer je:

- S_d – difuzija vodne pare (m),
- μ – difuzijska upornost prehoda vodne pare z enoto 1, (/)
- d – debelina vzorca (m).

Manjša kot je vrednost S_d , bolj je material paroprepusten. Debelina vzorca vpliva na vrednost, saj je preko tanjše plasti boljši pretok vodne pare [25].

5 REZULTATI SVEŽIH MALTNIH MEŠANIC

5.1 Razlez in prostorninska masa

V Preglednici 15 so podani rezultati razlezov in prostorninskih mas za apneno malto (mešanica 1), podaljšano cementno malto (mešanica 2) in cementno malto (mešanica 3).

Preglednica 15: Rezultati razleza in prostorninskih mas mešanic.

	OSNOVNA MEŠANICA (A)		OSNOVNA + SP (B)		OSNOVNA + SP + AERANT (C)	
	Razlez [cm]	Prostor. masa [g/dm ³]	Razlez [cm]	Prostor. masa [g/dm ³]	Razlez [cm]	Prostor. masa [g/dm ³]
MEŠANICA 1	13,8 ; 13,6	1982	13,3 ; 13,6	1972	14,1 ; 14,3	1960
MEŠANICA 2	13,1 ; 13,4	2012	13,8 ; 13,5	2068	13,9 ; 13,8	2066
MEŠANICA 3	13,2 ; 13,3	2290	13,1 ; 13,5	2300	14,6 ; 15,2	2170

Mešanica 1, torej malta z apnenim vezivom, je imela začetno prostorninsko maso osnovne mešanice 1982 g/dm³. Z dodatkom SP se je vrednost zmanjšala za 10 g/dm³. S tem, ko smo dodali še aerant, se je prostorninska masa dodatno znižala za 12 g/dm³. Pri podaljšani cementni malti (mešanica 2) pa je vrednost prostorninske mase pri mešanici B narasla za 56 g/dm³ in zaradi aeranta padla, kar smo tudi pričakovali. Cementna malta je imela podoben način spreminjanja vrednosti kot podaljšana cementna malta. To pomeni, da se je prostorninska masa z dodatkom SP povečala na 2300 g/dm³ in pri mešanici C zaradi dodatnih por znižala za 130 g/dm³. Če primerjamo med sabo še vse tri malte v mešanicah A, B in C, lahko opazimo, da ima najnižjo prostorninsko maso apnena malta, najvišjo cementna malta in vmesno vrednost podaljšana cementna malta.

Ugotovitve

Iz rezultatov lahko ugotovimo, da je prostorninska masa malte odvisna predvsem od vrste veziva in od deleža por, ki jih vsebuje sveža malta. Večji, kot je delež por, manjša je prostorninska masa, ker zrak, inženirsko gledano, nima teže, zavzema pa lahko pomemben del prostornine in zato vpliva na prostorninsko maso. Glede na vrsto veziva imajo mešanice, ki imajo cementno vezivo, največjo prostorninsko maso. Najnižjo pa imajo mešanice, v

katerih smo kot vezivo uporabili samo apno. To je posledica dejstva, da ima apno nižjo prostorninsko maso delcev kot cement. V mešanicah, v katerih je bilo vezivo apno in beli cement, torej podaljšana cementna malta, se vrednosti prostorninske mase nahajajo med vrednostmi za apneno in cementno malto.

Pričakovali smo, da bomo z dodatkom aeranta v mešanico C vnesli zračne mehurčke in s tem dobili lažjo matrico malte. Zato je prostorninska masa mešanic C najnižja, saj je zaradi dodatnih por manjša masa sveže malte.

5.2 Vsebnost por v mešanici

Iz Preglednice 16 so razvidne vrednosti, ki predstavljajo, kolikšna je vsebnost por v mešanicah v %. S povečanjem deleža por smo želeli ustvariti bolj porozno malto.

Preglednica 16: Rezultati izmerjenih in izračunanih poroznosti mešanic.

	OSNOVNA MEŠANICA (A)	OSNOVNA + SP (B)	OSNOVNA + SP + AERANT (C)
POROZNOST	Izračunana [%]	Izračunana [%]	Izračunana [%]
MEŠANICA 1 Apnena malta	0,045	2,4	3,04
MEŠANICA 2 Podaljšana cementna malta	2,7	2,9	3,06
MEŠANICA 3 Cementna malta	0,81	1,5	7,05

Pri izračunu poroznosti smo za CEM I in CEM II upoštevali, da je njuna prostorninska masa 3000 g/dm^3 . Prostorninska masa apna je 2280 g/dm^3 , peska 2700 g/dm^3 in vode 1000 g/dm^3 . Dodтков pri izračunih nismo upoštevali.

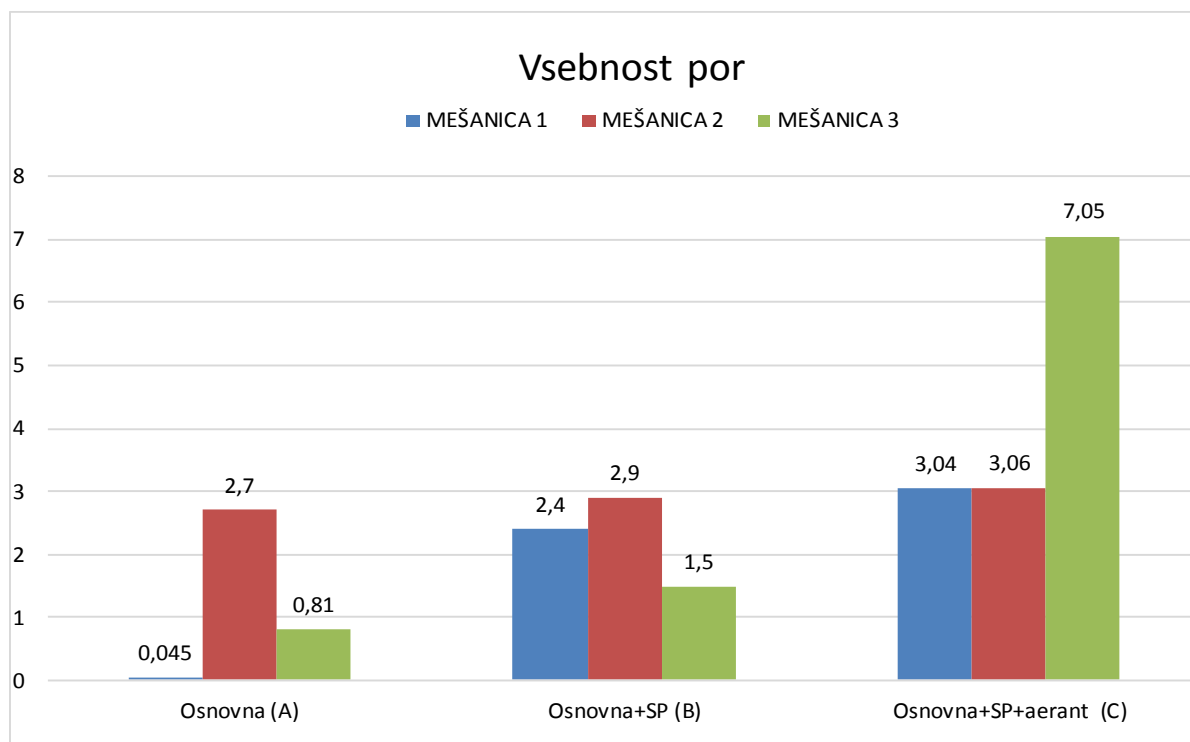
Pri osnovni mešanici 1 smo dobili zelo nizko poroznost apnene malte, ki pa se je po dodanem SP povišala za 2,355 %. Z dodatkom aeranta je vsebnost por apnene malte narasla za 0,64 %, kar je zanemarljivo. Pri mešanicah 2 smo opazili, da je razlika v naraščanju por z dodajanjem dodatkov minimalna, kar pomeni, da z dodatki nismo vnesli skoraj nič dodatnega zraka v podaljšano cementno malto. Glede na to, da je poroznost podaljšane cementne malte relativno visoka že v mešanici A, smo pričakovali, da bo precej višja v mešanici C, se je pa povišala za samo 0,36 %. Poroznost cementne malte pri mešanici B je skoraj dvakrat višja, kot je bila pri mešanici A, kar je verjetno posledica

delovanja SP (lahko bi šlo za nekompatibilnost cementa in SP). S tem ko smo dodali še aerant, pa se je poroznost povišala za kar 5,55 %, kar je rezultat, ki smo ga želeli doseči.

Ugotovitve

Iz rezultatov opazimo, da imamo za apneno malto povišanje por zaradi delovanja SP, z dodatkom aeranta pa se delež por ni bistveno povečal. Pri podaljšani cementni malti pa niti dodatek SP niti kombinacija SP in aeranta nista pomembno povečala poroznosti. Šele pri čisti cementni malti smo dobili učinek SP in aeranta, ki smo ju pričakovali. Zaključimo lahko, da prisotnost apna v mešanici negativno vpliva na učinkovitost aeranta.

Kemijski dodatki, kot sta superplastifikator in aerant, so proizvedeni za uporabo s cementnim vezivom, ker se betoni proizvajajo v ogromnih količinah in je proizvodnja kemijskih dodatkov za materiale s cementnim vezivom finančno zanimiva. Drugače je pri materialih z apnenim vezivom, ki se uporabljajo v majhnih količinah. Ker so dodatki, ki smo jih uporabili, očitno kompatibilni le s cementom, ne pa tudi z vezivom, ki vsebuje apno, je njihova praktična uporaba v sanacijskih ometih z apnenim ali apneno-cementnim vezivom vprašljiva.



Graf 1: Primerjava vsebnosti por v mešanicah.

Na Grafu 1 so predstavljene vsebnosti por za vseh 9 mešanic, ki smo jih pripravili v laboratoriju. Prikazano je, kako se poroznost mešanic spreminja glede na vrsto veziva in dodatek. Iz grafa je lepo vidno, da poroznost mešanic z dodajanjem aeranta sicer naraste, vendar le pri mešanici 3 s cementnim vezivom dovolj za sanacijski omet. Po drugi strani pa

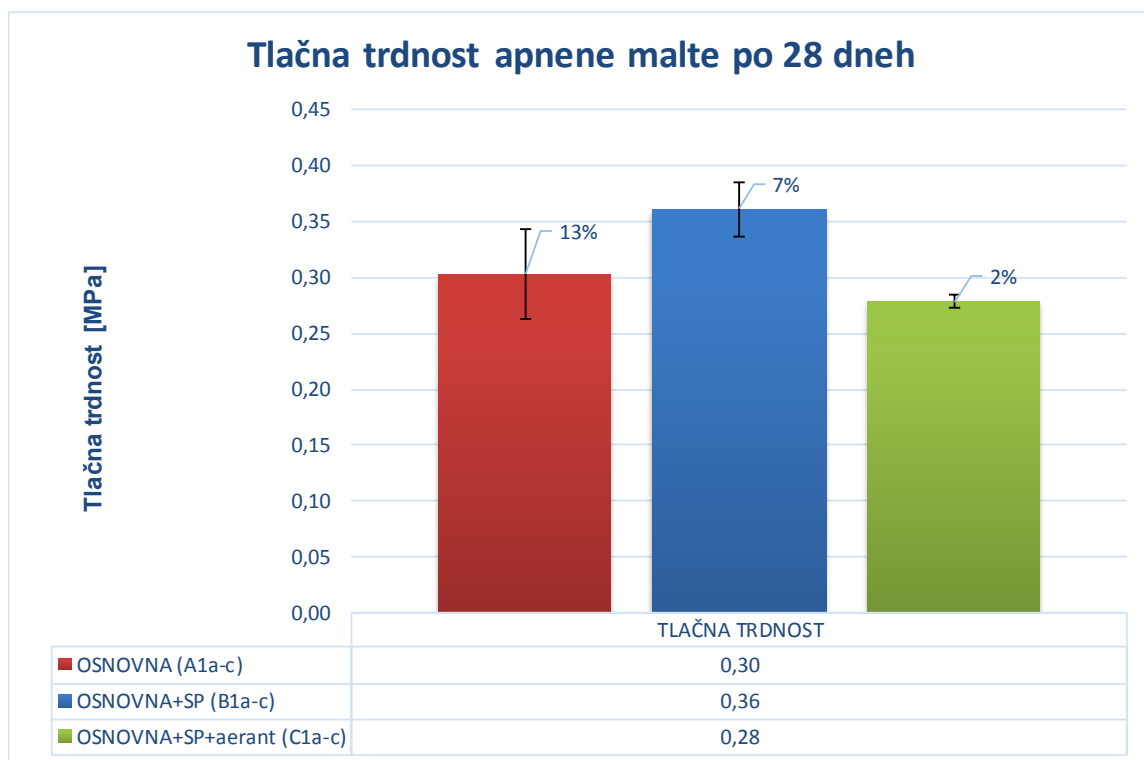
lahko poroznost poveča že dodatek SP, kar ni njegova funkcija. Tovrsten rezultat je lahko posledica nekompatibilnosti veziva in SP.

6 REZULTATI STRJENIH MALTNIH MEŠANIC

6.1 Rezultati tlačne trdnosti

Tlačno trdnost malt smo preizkušali pri starosti 28 dni. V spodnjih Grafih 2, 3 in 4 ter Preglednicah 17, 18 in 19 so podane vrednosti, ki so povprečje rezultatov preiskav posameznih vzorcev. V prilogi A.1, A.2 in A.3 so podani podatki, potrebni za izračun tlačne trdnosti in prostorninske mase ter končni rezultati za vseh 27 izdelanih valjev.

Na Grafu 2 in v Preglednici 17 so predstavljene povprečne vrednost tlačnih trdnosti in prostorninske mase mešanic 1 (apnena malta) pri starosti 28 dni – vzorčki z oznakami A1a-c, B1a-c in C1a-c.



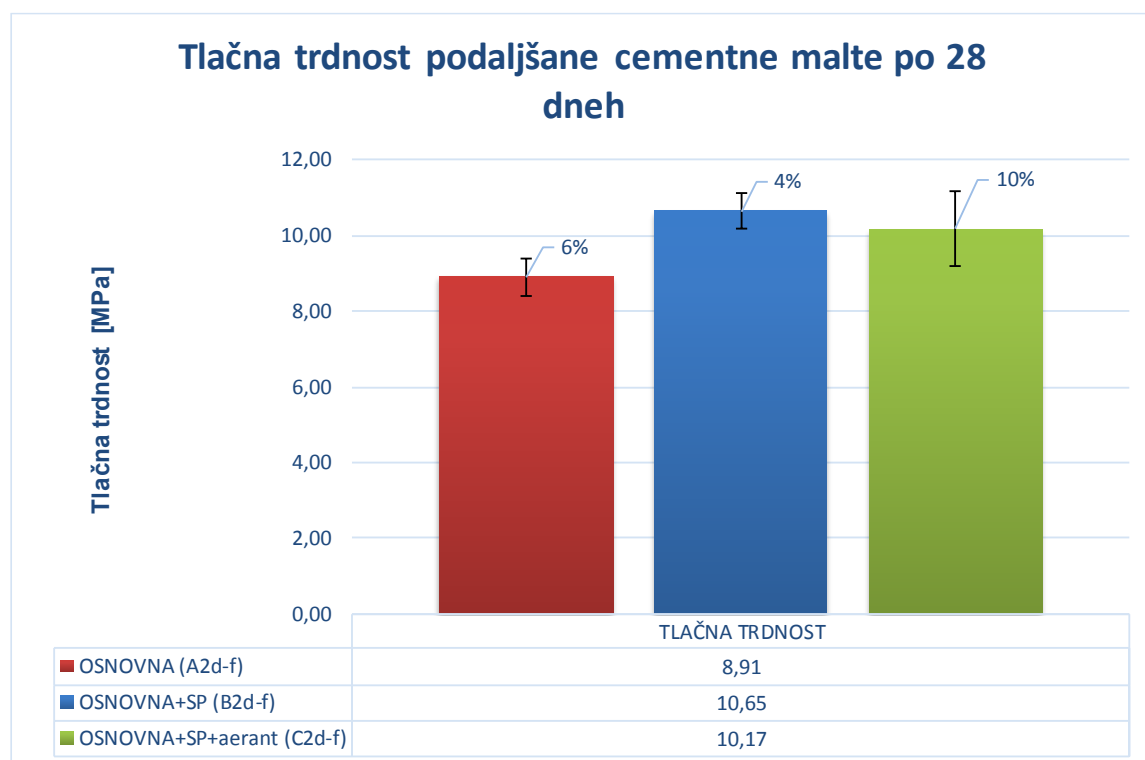
Graf 2: Tlačna trdnost apnene malte po 28 dneh.

Preglednica 17: Prostorninske mase mešanic 1-apnena malta.

Vzorček	A1a-c		B1a-c*		C1a-c**	
	Povprečna vrednost	Standardna deviacija	Povprečna vrednost	Standardna deviacija	Povprečna vrednost	Standardna deviacija
28 DNI						
Prost. masa – ρ [g/cm ³]	1,87	3%	1,88	1%	1,84	1%
* dodatek: superplastifikator						
**dodatka: superplastifikator in aerant						

Apnena malta ima zelo nizko vrednost tlačne trdnosti, saj smo za porušitev vzorčkov potrebovali nizko porušno silo, kar je razvidno iz rezultatov v prilogi A. Vzorčki A1a-c so dosegli tlačno trdnost 0,30 MPa in prostorninsko maso 1,87 g/cm³. Največjo tlačno trdnost, 0,36 MPa, in prostorninsko maso, 1,88 g/cm³, dosežejo vzorčki B1a-c*, saj smo pri njih zmanjšali količino vode in dodali superplastifikator. Najnižjo vrednost pa predstavljajo vzorčki, ki imajo poleg SP dodan še aerant. Njihova tlačna trdnost je upadla na 0,28 MPa ter prostorninska masa na 1,84 g/cm³. Najvišji raztros rezultatov imamo pri povprečni tlačni trdnosti in prostorninski masi pri apneni malti brez dodatkov. Raztros rezultatov za tlačno trdnost znaša 13 %, za prostorninsko maso pa 3 %. Nizke vrednosti tlačne trdnosti pri mešanici 1 so posledica starosti (28 dni) in preprečenega dostopa zraka do vzorcev, zato je bila stopnja karbonatizacije apnenih malt minimalna. Ovirano je bilo tudi sušenje valjev, ki bi lahko povečalo tlačno trdnost apnene malte. Apnene malte praviloma preizkušamo pri starosti najmanj 3 mesece.

Na Grafu 3 in v Preglednici 18 so predstavljene povprečne vrednosti tlačnih trdnosti in prostorninske mase mešanic 2 (podaljšana cementna malta) pri starosti 28 dni – preizkušanci z oznakami A2d-f, B2d-f in C2d-f.



Graf 3: Tlačne trdnosti podaljšane cementne malte po 28 dneh.

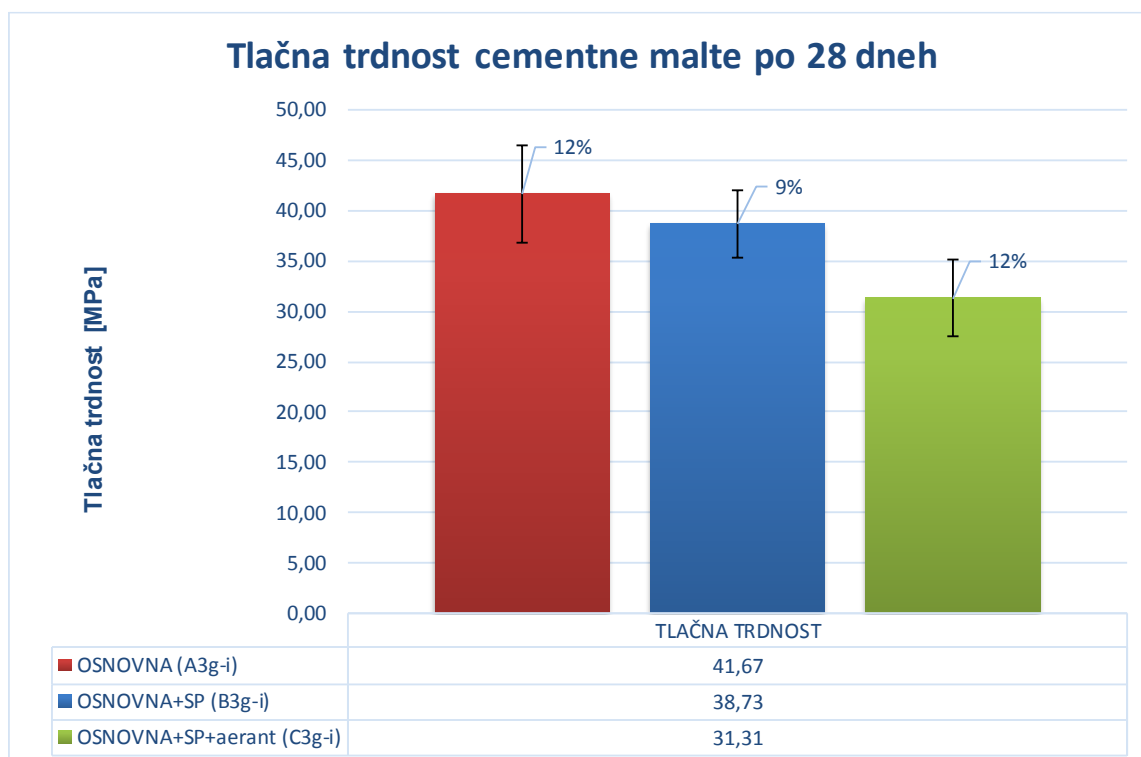
Preglednica 18: Prostorninske mase mešanic 2-podaljšana cementna malta.

Vzorček	A2d-f	B2d-f*	C3d-f**
---------	-------	--------	---------

28 DNI	Povprečna vrednost	Standardna deviacija	Povprečna vrednost	Standardna deviacija	Povprečna vrednost	Standardna deviacija
Prost. masa – ρ [g/cm ³]	1,88	1%	1,92	1%	1,88	1%
* dodatek: superplastifikator						
**dodatka: superplastifikator in aerant						

Podaljšana cementna malta ima nižjo tlačno trdnost od cementne malte in višjo od apnene malte. Zaradi kombinacije apna in cementa se tlačna trdnost malte zniža, glede na vrednosti, ki jih dosežemo pri cementni malti. Tlačna trdnost preizkušancev A2d-f, v katerih ni dodatkov, znaša 8,91 MPa. Ko smo dodali SP in znižali količino vode se je vrednost tlačne trdnosti preizkušancev B2d-f* povišala na 10,65 MPa. Pri podaljšani cementni malti z dodatkom aeranta in SP imamo 10 % raztros rezultatov, tlačna trdnost pa se zniža na 10,17 MPa. Vrednosti prostorninskih mas se med seboj ne razlikujejo veliko. Tlačna trdnost in prostorninska masa se med preizkušanci B2d-f* in C2d-f** nista veliko spremenili, kar pomeni, da aerant ni deloval ustrezno oziroma ni bilo vnesenega veliko dodatnega zraka.

Na Grafu 4 in v Preglednici 19 so predstavljene povprečne vrednosti tlačnih trdnosti in prostorninske mase mešanic 3 (cementa malta) pri starosti 28 dni – preizkušanci z oznakami A3g-i, B3g-i in C3g-i.



Graf 4: Tlačne trdnosti cementne malte po 28 dneh.

Preglednica 19: Prostorninske mase mešanic 3-cemetna malta.

Vzorček	A3g-i		B3g-i*		C3g-i**	
28 DNI	Povprečna vrednost	Standardna deviacija	Povprečna vrednost	Standardna deviacija	Povprečna vrednost	Standardna deviacija
Prost. masa – ρ [g/cm ³]	2,18	2%	2,21	1 %	2,10	1%
* dodatek: superplastifikator						
**dodatka: superplastifikator in aerant						

Pri cementni malti smo dobili najvišje vrednosti tako za tlačno trdnost kot tudi za prostorninsko maso, in to pri vseh sestavah. Opazimo lahko relativno velik raztros rezultatov v vseh treh skupinah preizkušancev, kar se tiče tlačne trdnosti. Preizkušanci A3g-i so dosegli najvišjo tlačno trdnost, 41,67 MPa, in prostorninsko maso, 2,18 g/cm³. Preizkušancem z dodatkom SP trdnost pade na 38,73 MPa, kar je zanimivo, saj bi glede na logiko zmanjševanja količine vode in dodajanja SP morali preizkušanci B3g-i* imeti višjo tlačno trdnost. Prostorninska masa preizkušancev B3g-i* pa se poviša na 2,21 g/cm³. Za C3g-i** je zmanjšanje tlačne trdnosti na 31,31 MPa in prostorninske mase na 2,10 g/cm³ ustrezno, saj je to posledica uporabe aeranta in vnosa dodatnih por, s katerimi se tlačna trdnost in prostorninska masa znižata.

Ugotovitve

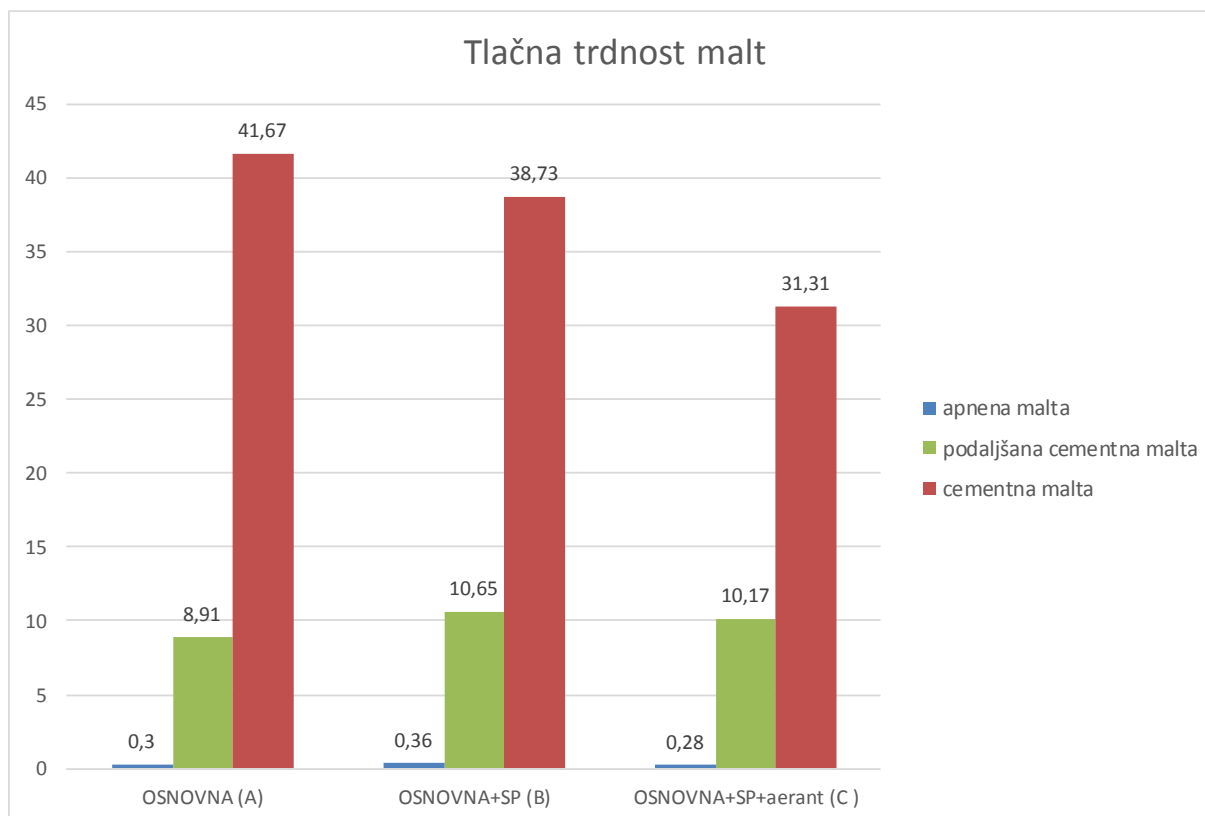
Pričakovali smo, da bodo preizkušanci, ki vsebujejo manj vode, imeli večjo tlačno trdnost in obratno. Prav tako lahko iz rezultatov opazimo, da se zaradi aeranta v mešanicah poveča število por in s tem zmanjša prostorninska masa mešanic ter posledično tlačna trdnost strjenih malt.

Prostorninska masa in tlačna trdnost valjev sta odvisni tudi od vrste uporabljenega veziva. Pri vzorcih s CEM II lahko opazimo, da dosegajo najvišje trdnosti, apneni vzorci najnižje trdnosti, vmesne vrednosti pa dosegajo vzorci s kombinacijo apna in CEM I. Apnena malta ima najnižjo vrednost tlačne trdnosti in nizke mehanske lastnosti, zaradi narave in strukture strjenega veziva ter nizke starosti in neugodnih pogojev nege za apneno vezivo.

Pri apneni malti so zelo majhne razlike v rezultatih pri tlačni trdnosti in prostorninski masi, kar pomeni, da z dodatki nismo vnesli veliko dodatnih por.

Pri cementni malti, v katero je dodan SP, opazimo upad tlačne trdnosti. Razlog bi lahko bil povečan delež zraka v malti, zaradi delovanja SP.

Prav tako se pri podaljšani cementni malti z dodanim aerantom tlačna trdnost zniža za 0,48 MPa, torej z dodatkom nismo vnesli veliko dodatnih por, kar posledično povzroči nizek upad trdnosti.



Graf 5: Primerjava povprečnih vrednosti tlačnih trdnosti na strjenih mešanicah.

Na Grafu 5 so predstavljene povprečne tlačne trdnosti strjenih malt, ki nam prikažejo, kako se tlačna trdnost mešanice spreminja glede na vrsto veziva in dodatek. Ko primerjamo apneno s cementno malto, lahko že takoj opazimo, da so tlačne trdnosti apnene malte veliko nižje. Iz Grafa 5 vidimo, da superplastifikator enako dobro vpliva na apneno in podaljšano cementno malto, z vidika vpliva na vrednost tlačne trdnosti, ki naraste. Drugače je pri cementni malti, kjer se delovanje SP ne kaže, saj imamo pri mešanici B upad trdnosti. Pri mešanicah C, v katere je dodan aerant, ni prišlo do velikega upada tlačne trdnosti pri apneni in podaljšani cementni malti, medtem ko je pri cementni malti viden večji upad trdnosti zaradi delovanja aeranta. Pri mešanicah z majhnim padcem tlačne trdnosti predvidevamo, da z aerantom nismo vnesli veliko dodatnega zraka, zato smo dobili takšen rezultat. Zaradi narave cementnega veziva dosegajo cementne malte najvišje tlačne trdnosti, apnene malte najnižje ter srednje vrednosti malte iz kombinacije apna in cementa.

6.2 Rezultati difuzije vodne pare

Kot smo že omenili v poglavju 4.3.1, smo za preskušanje paroprepustnosti uporabili vzorčke osnovnih mešanic (A) (Preglednica 20) in osnovnih mešanic z dvema dodatkom (C) (Preglednica 21). Glede na lastnost sanacijskega ometa si želimo, da so malte visoko paroprepustne. Preiskava je na apneni in podaljšani cementni malti trajala 21 dni ter na cementni malti 28 dni. V prilogi B je na grafih (Graf B.1, Graf B.2, Graf B.3, Graf B.4, Graf B.5 in Graf B.6) prikazano, kako se je s časom spreminjala masa vzorcev.

Preglednica 20: Paroprepustnost osnovnih mešanic (A).

Osnovne mešanice (A)	Apnena malta	Podaljšana cementa malta	Cementna malta
Vzorček	A1a-c	A2d-f	A3g-i
Koeficient paroprepustnosti « μ » [l]	16	23	139

Preglednica 21: Paroprepustnost osnovnih mešanic + SP + aerant (C).

Osnovna + SP + aerant (C)	Apnena malta	Podaljšana cementa malta	Cementna malta
Vzorček	C1a-c	C2d-f	C3g-i
Koeficient paroprepustnosti « μ » [l]	15	27	98

Primerjava vzorcev A1a-c in C1a-c

Vzorci A1a-c in C1a-c predstavljajo apneno malto, ki ima najnižji koeficient paroprepustnosti, in s tem omogočen dober prehod vodne pare. Na vzorcih A1a-c, v katerih ni dodatkov, smo dobili koeficient paroprepustnosti 16. S tem, ko smo dodali v mešanico C aerant in SP, se nam je paroprepustnost povišala za 1.

Primerjava vzorcev A2d-f in C2d-f

Pri podaljšani cementni malti smo pri vzorcih C2d-f dobili višjo vrednost kot za vzorce A2d-f. Pri mešanici A je bil koeficient paroprepustnosti 23, ki pa se je kljub dodanemu aerantu in superplastifikatorju v mešanici C povišal na 27, pa čeprav so vzorci C2d-f bolj porozni.

Primerjava vzorcev A3g-i in C3g-i

Vzorci cementne malte A3g-i in C3g-i imajo najvišji koeficient, kar pomeni, da so parozaporni v primerjavi z apneno malto. Pri mešanici C smo dobili koeficient 139, ki zaradi dodatkov v

mešanici C pade na 98. Vzorci, v katerih je aerant in SP, kažejo, da je koeficient manjši zaradi višjega deleža zračnih por kot pri vzorcih brez dodatkov.

Ugotovitve

Koeficient paroprepustnosti je odvisen od vrste veziva in dodatkov, ki smo jih uporabili pri izdelavi mešanic. Nižji kot je koeficient, bolj je malta paroprepustna. Glede na uporabljeno vezivo je iz rezultatov razvidno, da je najbolj paroprepustna apnena malta. Če primerjamo koeficient paroprepustnosti podaljšane cementne malte z ostalima dvema maltama, je vrednost nekoliko višja, kot pri apneni malti, torej tudi podaljšana cementna malta dobro prevaja vodno paro. V primerjavi z ostalimi vzorci ima najvišji koeficient cementna malta, kar pomeni, da je parozaporna in ni najbolj primerna za sanacijske omete. Pri apneni malti smo pričakovali, da bo v mešanici C koeficient paroprepustnosti še nižji zaradi dodatkov, kar pa se ni zgodilo. Pri podaljšani cementni malti smo pričakovali, da se bo paroprepustnost povišala, kar pomeni, da je malta z dodatki slabše paroprepustna.

6.3 Primerjava rezultatov poroznosti in difuzije vodne pare

Preglednica 22: Primerjava poroznosti in difuzije vodne pare.

APNENA MALTA	OSNOVNA (A)	OSNOVNA + SP + aerant (C)
POROZNOST [%]	0,045	3,04
KOEF. PAROPREPUSTNOSTI « μ » [/]	16	15
PODALJŠANA CEMENTNA MALTA	OSNOVNA (A)	OSNOVNA + SP + aerant (C)
POROZNOST [%]	2,7	3,06
KOEF. PAROPREPUSTNOSTI « μ » [/]	23	27
CEMENTNA MALTA	OSNOVNA (A)	OSNOVNA + SP + aerant (C)
POROZNOST [%]	0,81	7,05
KOEF. PAROPREPUSTNOSTI « μ » [/]	139	98

V Preglednici 22 smo primerjali rezultate poroznosti in difuzije vodne pare za mešanice skupin A in C.

Pri apneni malti smo imeli v osnovni mešanici A poroznost 0,045 % in koeficient paroprepustnosti 16. Z dodatki v mešanici C smo povišali količino por v malti na 3,04 % in s tem povišali paroprepustnost malte. Podaljšana cementna malta je imela v mešanici A vsebnost por 2,7 %, ki se je zaradi aeranta in SP povišala na 3,06 %. Paroprepustnost podaljšane cementne malte z dodatki se je znižala. Pri cementni malti se je vsebnost por

povišala z 0,81 % na 7,05 % in s tem tudi paroprepustnost, ki je pri mešanici C dosegla vrednost 98.

Ugotovitve

Pričakovali smo, da bodo vzorci, ki imajo večjo poroznost, bolj paroprepustni, saj se preko por prevaja vlaga. Če pogledamo mešanice C, v katerih je dodan aerant in superplastifikator, lahko opazimo, da sta dodatka pri apneni in cementni malti delovala, saj se je z višanjem poroznosti znižal koeficient paroprepustnosti. Pri podaljšani cementni malti se paroprepustnost zviša, kar kaže, da je malta z dodatkom slabše paroprepustna kot malta, v kateri dodatka ni. Pričakovali smo, da bo koeficient paroprepustnosti pri apneni malti v mešanici C bistveno nižji, glede na to, da malta vsebuje 3 % več por kot v osnovni mešanici A. Prav tako lahko opazimo, da je cementna malta zelo porozna, a po drugi strani tudi visoko parozaporna. Razloge lahko iščemo v velikosti por in povezanosti sistema por.

7 ZAKLJUČEK

Sanacijski ometi so področje, ki je še vedno zelo aktualno v gradbeništvu in je predmet intenzivnega razvoja. Še posebej zanimivi so sanacijski ometi z apnenim vezivom, zaradi zahtev restavratorske stroke pri sanaciji objektov kulturne dediščine. Namen naše naloge je bil, da preštudiramo kompatibilnost različnih veziv in dodatkov in njihov vpliv na lastnosti sanacijskih ometov.

Za začetek smo izbrali količine agregata, veziva in dodatkov za 9 različnih mešanic. Naša naloga je bila, da z metodo razleza po SIST EN 1015-3:2001 [21] določimo ustrezno količino dodane vode, ki zagotavlja razlez na stresalni mizici med 130 in 140 mm. Na končnih sestavah malt v svežem stanju smo določili vsebnost por in prostorninsko maso mešanic. Končne recepture mešanic smo vgradili v kalupe in jih pustili, da odležavajo v laboratoriju 28 dni. Pri starosti 28 dni smo na strjenih maltnih mešanicah določili tlačno trdnost malt in paroprepustnost vzorcev ometa debeline 10 mm. Meritev prehoda vodne pare je trajala, dokler se ni vzpostavil stalen difuzijski tok vodne pare.

Dobljene rezultate meritev in preiskav smo v diplomski nalogi predstavili v preglednicah ali grafično.

Rezultati prostorninske mase svežih mešanic so odvisni od vrste veziva in od deleža por v malti. Z večanjem deleža por se manjša prostorninska masa malte, kar je pričakovan rezultat. Ugotovili smo, da je največjo prostorninsko maso dosegla malta iz cementnega veziva, najnižjo apnena malta in vrednost med njima podaljšana cementna malta. Aerant je v mešanicah C izpolnil pričakovanja le pri čisti cementni malti, v katero je vnesel pomemben delež zračnih por. Pri apneni in podaljšani cementni malti je bilo povečanje deleža por zaradi vključitve aeranta minimalno. Vse kaže, da uporabljen aerant v kombinaciji z apnenim vezivom izgubi svojo učinkovitost.

Vzorci, ki vsebujejo manj vode zaradi vključitve SP, so imeli večjo tlačno trdnost, kar je v skladu s pričakovanji. Pričakovano najvišje trdnosti dosežejo vzorci, v katerih smo uporabili vezivo CEM II, vmesne vrednosti dosegajo vzorci s kombinacijo apna in CEM I ter najnižje vrednosti apneni vzorci. Vzrok nizkih vrednosti tlačne trdnosti pri apneni malti so narava in struktura strjenega veziva, starost vzorcev, ki je za apnene malte bistveno prenizka ter nega vzorcev v kalupu, kar je oviralo sušenje in karbonatizacijo apnenega veziva. Pri cementni malti z dodatkom SP je prišlo do upada tlačne trdnosti v primerjavi z osnovno sestavo in to kljub znižani vsebnosti vode. En izmed razlogov je vsekakor večji delež por v mešanici.

Rezultati difuzije vodne pare nam povedo, da je koeficient paroprepustnosti odvisen od vrste veziva in dodatkov. Nižji kot je koeficient, bolj je malta paroprepustna. Iz rezultatov

ugotovimo, da apnena malta najbolj prevaja vodno paro, sledi pa ji podaljšana cementna malta. Med neugodne se je uvrstila cementna malta, saj ima zelo visok koeficient paroprepustnosti, kar pomeni da je parozaporna. Ko smo primerjali med sabo rezultate vsebnosti por in paroprepustnosti, smo opazili, da z večanjem poroznosti narašča tudi paroprepustnost malt. Apnena malta je glede na rezultate dobro paroprepustna in porozna. Tudi podaljšana cementna malta dosega dobre rezultate. Presenetilo nas je, da podaljšana cementna malta, ki vsebuje dodatke, doseže višji koeficient paroprepustnosti kot malta brez dodatka. Razlog za to bi lahko bil prevladujoč učinek SP na strukturo kapilarnih por in neučinkovitost aeranta, kar lahko rezultira v večji tesnosti poroznega sistema. Cementna malta je dobro porozna in po drugi strani parozaporna, kljub pomembnemu znižanju koeficienta paroprepustnosti z vnosom zračnih mehurčkov.

Naloga ometa je, da skozi življenjsko dobo ohranja svojo funkcijo in estetski videz ter ima dobre mehanske lastnosti. Mora biti porozen in dobro prepusten za vodno paro. Glede na navedeno ter podane rezultate in ugotovitve bi bila po našem mnenju za sanacijske omete najbolj primerna podaljšana cementna malta brez dodatkov. Dosega minimalno vsebnost por, prav tako tudi dobro tlačno trdnost in paroprepustnost.

V nadaljnjih raziskavah bi bilo smiselno spremeniti vrsto aeranta in superplastifikatorja in/ali povečati njuno količino ter ponoviti preizkuse na svežih in strjenih maltah. S tem bi raziskali, kako in na kakšen način vrsta in količina dodatka vplivajo na tlačno trdnost, poroznost in difuzijo vodne pare.

VIRI

- [1] Polajner, S. 2011. Kapilarna vlaga in vlažni zidovi. *Revija Gradbenik*, 15,5: 22-23
- [2] Franko, P. 2014. Vpliv soli na sanacijske omete. *Diplomska naloga*, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 13 str.
- [3] Priročnik za renovacijske in sanacijske omete. Marec 2014. RÖFIX AG, str. 1-92
- [4] Arıoğlu, N., Acun, S. 2006. A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach. *Building and Environment*, 41, 9: 1223- 1230.
- [5] Žarnić, R. 2005. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 350 str.
- [6] Palomo, A., Blanco- Varela, M. T., Martinez- Ramirez, S., Puertas, F., Fortes, C. 2002. *Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendences for Research.* Madrid, Eduardo Torroja Institute.
- [7] Kramar, S., Mirtič, B. 2009. Karakterizacija historičnih ometov kot del konservatorsko-restavratorskih posegov in arheoloških poizkopavalnih analiz. *RMZ - Materials and Geoenvironment* 56, 4: 501-519.
- [8] Žitnik, J., Žitnik, D., Berdajs, A. idr. 2008. *Gradbeniški priročnik.* Ljubljana, Tehniška založba Slovenije, d.d.: 693 str.
- [9] Technical Services Information Bureau. 2011.
<http://www.tsib.org/pdf/plaster-assemblies-chapter-01-history-of-lath-and-plaster.pdf>
(Pridobljeno 28.2.2016)
- [10] M.H. 2004. Ometi včeraj in danes. *Revija gradbenik*, 8,9: 12-14
- [11] Kovač, A. 2011. Dekorativni ometi v toplotno izolacijskem sistemu. *Revija Gradbenik*, 15,5: 24-25
- [12] S.H. 2001. Notranji ometi-izgled zidu za vsak okus. *Revija gradbenik*, 5,10: 14-15
- [13] Kujan, A. 2004. Kakovostna vgradnja ometov. *Revija gradbenik*, 8,9: 16
- [14] Kema katalog produktov. 2012. Puconci, Kema, str. 53-57.
- [15] Kunič, R. 2009. Mehanizem prehoda vlage skozi konstrukcijske sklope v stavbah (1. del). *Revija Gradbenik*, 13,11: 46-47

- [16] Medved, S. 2010. Gradbena fizika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 1-320.
- [17] SIST EN 197-1:2001. Cement – 1. del: Sestava, zahteve in merila skladnosti za običajne cemente
- [18] KEMA. 2016. Varnostni list
<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/veziva/82> (Pridobljeno 1.3.2016)
- [19] Spiratos, N., Page, M., Mailvaganam, N.P., Malhotra, V. M., Jolicoeur, C. 2003. Superplasticizers for concrete: fundamentals, technology, and practice. Ottawa, Ontario, Supplementary cementing materials for sustainable development, Inc.: 336 str.
- [20] Duh, D. 2008. Samozgoščevalni in vibrirani betoni z apnenčevo moko. Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 19-20 str.
- [21] SIST EN 10015-3:2001. Metode preskušanja zidarske malte – 3.del: Določevanje konsistence sveže malte (s stresalno mizo).
- [22] Kikelj, K. 2006. Vpliv vrste apna, dodatkov in tehnik izdelave na karakteristike apnenih fasad. Diplomaska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 49 str.
- [23] Žarnič, R., Bosiljkov, B.V., Bosiljkov, V. 2012. Gradiva vaje 2012/2013. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 1-146.
- [24] SIST EN 1015-6:1999. Metode preskušanja zidarskih malt – 6. del: Ugotavljanje prostorninske mase sveže malte.
- [25] EN ISO 12572:2001. Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties.

PRILOGE

PRILOGA A: PREGLED PODATKOV STRJENIH VZORČKOV IN REZULTATI TLAČNE TRDNOSTI TER PROSTNORNINSKE MASE

Preglednica A.1: Tlačne trdnosti in prost. mase osnovnih mešanic (A).

Preglednica A.2: Tlačne trdnosti in prost. mase osnovnih mešanic + SP (B).

Preglednica A.3: Tlačne trdnosti in prost. mase osnovnih mešanic + SP + aerant (C).

PRILOGA B: PREGLED REZULTATOV DIFUZIJE VODNE PARE

Graf B.1: Sprememba teže vzorčkov v odvisnosti od časa A1a-c.

Graf B.2: Sprememba teže vzorčkov v odvisnosti od časa C1a-c.

Graf B.3: Sprememba teže vzorčkov v odvisnosti od časa A2d-f.

Graf B.4: Sprememba teže vzorčkov v odvisnosti od časa C2d-f.

Graf B.5: Sprememba teže vzorčkov v odvisnosti od časa A3g-i.

Graf B.6: Sprememba teže vzorčkov v odvisnosti od časa C3g-i.

PRILOGA A: PREGLED TLAČNIH TRDNOSTI

Preglednica A.1: Tlačne trdnosti in prost. mase osnovnih mešanic (A).

Oznaka	Pesek + apno			Pesek + CEM I + apno			Pesek + CEM II		
	A1a	A1b	A1c	A2d	A2e	A2f	A3g	A3h	A3i
Masa [g]	146,75	141,49	147,85	155,31	152,87	150,89	178,76	180,75	180,09
Višina [mm]	46,78	47,74	46,91	47,78	47,49	47,34	48,2	47,88	48,67
Premer [mm]	45,61	45,73	45,96	47,1	46,17	46,66	46,58	46,33	47,01
Prerez [mm ²]	1634,5	1643,11	1659,68	1743,04	1674,88	1710,62	1704,76	1686,51	1736,38
Prost. masa [g/cm ³]	1,92	1,80	1,90	1,86	1,92	1,86	2,18	2,24	2,13
Sila [N]	553	405,1	537,6	14380	15790	15490	62640	81300	69570
Trdnost [MPa]	0,34	0,25	0,32	8,25	9,43	9,056	36,74	48,21	40,067
	Povprečna vrednost		Standardna deviacija	Povprečna vrednost		Standardna deviacija	Povprečna vrednost		Standardna deviacija
f _c	0,30		13%	8,91		6 %	41,67		12%
ρ	1,87		3%	1,88		1%	2,18		2%

Preglednica A.2: Tlačne trdnosti in prost. mase osnovnih mešanic + SP (B).

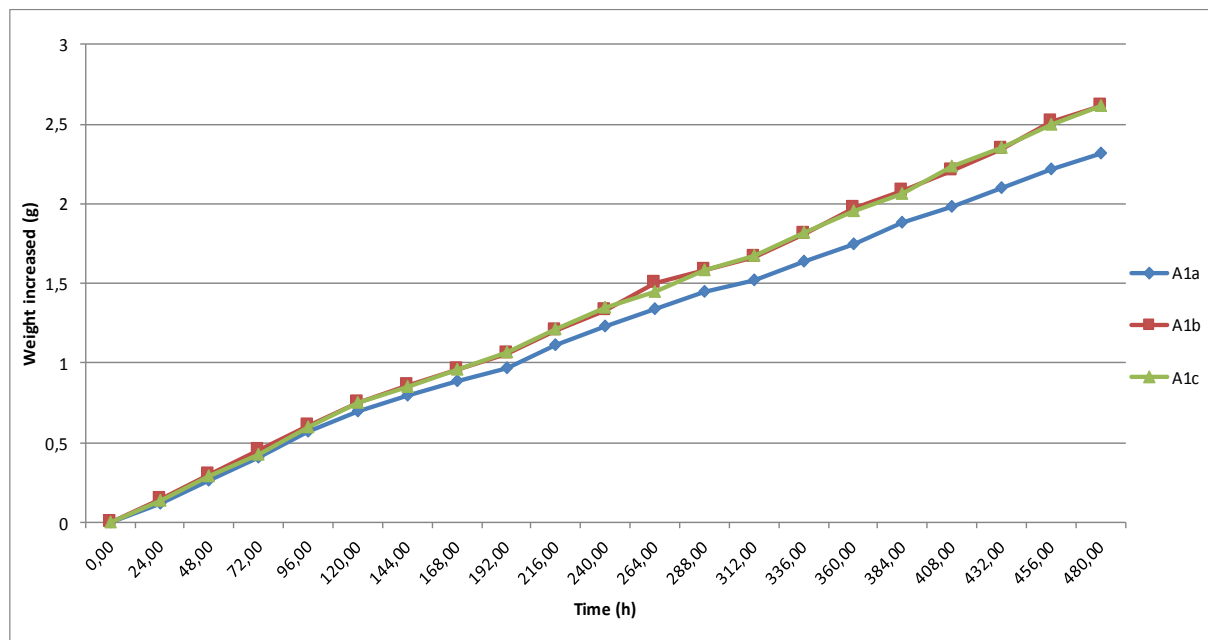
Oznaka	Pesek + apno			Pesek + CEM I + apno			Pesek + CEM II		
	B1a	B1b	B1c	B2d	B2e	B2f	B3g	B3h	B3i
Masa [g]	149,9	149,2	147,24	158,1	158,8	159	178,03	179,7	180,47
Višina [mm]	47,69	48,57	47,71	48,87	48,76	48,09	47,88	48,3	48,06
Premer [mm]	45,66	45,89	45,87	46,3	46,62	46,55	46,02	46,23	46,85
Prerez [mm ²]	1638,09	1654,63	1653,19	1684,33	1707,69	1702,57	1664,02	1679,24	1724,58
Prost. masa [g/cm ³]	1,92	1,86	1,87	1,92	1,91	1,94	2,23	2,22	2,18
Sila [N]	624	622,1	539,5	17230	17840	19190	60660	60960	74880
Trdnost [MPa]	0,38	0,38	0,33	10,23	10,45	11,27	36,45	36,30	43,42
	Povprečna vrednost		Standardna deviacija	Povprečna vrednost		Standardna deviacija	Povprečna vrednost		Standardna deviacija
f _c	0,36		7%	10,65		4%	38,73		9%
ρ	1,88		1%	1,92		1%	2,21		1%

Preglednica A.3: Tlačne trdnosti in prost. mase osnovnih mešanic + SP + aerant (C).

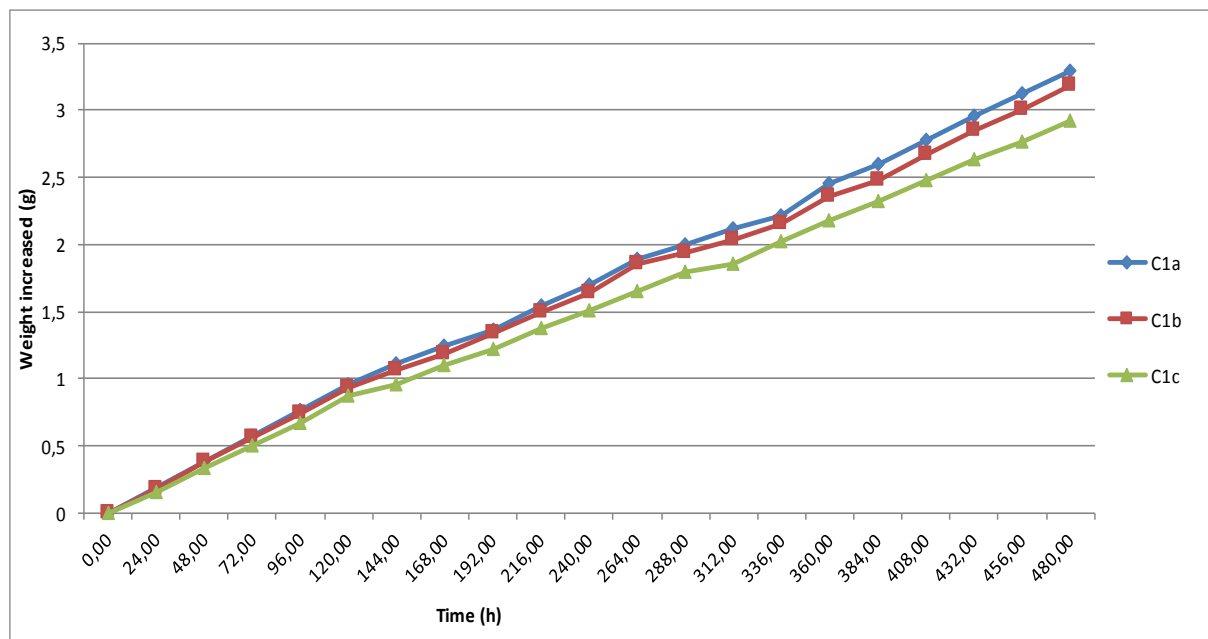
	Pesek + apno			Pesek + CEM I+ apno			Pesek + CEM II					
Oznaka	C1a	C1b	C1c	C2d	C2e	C2f	C3g	C3h	C3i			
Masa [g]	144,36	146,29	146,63	153,31	153,73	152,7	168,08	170,06	166,71			
Višina [mm]	47,93	47,65	48,25	48,07	48,8	48,97	47,56	48,11	47,9			
Premer [mm]	45,65	45,84	45,91	46,06	46,35	46,28	46,01	46,3	46,33			
Prerez [mm ²]	1637,37	1651,03	1656,07	1666,91	1687,97	1682,87	1663,29	1684,33	1686,52			
Prost. masa [g/cm ³]	1,84	1,86	1,84	1,91	1,87	1,85	2,12	2,10	2,06			
Sila [N]	447,4	474,2	455	19220	15680	16320	59940	52710	44850			
Trdnost [MPa]	0,27	0,29	0,27	11,53	9,29	9,70	36,04	31,29	26,59			
X	Povprečna vrednost		Standardna deviacija		Povprečna vrednost		Standardna deviacija		Povprečna vrednost		Standardna deviacija	
f _c	0,28		2%		10,17		10%		31,31		12%	
ρ	1,84		1%		1,88		1%		2,10		1%	

PRILOGA B

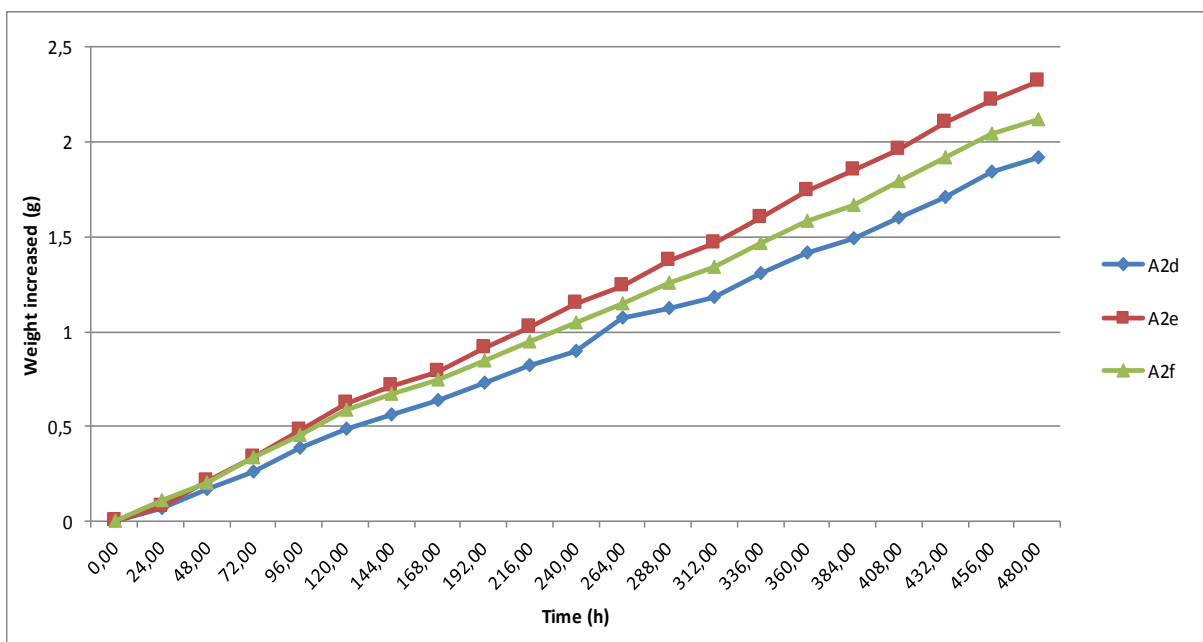
Graf B.1: Sprememba teže vzorčkov A1a-c.



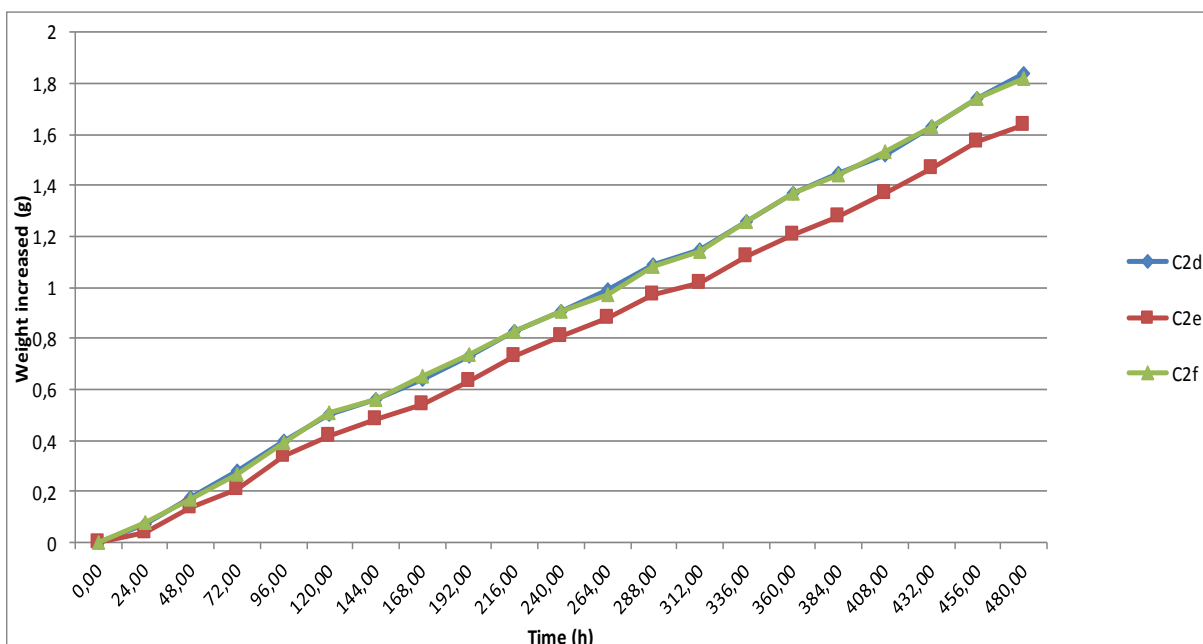
Graf B.2: Sprememba teže vzorčkov C1a-c.



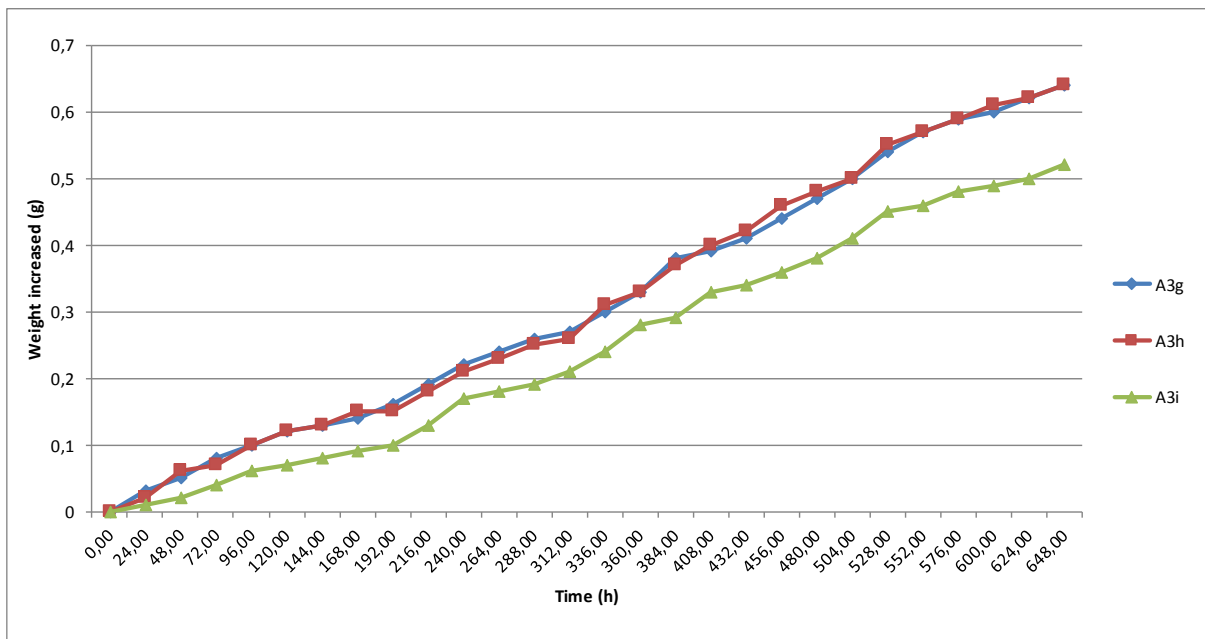
Graf B.3: Sprememba teže vzorčkov A2d-f.



Graf B.4: Sprememba teže vzorčkov C2d-f.



Graf B.5: Sprememba teže vzorčkov A3g-i.



Graf B.6: Sprememba teže vzorčkov C3g-i.

