

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:

Premk, E., 2016. Apneno-cementne injekcijske mešanice z belim cementom. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Bokan Bosiljkov, V.): 46 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5778/>

Datum arhiviranja: 14-10-2016

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:

Premk, E., 2016. Apneno-cementne injekcijske mešanice z belim cementom. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bokan Bosiljkov, V.): 46 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5778/>

Archiving Date: 14-10-2016

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 ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GRADBENIŠTVO  
SMER OPERATIVNO  
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

**ERIK PREMK**

**APNENO-CEMENTNE INJEKCIJSKE MEŠANICE Z  
BELIM CEMENTOM**

Diplomska naloga št.: 572/SOG

**LIME-CEMENT INJECTION GROUTS WITH WHITE  
CEMENT**

Graduation thesis No.: 572/SOG

**Mentorica:**

prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Ljubljana, 13. 09. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

**IZJAVA**

Spodaj podpisani/-a študent/-ka Erik Premk,  
vpisna številka 26103099, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom:  
»Apneno-cementne injekcijske mešanice z belim cementom«

**IZJAVLJAM**

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podrobne vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podrobnosti 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 dejanja 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 delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: \_\_\_\_\_

Datum : \_\_\_\_\_

Podpis študenta/-ke:

\_\_\_\_\_

## **BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 666.924:691(043.2)  
**Avtor:** Erik Premk  
**Mentor:** prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov  
**Naslov:** Apneno-cementne injekcijske mešanice z belim cementom  
**Tip dokumenta:** diplomska naloga – visokošolski strokovni študij  
**Obseg in oprema:** 46 str., 5 pregl., 15 sl., 11 graf., 15 en.  
**Ključne besede:** apneno – cementne injekcijske mešanice, beli Portland cement, preiskave injekcijskih mešanic

### **Izvleček**

V okviru diplomske naloge smo analizirali vpliv belega Portland cementa in njegovega deleža na lastnosti injekcijskih mešanic s kombiniranim apneno-cementnim vezivom.

Kot polnilo je bila dodana kamena moka. Delež vode smo zmanjšali s pomočjo kemijskega dodatka (superlastifikator PPh).

Preiskave smo opravili na svežih in strjenih mešanicah. Na svežih mešanicah smo preverjali pretočnost, izločanje vode, vodozadržnost in razlez. Na strjenih mešanicah smo merili krčenje in določili upogibno natezno trdnost in tlačno trdnost. Za preverjanje stopnje karbonatizacije smo uporabili fenolftaleinski indikator.

Preiskave in meritve so bile izvedene v Konstrukcijsko prometnem laboratoriju Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

**BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 666.924:691(043.2)  
**Author:** Erik Premk  
**Supervisor:** Prof. Violeta Bokan Bosiljkov, Ph. D.  
**Title:** Lime-cement injection grouts with white cement  
**Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies  
**Scope and tools:** 46 p., 5 tab., 15 fig., 11 graph., 15 eq.  
**Keywords:** lime – cement injection grouts, white Portland cement, tests of injection grouts

**Abstract**

Within the scope of this diploma thesis we studied the influence of white Portland cement and its content on properties of injection grouts with binder composed of hydrated lime and white Portland cement.

Powdered stone was used as filing material. Water content in the grouts was reduced with chemical admixture (PPh superplasticizer).

The tests were performed on the fresh and hardened grouts. On fresh grouts mixture we have performed the test of fluidity and bleeding test and we also determined the water retentivity and the flow value. On hardened grout we have performed the measurement of shrinkage and we have determined flexural strength and compressive strength. The phenolphthalein test was also used to determine the level of carbonization.

All the tests and measurements were carried out in the laboratory of the Faculty of Civil and Geodetic Engineering of University of Ljubljana.

## **ZAHVALA**

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

Zahvaljujem se družini in vsem bližnjim, ki so me podpirali ter verjeli vame.

» Ta stran je namenoma prazna. «



## KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE .....	I
IZJAVA .....	II
BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....	IV
ZAHVALA .....	V
1 UVOD .....	1
2 SESTAVINE INJEKCIJSKE MEŠANICE .....	4
2.1 Voda .....	4
2.2 Veziva .....	4
2.2.1 Beli Portland cement .....	4
2.2.2 Hidratizirano apno .....	6
2.3 Polnilo .....	6
2.3.1 Kamena moka .....	6
2.4 Dodatki .....	7
2.4.1 Superplastifikator PPh .....	7
3 SESTAVA INJEKCIJSKE MEŠANICE .....	8
3.1 Suhe sestavine .....	8
3.2 Potreba po vodi .....	9
3.3 Dodajanje superplastifikatorja PPh .....	10
4 OPISI PREISKAV INJEKCIJSKE MEŠANICE .....	11
4.1 Standardne preiskave .....	11
4.1.1 Izločanje vode .....	11
4.1.2 Meritev pretočnosti .....	12
4.1.3 Meritev vodozadržnosti .....	12
4.1.4 Določitev konsistence oz. meritev razleza .....	14
4.1.5 Določitev prostorninske mase sveže mešanice .....	14
4.1.6 Določitev prostorninske mase strjene mešanice .....	15
4.1.7 Določitev upogibne natezne trdnosti strjene mešanice .....	15
4.1.8 Določitev tlačne trdnosti strjene mešanice .....	16

---

4.2	Nestandardne preiskave .....	16
4.2.1	Krčenje mešanice po 24-tih urah .....	16
4.2.2	Krčenje mešanice po 28-tih dneh.....	18
4.2.3	Stopnja karbonatizacije strjene mešanice.....	18
4.3	Potek preiskav .....	18
5	REZULTATI PREISKAV INJEKCIJSKIH MEŠANIC .....	27
5.1	Rezultati preiskav sveže injekcijske mešanice.....	27
5.1.1	Pretočnost .....	27
5.1.2	Razlez .....	31
5.1.3	Izločanje vode (stabilnost) .....	32
5.1.4	Vodozadržnost.....	33
5.2	Prostorninska masa sveže mešanice.....	35
5.3	Rezultati preiskav strjene injekcijske mešanice .....	35
5.3.1	Prostorninska masa strjene mešanice .....	35
5.3.2	Krčenje .....	36
5.3.3	Upogibna natezna trdnost .....	37
5.3.4	Tlačna trdnost .....	39
5.4	Stopnja karbonatizacije standardnih prizem sušenih na zraku .....	40
5.5	Povprečne vrednosti rezultatov izvedenih preiskav .....	40
6	ZAKLJUČEK.....	42
	VIRI .....	45
	PRILOGA A: ZAPIS REZULTATOV PREISKAV .....	A1

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Suhe sestavine injekcijskih mešanic A .....	8
Preglednica 2: Suhe sestavine injekcijskih mešanic B.....	8
Preglednica 3 : Potreba po vodi za mešanice A in B .....	9
Preglednica 4 : Količine superplastifikatorja PPh za mešanice A in B .....	10
Preglednica 5: Povprečne vrednosti rezultatov pomembnejših preiskav za mešanice A in B.....	41

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Hlajenje klinkerja s pršenjem vode .....	5
Slika 2: Hlajenje klinkerja s potapljanjem v vodo .....	5
Slika 3: Delci v kamni moki .....	6
Slika 4: Test izločanja vode.....	11
Slika 5: Preiskava pretočnosti .....	12
Slika 6: Meritev vodozadržnosti.....	13
Slika 7: Meritev razleza.....	14
Slika 8: Preiskava tlačne trdnosti.....	16
Slika 9: Vzorci mešanice pripravljene na meritev krčenja po 24-ih urah .....	17
Slika 10: Preverjanje enakomernosti mešanja .....	22
Slika 11: Priprava vzorcev za preiskavo krčenja po 24-ih urah .....	23
Slika 12: Priprava vzorcev (prizem) za meritve mehanskih lastnosti .....	23
Slika 13: Krušenje roba vzorca mešanice, pripravljene za meritev krčenja po 24-ih urah .....	24
Slika 14: Prizme pripravljene na razkalupljenje .....	25
Slika 15: Stopnja karbonatizacije mešanice A 6.1 .....	40

## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Rezultat meritev časa pretočnosti za mešanice A.....	28
Grafikon 2 : Rezultati meritev časa pretočnosti za mešanice B.....	30
Grafikon 3 : Rezultat meritev razleza za mešanice A in B .....	31
Grafikon 4 : Rezultat meritev izločanja vode za mešanice A in B.....	33
Grafikon 5 : Rezultat meritev zadrževanja vode za mešanice A in B .....	34
Grafikon 6 : Rezultati meritev prostorninskih mas (sveža mešanica) za mešanice A in B .....	35
Grafikon 7 : Rezultati meritev prostorninskih mas (strjena mešanica) za mešanice A in B.....	36
Grafikon 8 : Rezultat meritev krčenja za mešanice A .....	36
Grafikon 9 : Rezultat meritev krčenja za mešanice B.....	37
Grafikon 10 : Rezultat meritev upogibne trdnosti za mešanice A in B.....	38
Grafikon 11 : Rezultat meritev tlačne trdnosti za mešanice A in B .....	39

» Ta stran je namenoma prazna. «

## 1 UVOD

Skozi zgodovino smo ljudje gradili različne objekte, ki so olajšali življenje in delo. Tako so se gradila razna bivališča s spremljajočimi objekti, objekti za obrambo, infrastrukturni objekti, objekti za delo in zbirališča za verske obrede in izmenjavo dobrin. Materiali, tehnološki postopki in pristop h gradnji se v različnih področjih sveta razlikujejo in so predvsem odvisni od podnebnih, verskih, kulturnih in razvojno-ekonomskih dejavnikov. Prve objekte so naši predniki gradili iz lesa in neobdelanega kamnja, to je iz materialov, ki so jih našli v bližini svojih bivališč. Kasneje se pojavijo gradnje z uporabo konstrukcijskih elementov, kot so oboki, loki, stebri in podobno ter zidovi z obdelanim kamenjem in opeko. Za povezavo so uporabljali apneno malto in malto z modificiranim apnenim vezivom. Z razvojem kasnejših kulturnih obdobj se je spreminjal tudi način gradnje objektov. Tako ima vsako obdobje značilne arhitekturne elemente, oblike objektov in tehnologijo gradnje. Značilni objekti in njihova vsebina, tako ohranjeni kot tudi ostanki, iz teh zgodovinskih obdobj so pomemben del kulturne dediščine. Zgodovinske objekte pogosto imenujemo tudi stavbna dediščina. Zidovi stavbne dediščine v Sloveniji so večinoma zgrajeni iz kamna, opeke ali mešanice kamna in opeke. Na podeželju so stanovanjske in pomembne javne stavbe običajno zgrajene iz kamnja, v urbanih okoljih pa prevladujejo stavbe zgrajene iz opeke. Gradovi in cerkve so večinoma zgrajene iz kamna ali mešanice kamna in opeke [1]. Masivnejši kamniti zidovi so pogosto grajeni iz treh slojev, pri čemer sta zunanja sloja iz delno oblikovanih oz. klesanih ali lomljenih kamnov, vmesni sloj pa je zapolnjen z drobirjem ali manjšim kamenjem. Tanjši zidovi so običajno dvoslojni. Kot vezivo med posameznimi gradniki zidu se praviloma uporablja apnena malta [2].

S staranjem stavb se pojavljajo tudi spremljajoče poškodbe in propadanje gradbenih materialov. Razlogi za propadanje in poškodbe so v največji meri vremenski dejavniki, podnebne spremembe (velika temperaturna nihanja, spremembe v količini in intenziteti padavin, obsežne poplave, onesnaženost zraka,...) in mehanske poškodbe (potresi, posedki, plazovi in drugi premiki temeljnih tal, ki so posledica izbruhov ognjenikov ali eksplozij,...). Nemajhen vpliv imajo tudi nekvalitetni prvotno vgrajeni materiali (premalo žgana opeka,...), neustrezno načrtovani poznejši posegi v stavbo (zamenjava originalnih lesenih medetažnih konstrukcij z armiranobetonskimi, rušenje obstoječih in pozidava novih sten, uporaba neustreznih materialov, izvedba različnih instalacij...) in pomanjkljivo oz. nepravilno vzdrževanje stavbe. Najbolj izpostavljen stavbni sklop je ovoj zgradbe, ki ga tvorijo zid, kot nosilni element, in zunanji ter notranji omet.

Poškodbe in propadanje stavb preprečimo oz. omejimo s pravočasnim in ustreznim vzdrževanjem in obnovo. Obnovo konstrukcije stavbe izvedemo z utrjevanjem in/ali sanacijo stavbe. Utrjevanje pomeni, da s posebnimi tehničnimi ukrepi konstrukcijskemu sistemu povečamo nosilnost in če je možno tudi duktilnost, medtem ko sanacija predstavlja tiste posege v konstrukcijo stavbe, s katerimi

konstrukcijo popravimo oz. v konstrukciji vzpostavimo stanje, v katerem je bila pred nastankom poškodb [3]. Glavni pogoj za ustrezno in celovito načrtovanje in izvedbo posegov je čim bolj natančno ugotavljanje in vrednotenje stanja stavbe. Pri tem analiziramo zgodovino in tehnologijo gradnje, potek in vzroke nastanka poškodb ter mehansko-fizikalne lastnosti uporabljenih materialov. Za analizo uporabljamo razpoložljivo tehnično dokumentacijo in rezultate preiskav, tako konstrukcije kakor uporabljenih materialov [1]. Prav tako je pomembno, da poznamo sestave in mehansko-fizikalne lastnosti materialov (npr. injekcijske mešanice), ki jih v posegih uporabljamo. Zaradi veliko različnih zahtev, ki jih je ob posegih treba upoštevati, še posebej pri kulturno in zgodovinsko pomembnih stavbah, so posegi v konstrukcijo stavb vedno kompromis med načeli spomeniškega varstva, med inženirskimi zahtevami, razpoložljivimi tehnološkimi rešitvami ter ekonomskimi argumenti [3].

Za utrjevanje zidov se uporabljajo različne tehnike. Ena od najbolj poznanih je metoda sistematičnega injektiranja. Osnova sistematičnega injektiranja je vtiskovanje injekcijske mešanice (zmes vode, veziv, polnil in dodatkov) v delno votel zid. Po strditvi mešanice dosežemo ustrezno povezanost med posameznimi gradniki zidu (kamen, opečni zidaki) in ostalimi sloji zidu. Tako se zidovom oz. injektiranim elementom izboljša odpornost proti mehanskim obremenitvam, kar pomeni, da se stavba z injektiranimi zidovi bolje odziva na potresno obtežbo, kot stavba z neutrijevanimi zidovi. Sistematično injektiranje je poseg, pri katerem zunanost zidu ostane skoraj nespremenjena, mehanske lastnosti zidu pa se lahko zelo izboljšajo. Za konstruktivno injektiranje se najpogosteje uporabljajo apnene, cementne in kombinirane injekcijske mešanice. Obstajajo pa tudi cementne injekcijske pene in polimerne injekcijske mešanice. Vsaka injekcijska mešanica ima tako dobre kakor slabe strani. Tako so apnene injekcijske mešanice najbolj kompatibilne s prvotnim materialom starih zidov, kjer je kot vezivo uporabljena apnena malta. Apnene injekcijske mešanice imajo slabše mehanske lastnosti v primerjavi cementnimi, vendar se z njimi vseeno doseže homogenizacija zidu, ki vodi do izboljšanja mehanskih lastnosti zidu. Zaradi daljšega poteka karbonatizacije je naraščanje trdnostnih karakteristik mešanice počasnejše. Glavna prednost cementnih injekcijskih mešanic je hitro naraščanje trdnostnih karakteristik. Vendar cement kot vezivo, zaradi svoje kemijske sestave, ni najbolj kompatibilno z vezivi uporabljenimi pri večini objektov kulturne dediščine. Obstaja namreč možnost kemijske reakcije s prvotnimi materiali in posledičen nastanek škodljivih produktov. Dodatna pomanjkljivost je tudi možnost pojava kristalizacije soli na površini zidu. Kombinirane injekcijske mešanice so nastale z namenom odpraviti slabosti in izkoristiti dobre lastnosti apnenih oz. cementnih injekcijskih mešanic. Sestavljene so iz apna, cementa in mineralnih dodatkov ter polnil (npr. pucolani, apnenčeva moka,...). Kombinirane injekcijske mešanice predstavljajo ob upoštevanju ustreznih mešalnih razmerij alternativo klasičnim injekcijskim mešanicam [2].

V okviru diplomske naloge smo analizirali vpliv belega Portland cementa in njegovega deleža na lastnosti injekcijskih mešanic s kombiniranim apneno-cementnim vezivom. Deleže vode smo



zmanjševali s pomočjo superplastifikatorja. Kot polnilo je bila uporabljena apnenčeva moka. Glavne lastnosti, ki smo jih preverjali, so bile pretočnost, razlez, izločanje vode, vodozadržnost, krčenje ter tlačna in upogibna natezna trdnost. Preiskave so se izvajale v Konstrukcijsko-prometnem laboratoriju Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

## 2 SESTAVINE INJEKCIJSKE MEŠANICE

### 2.1 Voda

Za pripravo mešanice sem uporabil vodo iz mestnega vodovodnega omrežja. Temperatura vode ni bila merjena.

### 2.2 Veziva

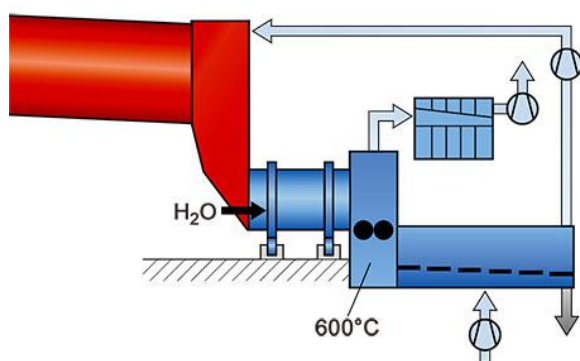
#### 2.2.1 Beli Portland cement

Beli Portland cement ima v bistvu enake lastnosti, kot običajni sivi Portland cement, razen barve. Sodi med hidravlična veziva, saj veže tako na zraku kakor tudi v vodi. Belina cementa je odvisna od surovin in procesa proizvodnje. Največji vpliv na barvo imajo kovinski oksidi, predvsem železa ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) in mangana ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ). Zaradi višje cene, ki izvira iz načina proizvodnje, se beli cement večinoma uporablja za prestižne konstrukcije in dekorativne elemente. Lahko ga tudi niansiramo z anorganskimi pigmenti in tako dobimo obarvane betone in malte.

Na barvo cementa imajo največji vpliv, po vrstnem redu, krom, mangan, železo, baker, vanadij, nikelj in titan. Da dobimo beli cement, morajo biti količine teh elementov v klinkerju, predvsem prvih treh, pod določeno mejo. Količina  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  mora biti pod 0,003%,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  pod 0,03% in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pod 0,35%. Količine ostalih elementov običajno niso problematične oz. nimajo bistvenega vpliva na barvo. Sivi Portland cement je običajno narejen iz surovin, ki vsebujejo velike količine Cr, Mn in Fe. Apnenec tako vsebuje običajno 0,3% - 1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , za izdelavo belega cementa pa ta oksid ne sme presežati 0,1%. Podobno je pri glinah, saj te običajno vsebujejo 5% - 15%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , zaželeno vrednost pa je pod 0,5%. Zaradi tega se apnenec koplje na nahajališčih, ki izpolnjujejo te pogoje, običajna glina pa se zamenja z belo glino oz. kaolinom. Kaolin vsebuje majhne količine  $\text{SiO}_2$ , zato je treba pri proizvodnji belega cementa dodajati kremenčev pesek. Železo in mangan se običajno v naravi pojavljata skupaj, zato velja, če je v surovinah malo železa, je tudi malo mangana. Vsebnost kroma v največji meri izvira iz uporabe drobilnih krogel iz jekla z dodanim kromom (zaradi večje odpornosti proti abraziji), ki se uporabljajo v mlinih ali drobilcih v cementarnah. Zmleti je treba tako surovine (predvsem veliko peska, ki je zelo abraziven) za proizvodnjo klinkerja kakor tudi klinker po izhodu iz rotacijske peči. Da se prepreči onesnaženje s kromom, se zato pri proizvodnji belega cementa v mlinih uporabljajo keramične krogle.

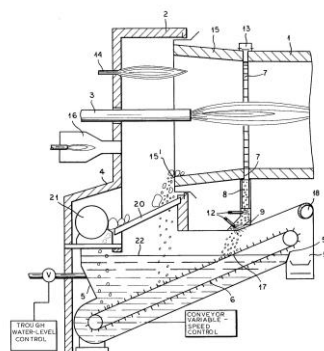
Zaradi kemičnih lastnosti surovine je potrebna temperatura v rotacijski peči (1450 - 1500°C) nekoliko višja od temperature, potrebne za izdelavo klinkerja za sivi cement (1400 - 1450°C). Nizke vsebnosti

železa in velika količina kremenčevega peska v surovini povzroči, da je za taljenje surovin potrebna višja temperatura, še posebej za proces sintranja. Ena od najpomembnejših stopenj pri proizvodnji belega cementa je izhod klinkerja iz rotacijske peči in njegovo hlajenje. Klinker za sivi cement hladimo z zunanjim zrakom, to pa ni možno pri klinkerju za beli cement, saj bi prišlo do oksidacije kovinskih elementov (predvsem železa), kar bi imelo zelo negativni vpliv na belino cementa. Da se prepreči nezaželena oksidacija, je klinker treba ohlajati v okolju brez kisika. To se običajno izvede v dveh korakih. V prvem koraku se klinker takoj po izhodu iz peči v nekaj sekundah ohladi pod  $600^{\circ}\text{C}$ , kar se izvede z pršenjem vode na klinker ali potapljanjem klinkerja v bazen s hladno vodo. V okolju, kjer se ta korak izvaja, mora biti vsebnost kisika kar se da majhna. Ta korak se imenuje tudi kaljenje. Po kaljenju se klinker transportira v druge prostore, kjer ga posušijo in dokončno ohladijo s pomočjo vpihovanja zraka. Klinker se deloma zdrobi na manjše frakcije že v prvem koraku in to zaradi hitrejšega in enakomernejšega ohlajanja, do dokončnega mletja pa pride po ohladitvi (končno mletje se lahko izvede tudi med prvim in drugim korakom). Ob mletju mu dodajajo tudi sadro, za dodatno belino in kontrolo vezanja. Finost mletja je običajno večja kot pri sivem Portland cementu, ker tudi ta vpliva na belino. Obstajajo tudi drugi načini ohlajanja klinkerja, vendar je vsem načinom skupno, da se ohlajanje izvaja v atmosferi brez kisika. V procesu izdelave belega cementa je treba posebno pozornost nameniti tudi transportu in shranjevanju (med posameznimi fazami), saj ne sme priti do onesnaženja z barvnimi elementi oz. snovmi [4-13].



Slika 1: Hlajenje klinkerja s pršenjem vode

(<http://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/de/produkte-loesungen/zement-industrie/klinkerherstellung/kuehlen/weisszementkuehler.html>)



Slika 2: Hlajenje klinkerja s potapljanjem v vodo

(<https://www.google.com/patents/US4461645>)

V mešanici sem uporabil bel Portland cement slovenskega dobavitelja z imenom: KEMAFIN CEMENT W, beli Portland cement CEM I 52,5 N(I).

## 2.2.2 Hidratizirano apno

Hidratizirano apno je gašeno apno s teoretično določeno količino potrebne vode (približno 33% mase živega apna). Sodi v skupino zračnih veziv, saj veže samo na zraku. Vezivo je praškaste oblike in se ob dodani vodi spremeni v apneno kašo [14].

Za izdelavo mešanice sem uporabil hidratizirano apno slovenskega proizvajalca Industrija apna Kresnice.

## 2.3 Polnilo

### 2.3.1 Kamena moka

Kamena moka je mineralno polnilo svetlo sive barve in praškaste oblike. Apnenčasta kamena moka, ki sem jo uporabil v mešanici, je stranski produkt drobljenja in sejanja apnenčaste kamnine z namenom pridobivanja agregata za betone. Pridobiva se s filtriranjem zraka, ki nosi praškaste delce, s pomočjo elektrostatičnih filtrov ali vrečastih filtrov. Zrnavostna sestava kamene moke ni bila merjena. Je pa bilo moč opaziti posamezne črne delce, velikosti približno 2-3 mm, katerih izvor ni poznan. Ti delci so bili opaženi na mrežici lijaka za merjenje pretočnih časov pri čiščenju merilne opreme. V kameni moki teh delcev s prostim očesom ni možno opaziti, saj jih praškasti delci povsem prekrijejo.



Slika 3: Delci v kameni moki

## 2.4 Dodatki

### 2.4.1 Superplastifikator PPh

Superplastifikator PPh (tudi Ph Superplastifikator) spada v skupino poli-fosfonatnih superplastifikatorjev. Spada tudi v t.i. skupino superplastifikatorjev novejših generacij, katere imenujemo tudi hiperplastifikatorji. Po obliki je tekoč, majhne viskoznosti, prozoren, brez izrazitega vonja in svetle rumeno-rjave barve. Plastifikatorje, superplastifikatorje in hiperplastifikatorje dodajamo mešanici z namenom zmanjšanja količine zamesne vode ob nespremenjeni obdelavnosti mešanice, izboljšanja obdelavnosti mešanice ob nespremenjeni količini zamesne vode in podaljšanja časa obdelavnosti mešanice. Največji učinek imajo hiperplastifikatorji. Razlika v učinku med superplastifikatorji in hiperplastifikatorji izvira iz različnih kemijskih sestavin. Hiperplastifikator je površinsko aktivna snov, ki se adsorbira na površino cementnih zrn in povzroči disperzijo teh z električnim in steričnim (prostorskim) odbojem, z razliko od superplastifikatorja, katerega sestavine omogočajo disperzijo samo z električnim odbojem. Prostorski odboj ima veliko večji in daljši učinek kot električni odboj. Pri električnem odboju se cementna zrna, zaradi elektrostatičnega naboja, medsebojno odbijajo in se enakomerno dispergirajo v mešanici, ki se posledično utekočini. Zaradi procesa hidratacije začnejo na površini cementnih zrn rasti različni kristali, ki se medsebojno prepletajo, s tem pa onemogočijo nadaljnji učinek dodatka. Ko imamo tudi prostorski odboj, pa prihaja do odboja in s tem preprečenega združevanja tudi delno hidratiziranih cementnih delcev. Učinek hiperplastifikatorja ni odvisen samo od količine tega, temveč tudi od lastnosti drugih sestavin mešanice in kompatibilnosti teh s hiperplastifikatorjem. Količinsko lahko dodajamo hiperplastifikator samo do neke meje. Ko dosežemo to mejo, nadaljnje dodajanje ne poveča učinka oziroma lahko vodi ob predoziranju celo do poslabšanja lastnosti tako sveže kakor tudi strjene mešanice [15].

Za izdelavo mešanice sem uporabil PPh superplastifikator SUPLA P 161.

### 3 SESTAVA INJEKCIJSKE MEŠANICE

#### 3.1 Suhe sestavine

Sestavine in masne deleže suhih injekcijskih mešanic A sem prevzel iz diplomske naloge Lucije Stermšek [16]. V njej Lucija Stermšek preizkuša tudi apneno-cementno mešanico z oznako D, ki je narejena z običajnim (sivim) Portland cementom. Prostorninsko razmerje, ki ga navaja, je 30% apna in 70% cementa glede na prostornino veziva. Pri mojih mešanicah A je prostorninsko razmerje 32,4% apna in 67,6% belega cementa. Vzrok razlike so verjetno različne vrednosti gostot delcev apna in cementa. Le teh nisem meril, temveč sem upošteval povprečne vrednosti za posamezne sestavine. Prostorninski deleži sestavin so bili izračunani na podlagi gostot delcev.

Suhe sestavine injekcijskih mešanic B se od mešanic A razlikujejo samo v obrnjenem prostorninskem razmerju med apnom in belim cementom. Prostorninsko razmerje je tako 67,6% apna in 32,4% belega cementa. Pri tem bi rad omenil, da je tako masni kot prostorninski delež belega cementa glede na skupno maso oziroma prostornino pri tej sestavi majhen. Suhe sestavine injekcijskih mešanic A so podane v preglednici 1, suhe sestavine injekcijskih mešanic B pa v preglednici 2.

Preglednica 1: Suhe sestavine injekcijskih mešanic A

MEŠANICE A							
Sestavina	Gostota delcev [g/cm <sup>3</sup> ]	Masa [g]	Masni deleži (glede na skupno maso) [%]	Masni deleži (glede na maso apna in cementa) [%]	Prostornina [cm <sup>3</sup> ]	Prostorninski deleži (glede na skupno prostornino) [%]	Prostorninski deleži (glede na prostornino apna in cementa) [%]
hidratizirano apno	2,28	252	6,3	26,69	110,52	7,61	32,4
beli cement	3,00	692	17,3	73,31	230,66	15,88	67,6
kamena moka	2,75	3056	76,4		1111,27	76,51	

Preglednica 2: Suhe sestavine injekcijskih mešanic B

MEŠANICE B							
------------	--	--	--	--	--	--	--

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 2

Sestavina	Gostota delcev [g/cm <sup>3</sup> ]	Masa [g]	Masni deleži (glede na skupno maso) [%]	Masni deleži (glede na maso apna in cementa) [%]	Prostornina [cm <sup>3</sup> ]	Prostorninski deleži (glede na skupno prostornino) [%]	Prostorninski deleži (glede na prostornino apna in cementa) [%]
apno	2,28	524	13,40	61,36	229,82	15,84	67,6
beli cement	3,00	330	8,44	38,64	110,00	7,58	32,4
kamena moka	2,75	3056	78,16		1111,27	76,58	

### 3.2 Potreba po vodi

Količino vode, ki jo dodamo mešanici, običajno definiramo kot vodovezivno razmerje (v/v), ki pomeni razmerje med maso dodane vode in maso veziva. Ker gre pri injekcijskih mešanicah za mešanice, ki lahko vsebujejo kombinacijo več vrst veziv (hidravlična, nehidravlična) kakor tudi različna polnila in dodatke, je v tem primeru bolje uporabiti izraz »potreba po vodi«. Izraz pomeni količino dodane vode, ki jo mešanica potrebuje, da zadosti izbranim kriterijem. Označimo ga kot (v/m), ki pomeni razmerje dodane vode in vseh ostalih (suhih) sestavin mešanice (veziv, polnil, dodatkov). Potreba po vodi za injekcijske mešanice A in B, je podana v preglednici 3.

Preglednica 3 : Potreba po vodi za mešanice A in B

Meša- nica	v/m	masa vode [g]	masa suhih sestavlin [g]
A 1	0,375	1500	4000
A 2	0,375	1500	4000
A 3	0,3	1200	4000
A 4	0,25	1000	4000
A 5	0,25	1000	4000
A 6	0,25	1000	4000
A 7	0,25	1000	4000
B 1	0,38	1500	3910
B 2	0,41	1600	3910
B 3	0,38	1500	3910
B 4	0,31	1200	3910
B 5	0,31	1200	3910
B 6	0,26	1000	3910
B 7	0,26	1000	3910

### 3.3 Dodajanje superplastifikatorja PPh

Količina vode, ki je dodamo mešanici, mora zagotoviti ustrezno pretočnost in injektabilnost mešanice. Pri tem moramo paziti, da količina ni prevelika, saj prevelika količina vode poslabša mehanske lastnosti mešanice, poleg tega pa se lahko v mešanici pojavi prevelika segregacija. Zato potrebo po vodi zmanjšamo z dodajanjem plastifikatorjev, superplastifikatorjev in hiperplastifikatorjev. Običajno omenjene dodatke dodajamo mešanici v % - ih glede na maso veziva. Ker pa omenjeni dodatki delujejo oz. imajo vpliv pogosto tudi na fine delce polnila, sem vsebnost superplastifikatorja PPh računal v % - ih glede na maso veziva in polnila t.j. na celotno maso suhe snovi. Vsebnost uporabljenega superplastifikatorja v injekcijskih mešanicah A in B podaja preglednica 4.

Preglednica 4 : Količine superplastifikatorja PPh za mešanice A in B

Meša-nica	PPh [%]	masa PPh [g]	masa suhih sestavin [g]
A 1	0	0	4000
A 2	0,25	10	4000
A 3	0,25	10	4000
A 4	0,5	20	4000
A 5	0,75	30	4000
A 6	0,625	25	4000
A 7	0,5625	22,5	4000
B 1	0	0	3910
B 2	0	0	3910
B 3	0,25	9,775	3910
B 4	0,25	9,775	3910
B 5	0,5	19,55	3910
B 6	0,5	19,55	3910
B 7	0,75	29,325	3910



## 4 OPISI PREISKAV INJEKCIJSKE MEŠANICE

### 4.1 Standardne preiskave

#### 4.1.1 Izločanje vode

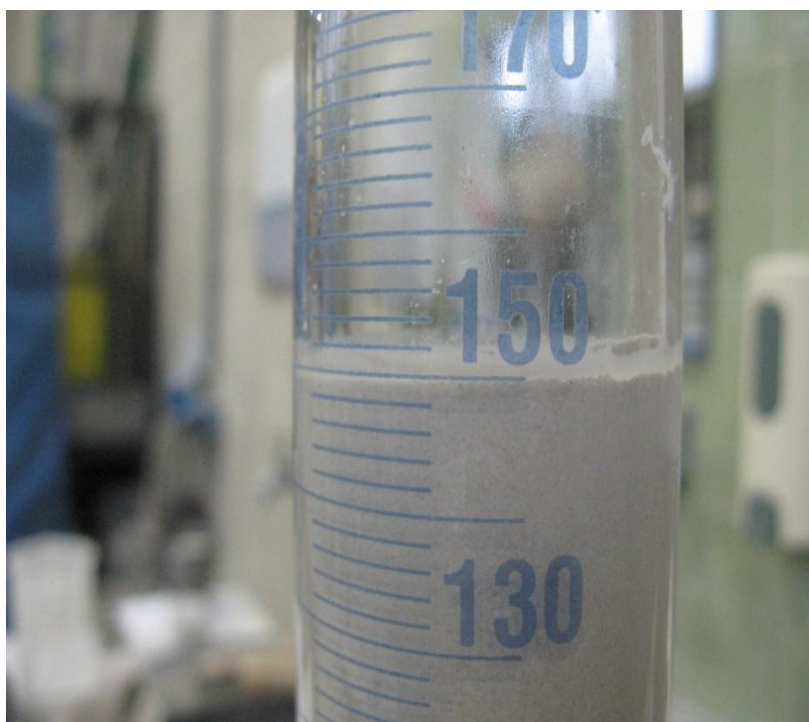
Meritve izločanja vode sem izvedel v skladu s standardom SIST EN 445:2008 [17], z določenimi modifikacijami. Za meritev sem uporabil prozorni merilni valj prostornine 250 ml, premera 35 mm in višine 300 mm. Vanj vlijemo približno 150 ml mešanice ter preprečimo izhlapevanje. Valj postavimo na površino brez vibracij in možnosti udarcev. Po poteku 3 ur na merilni skali odčitamo količino vode (pri čemer zanemarimo meniskus), ki se je izločila iz injekcijske mešanice (slika 4). Izločanje vode izračunamo po enačbi:

$$\frac{v_1}{v} * 100 \% \quad (3.1)$$

kjer je:

$v_1$ ...prostornina vode [ml], ki se je izločila nad mešanico

$v$ ... prostornina mešanice [ml]



Slika 4: Test izločanja vode

#### 4.1.2 Meritev pretočnosti

Meritev časa pretočnosti (slika 5) sem izvedel v skladu s standardom SIST EN 445:2008 [17]. Pri tem potrebujemo lijak standardnih dimenzij, ki ima prostornino 1,7 litra  $\pm$  10% in je pritrjen na ustrezen podstavek. Na vrhu lijaka mora biti postavljena odstranljiva mrežica z rastrom 1,5 mm, skozi katero nalivamo mešanico. Dodatno potrebujemo še štoparico in merilno posodo z oznako pri prostornini enega litra. Za meritev je treba lijak najprej rahlo navlažiti. Nato zapremo spodnjo odprtino (običajno s prstom) ter skozi mrežico počasi nalijemo mešanico do roba konusa lijaka tako, da je konusni del lijaka popolnoma poln. Pod lijak postavimo merilno posodo, odpremo spodnjo odprtino in začnemo meriti čas, ki je potreben, da 1 liter mešanice steče skozi spodnjo odprtino lijaka. Opravimo dve meritvi za vsako sestavo. Prvo takoj po zamešanju mešanice, drugo pa 30 min kasneje. V vmesnem času mešanico vsake toliko časa premešamo.



Slika 5: Preiskava pretočnosti

#### 4.1.3 Meritev vodozadržnosti

Meritev vodozadržnosti mešanice oziroma meritev relativne izgube vode izvedemo po standardu PSIST prEN 1015-8:2001 (slika 6) [18]. Za meritev potrebujemo vsaj 1,5 l mešanice, pri čemer preiskavo izvajamo na dveh vzorcih. S preiskavo začnemo 15 s po zamešanju mešanice. Sam sem preiskavo izvedel na enem vzorcu in cca. 15 min. po zamešanju. Takoj po zamešanju sem namreč najprej izvedel test pretočnosti, za njim pa meritev vodozadržnosti. Meritev izvedemo tako, da najprej stehamo suh kalup predpisanih dimenzij ( $m_1$ ) in suh filtrski papir ( $m_2$ ). Kalup napolnimo z mešanico

in ponovno stehtamo ( $m_3$ ). Nato vzorec mešanice prekrijemo z gazo, na gazo položimo filtrski papir ter čezenj postavimo še ravno ploščo (npr. plastično) nekoliko širših dimenzij, kot je kalup. Vse skupaj obrnemo, položimo na ravno in mirno podlago ter na kalup postavimo utež. Po poteku 5 min.  $\pm$  10 s kalup razbremenimo, obrnemo in stehtamo moker filtrski papir ( $m_4$ ). V primeru, da je razlika med mokrim in suhim filtrskim papirjem ( $W_3$ ) večja od 10 g, je potrebno preiskavo ponoviti z večjim številom filtrov. V mojem primeru sem uporabil 8 filtrskih papirjev. Vodozadržnost ( $WRV$ ) oz. relativna izguba vode se izračuna s pomočjo naslednjih enačb:

$$\text{vsebnost vode v mešanici:} \quad W_2 = m_5 * W_1 \quad (3.2)$$

$$\text{masa mešanice:} \quad m_5 = m_3 - m_1 \quad (3.3)$$

$$\text{masa absorbirane vode:} \quad W_3 = m_4 - m_2 \quad (3.4)$$

$$\text{relativna izguba vode:} \quad W_4 = W_3 / W_2 * 100\% \quad (3.5)$$

$$\text{vodozadržnost:} \quad WRV = 100 - W_4\% \quad (3.6)$$

kjer je:

$m_1$  ...masa suhega kalupa [g]

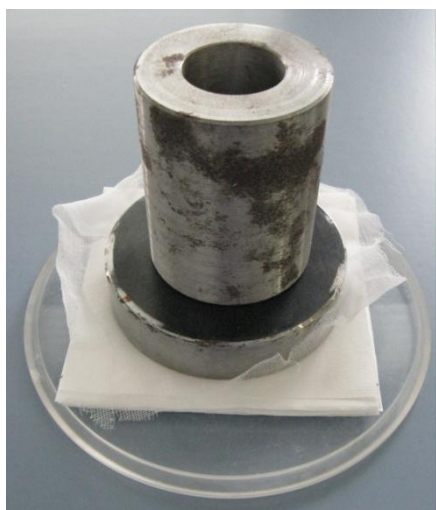
$m_2$  ...masa suhega filtrskega papirja [g]

$m_3$  ...masa kalupa skupaj z mešanico [g]

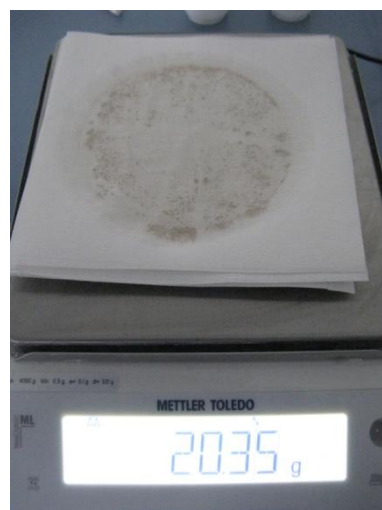
$m_4$  ...masa z vodo prepojenega filtrskega papirja [g]

$m_5$  ...masa mešanice brez kalupa [g]

$W_1$  ...delež vode v mešanici ( razmerje v/m)



a) obtežitev kalupa z mešanico



b) tehtanje nasičenega filtrskega papirja

Slika 6: Meritev vodozadržnosti

#### 4.1.4 Določitev konsistence oz. meritev razleza

Določitev konsistence sveže mešanice sem izvedel z meritvijo razleza po standardu SIST EN 1015-3:1999 [19], z določenimi modifikacijami (slika 7). Za preiskavo sem uporabil stresalno mizo za beton dimenzij 700 \* 700 mm. Na mizo sem položil predpisan prisekan stožec v katerega sem nalil injekcijsko mešanico. Stožec sem nato hitro in kar se da navpično dvignil ter pustil, da se mešanica razleže po površini mize. Ker so bile preizkušene mešanice zelo tekoče, mize nisem stresal. Premer razlezene mešanice izmerimo v dveh pravokotnih smereh, pri čemer je rezultat povprečna vrednost obeh meritev. Razlez izračunamo po enačbi :

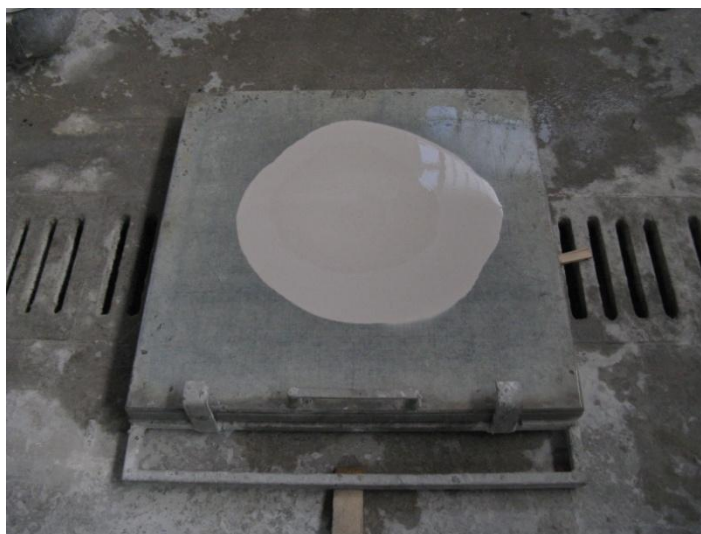
$$d = (d_1 + d_2)/2 \quad (3.7)$$

kjer je :

$d$ ...povprečna vrednost razleza [mm]

$d_1$ ...meritev razleza po prvi pravokotni smeri [mm]

$d_2$ ...meritev razleza po drugi pravokotni smeri [mm]



Slika 7: Meritev razleza

#### 4.1.5 Določitev prostorninske mase sveže mešanice

Prostorninsko maso sveže mešanice sem določil skladno s standardom SIST EN 1015-6: 1999 [20]. Za meritev potrebujemo predpisano cilindrično posodo, ki ima notranji premer 125 mm in prostornino 1 l. Najprej stehamo prazno posodo. Nato posodo napolnimo s svežo mešanico in porežemo višek mešanice. Ker so bile mešanice zelo tekoče, se je pri tem nekaj mešanice prelilo oz. pocedilo po zunanji steni posode. Prelito oz. pocejeno mešanico je treba odstraniti. Napolnjeno, porezano in

očiščeno posodo položimo na tehtnico in izmerimo maso. Prostorninsko maso sveže mešanice izračunamo po enačbi:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_v} \quad (3.8)$$

kjer je:

$\rho_m$ ...prostorninska masa sveže mešanice [kg/m<sup>3</sup>]

$m_1$ ...masa prazne posode [g]

$m_2$ ...masa posode z mešanico [g]

$V_v$ ...prostornina posode [l]

#### 4.1.6 Določitev prostorninske mase strjene mešanice

Določitev prostorninske mase strjene mešanice sem izvedel na podlagi meritev mase in dimenzij, merjenih s kljunastim merilom, na prizmah starih 28 dni. Na podlagi dobljenih rezultatov in v skladu s standardom SIST EN 1015-10:2001/A1:2007 [21] sem prostorninsko maso strjene mešanice določil z enačbo:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.9)$$

kjer je:

$\rho$ ...prostorninska masa prizme [kg]

$m$ ...masa prizme [kg]

$V$ ... prostornina prizme [m<sup>3</sup>]

#### 4.1.7 Določitev upogibne natezne trdnosti strjene mešanice

Upogibno natezno trdnost strjene mešanice sem določil na 28 dneh starih prizmah, nazivnih velikosti 4/4/16 cm. Dejanske dimenzije so bile izmerjene s kljunastim merilom. Upogibna trdnost se je določila s pomočjo tritočkovega preizkusa in skladno s standardom SIST EN 1015-11:2001 [22]. Pri preizkusu smo izmerili maksimalno silo  $F$ , pri kateri je prišlo do porušitve preizkušanca. Upogibno natezno trdnost določimo z enačbo:

$$f_t = \frac{1,5 F l}{b d^2} \quad (3.10)$$

kjer je:

$f_t$ ...upogibna natezna trdnost preizkušanca [MPa]

$F$ ...dosežena sila pri poružitvi preizkušanca [N]

$l$ ...razdalja med podporami [mm]

$b$ ...širina preizkušanca [mm]

$d$ ...višina preizkušanca [mm]

#### 4.1.8 Določitev tlačne trdnosti strjene mešanice

Tlačno trdnost strjene mešanice smo določili z enoosno tlačno preiskavo (slika 8) in skladno s standardom SIST EN 1015-11:2001 [22]. Za preizkus so bile uporabljene polovičke prizem, vstavljene med dve jekleni ploščici dimenzij 40/40/10 mm. Polovičke prizem so ostale od preizkusa upogibne natezne trdnosti. Tlačno trdnost preizkušanca se izračuna po enačbi:

$$f_c = \frac{F}{a^2} \quad (3.11)$$

kjer je:

$f_c$ ...tlačna trdnost preizkušanca [MPa]

$F$ ... dosežena sila pri poružitvi preizkušanca [N]

$a$ ...širina preizkušanca [mm]



Slika 8: Preiskava tlačne trdnosti

## 4.2 Nestandardne preiskave

### 4.2.1 Krčenje mešanice po 24-tih urah

Meritev krčenja mešanice po 24-tih urah sem izvedel s pomočjo plastičnih posodic, premera 75 mm in prostornine 130,95 cm<sup>3</sup>. Posodice so v bistvu »slepi« kosi cevi za hišno kanalizacijo. V tri posodice



sem nalil svežo mešanico, porezal višek mešanice ter jih pustil 24 ur na sobni temperaturi. Po 24-tih urah sem s posodic odstranil zasušeno prelito mešanico (slika 9) ter stehtal maso posodice z vzorcem mešanice. Nato sem nad injekcijsko mešanico, ki se je skrčila, nasul fin kremenčev pesek z znano prostorninsko maso v nasutem stanju in porezal višek peska tako, da je bila zgornja površina v nivoju zgornjega roba posodic. Nato sem s čopičem odstranil še pesek s spodnjega roba posodice. Tako pripravljen vzorec sem ponovno stehtal. Iz razlike obeh tehtanj sem dobil maso nasutega peska. Krčenje izračunamo s pomočjo enačb:

$$\text{masa nasutega peska:} \quad m = m_2 - m_1 \quad (3.12)$$

$$\text{volumen peska :} \quad V_p = \frac{m}{\rho} \quad (3.13)$$

$$\text{krčenje:} \quad \Delta V = \frac{V_p}{V} * 100\% \quad (3.14)$$

kjer je:

$m_1$ ...masa posodice z vzorcem mešanice [g]

$m_2$ ...masa posodice z vzorcem mešanice in nasutim peskom [g]

$\rho$ ...prostorninska masa peska v nasutem stanju [g/cm<sup>3</sup>]

$V$ ...prostornina posodice oz. začetna prostornina mešanice [cm<sup>3</sup>]

$\Delta V$ ...sprememba prostornine zaradi krčenja mešanice [%]

Za preiskavo so bili pripravljene trije vzorci za vsako mešanico, na vsakem vzorcu sem meritev ponovil trikrat.



Slika 9: Vzorci mešanice pripravljene na meritev krčenja po 24-ih urah

#### 4.2.2 Krčenje mešanice po 28-tih dneh

Meritev krčenja mešanice po 28-tih dneh sem izvedel z meritvijo prostornine treh prizem, ki so bile pripravljene za določitev upogibne natezne trdnosti in tlačne trdnosti. Prizme so bile razkalupljene 24 ur po zamešanju mešanice. Dimenzije (dolžino, višino in širino) skrčenih prizem sem izmeril s pomočjo kljunastega merila. Za izračun začetne prostornine sem privzel nazivne dimenzije kalupa t.j. 4/4/16 cm. Krčenje oz. spremembo prostornine sem določil po enačbi:

$$\Delta V = \frac{V_z - V_k}{V_z} * 100\% \quad (3.15)$$

kjer je:

$\Delta V$ ...sprememba prostornine zaradi krčenja [%]

$V_z$  ...začetna prostornina oz. prostornina kalupa

$V_k$ ...prostornina prizme pri meritvi krčenja oz. končna prostornina

#### 4.2.3 Stopnja karbonatizacije strjene mešanice

Stopnjo karbonatizacije sem preverjal na površini preloma razpolovljenih prizem, po opravljeni preiskavi upogibne natezne trdnosti. Starost prizem je bila 28 dni. Test sem izvedel s fenoltaleinskim indikatorjem. Na prelomljeno površino preizkušanca napršimo indikator in kjer apno še ni karbonatizirano se površina obarva vijoličasto, karbonatiziran del pa ostane bel.

#### 4.3 Potek preiskav

Preiskave sem naredil na dveh skupinah mešanic. Mešanice A so imele prostorninsko razmerje 32,4% apna in 67,6% belega Portland cementa glede na prostornino veziva, mešanice B pa 67,6% apna in 32,4% belega Portland cementa. Obe skupini mešanic sta bili zamešani v sedmih različicah, katere se med seboj razlikujejo po različnih količinah zamesne vode in superplastifikatorja PPh. Namen preiskav je bil sestaviti mešanico, ki ima najmanjšo možno količino zamesne vode ob hkrati še sprejemljivih lastnostih v svežem stanju. Pri mešanicah A sem preverjal tudi, kakšna je ponovljivost rezultatov preiskav, če posamezno različico mešanice ponovno zamešamo. Zato so bile vse različice mešanic A (razen različice A5, ki že pri prvem zamešanju ni imela ustreznih lastnosti) po prvi seriji mešanj, zamešane še dvakrat. Za mešanice B so bile preiskave narejene samo za eno serijo posameznih različic. Prvotni namen je namreč bil opraviti preiskave samo na skupini mešanic A. Ker pa me je zanimalo, kašni bi bili rezultati preiskav, če bi v mešanicah A zamenjal delež belega cementa in apna, sem zamešal in preiskal še mešanice B. Potek preiskave je bil sledeč:



- **Priprava merilne opreme:** ker so bile vse preiskave izvedene na isti mešanici, je bilo potrebno preiskave narediti v čim krajšem času. Zato sem najprej pripravil in preveril vso opremo in pripomočke, ki so bili potrebni za izdelavo in preiskavo mešanice.
- **Odmerjanje sestavin mešanice:** vse suhe sestavine so bile po tehtanju stresene na kovinski pladenj. Zamesna voda je bila odmerjena s pomočjo tehtanja in pripravljena v dveh posodah, zaradi dodajanja vode v dveh korakih. Superplastifikator PPh sem odmeril s pomočjo visoko natančne tehtnice, ker je bila dodana količina zelo majhna.
- **Mešanje mešanice:** Mojmir Uranjek navaja, da več raziskovalcev omenja, da na lastnosti injekcijskih mešanic vpliva tudi mešanje [2]. Način mešanja vpliva na pretočnost (s tem tudi na sposobnost injektiranja), poleg tega pa tudi na segregacijo, zadrževanje vode in čas obdelavnosti. V večini primerov so avtorji uporabili hitre mešalnike z več tisoč obrati na minuto, naprave za tako imenovano ultrazvočno mešanje ter več minutne čase mešanja. Ugotovljen je bil tudi ugoden vpliv dodajanja vode v dveh korakih [23]. Tudi sam sem imel s postopkom mešanja težave. Pri tem bi omenil, da je verjetno težko sestaviti enoten postopek mešanja, ki bi bil uporaben za vse injekcijske mešanice. Injekcijske mešanice so sestavljene iz več sestavin, ki imajo različen vpliv ena na drugo. Ta vpliv pa se spreminja tako s številom sestavin, količino posamezne sestavine in časom, ko posamezna sestavina začne vplivati na druge (npr. superplastifikator PPh v mojem primeru). Poleg tega se za mešanje uporabljajo različni mešalci. Zaradi tega bi bilo priporočljivo, da se pred nadaljnjimi preiskavami mešanice, mešanico nekajkrat preizkusno zameša. S tem bi preverili ustreznost mešanja in naredili morebitne korekcije. Končni postopek natančno opišemo. Sam sem najbolj zadovoljivo mešanje ugotovil po postopku, opisanem v nadaljevanju. Najprej sem v mešalcu kar se da dobro premešal suhe sestavine in nato mešalec oz. mešalno posodo izpraznil. Nato sem v mešalec nalil prvo količino zamesne vode (in superplastifikatorja PPh, če je bil predviden), vključil mešalec in štoparico ter začel z vsipanjem suhih snovi v mešalec. Po določenem času sem dodal še drugo količino zamesne vode. Po drugem dodajanju vode sem s pogledom spremljal razvoj izgleda mešanice v mešalni posodi. Ko se izgled ni več spreminjal, sem zaustavil štoparico in tako dobil potrebni čas mešanja. Za konec sem dodal še nekaj minutno mešanje na višji hitrosti, v smislu čim bolj turbulentnega mešanja. Tako med suhim, kakor tudi med mokrim mešanjem sem mešalec večkrat ustavil (tudi štoparico) in z veliko žlico podrsal po ostenju mešalne posode (z vrha proti dnu) ter z žlico zajemal mešanico z dna posode. Na ta način sem ugotavljal morebitno lepljenje mešanice na stene posode, segregacijo mešanice in enakomernost mešanja. Metoda kontrole z žlico se je izkazala za zelo koristno. Za mešanje sem uporabil specialni mešalec RILEM-CEN. Mešalec vrti mešalno lopatko okoli njene vertikalne osi in jo istočasno obrača okoli svoje pogonske osi. Možni sta dve hitrosti mešanja. Prva hitrost ima  $140 \pm 5$  obratov (na minuto) okoli lastne osi in  $62 \pm 5$  obratov okoli pogonske osi. Druga hitrost pa ima  $285 \pm 10$  obratov okoli lastne osi in  $125 \pm 10$  obratov okoli

pogonske osi. Prvo zamešanje mešanice, ki je vsebovala tudi superplastifikator PPh, sem izvedel po postopku, ki je predpisan za mešanje plastične cementne malte po standardu SIST EN 196-1. V mešalno posodo damo najprej vodo (v mojem primeru tudi PPh), nato dodamo cement (v mojem primeru hidratizirano apno in beli Portland cement). Vključimo mešalec in mešamo s prvo hitrostjo 30 sekund. V naslednjih 30 sekundah dodamo standardni pesek (v mojem primeru kameno moko) nato pa mešalec preklopimo na drugo hitrost in mešamo še 30 sekund. Nato naredimo 90 sekundni premor ob tem, da je potrebno v prvih 15 sekundah premora, z ustrezno lopatico, zbrati malto, ki je ostala prilepljena na stene mešalne posode in jo vrniti k ostali malti v sredini posode. Po premoru nadaljujemo z mešanjem z drugo hitrostjo še 60 sekund [24]. Že prva opazovanja zamešane mešanice (mešanica A) so dala slutiti, da mešanje ni ustrezno. Pri odstranjevanju sloja mešanice, ki se je prilepil na stene posode, je bilo opaziti, da je sloj pod omočeno vrhno površino skoraj povsem suh in ni premešan. Ob zajemanju mešanice z dna posode (z žlico) je bilo opaziti veliko segregacijo mešanice na dnu posode. Možno je tudi, da je bil ta gosti sloj posledica ne dovolj učinkovitega mešanja. V sredini mešalne posode, tam, kjer je območje dosega mešalne lopatke, je bila mešanica zelo tekoča. Tudi test pretočnosti je pokazal nelogične rezultate. Čas pretočnosti takoj po zamešanju (122 sekund) je bil bistveno večji od časa pretočnosti po 30 minutah (101 sekunda). Ker sem želel znižati pretočne čase (količina vode v mešanici je bila 800 g, vsebnost PPh 57,2 g), sem mešanici postopoma, v več korakih, dodajal vodo, hkrati pa ob vsakem dodajanju vode mešanico mešal še dve minuti. Po vsakem dodajanju sem izvedel še test pretočnosti. Vso mešanico, ki sem jo rabil za test pretočnosti, sem po testu vrnil v mešalno posodo k ostali mešanici. Izkazalo se je, sicer pričakovano, da so se časi pretočnosti zmanjšali, vendar se je tudi razlika med obema časoma pretočnosti skoraj izničila. Dobljeni rezultati so nakazovali na to, da je treba spremeniti način mešanja, predvsem enakomernost mešanja vseh sestavin in podaljšati čas mešanja. Obstajal je tudi sum, da je za neustrezno mešanje kriv superplastifikator PPh, oz njegova nekompatibilnost z belim cementom. Zato sem se odločil, da prvo mešanico za preiskavo, ki sem jo zamešal s korigiranim postopkom mešanja, zamešam brez dodanega PPh, le tega pa v primeru ugodnih rezultatov dodam v kasnejših mešanjih. Prvi mešanici je bilo potrebno določiti tudi ustrezno količino zamesne vode. Količino sem določil tako, da sem najprej zamešal mešanico z določeno manjšo količino vode. Ker je že na pogled bilo videti, da mešanica ni dovolj tekoča, sem v korakih, ob sprotne mešanju, dodajal vodo. Ko je mešanica bila na pogled dovolj tekoča sem izmeril čas pretočnosti takoj po zamešanju. Za cilj sem vzel čas približno 15 sekund. Ker nisem dosegel zastavljenega časa pretočnosti, sem s postopkom dodajanja vode in meritvijo časa pretočnosti nadaljeval, dokler nisem dosegel ustreznega časa. Po vsaki meritvi pretočnosti sem testni del mešanice vrnil v mešalno posodo. Ob samem mešanju sem meril tudi sam čas mešanja, opazoval spreminjanje izgleda mešanice ter večkrat ustavil mešalec, da sem z žlico kontroliral ustreznost mešanja. Na

podlagi rezultatov in izkušenj, ki sem jih pridobil ob poizkusih ugotoviti ustrezen postopek mešanja, ter na začetku navedene literature, je končni postopek mešanja za preiskovane mešanice sledeč:

- v popolnoma suho mešalno posodo stresemo suhe sestavine ter jih nekoliko premešamo z žlico. Posodo postavimo v mešalec in suhe sestavine mešamo na I hitrosti 1 minuto. Nato ustavimo mešalec, odstranimo posodo in z žlico preverimo enakomernost mešanja. Z žlico še dodatno premešamo mešanico tako, da sloj ob stenah posode odstranimo in ga vrnemo v sredino posode, podobno tudi z mešanico na dnu posode. Po preverjanju, mešanico na I hitrosti mešamo še 1 minuto ter še enkrat preverimo enakomernost mešanja. Po suhem mešanju mešanico pretresemo na kovinski pladenj.
- v prazno mešalno posodo vlijemo prvo količino zamesne vode (  $\frac{17}{24}$  vode ) in superplastifikator PPh, če je predviden. Pri tem vodo vlivamo v kozarec s PPh tako, da se voda prelije iz kozarca v mešalno posodo. S tem dosežemo, da se vsa pripravljena količina PPh doda vodi. Posodo postavimo v mešalec in mešamo na I hitrosti 30 sekund.
- ob delujočem mešalcu z mešanjem nadaljujemo še 2 minuti, pri tem pa v prvih 40 sekundah dodamo suhe sestavine. Mešanje nato prekinemo in z žlico preverimo enakomernost mešanja in odstranimo mešanico, ki se je morebiti prilepila na stene oziroma dno mešalne posode in jo vrnemo v sredino posode. Po prekinitvi nadaljujemo z mešanjem še 2 minuti in ponovno preverimo enakomernost mešanja in ponovno odstranjevanje prilepljene mešanice, če je potrebno.
- z mešanjem na I hitrosti nadaljujemo še 2 minuti, pri tem pa v prvih 30 sekundah dodamo še preostalo zamesno vodo. Po 1 minuti in po koncu mešanja, ob zaustavljenem mešalcu, ponovno preverimo enakomernost mešanja
- sledi končno, turbolentno mešanje. Mešanico mešamo na II hitrosti še 10 minut. Po prvih 5 minutah in po koncu mešanja preverimo enakomernost mešanja.

Pri vsakem preverjanju enakomernosti mešanja (slika 10) je potrebno posebno pozornost nameniti temu, da z žlico kar se da dobro zajamemo mešanico na dnu posode ter jo dvignemo iz mešanice in da ob tem z žlico drsamo ob stenah posode. Pri tem postopku praktično takoj začutimo oz. vidimo, če je določen sloj mešanice gostejši od preostalega sloja mešanice, kar nakazuje na segregacijo ali slabo premešano mešanico.



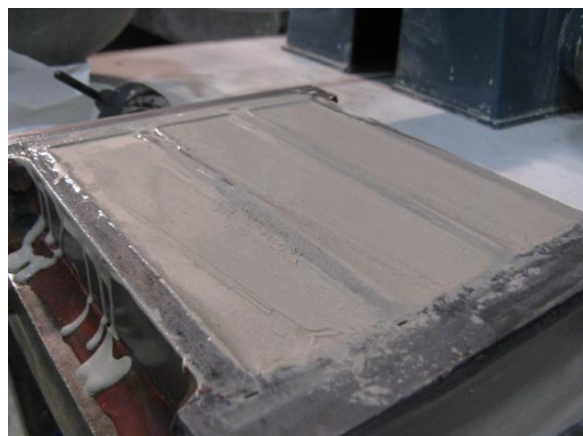
Slika 10: Preverjanje enakomernosti mešanja

- **Meritev časa pretočnosti po zamešanju:** takoj po zamešanju mešanice sem izvedel meritev pretočnosti. Potrebno količino mešanice sem direktno iz mešalne posode, preko priložene mrežice, prelil v merilni konus. Količino mešanice (1 l), ki je iztekla in je bila potrebna za meritev, sem uporabil za nadaljnje preiskave, višek mešanice, ki je ostala v merilnem konusu, pa sem iztočil nazaj v mešalno posodo. Posodo sem nato postavil na mirno mesto, pokril s ploščo stiroporja in tako mešanico zaščitil pred izhlapevanjem.
- **Meritev izločanja vode:** z mešanico, ki je ostala v merilni posodi, po opravljeni meritvi časa pretočnosti po zamešanju, sem napolnil merilni valj, mešanico zaščitil pred izhlapevanjem (vrh valja sem zaprl z odrezanim prstom lateks rokavice) in valj postavil na mirno mesto.
- **Meritev sposobnosti zadrževanja vode:** meritev je praviloma potrebno izvesti takoj po zamešanju. Ker sem dal prednost meritvi pretočnega časa, sem meritev vodozadržnosti izvedel približno 15 minut po zamešanju. Kalup sem napolnil z mešanico, ki je iztekla v merilno posodo pri meritvi časa pretočnosti. Iz prvih meritev je bilo ugotovljeno, da za preiskavo potrebujem 8 kosov filtrskega papirja. Nekaj težav je bilo pri polnjenju merilnega kalupa. Za pravilno napolnitev kalupa je treba kalup nekoliko prenapolniti, nato pa višek mešanice odstraniti. To sem storil tako, da sem zidarsko lopatico postavil navpično na začetek kalupa, nato pa z vlečenjem po robu kalupa odstranil višek mešanice. Ker je bila mešanica zelo tekoča, se je odstranjen del mešanice večinoma polil po zunanji steni kalupa. Prelito mešanico je bilo, pred meritvijo, potrebno pazljivo odstraniti, saj je vsako tresenje kalupa povzročilo ponovno prelivanje mešanice. Drugo, kar sem opazil je, da tudi po večkratnem odstranjevanju viška mešanice, nisem uspel idealno poravnati površine mešanice z robom kalupa. Ker je mešanica zelo tekoča, se po vsakem odstranjevanju nekoliko izboči navzgor oz. naredi »klobuk«. Zato sem se odločil, da višek mešanice odstranim s štirimi potegi zidarske lopatice preko kalupa in sicer: z leve proti desni in obratno ter od vstran od sebe in proti sebi. Problem odstranjevanja viška mešanice se je pojavljal povsod, kjer je bilo potrebno mešanico vlit v kalup.

- **Vmesno ročno mešanje mešanice:** postopek meritve pretočnega časa navaja, da je potrebno mešanico, med meritvijo po zamešanju in meritvijo po 30 minutah, vsake toliko časa premešati. Zato sem med 5 minutnim čakanjem, ki je del postopka meritve vodozadržnosti, mešanico, ki je stala v mešalni posodi, ročno premešal z žlico.
- **Meritev časa pretočnosti po 30 minutah od zamešanja:** pred pričetkom meritve sem mešanico še enkrat ročno premešal. Iztočeno količino mešanice, ki je bila potrebna za meritev, sem uporabil za meritev razleza. Višek, ki je ostal v merilnem konusu, sem pretočil nazaj v mešalno posodo, k ostali mešanici.
- **Meritev razleza:** mešanico, ki je ostala v merilni posodi po meritvi časa pretočnosti po 30 minutah, sem uporabil za meritev razleza. Višek mešanice, ki je ostal po napolnitvi merilnega stožca, sem prelil k ostali mešanici. Pri meritvi razleza mora biti merilna miza kar se da horizontalno poravnana. Ker je bila mešanica zelo tekoča, se je nepravilnost takoj pokazala v obliki nesimetričnega razleza.
- **Meritev prostorninske mase sveže mešanice:** mešanico, ki je ostala v mešalni posodi, sem ročno premešal, nato pa z njo pazljivo napolnil predpisan merilni kalup. Kalup sem rahlo prenapolnil, da se je pri odstranjevanju viška mešanice, le te čim manj prelilo po stenah kalupa. Pred tehtanjem sem pazljivo očistil prelit del mešanice z zunanje stene kalupa. Po tehtanju sem mešanico prelil nazaj v mešalno posodo k ostali mešanici.
- **Priprava vzorcev za meritev krčenja po 24 urah in za določitev mehanskih lastnosti:** ostanek mešanice sem zopet ročno premešal ter z njo napolnil pripravljene kalupe (sliki 11 in 12). V tem primeru prelite mešanice, ki je ostala na stenah kalupov po odstranjevanju viška mešanice, nisem odstranjeval takoj, temveč šele, ko je bila mešanica že suha/strjena. Zaradi enakomerne porazdelitve tekoče mešanice po kalupu je bilo treba le te postaviti kar se da horizontalno.



Slika 11: Priprava vzorcev za preiskavo krčenja po 24-ih urah



Slika 12: Priprava vzorcev (prizem) za meritve mehanskih lastnosti

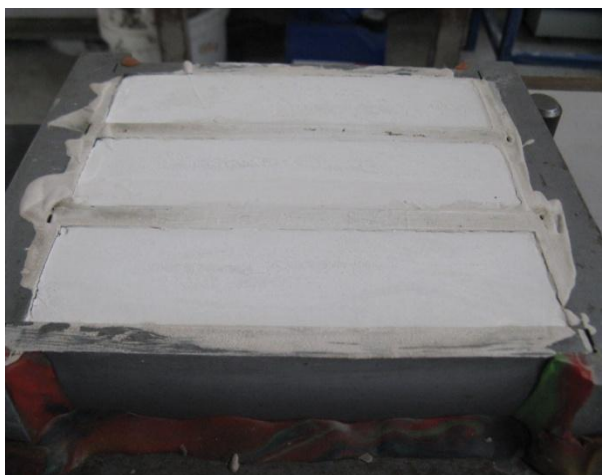
- **Meritev krčenja po 24 urah:** z zunanjih sten posodic, v katerih so bili vzorci, je bilo najprej potrebno pazljivo odstraniti posušeno mešanico, ki se je prelila med postopkom priprave vzorcev. Za samo meritev je bilo potrebno določiti tudi prostorninsko maso peska v nasutem stanju, ki sem ga uporabil za določitev prostornine skrčenega dela mešanice. Pri tem sem najprej stehal prazno posodico, ki je bila enaka posodici, v kateri je bil vzorec mešanice. Nato sem v posodico, počasi ter brez stresanja in tlačenja, nasul pesek, odstranil, z zidarsko lopatico, višek peska in s čopičem odstranil pesek, ki je pri tem ostal za spodnjem zunanjem robu posodice. Tako pripravljen vzorec sem pazljivo položil na tehtnico in stehal. Maso peska sem določil iz razlike mas in znane prostornine prazne posodice. Končno vrednost prostorninske mase peska v nasutem stanju sem določil kot povprečno vrednost treh zaporednih meritev. Pri nasipanju peska na skrčen vzorec mešanice se je izkazalo, da potrebujemo pesek ustrezne granulacije. V mojem primeru je bil skrček mešanice majhen in konkavne oblike, zato so se posamezna zrna peska pri odstranjevanju viška nasutega peska zagostila med lopatico in mešanico. Pri vlečenju lopatice preko vzorca so ta zrna naredila brazde v ostalem nasutem pesku in tako onemogočala izvedbo enakomernega sloja nasutja. Zato sem prvotni pesek presejal in tako dobil ustrezno granulacijo. Pri poskusu dobiti ustrezno granulacijo sem poskusil tudi sestavo peska z veliko praškastih delcev. Tudi ta sestava se ni izkazala za primerno. Meritev prostornine nad vzorcem, zaradi krčenja mešanice, sem na posameznem vzorcu izvedel trikrat. Pri tem je ob nasipavanju in odstranjevanju peska prišlo tudi do kršenja zunanjega roba vzorca mešanice (slika 13), kar je povzročilo različne rezultate meritev zaradi spreminjanja prostornine mešanice. Če bi bil skrček mešanice velik, to ne bi bil problem. Poleg tega je odkrušen del odprl pot finim delcem nasipnega peska v sicer zelo tenko vrzel med stenami posodice in skrčeno mešanico.



Slika 13: Krušenje roba vzorca mešanice, pripravljenega za meritev krčenja po 24-ih urah

Da bi preprečili kršenje, bi bilo mogoče smiselno poskusiti vzorec popršiti z lakom za lase ali čim podobnim in tako učvrstiti površino. Na podlagi izkušenj, ki sem jih pridobil pri merjenju, menim, da takšen način merjenja krčenja za mešanice, ki imajo majhno krčenje, ni najbolj primeren. Zaradi kršenja robu mešanice in majhnih prostornin nasipanega peska lahko hitro pride do prevelikih napak merjenja. Tudi primerjanje rezultatov krčenja, pridobljenih na opisan način in rezultatov krčenja, kjer krčenje določimo na podlagi meritev dimenzij prizem nazivnih velikosti 4/4/16 cm, ni ustrezno. Pri prvem načinu merimo krčenje samo po višini, pri drugem po vse treh dimenzijah.

- **Razkalupljenje prizem:** po poteku 24 ur od zamešanja sem razkalupil prizme nazivnih velikosti 4/4/16 cm (slika 14), ki so bile namenjene za mehanske preiskave. Prizme sem postavil v posodo, katere dno je bilo pokrito s kovinskimi kroglicami, kar omogoča bolj enakomerno sušenje prizem in njihovo enakomerno deformiranje zaradi krčenja (ni oviranja krčenja prizem zaradi trenja).



Slika 14: Prizme pripravljene na razkalupljenje

- **Meritev krčenja po 28 dneh:** trem prizmam, ki so bile stare 28 dni, sem izmeril dimenzije in izračunal njihovo prostornino. Krčenje sem določil s primerjavo prostornine prizme in prostornine kalupa, izračunanega na podlagi nazivnih dimenzij kalupa, to je 4/4/16 cm. V nekaterih primerih je bila višina prizme večja od nazivne dimenzije kalupa, kar nakazuje na težave pri odstranjevanju viška mešanice, ki je zelo tekoča, pri pripravi vzorcev. V takih primerih sem zanemaril izmerjeno vrednost in prevzel nazivno dimenzijo kalupa. Krčenje mešanice sem določil kot povprečno vrednost krčenja treh prizem.
- **Meritev prostorninske mase strjene mešanice:** trem prizmam, ki so bile stare 28 dni, sem izmeril maso ter nato s pomočjo prostornine, izračunane za potrebe meritev krčenja, izračunal prostorninsko maso posamezne prizme. Prostorninsko maso za posamezno mešanico sem določil kot povprečno vrednost prostorninskih mas treh prizem.

- **Določitev upogibne natezne trdnosti:** upogibno natezno trdnost mešanice sem določil kot povprečno vrednost rezultatov, dobljenih s tritočkovnim upogibnim preizkusom na treh preizkušancih v obliki prizme, dimenzij 4/4/16 cm in starih 28 dni.
- **Določitev stopnje karbonatizacije :** polovicam prizem, ki so ostale po opravljenem tritočkovnem upogibnem preizkusu, sem na prelomljen del napršil fenolftalein.
- **Določitev tlačne trdnosti:** tlačno trdnost mešanice sem določil kot povprečno vrednost rezultatov, dobljenih z enosnim tlačnim preizkusom na šestih preizkušancih oz. polovicah prizem, ki so ostale po opravljenem tritočkovnem upogibnem preizkusu.



## 5 REZULTATI PREISKAV INJEKCIJSKIH MEŠANIC

Kot sem že povedal, sem preiskave naredil na dveh skupinah mešanic. Mešanice A so imele prostorninsko razmerje 32,4% apna in 67,6% belega Portland cementa glede na prostornino veziva, mešanice B pa 67,6% apna in 32,4% belega Portland cementa. Mešanicam sem dodajal različne količine vode in superplastifikatorja PPh, količina suhe snovi je ostajala nespremenjena. Zamešal sem tri šarže vsake različice mešanice A in eno šaržo vsake različice mešanice B. Pri mešanicah A sem tako preiskave opravil na treh šaržah iste mešanice, to je najprej A1.1, A2.1,... nato A1.2, A2.2,... in nato še A1.3, A2.3... . Ker so bile ponovitve mešanic (šarže) z enakimi količinami sestavin zamešane v različnih dneh, sem s tem delno zajel tudi vpliv resničnih razmer pri pripravi injekcijskih mešanic na samih gradbiščih oz. deloviščih.

### 5.1 Rezultati preiskav sveže injekcijske mešanice

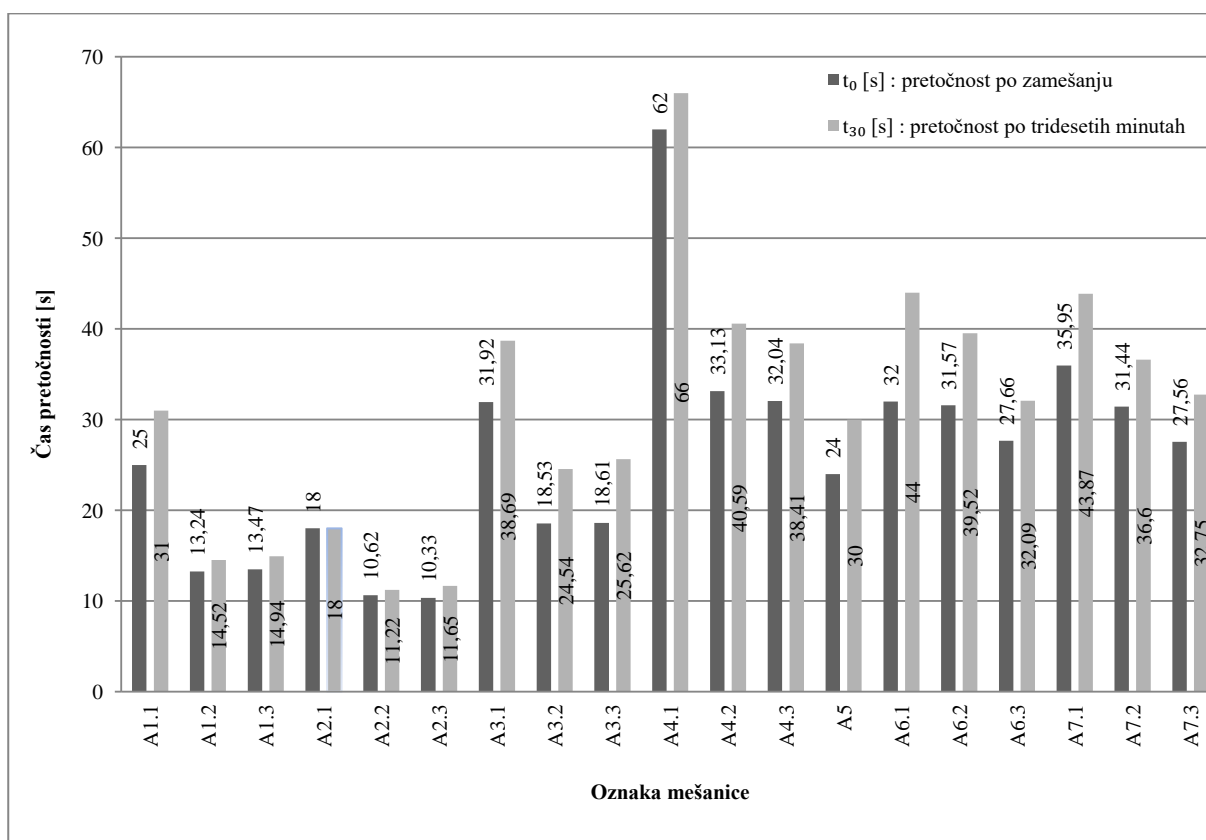
#### 5.1.1 Pretočnost

Pretočnost je, poleg injektibilnosti in stabilnosti, eden najbolj pomembnih kriterijev, ki jih moramo izpolniti, da bo sam postopek injektiranja uspešno in pravilno izveden. Majhni časi pretočnosti nakazujejo (niso pa odločilni), da bo masa injektibilna. Iz majhnih časov pretočnosti pa je razvidno tudi, da lahko mešanico injiciramo z uporabo nižjega tlaka. Na pretočnost zelo vpliva količina vode, ki je v mešanici. Z večjo količino vode dobimo hitrejšo pretočnost. Vendar velika količina vode zelo negativno vpliva na trdnost strjene mešanice, poleg tega pa imamo lahko tudi probleme s segregacijo. Da ohranimo majhne čase pretočnosti ob hkratnem zmanjševanju vode, lahko uporabimo kot dodatek superplastifikator, vendar samo v omejenem obsegu. Pri prenasičenosti mešanice s superplastifikatorjem pride do prevelike segregacije, kar se je meni zgodilo pri mešanici A5. Na čase pretočnosti vplivajo tudi načini mešanja [2]. Ker sam nisem imel ciljnih vrednosti za čase pretočnosti, za kriterij navajam čase, ki jih je navedel Mojmir Uranjek [2]. Mešanice je razdelil v tri kakovostne razrede: A, B in C. Za mešanice kakovostnega razreda A je zahtevan čas pretočnosti  $t \leq 25$  s takoj po zamešanju in po poteku 30 minut, hkrati pa med obema meritvama ne sme priti do razlike večje od 10 % ( $\Delta t \leq 10\%$ ). Za mešanice B in C je zahtevan čas pretočnosti  $t \leq 30$  s, razlika med obema meritvama pa ne sme presegati 15% ( $\Delta t \leq 15\%$ ). Glede razlike med meritvama bi rad omenil razgovor, ki sem ga imel z dr. Maurizioom Bellottom iz Italije. Gospod je bil gostujoč predavatelj na UL FGG in se poklicno ukvarja z razvojem veziv in dodatkov na področju gradbeništva. Na moje vprašanje, kakšna je še sprejemljiva razlika med meritvama, je odgovoril, da bi ob konstantnem mešanju mešanice, tudi po 30 minutah morala biti ta razlika teoretično 0 sekund. Standard SIST EN 445 navaja, da mešanico med čakanjem mešamo, vendar ne navaja intenzivnosti mešanja. Sam sem jo premešal z veliko žlico, prvič po cca. 15 min., drugič pa pred samo meritvijo časa pretočnosti po 30 minutah. To se mi zdi

pomembno predvsem, ko mešanici dodajamo superplastifikator. Ti imajo različne čase, tako začetka delovanja kakor tudi čas delovanja. Z mešanjem se ti časi lahko spreminjajo.

Izkazalo se je, da je test pretočnosti zelo občutljiv na temperaturo okolja, v katerem izvajamo test. Pri prvem zamešanju mešanice B4 (pri temperaturi 27°C) je bil pretočni čas po zamešanju 22 s. Čas po tridesetih minutah je bil pri prvem poizkusu 77 s, pri drugem poizkusu pa je mešanica zastala v merilnem lijaku. Pri drugem zamešanju (pri temperaturi 25°C) je bil pretočni čas takoj po zamešanju 21,36 s, po tridesetih minutah pa 32,74 s. Zadnji dve vrednosti sta tudi upoštevani v grafikonu 2. Čeprav sta pretočna časa takoj po zamešanju za obe šarži mešanice B4 skoraj enaka, ne morem izključiti možnosti, da bi bila pri nižji temperaturi še manjša. Na splošno so se testi mešanic A izvajali pri temperaturi približno 20 - 22°C, testi mešanic B pa pri 24 - 26°C.

Oblika iztekajočega curka je pri mešanicah z dodanim superplastifikatorjem PPh (A2-A7 in B3-B7) drugačne oblike, kot pri mešanicah brez PPh. Mešanica brez dodanega PPh ima curek podoben curku vode, pri mešanicah z dodanim PPh pa je curek bolj viskozen, bolj podoben iztekajočemu medu. To je razumljivo, saj z zmanjšanjem količine vode v injekcijski mešanici večamo njeno viskoznost.

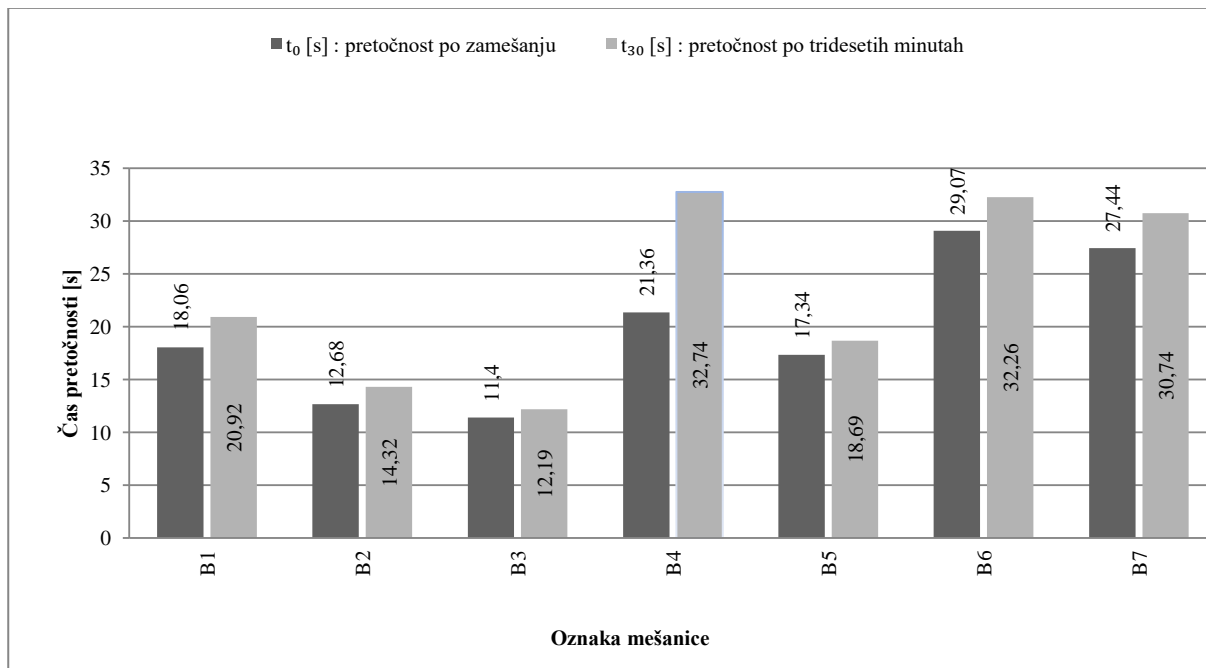


Grafikon 1: Rezultat meritev časa pretočnosti za mešanice A

Rezultati meritev časa pretočnosti na mešanicah skupine A so prikazani na grafikonu 1. Pri mešanici A imata najmanjše čase pretočnosti mešanica A1, ki vsebuje samo vodo in A2, ki ima ob enaki količini vode, kot A1, dodan še superplastifikator PPh. Mešanica A3 ima nekoliko višje čase pretočnosti, količina vode je manjša, količina PPh pa večja kot pri A2. Pri mešanici A4 je opazno povečanje časov glede na A3, ob ne tako velikem zmanjšanju količine vode, vendar 100 % povečanju količine PPh glede na A3. Dosežena povprečna časa pretočnosti sta najvišja med časi, ki smo jih izmerili na mešanicah skupine A. Pretočni časi prvih šarž, to so mešanice A1.1, A2.1, A3.1 in A4.1, so bistveno višji od časov druge in tretje šarže, zato jih v izračunu povprečnih časov nisem upošteval. Razlog odstopanja je verjetno moja začetna neizkušenosti pri samem postopku mešanja. Mešanica A5 vsebuje najmanjšo količino vode in najvišjo količino PPh, vendar je pri njej prišlo do opazne segregacije, ki je bila vidna pri testu stabilnosti. Sklepamo lahko, da je prišlo do prenasičenja mešanice s PPh. Mešanici A6 in A7 sta bili sestavljeni s ciljem uporabe največje še uporabne količine PPh ob najmanjši količini vode. Količina vode je pri obeh enaka, količina PPh pa je pri A7 nekoliko manjša, kot pri A6. Časi pretočnosti pri teh dveh mešanicah so bili skoraj enaki, kar nakazuje, da smo pri A7 dosegli največjo še smiselno količino PPh, saj manjša količina slednjega ne spremeni pretočnih časov glede na A6.

Najbolj enake (stabilne) čase pretočnosti, opazovano preko vseh treh ponovitev zamešanj, imajo mešanice A1, A2 in A3 (upoštevaj komentar naveden zgoraj o pretočnih časih prvega zamešanja za mešanice A1.1, A2.1, A3.1 in A4.1). Čas pretočnosti je, za enak tip meritve pretočnosti, skoraj popolnoma enak, ne glede na šaržo (druga ali tretja). Pri mešanici A4 je že opazna rahla razlika, največje razlike pa imata mešanici A6 in A7. Vzrok neenakim časom je verjetno občutljivosti mešanic z nizkim deležem vode in visokim deležem PPh (A6 in A7) na spremembe količine vode, ki je lahko posledica izhlapevanja ali oddajanje vode zaradi drugih vzrokov. Ker imata obe mešanici najvišje čase pretočnosti pri prvi, srednje pri drugi in najnižje pri tretji šarži, je lahko razlog za nihanja v ponovljivosti rezultatov tudi drug dejavnik, npr. mešanje.

Razlika v časih ( $\Delta t$ ) med pretočnostjo takoj po zamešanju in pretočnostjo po 30 minutah, je najmanjša pri A1 in A2, nato pa se ta razlika veča z manjšanjem količine vode oz. večanjem količine PPh. Ta razlika je pri mešanicah A3 – A7 cca. 6 – 8 s, ne glede na različico mešanice in ne glede na šaržo. Iz tega lahko domnevamo, da je čas delovanja oz. vpliv PPh pri vseh mešanicah s tem kemijskim dodatkom (A3-A7) približno enak.

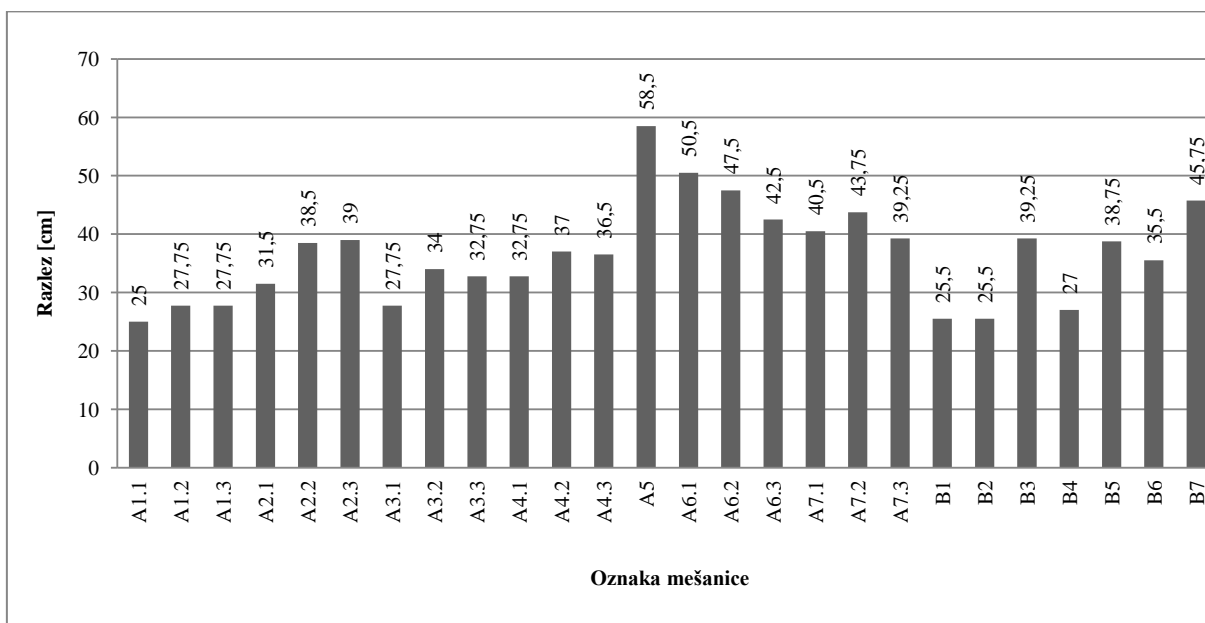


Grafikon 2 : Rezultati meritev časa pretočnosti za mešanice B

Rezultati meritev pretočnosti za mešanice skupine B so prikazani na grafikonu 2. Mešanici B1 in B2 vsebujeta samo vodo, B2 največ od vseh mešanic. B3, ki ima najmanjše čase pretočnosti, vsebuje največ vode ob dodanem superplastifikatorju PPh. Mešanici B4 in B5 imata enaki količini vode (nižji od B1, B2 in B3), količina PPh pa je pri B5 100 % večja od količine pri B4. Najnižjo količino vode od vseh mešanic imata B6 in B7, obe imata dodan PPh, ob tem, da ima B7 največ dodanega PPh od vseh mešanic. Razlike v časih ( $\Delta t$ ), med pretočnostjo takoj po zamešanju in pretočnostjo po 30 minutah niso zelo izrazite, razen pri mešanici B4. Vzrok te razlike bi bil lahko premajhen delež PPh, da bi pomembno vplival na čas pretočnosti takoj po zamešanju in pri relativno visoki sobni temperaturi ( $25^{\circ}\text{C}$ ) tudi na čas pretočnosti po 30 minutah. Ob povečani temperaturi je lahko prišlo do povečanega izhlapevanja vode in pospešenega vezanja cementa, s tem pa smo dobili podoben učinek, kot pri mešanicah z malo vode in veliko PPh. Ta kombinacija namreč povzroči, da se pretočni časi povečajo, saj se poveča tudi viskoznost mešanice. Če primerjamo časa pretočnosti takoj po zamešanju med B4 in B1 vidimo, da je čas pri B4 večji, čeprav je ob sicer nekaj nižji količini vode dodan PPh – majhen vpliv PPh. Če pa primerjamo časa pretočnosti po 30 minutah, opazimo večjo razliko. Že tako majhna količina vode se je zaradi izhlapevanja še zmanjšala – povečanje viskoznosti. Primerjava B4 in B5 pa kaže, da ima večja količina PPh dodana v B5 že veliko večji vpliv. Tudi temperatura okolja je bila pri testu za B5 nekoliko nižja. Še enkrat bi želel poudariti, da so se testi pretočnosti za mešanice B4 – B7 izvajali pri razmeroma visokih temperaturah, približno  $24^{\circ}\text{C}$  -  $26^{\circ}\text{C}$ , kar je potrebno upoštevati, saj bi bili lahko pretočni časi in razlike med njimi ( $\Delta t$ ) pri nižjih temperaturah manjši.

### 5.1.2 Razlez

Določevanje konsistence sveže mešanice sem izvedel z metodo razleza. Vendar se je izkazalo, da bi bilo smiselno dobljene rezultate primerjati s pretočnimi časi in rezultati, ki bi jih dobili s testi injektibilnosti. Idejo za zgoraj navedeno primerjavo sem dobil ob opazovanju samega poteka razleza in primerjave rezultatov z rezultati pretočnosti. Majhni časi pretočnosti so dober znak, da bo mešanica injektibilna [2], vendar, če opazujemo mešanice z majhnimi pretočnimi časi imajo te veliko vode in majhen razlez. Nasprotno imajo mešanice z manj vode in dodanim superplastifikatorjem PPh večji čas pretočnosti, toda tudi večji razlez. Praktično to pomeni, če opazujemo sam potek razleza, da se prve mešanice sicer hitro razležejo in obmirujejo, toda sam razlez ima bolj obliko »grobno oblikovanega hlebčka«. Razlez pri drugih mešanicah je sicer počasnejši, lepo enakomerno tekoč, obseg razleza pa je veliko večji. Tudi višina oz. debelina razleza je veliko tanjša in zelo enakomerna. Opaziti je tudi manj izločanja vode, tako ob robu kot na sami površini razleza. Po občutku bi lahko dejal, da so mešanice s PPh veliko bolj »žive« oz. imajo »željo po razlezu«, kar je verjetno posledica kombinacije povečane viskoznosti in istočasno povečane sposobnosti tečenja, zaradi dodanega PPh. Za pravilno vrednotenje dobljenih rezultatov razleza bi bilo potrebno izvesti še preiskave sposobnosti injektiranja, za vsako sestavo mešanice, in primerjati dobljene rezultate.



Grafikon 3 : Rezultat meritev razleza za mešanice A in B

Rezultati meritev razleza so za vse mešanice podani na grafikonu 3. Pri skupini mešanic A se vpliv superplastifikatorja PPh na razlez najprej pokaže pri mešanicah A1 in A2. Mešanica A1 ima samo vodo, A2 enako količino vode, a dodan PPh. Razlez pri A2 je veliko večji. Še večji vliv PPh se pokaže pri mešanicah A3, A4, A6 in A7. Kljub temu, da imajo te mešanice manj dodane vode od mešanice

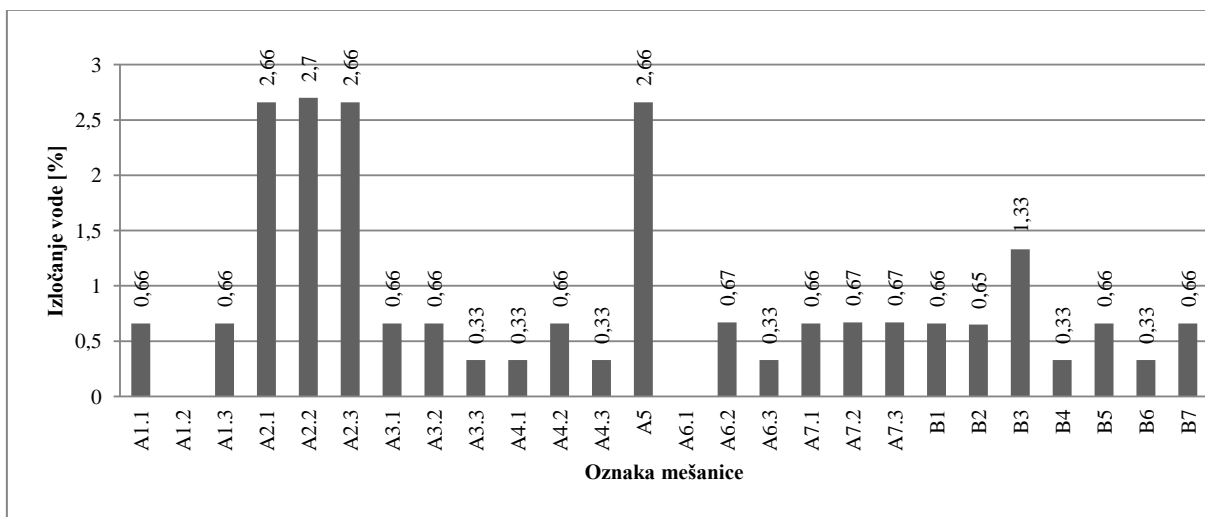
A1, toda dodan PPh, imajo vse večje razleze. Razlezi pri mešanicah A6 in A7 so večji celo od razlezov pri A2. Najbolj izstopa mešanica A5, ki ima najmanjšo količino vode in največjo količino PPh, saj ima največji razlez. Vendar se je pri tej mešanici pojavila vidna segregacija, ki smo jo ugotovili pri preizkusu izločanja vode. Pretočne čase in razlez najlažje primerjamo pri mešanicah A4, A6 in A7, saj vsebujejo enako količino vode, različna je le količina PPh. Opazimo, da se s povečanjem količine PPh tako pretočni čas kot razlez povečujeta.

Če primerjamo dobljene rezultate razleza za vsako mešanic posebej skozi vse tri ponovitve (šarže), opazimo podobno stabilnost rezultatov kakor pri preizkusu merjenja pretočnih časov. Zato vse tam navedene razlage o morebitnem vzroku odstopanja rezultatov veljajo tudi tukaj. Zato tudi tukaj rezultatov mešanic A1.1, A2.1, A3.1 in A4.1 nisem upoštevali pri izračunu povprečne vrednosti.

Pri mešanicah skupine B imata najmanjši razlez mešanici B1 in B2, ki vsebujeta samo vodo. Razleza sta enaka, čeprav je količina vode v B2 večja od B1. Vpliv dodanega superplastifikatorja PPh se pokaže pri mešanici B3, kjer je ob enaki količini vode kakor v B2 dodan še PPh. Razlez je eden največjih. Tudi pri mešanicah B4 – B7 se lepo pokaže vpliv PPh. B4 in B5 imata enako količino vode, a različno količino PPh. Podobno je pri B6 in B7. Lepo se pokaže povečanje razleza ob povečani količini PPh. Mešanica B7 ima ob najmanjši količini vode in največji količini PPh tudi največji razlez (tudi pretočni časi so med največjimi). Če primerjamo pretočne čase in razlez pri mešanicah B4 – B7 opazimo, da imata mešanici z manj PPh (B4 in B6) večje pretočne čase in manjši razlez, mešanici z več PPh (B5 in B7) pa ravno obratno. Iz tega sledi, da superplastifikator PPh zmanjša pretočni čas in istočasno poveča razlez, kar pomeni, da drugače vpliva na viskoznost mešanice, kot na njeno sposobnost tečenja.

### 5.1.3 Izločanje vode (stabilnost)

Z meritvijo izločene vode ugotavljamo odpornost mešanice proti segregaciji. Izločena voda, ki ostane na vrhu mešanice, kaže na ločevanje vode in veziva. Povečano izločanje vode vodi do segregacije delcev veziva in polnila, ki sestavljajo injekcijsko mešanico. To pomeni, da zgornji del injektiranega prostora v konstrukcijskem elementu, zaradi neenakomerno porazdeljenega veziva in polnila, ne bo ustrezno utrjen, spodnji del elementa pa je lahko celo prekomerno utrjen (neenakomerno porazdeljena trdnost in injektabilnost mešanice v injektiranem prostoru). Kot kriterij [2] lahko upoštevamo, da je izločanje vode zadovoljivo, če ne presega meje 2%. Rezultati meritev izločanja vode za skupini mešanic A in B so prikazani na grafikonu 4.



Grafikon 4 : Rezultat meritev izločanja vode za mešanice A in B

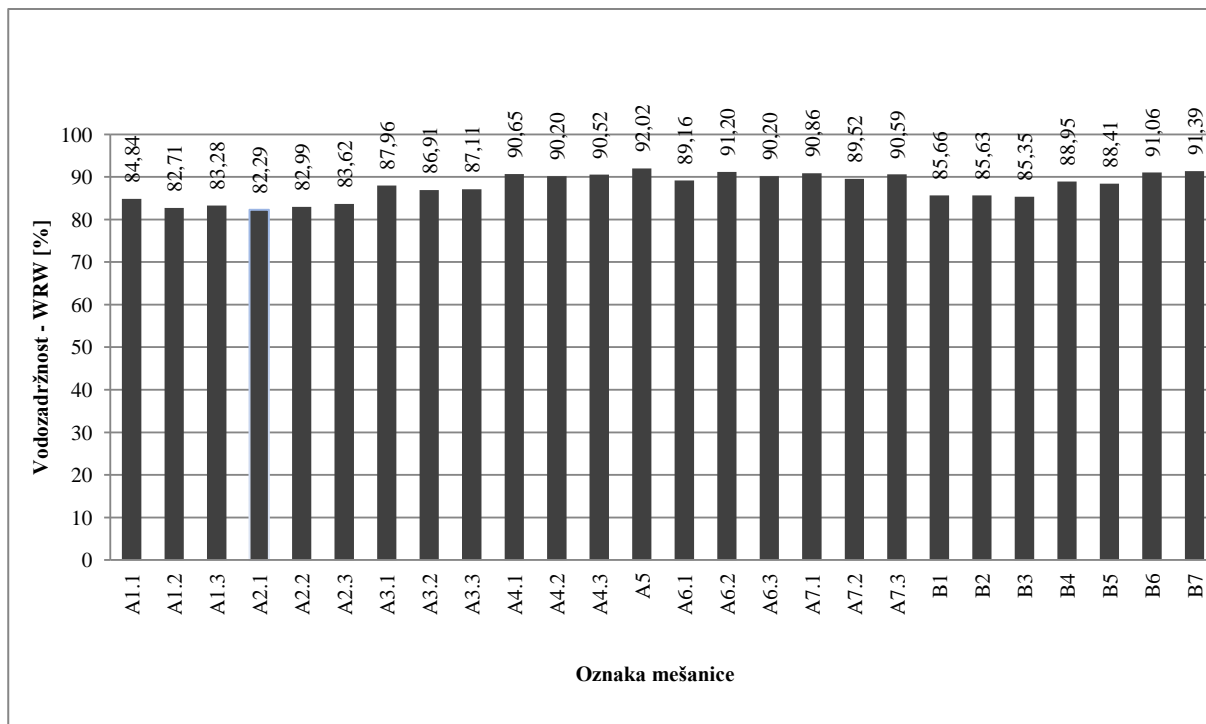
Pri mešanicah skupine A vrednost 2% presejata mešanici A2 in A5. Mešanica A2 vsebuje največ vode ob dodanem superplastifikatorju PPh. Mešanica A5 vsebuje najmanj vode in največ PPh, pri njej je bila opažena tudi segregacija, ki je bila vidna ob steni steklenega merilnega valja. Večinoma so vrednosti izločanja vode med 0,33% in 0,66%. Pri meritvi je ta razlika pomenila 1 ml ali polovico označbe na merilnem valju, ki znaša 2 ml. Zaradi nejasne meje med belo mešanico in vodo se je bilo včasih težko odločiti, katero vrednost odčitati. Tudi če gledamo vsako sestavo mešanice posebej in primerjamo vrednosti izločanja vode po prvem, drugem in tretjem zamešanju, vidimo, da so te vrednosti enake ali zelo podobne.

Pri mešanicah skupine B so vse sestave mešanic izpolnile kriterij. Večinoma so vse vrednosti izločanja vode med 0,3% in 0,66%. Nekoliko izstopa samo mešanica B3, ki ima največjo količino vode ob dodanem superplastifikatorju PPh (podobno kot A2).

#### 5.1.4 Vodozadržnost

Vodozadržnost je lastnost mešanice, ki pokaže, kakšna je njena sposobnost zadrževanja vode. Ko injekcijska mešanica potuje skozi konstrukcijski element se dotika poroznih sestavnih delov tega elementa (porozna malta, drobir, kamni, opeka,...) in mikro razpok. Te povzročijo kapilaren srk, kar vodi do povečane izgube vode iz mešanice. Izguba vode vodi do poslabšanja injektibilnosti sveže mešanice in posledično do nezadostne napolnjenosti votlin z injekcijsko mešanico. Zato je utrditev zidu lahko neustrezna. Obstaja tudi možnost, da se tečenjske mešanice, ki potuje skozi različne kanale, zaradi hitre izgube vode ustavi, da se oblikuje čep, ki prepreči nadaljnjo prodiranje mešanice skozi element, ki bi ga želeli utrditi.

S preiskavo sem začel šele približno deset minut po zamešanju, ker sem predhodno moral opraviti druge preiskave oz. pripraviti vzorce za te (test izločanja vode, pretočnost, razlez,...). Zaželeno je [2], da preiskavo opravimo 15 sekund po zamešanju. Koliko so zaradi tega rezultati drugačni, ne vem. Rezultati meritev sposobnosti zadrževanja vode so za vse mešanice prikazani na grafikonu 5.



Grafikon 5 : Rezultat meritev zadrževanja vode za mešanice A in B

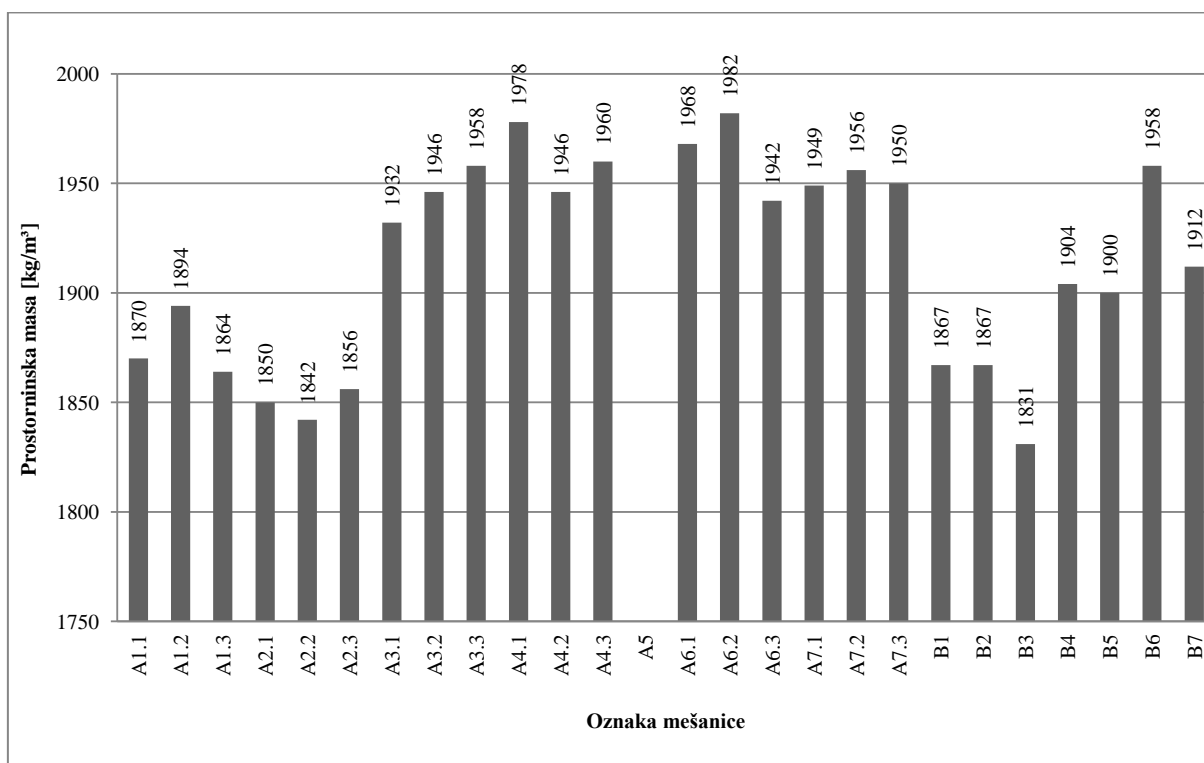
Pri mešanici A imata najmanjšo sposobnost zadrževanja vode mešanici A1 in A2. Obe imata največjo količino vode, A2 tudi dodan superplastifikator PPh. Sledi mešanica A3, ki vsebuje srednjo količino vode in PPh. Največjo vodozadržnost imajo mešanice A4 – A7. Vse štiri imajo praktično enako vodozadržnost t.j. okoli 90%, z izjemo A5, kjer je vrednost 92%. A5 vsebuje najmanj vode in največ PPh, vendar ima opaženo segregacijo. Mešanice A4 – A7 imajo tudi enako količino vode, razlikujejo se le v količini PPh, ki pa je manjša kot pri A5. Tudi če gledamo vsako sestavo mešanice posebej in primerjamo vodozadržnost po prvem, drugem in tretjem zamešanju, vidimo, da so vrednosti zelo podobne, pri mešanicah A4, A6 in A7 pa skoraj enake.

Pri mešanicah skupine B ima najmanjšo sposobnost zadrževanja vode mešanica B3, ki vsebuje največjo količino vode ob dodanem superplastifikatorju PPh. Sledita ji mešanici B1 in B2 s sicer zelo podobnima vrednostma. Obe vsebujeta samo vodo, B1 enako kot B3, B2 največ od B mešanic. Trendu zmanjševanja količine vode in večanja PPh sledi tudi vodozadržnost. B4 in B5 imata enako količino vode in različno količino PPh. Enako velja tudi za B6 in B7. Mešanica B7 ima največjo vodozadržnost, ob tem, da ima najmanj vode in največ PPh od vseh B mešanic.



Opazimo lahko, velja tako za mešanice A kot B, da veliko vode v mešanici negativno vpliva na vodozadržnosti. Zanimivo je, čeprav imata skupini mešanic A in B obrnjeni razmerji beli cement – apno, so njihove sposobnosti zadrževanja vode podobne. Mešanice z veliko vode imajo vodozadržnost približno 82% - 85%. Vodozadržnost mešanic z manjšo količino vode in več dodanega PPh je približno 90% - 91%. Mešanice B, ki imajo večji delež apna, imajo celo nekoliko boljšo sposobnost zadrževanja vode.

## 5.2 Prostorninska masa sveže mešanice

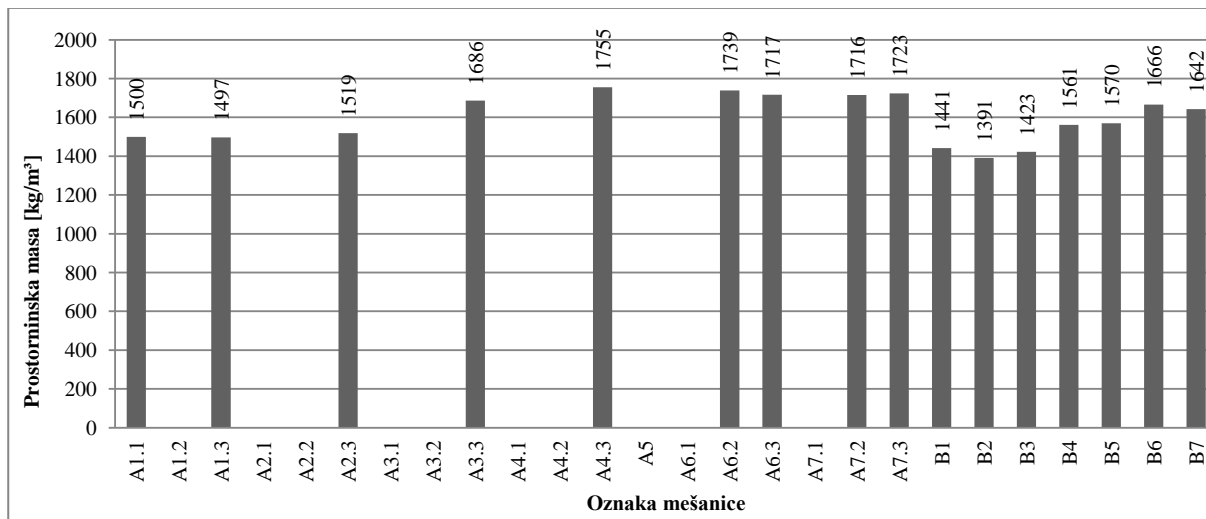


Grafikon 6 : Rezultati meritev prostorninskih mas (sveža mešanica) za mešanice A in B

Rezultati meritev prostorninske mase svežih injekcijskih mešanic so prikazani v grafikonu 6. Zmanjšanje količine vode v mešanici poveča prostorninsko maso sveže mešanice, kar je pričakovan rezultat. Prostornino, za katero smo zmanjšali količino vode, zapolnijo delci cementa in apna, ki imajo večjo gostoto. Istočasno so pri enakih prostorninah veziva večje prostorninske mase mešanic skupine A, saj je gostota delcev cementa večja od gostote delcev apna.

## 5.3 Rezultati preiskav strjene injekcijske mešanice

### 5.3.1 Prostorninska masa strjene mešanice

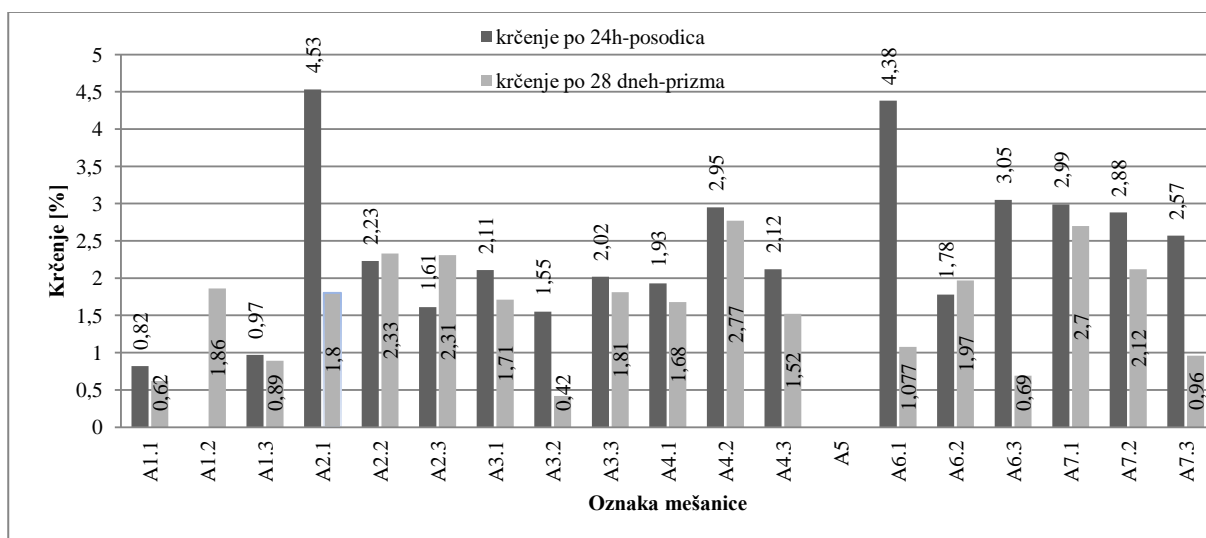


Grafikon 7 : Rezultati meritev prostorninskih mas (strjena mešanica) za mešanice A in B

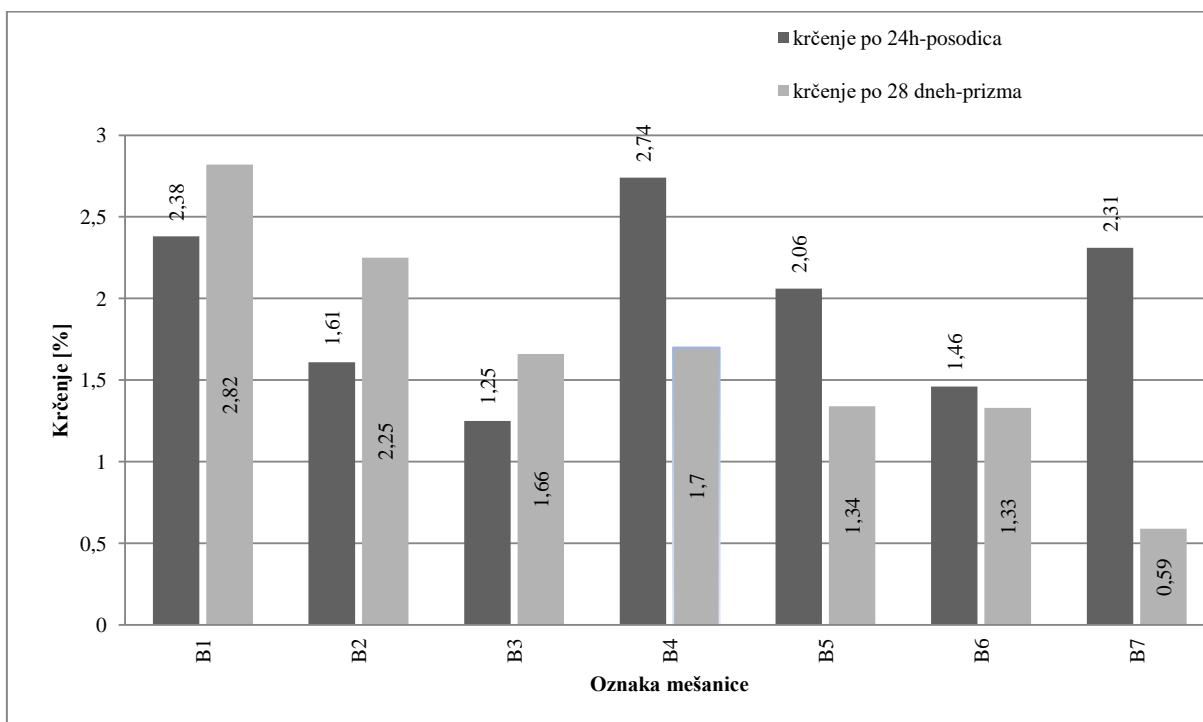
Rezultati meritev prostorninske mase strjenih injekcijskih mešanic so prikazani v grafikonu 7. Vrednosti so bistveno nižje, kot pri svežih mešanicah, verjetno predvsem zaradi izhlapele vode. Razmerja med prostorninskimi masami in razlogi zanje pa so enaki, kot pri svežih mešanicah.

### 5.3.2 Krčenje

Krčenje oziroma sprememba prostornine zaradi izhlapevanja vode pokaže, kako se mešanici spreminja prostornina v času vezanja in strjevanja. Krčenje mora biti čim manjše, da se izognemo zmanjšani sprijemnosti med posameznimi gradniki injektiranega elementa in nastanku razpok. Prekomerno zmanjšanje prostornine zmanjša povezavo med samimi gradniki injektiranega elementa, kar negativno vpliva na mehanske karakteristike utrjenega elementa.



Grafikon 8 : Rezultat meritev krčenja za mešanice A

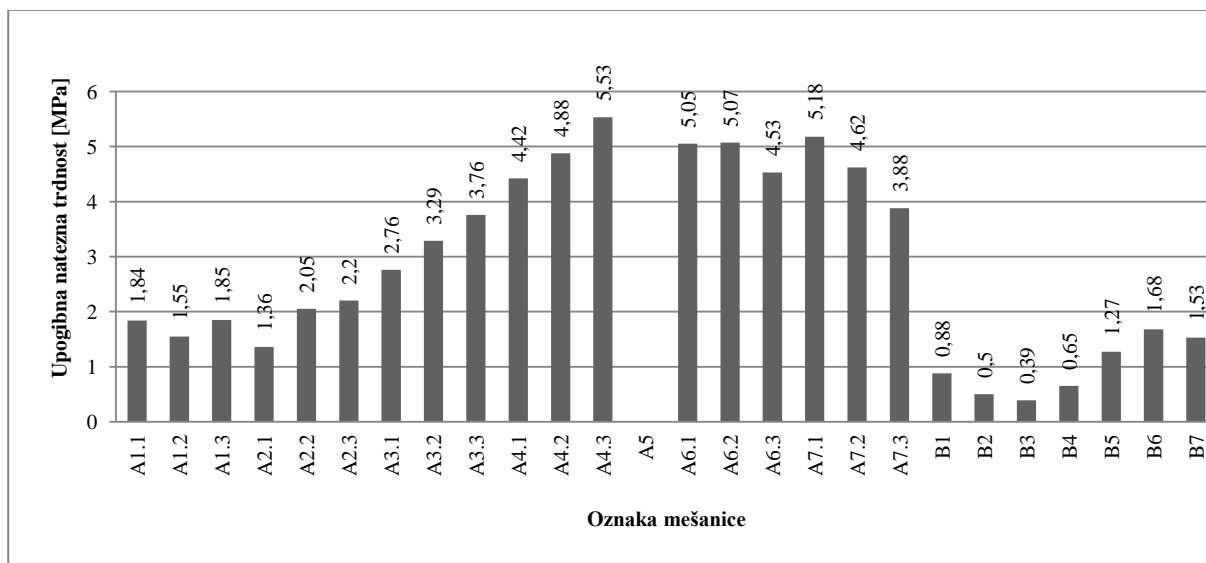


Grafikon 9 : Rezultat meritev krčenja za mešanice B

Rezultati preiskav krčenja injekcijskih mešanic so prikazani na grafikonu 8 za mešanice skupine A in na grafikonu 9 za mešanice skupine B, in to po 24 urah in po 28 dneh. Poudariti je treba, da absolutne vrednosti krčenja po 24 urah in 28 dneh niso primerljive, saj gre za dve različni metodi določanja krčenja. Na podlagi pregleda rezultatov težko podamo realne zaključke, saj je raztros rezultatov relativno velik. Ugotovimo lahko le, da je krčenje, ki ga lahko pričakujemo pri injekcijskih mešanicah relativno veliko in lahko doseže vrednosti do 3 %.

### 5.3.3 Upogibna natezna trdnost

Upogibna natezna trdnost strjene injekcijske mešanice je, bolj kot njena tlačna trdnost, parameter, ki kaže na sposobnost mešanice, da zagotovi ustrezno povezanost posameznih gradnikov, ki sestavljajo element, ki ga injektiramo [2]. Kriterij, ki ga lahko upoštevamo, sicer velja za starost preizkušancev 180 dni, in sicer naj bi bila vrednost upogibne natezne trdnosti najmanj 2 MPa ( $f_t \geq 2 \text{ MPa}$ ) [2]. Meritve sem opravil na vzorcih starih 28 dni.



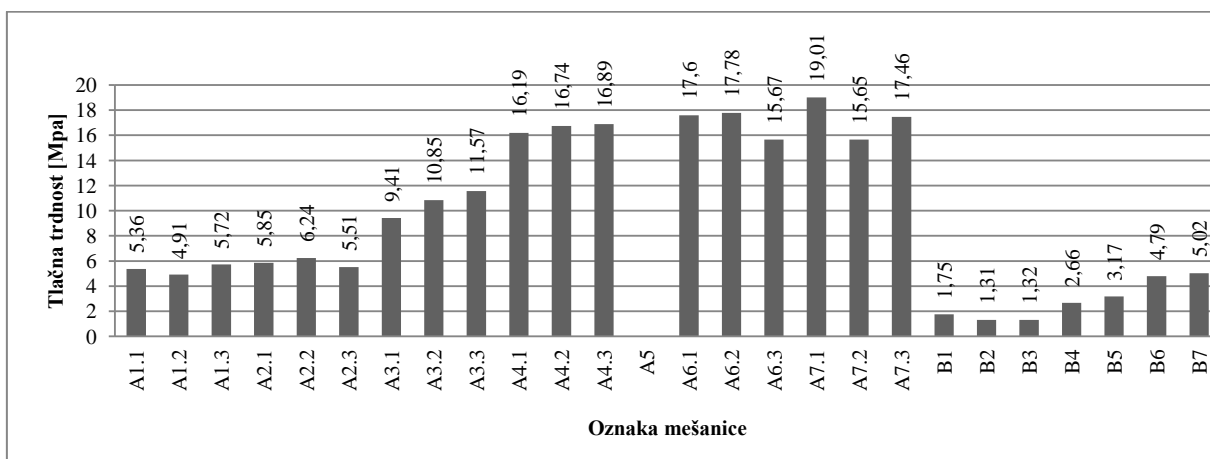
Grafikon 10 : Rezultat meritev upogibne trdnosti za mešanice A in B

Rezultati meritev upogibne natezne trdnosti so za mešanice skupin A in B prikazani na grafikonu 10. Pri mešanicah skupine A imata najnižji vrednosti upogibne trdnosti mešanici A1 in A2, ki imata največjo količino vode, slednja tudi dodan superplastifikator PPh. Upogibna trdnost narašča z zmanjševanjem vode in dodajanjem PPh, pri mešanicah A3 in A4. A4 je dosegla tudi največjo povprečno vrednost upogibne trdnosti izmed vseh mešanic. Nekaj manjše vrednosti dosežeta A6 in A7, ki imata enako količino vode kakor A3 in A4, vendar več PPh. Razen mešanic A1 in A2, vse ostale izpolnjujejo kriterij najmanjše upogibne natezne trdnosti 2 MPa. Če primerjamo posamezno mešanico in njene vrednosti za različne šarže opazimo, da ponovljivosti niso dobre. Izjema sta sestavi A1 in A6, kjer je ponovljivost boljša in samo en rezultat odstopa od drugih dveh. Pri preizkusih na sveži mešanici se je ta raztros opazil predvsem pri A6 in A7 in sem ga pripisal občutljivosti mešanice zaradi majhne količine vode in velike količine PPh. Tu pa se je pojavil tudi pri A2, A3 in A4, rezultati pri A6 pa so se celo stabilizirali (vsebuje najmanj vode in največ PPh). Opaziti je tudi enakomerno naraščanje vrednosti po vsakem zamešanju (A2, A2, A3), kot tudi padanje (A7). Enako padanje je bilo opazno tudi pri meritvah pretočnih časov (A6, A7) in deloma pri razlezu (A6). Vzroka take razpršitve rezultatov ne znam pojasniti.

Pri mešanicah skupine B so vsi rezultati upogibne trdnosti manjši od zahtevanega kriterija, minimalna natezna trdnost 2 MPa. Še najbolj se kriteriju približata mešanici B6 in B7, ki imata najmanjšo količino vode, B7 tudi največjo količino superplastifikatorja PPh, od vseh mešanic B. So pa rezultati pričakovani, saj imajo sestave skupine B manjši delež cementa in večji delež apna, ki rabi daljši čas za vezanje. Zato dobimo pri sestavah mešanice B relevantne trdnosti šele pri starosti mešanic enaki 90 dni.

### 5.3.4 Tlačna trdnost

S sistematičnem injektiranjem se poleg nosilnosti, v primerih ko so mehanske injekcijske mešanice boljše kot mehanske lastnosti obstoječega veziva v injektiranemu elementu, poveča tudi togost elementa. Če želimo vsaj do neke mere ohraniti duktilno obnašanje elementa, ki ga utrjujemo, se morajo tlačne trdnosti injekcijske mešanice gibati v okviru tlačnih trdnosti obstoječega veziva v elementu. Projektiranje injekcijske mešanice, ki bi ohranjala duktilnost elementa, zahteva tudi preiskave mehanskih lastnosti osnovnega veziva v elementu. V primeru, da teh raziskav nimamo, lahko kot kriterij za ustrezno tlačno trdnost vzamemo vrednosti med 6 in 10 MPa ( $f_c = 6 - 10$  MPa) [2].



Grafikon 11 : Rezultat meritev tlačne trdnosti za mešanice A in B

Pri mešanicah A so kriterij 6 MPa za tlačno trdnost presegle mešanice A3, A4, A6 in A7. Mešanice A1 in A2, ki niso dosegle kriterija, a so zelo blizu, vsebujejo veliko vode, A2 tudi malo superplasifikatorja PPh. Tudi primerjava rezultatov za različne šarže posamezne mešanice kaže na razmeroma majhen raztros. Izjema je mešanica A7 in deloma A3. Pri vseh drugih sta vsaj dva rezultata meritev zelo podobna.

Pri mešanicah skupine B nobena sestava ne doseže kriterija 6 MPa. Kriteriju se še najbolj približa (s 5 MPa) mešanica B7, ki vsebuje najmanj vode in največ superplastifikatorja PPh. Vendar pa je bila tudi tukaj starost vzorcev pri preiskavah premajhna. Če bi preiskave opravili pri starosti 90 dni, bi verjetno določene sestave skupine B izpolnile kriterij.

Zaključimo lahko, da bi bilo preiskave trdnosti smiselno narediti tudi na vzorcih starih 90 in 180 dni. Šele takrat bi lahko ovrednotili primernost sestav glede doseganja trdnostnih karakteristik.

#### 5.4 Stopnja karbonatizacije standardnih prizem sušenih na zraku

Stopnjo karbonatizacije sem preverjal na polovičkih prizem starih 28 dni. Prizme so bile razopažene 24 ur po zamešanju in postavljene na kroglice, tudi zaradi boljše cirkulacije zraka. Na kroglice so bile postavljene v enakem položaju, kakor so bile v kalupu. Karbonatizacija vseh vzorcev je bila zelo majhna, približno 3 mm.

Tako na levem kod desnem vzorcu je možno opaziti večje črne delce, ki jih je vsebovala kamena moka.



Slika 15: Stopnja karbonatizacije mešanice A 6.1

#### 5.5 Povprečne vrednosti rezultatov izvedenih preiskav

V preglednici 5 so zbrane povprečne vrednosti rezultatov pomembnejših preiskav za skupini mešanic A in B.

Preglednica 5: Povprečne vrednosti rezultatov pomembnejših preiskav za mešanice A in B

Meša -nica	Potreba po vodi v/m	PPh [%]	Pretočnost [s]		Razlez [mm]	Vodoza- držnost [%]	Izločanje vode [%]	Upogibna trdnost [MPa]	Tlačna trdnost [MPa]
			t <sub>0</sub>	t <sub>30</sub>					
<b>A 1</b>	0,375	0	13,4	14,7	27,7	83,61	0,66	1,75	5,33
<b>A 2</b>	0,375	0,25	10,5	11,4	38,7	82,97	2,67	1,87	5,87
<b>A 3</b>	0,3	0,25	18,6	25,1	33,4	87,33	0,55	3,27	10,61
<b>A 4</b>	0,25	0,5	32,6	39,5	36,7	90,46	0,44	4,94	16,61
<b>A 5</b>	0,25	0,75	24	30	58,5	92,02	2,66		
<b>A 6</b>	0,25	0,62	30,4	38,5	46,8	90,19	0,50	4,88	17,02
<b>A 7</b>	0,25	0,56	31,6	37,7	41,2	90,32	0,67	4,56	17,37
<b>B 1</b>	0,38	0	18,1	20,9	25,5	85,66	0,66	0,88	1,75
<b>B 2</b>	0,41	0	12,7	14,3	25,5	85,63	0,65	0,5	1,31
<b>B 3</b>	0,38	0,25	11,4	12,2	39,2	85,35	1,33	0,39	1,32
<b>B 4</b>	0,31	0,25	21,4	32,7	27,00	88,95	0,33	0,65	2,66
<b>B 5</b>	0,31	0,5	17,3	18,7	38,7	88,41	0,66	1,27	3,17
<b>B 6</b>	0,26	0,5	29,1	32,3	35,5	91,06	0,33	1,68	4,79
<b>B 7</b>	0,26	0,75	27,4	30,7	45,7	91,39	0,66	1,53	5,02

## 6 ZAKLJUČEK

V okviru diplomske naloge smo analizirali vpliv belega Portland cementa in njegovega deleža na lastnosti injekcijskih mešanic s kombiniranim apneno-cementnim vezivom. Razlog za izbiro belega cementa je, da je vizualno bolj sprejemljiv kakor običajni sivi cement.

Za namen preiskav smo pripravili dve skupini mešanic, ki sta se razlikovali po razmerju belega cementa in hidratiziranega apna. Mešanica A je vsebovala 32,4% apna in 67,6% belega cementa (glede na prostornino veziva), pri mešanici B pa je bilo to razmerje 67,6% apna in 32,4% belega cementa. Kot polnilo se je dodala kamena moka. Delež vode v mešanicah smo zmanjševali s pomočjo superplastifikatorja PPh (superplastifikator na osnovi polifosfonatnih polimerov). V obeh skupinah mešanic smo zamešani različne sestave mešanic, pri katerih smo spreminjali količino vode in superplastifikatorja PPh. Prvotni namen je bil narediti preiskave samo na mešanicah skupine A v svežem stanju, vključno s testom injektabilnosti. Zaradi želje dobiti večji obseg lastnosti mešanice, smo opravili še preiskave na strjenih mešanicah, testa injektabilnosti pa nismo izvedli, zaradi težav z opremo. Na mešanicah skupine A smo preverjali tudi ponovljivost rezultatov preiskav. V ta namen je bila vsaka sestava mešanice skupine A zamešana in preiskana trikrat. Mešanice B so bile pripravljene zaradi vprašanja, kakšne rezultate dobimo če zamenjamo prostorninska deleža apna in belega cementa. Zaradi težav pri pripravi mešanice, konkretnije s samim mešanjem, smo dodatno pozornost namenili izvedbi ustreznega načina mešanja.

Glavne lastnosti, ki smo jih preverjali, so bile pretočnost, razlez, izločanje vode, vodozadržnost, krčenje ter tlačna in upogibna trdnost.

Kot najbolj ustrezna sestava za izdelavo injekcijskih mešanic se je izkazala mešanica A3. Lastnosti, ki nista bili ustrezni, sta bili: razlika v časih pretočnosti (po zamešanju in po 30. min. po zamešanju) in vodozadržnost. Vendar se zelo podobna razlika v časih pretočnosti pojavi tudi pri nekaterih drugih sestavah mešanic skupine A, kar nakazuje na vpliv oz. delovanje PPh, ne samo na čas pretočnosti po zamešanju temveč tudi na čas pretočnosti 30. min po zamešanju. Tudi rezultat vodozadržnosti ne odstopa bistveno od rezultatov, ki so bili dobljeni pri ostalih sestavah. Pri tem, bi rad omenil, da je bila meritev vodozadržnosti opravljena približno 15-20 min. po in ne takoj po zamešanju, kar bi lahko imelo vpliv na dobljene rezultate.

Sestave mešanic skupine A, ki so vsebovale manj vode in več PPh, od sestave A3, so imele višje vrednosti mehanskih lastnosti, vendar tudi večje in neustrezne pretočne čase. Obratno je bilo pri sestavah, ki so vsebovale večje količine vode in manjše količine PPh od A3, časi pretočnosti in razlike med njimi so bili ustrezni, vendar so bile mehanske lastnosti prenizke. Izločanje vode je bilo pri večini



sestav zadovoljivo. Večina je imela tudi zelo podobne vrednosti vodozadržnosti. Pri tem so sestave z manjšo količino vode in večjo vsebnostjo PPh izkazovale večjo sposobnost zadrževanja vode. Krčenje je bilo najmanjše pri sestavi z največ vode in brez dodanega PPh. Razpokanosti vzorcev, kot posledice krčenja pri sušenju, ni bilo opaziti pri nobeni sestavi mešanic skupine A.

Ponovitve preiskav na sveži mešanici (različne šarže iste sestave) so pokazale, da imata sestavi A6 in A7 najmanjšo stabilnost rezultatov, vendar samo pri preiskavi razleza in časa pretočnosti. Mešanici sta vsebovali najmanj vode in največ PPh. Količina PPh je bila že zelo blizu zasičenosti. Pri meritvah izločanja vode in vodozadržnosti je bila stabilnost rezultatov zadovoljiva za vse sestave mešanic skupine A. Ponovitve preiskav na strjeni mešanici so pokazale, da nobena sestava mešanice, po stabilnosti rezultatov, bistveno ne odstopa. Kar je bilo moč opaziti pa je, da je stabilnost rezultatov večja pri tlačni trdnosti kakor pri upogibni natezni trdnosti.

Pri mešanici B nobena sestava ni bila ustrezna. Glavni razlog je nedoseganje kriterijev glede mehanskih lastnosti. Vendar sta bili sestavi B6 in B7 razmeroma blizu kriterija za tlačno in upogibno natezno trdnost. Tudi njuni pretočni časi le malenkost presegajo kriterij, ob tem, da je razlika med obema časoma meritev ustrezna (kar pri mešanici A3 ni). Obe sestavi imata tudi ustrezno izločanje vode, vrednosti vodozadržnosti pa sta med najboljšimi tudi v primerjavi z mešanico A. Meritve krčenja so pokazale, da je krčenje B6 in B7 primerljivo s krčenjem A3. B6 in B7 sta imeli, od vseh sestav mešanic skupine B, najmanj dodane vode in največji vsebnosti PPh.

Vse ostale različice sestave skupine B so imele ustrezne pretočne čase in izločanje vode. Vodozadržnost se jim je spreminjala v odvisnosti od količine vode in PPh (v primerjavi z mešanicami skupine A, so mešanice skupine B dosegale zelo primerljive rezultate vodozadržnosti). Rezultati preiskav mehanskih lastnosti so bili še slabši, kot pri B6 in B7. Krčenje je bilo najmanjše pri sestavah B6 in B7, ki sta vsebovali najmanj vode in največ PPh (ravno obratno kakor pri skupini A). Razpokanosti vzorcev, kot posledice krčenja pri sušenju, ni bilo opaziti pri nobeni sestavi mešanic skupine B.

Pri pripravi oz. zamešanju mešanic se je izkazalo, da je treba posebno pozornost nameniti načinu in poteku mešanja. Sam način, potek in morebitne ugotovitve pa je priporočljivo kar se da detajlno opisati.

Dodatni preiskavi, ki bi jih bilo smiselno narediti, sta: preiskava sposobnosti injektiranja in meritve upogibne natezne trdnosti ter tlačne trdnosti na vzorcih starih 90 in 180 dni. S preiskavo sposobnosti injektiranja bi z večjo gotovostjo potrdili, da so posamezne sestave mešanic injektabilne, raziskali pa bi tudi povezavo med injektabilnostjo ter razlezom in časom iztekanja. S preiskavo mehanskih lastnosti

vzorcev starih 90 in 180 dni pa bi lahko ovrednotili vliv karbonatizacije na tlačno in upogibno natezno trdnost mešanic, saj obe skupini mešanic, A in B, vsebujeta kombinirano apneno-cementno vezivo. Šele potem bi lahko ustrezno ovrednotili primernost različnih sestav injekcijskih mešanic, ki smo jih obravnavali v okviru te diplome, za uporabo na terenu.

Upam, da bodo v sklopu diplomske naloge pridobljeni rezultati pripomogli k boljšemu razumevanju lastnosti apneno-cementnih injekcijskih mešanic in pripomogli k sestavi čim bolj ustreznih injekcijskih mešanic.

## VIRI

- [1] Uranjek, M. 2011. Propadanje in trajnostna obnova ovoja stavbne dediščine. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Uranjek): 261str.
- [2] Uranjek, M. 2008. Problematika injektiranja zidov objektov kulturne dediščine. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Uranjek): 166 str.
- [3] Arrigler, A. 2013. Študij utrditvenih ukrepov za kamnite zidove. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Arrigler): 166 str.
- [4] White Portland cement  
[https://en.wikipedia.org/wiki/White\\_Portland\\_cement](https://en.wikipedia.org/wiki/White_Portland_cement) (Pridobljeno 20.6.2016)
- [5] WHITE CEMENT - PROPERTIES, MANUFACTURE, PROSPECTS  
[http://www.ceramics-silikaty.cz/2001/pdf/2001\\_04\\_158.pdf](http://www.ceramics-silikaty.cz/2001/pdf/2001_04_158.pdf) (Pridobljeno 20.6.2016)
- [6] WHAT IS WHITE CEMENT ?  
[http://www.cement.org/docs/default-source/fc\\_mat-app\\_pdfs/arch-deccon/what-is-white-cement-wc001.pdf?sfvrsn=4](http://www.cement.org/docs/default-source/fc_mat-app_pdfs/arch-deccon/what-is-white-cement-wc001.pdf?sfvrsn=4) (Pridobljeno 20.6.2016)
- [7] A process for manufacturing white cement  
<https://www.google.com/patents/WO2011051962A2?cl=en> (Pridobljeno 20.6.2016)
- [8] White Portland Cement | Definition & Details  
<http://civiltoday.com/civil-engineering-materials/cement/47-white-cement> (Pridobljeno 20.6.2016)
- [9] WHITE CEMENT  
[http://bulkmaterialsinternational.net/White\\_Cement\\_Brochure.pdf](http://bulkmaterialsinternational.net/White_Cement_Brochure.pdf) (Pridobljeno 22.6.2016)
- [10] The White Guide  
[http://www.aalborgwhite.com/media/pdf\\_files/info\\_the\\_white\\_guide.pdf](http://www.aalborgwhite.com/media/pdf_files/info_the_white_guide.pdf) (Pridobljeno 22.6.2016)
- [11] Method of and apparatus for the cooling of white cement clinker  
<http://www.google.ch/patents/US4461645> (Pridobljeno 20.6.2016)
- [12] White cement cooler  
<https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/en/products-and-services/cement-plants/clinker-production/cooling/white-cement-cooler/> (Pridobljeno 22.6.2016)

- [13] Cement Industry  
<https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/en/download?p=BF60A20D0ABE27BA2727D6B47A7E525A9000BB66A87FDACE5FBD2D431062943E53BCBD237858191186D8F417C275CB11F0924A0857A93A10B61CAD4E6FC08976F85691AF47A90B95032C286A7D70E78CCB3B2F7D5A3676E52B5ED943F77EE190> (Pridobljeno 22.6.2016)
- [14] Žarnič, R. 2013. Lastnosti gradiv. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 350 str.
- [15] Petan, S. 2002. Uporaba kamene moke kot dodanega praškastega materiala za izdelavo samozgoščevalnih betonov iz drobljenega kamenega agregata. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Petan): 109 str.
- [16] Stermšek, L. 2013. Vpliv dodatkov na lastnosti injekcijskih mas z apnenim vezivom. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba L. Stermšek): 26 str.
- [17] SIST EN 445:2008. Injekcijska masa za prednapete kable: preskusne metode.
- [18] PSIST prEN 1015-8:2001. Metode preizkušanja zidarske malte – 8. del: Določevanje zadrževanja vode sveže malte.
- [19] SIST EN 1015-3:1999. Metode preizkušanja zidarske malte – 3. del: Določevanje konsistence sveže malte.
- [20] SIST EN 1015-3:1999. Metode preizkušanja zidarskih malt.–6. del: Ugotavljanje prostorninske mase sveže malte.
- [21] SIST EN 1015-10:2001/A1:2007. Metode preizkušanja zidarskih malt. – 10. del: Določevanje suhe prostorninske mase strjene malte.
- [22] SIST EN 1015-11:2001. Metode preizkušanja zidarskih malt. – 11. del: Določevanje upogibne in tlačne trdnosti strjene malte.
- [23] Bras, A., M.A. Henriques, F. 2009. The Influence of the mixing procedures on the optimization of fresh grout properties. *Material and Structures* 42: str. 1423-1432
- [24] Žarnič, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V. 2009. Gradiva vaje 2014/2015. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preizkušanje materialov in konstrukcij: 146 str.

## PRILOGA A: ZAPIS REZULTATOV PREISKAV

### MEŠANICA A 1.1

#### sestava mešanice :

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1063 g + 437 g = 1500 g ( PPV = 1500 g/4000 g = 0,375 )

#### meritev pretočnosti:

$t_0 = 25$  s,  $t_{30} = 31$  s

#### meritev razleza:

$d_{1,0} = 25$  cm,  $d_{2,0} = 25$  cm,  $d_0 = 25$  cm

$d_{1,30} = 28$  cm,  $d_{2,30} = 27$  cm,  $d_{30} = 27,5$  cm

#### meritev gostote:

$\rho = 1870$  kg/m<sup>3</sup>

#### meritev vodozadržnosti:

$m_1 = 911,73$  g

$W_1 = 0,27272$

$m_2 = 13,64$  g

$W_2 = 98,37$  g

$m_3 = 1272,46$  g

$W_3 = 14,91$  g

$m_4 = 28,55$  g

relativna izguba vode = 15,1557 %

$m_5 = 360,73$  g

WRW = 84,8442 %

#### meritev izločanja vode:

(1 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,66 %

#### meritev krčenja po 24 urah :

vzorec 1 = 0,56 %, vzorec 2 = 0,77 %, vzorec 3 = 1,12 %,  $A_{1,1} = 0,82$  %

#### meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,98 cm	4,00 cm	3,99 cm	381,23 g	0,37 %
vzorec 2	16,00 cm	4,00 cm	3,98 cm	384,94 g	0,5 %
vzorec 3	15,96 cm	3,98 cm	3,99 cm	379,20 g	0,99 %
A 1.1					0,62 %

#### meritve upogibne trdnosti :

vzorec 1 1,99 MPa

vzorec 2 1,66 MPa

vzorec 3 1,87 MPa

A 1.1 1,84 MPa

#### meritve tlačne trdnosti :

vzorec 1 5,43 MPa 5,28 MPa

vzorec 2 5,64 MPa 5,28 MPa

vzorec 3 5,76 MPa 4,80 MPa

A 1.1 5,36 MPa

MEŠANICA A 1.2**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1063 g + 437 g = 1500 g ( PPV = 1500 g/4000 g = 0,375 )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 13,24$  s,  $t_{0,2} = 13,57$  s $t_{30,1} = 14,52$  s,  $t_{30,2} = 14,22$  s**meritev razleza:** $d_1 = 28$  cm,  $d_2 = 27,5$  cm,  $d = 27,75$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1894$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 912,74$  g $W_1 = 0,27272$  $m_2 = 12,93$  g $W_2 = 99,64$  g $m_3 = 1278,13$  g $W_3 = 17,23$  g $m_4 = 30,16$  g

relativna izguba vode = 17,2919 %

 $m_5 = 365,39$  g

WRW = 82,7080 %

**meritev izločanja vode:**

ni merjeno

**meritev krčenja po 24 urah :**

ni merjeno

**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,936 cm	3,932 cm	4,00 cm	ni merjeno	2,09 %
vzorec 2	15,948 cm	3,941 cm	3,993 cm	ni merjeno	1,96 %
vzorec 3	15,937 cm	3,954 cm	4,00 cm	ni merjeno	1,53 %
A 1.2					1,86 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 1,64 MPa

vzorec 2 1,76 MPa

vzorec 3 1,23 MPa

A 1.2 1,55 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 5,03 MPa 4,68 MPa

vzorec 2 4,48 MPa 5,72 MPa

vzorec 3 4,72 MPa 4,82 MPa

A 1.2 4,91 MPa

### MEŠANICA A 1.3

#### **sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1063 g + 437 g = 1500 g ( PPV = 1500 g/4000 g = 0,375 )

#### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 13,47$  s,  $t_{0,2} = 13,21$  s

$t_{30,1} = 14,94$  s,  $t_{30,2} = 15,15$  s

#### **meritev razleza:**

$d_1 = 27,5$  cm,  $d_2 = 28$  cm,  $d = 27,75$  cm

#### **meritev gostote:**

$\rho = 1864$  kg/m<sup>3</sup>

#### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,49$  g  $W_1 = 0,27272$

$m_2 = 12,79$  g  $W_2 = 101,82$  g

$m_3 = 1286,90$  g  $W_3 = 17,03$  g

$m_4 = 29,82$  g relativna izguba vode = 16,7241 %

$m_5 = 373,41$  g WRW = 83,2758 %

#### **meritev izločanja vode:**

(1 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,66 %

#### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 0,94 %, vzorec 2 = 0,96 %, vzorec 3 = 0,99 %,  $A_{1,3} = 0,97$  %

#### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,920 cm	3,999 cm	3,981 cm	380 g	0,99 %
vzorec 2	15,913 cm	3,989 cm	3,990 cm	380 g	1,06 %
vzorec 3	15,925 cm	3,998 cm	3,996 cm	380 g	0,61 %
A 1.3					0,89 %

#### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 1,44 MPa

vzorec 2 1,95 MPa

vzorec 3 2,14 MPa

A 1.3 1,85 MPa

#### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 5,81 MPa 5,35 MPa

vzorec 2 5,93 MPa 5,92 MPa

vzorec 3 5,56 MPa 5,74 MPa

A 1.3 5,72 MPa

MEŠANICA A 2.1**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1063 g + 437 g = 1500 g ( PPV = 1500 g/4000 g = 0,375 )

superplastifikator PPh = 10 g ( v % = [10 g/4000 g] \* 100 % = 0,25 % )

**meritev pretočnosti:** $t_0 = 18$  s $t_{30} = 18$  s**meritev razleza:** $d_1 = 31,5$  cm,  $d_2 = 31,5$  cm,  $d = 31,5$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1850$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 911,70$  g $W_1 = 0,27272$  $m_2 = 12,05$  g $W_2 = 100,0099$  g $m_3 = 1278,44$  g $W_3 = 17,72$  g $m_4 = 29,77$  g

relativna izguba vode = 17,7182 %

 $m_5 = 366,74$  g

WRW = 82,2817 %

**meritev izločanja vode:**

(4 ml / 150 ml) \* 100 % = 2,66 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 5,14 %, vzorec 2 = 3,38 %, vzorec 3 = 5,08 %,  $A_{2,1} = 4,53$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,97 cm	3,94 cm	3,99 cm	ni merjeno	1,93 %
vzorec 2	15,94 cm	3,94 cm	3,99 cm	ni merjeno	2,11 %
vzorec 3	15,94 cm	3,96 cm	4,00 cm	ni merjeno	1,37 %
A 2.1					1,80 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 1,67 MPa

vzorec 2 1,47 MPa

vzorec 3 0,95 MPa

A 2.1 1,36 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 5,79 MPa 5,28 MPa

vzorec 2 6,06 MPa 6,15 MPa

vzorec 3 5,85 MPa 5,97 MPa

A 2.1 5,85 MPa



## MEŠANICA A 2.2

### **sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1063 g + 437 g = 1500 g ( PPV = 1500 g/4000 g = 0,375 )

superplastifikator PPh = 10 g (v % = [10 g/4000 g] \* 100 % = 0,25 % )

### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 10,62$  s,  $t_{0,2} = 10,73$  s

$t_{30,1} = 11,22$  s,  $t_{30,2} = 11,27$  s

### **meritev razleza:**

$d_1 = 38$  cm,  $d_2 = 38,5$  cm,  $d = 38,25$  cm

### **meritev gostote:**

$\rho = 1842$  kg/m<sup>3</sup>

### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 912,83$  g  $W_1 = 0,2727$

$m_2 = 13,00$  g  $W_2 = 98,60$  g

$m_3 = 1274,43$  g  $W_3 = 16,77$  g

$m_4 = 29,77$  g relativna izguba vode = 17,0066 %

$m_5 = 361,6$  g WRW = 82,9933 %

### **meritev izločanja vode:**

(4 ml / 148 ml) \* 100 % = 2,7 %

### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 2,07 %, vzorec 2 = 2,68 %, vzorec 3 = 1,95 %,  $A_{2,2} = 2,23$  %

### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,97 cm	3,94 cm	3,99 cm	ni merjeno	1,81 %
vzorec 2	15,96 cm	3,91 cm	3,99 cm	ni merjeno	2,60 %
vzorec 3	15,94 cm	3,91 cm	3,99 cm	ni merjeno	2,58 %
A 2.2					2,33 %

### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 1,95 MPa

vzorec 2 1,86 MPa

vzorec 3 2,32 MPa

A 2.2 2,05 MPa

### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 6,68 MPa 6,80 MPa

vzorec 2 5,73 MPa 6,34 MPa

vzorec 3 4,25 MPa 7,65 MPa

A 2.2 6,24 MPa

MEŠANICA A 2.3**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1063 g + 437 g = 1500 g ( PPV = 1500 g/4000 g = 0,375 )

superplastifikator PPh = 10 g ( v % = [10 g/4000 g] \* 100 % = 0,25 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 10,33$  s,  $t_{0,2} = 10,57$  s $t_{30,1} = 11,65$  s,  $t_{30,2} = 11,40$  s**meritev razleza:** $d_1 = 39$  cm,  $d_2 = 39$  cm,  $d = 39$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1856$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 913,75$  g $W_1 = 0,2727$  $m_2 = 13,27$ g $W_2 = 102,32$  g $m_3 = 1288,98$  g $W_3 = 17,37$  g $m_4 = 20,64$  g

relativna izguba vode = 16,9752 %

 $m_5 = 378,23$  g

WRW = 83,0247 %

**meritev izločanja vode:**

(4 ml / 150 ml) \* 100 % = 2,66 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 1,14 %, vzorec 2 = 2,06 %, vzorec 3 = 1,64 %,  $A_{2,3} = 1,61$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,96 cm	3,91 cm	4,00 cm	378 g	2,38 %
vzorec 2	15,96 cm	3,92 cm	3,97 cm	378 g	2,65 %
vzorec 3	15,97 cm	3,93 cm	4,00 cm	382 g	1,89 %
A 2.3					2,31 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 2,29 MPa

vzorec 2 2,04 MPa

vzorec 3 2,25 MPa

A 2.3 2,20 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 5,75 MPa 5,11 MPa

vzorec 2 5,63 MPa 5,52 MPa

vzorec 3 5,08 MPa 5,94 MPa

A 2.3 5,51 MPa

### MEŠANICA A 3.1

#### **sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 850 g + 350 g = 1200 g ( PPV = 1200 g/4000 g = 0,3 )

superplastifikator PPh = 10 g (v % = [10 g/4000 g] \* 100 % = 0,25 % )

#### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 31,92$  s

$t_{30,1} = 38,69$  s

#### **meritev razleza:**

$d_1 = 27,5$  cm,  $d_2 = 28$  cm,  $d = 27,75$  cm

#### **meritev gostote:**

$\rho = 1932$  kg/m<sup>3</sup>

#### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 912,57$  g  $W_1 = 0,2307$

$m_2 = 12,47$ g  $W_2 = 86,74$  g

$m_3 = 1288,56$  g  $W_3 = 10,44$  g

$m_4 = 22,91$  g relativna izguba vode = 12,0358 %

$m_5 = 375,99$  g WRW = 87,9641 %

#### **meritev izločanja vode:**

(1 ml / 151 ml) \* 100 % = 0,66 %

#### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 2,47 %, vzorec 2 = 1,74 %, vzorec 3 = 2,11 %,  $A_{3,1} = 2,11$  %

#### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,98 cm	3,93 cm	3,99 cm	ni merjeno	1,77 %
vzorec 2	15,98 cm	3,94 cm	3,99 cm	ni merjeno	1,62 %
vzorec 3	15,98 cm	3,93 cm	4,99 cm	ni merjeno	1,74 %
A 3.1					1,71 %

#### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 2,33 MPa

vzorec 2 2,90 MPa

vzorec 3 3,06 MPa

A 3.1 2,76 MPa

#### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 9,41 MPa 9,42 MPa

vzorec 2 9,93 MPa 8,98 MPa

vzorec 3 9,64 MPa 9,09 MPa

A 3.1 9,41 MPa

MEŠANICA A 3.2**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 850 g + 350 g = 1200 g ( PPV = 1200 g/4000 g = 0,3 )

superplastifikator PPh = 10 g ( v % = [10 g/4000 g] \* 100 % = 0,25 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 18,53 \text{ s}$ ,  $t_{0,2} = 18,52 \text{ s}$  $t_{30,1} = 24,54 \text{ s}$ ,  $t_{30,2} = 25,63 \text{ s}$ **meritev razleza:** $d_1 = 34 \text{ cm}$ ,  $d_2 = 34 \text{ cm}$ ,  $d = 34 \text{ cm}$ **meritev gostote:** $\rho = 1946 \text{ kg/m}^3$ **meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 913,51 \text{ g}$   $W_1 = 0,2307$  $m_2 = 13,02 \text{ g}$   $W_2 = 87,22 \text{ g}$  $m_3 = 1291,61 \text{ g}$   $W_3 = 11,42 \text{ g}$  $m_4 = 24,44 \text{ g}$  relativna izguba vode = 13,0921 % $m_5 = 378,1 \text{ g}$  WRW = 86,9078 %**meritev izločanja vode:**

(1 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,66 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 0,77 %, vzorec 2 = 1,68 %, vzorec 3 = 2,20 %,  $A_{3,2} = 1,55 \%$ **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,96 cm	4,00 cm	4,00 cm	ni merjeno	0,23 %
vzorec 2	15,95 cm	4,00 cm	3,99 cm	ni merjeno	0,41 %
vzorec 3	15,97 cm	3,99 cm	3,98 cm	ni merjeno	0,61 %
A 3.2					0,42 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 3,85 MPa

vzorec 2 3,64 MPa

vzorec 3 3,40 MPa

A 3.2 3,29 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 10,57 MPa 10,72 MPa

vzorec 2 11,42 MPa 11,03 MPa

vzorec 3 10,91 MPa 10,42 MPa

A 3.2 10,85 MPa

### MEŠANICA A 3.3

#### **sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 850 g + 350 g = 1200 g ( PPV = 1200 g/4000 g = 0,3 )

superplastifikator PPh = 10 g (v % = [10 g/4000 g] \* 100 % = 0,25 % )

#### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 18,61$  s,  $t_{0,2} = 19,04$  s

$t_{30,1} = 25,04$  s,  $t_{30,2} = 25,62$  s

#### **meritev razleza:**

$d_1 = 33$  cm,  $d_2 = 32,5$  cm,  $d = 32,75$  cm

#### **meritev gostote:**

$\rho = 1958$  kg/m<sup>3</sup>

#### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,70$  g  $W_1 = 0,2307$

$m_2 = 12,99$  g  $W_2 = 90,87$  g

$m_3 = 1307,63$  g  $W_3 = 11,72$  g

$m_4 = 24,71$  g relativna izguba vode = 12,8961 %

$m_5 = 393,93$  g WRW = 87,1038 %

#### **meritev izločanja vode:**

(0,5 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,33 %

#### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 2,091 %, vzorec 2 = 1,99 %, vzorec 3 = 1,99 %,  $A_{3,3} = 2,02$  %

#### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,88 cm	3,95 cm	3,97 cm	422 g	2,31 %
vzorec 2	15,91 cm	3,95 cm	3,96 cm	422 g	2,61 %
vzorec 3	15,93 cm	4,00 cm	3,99 cm	424 g	0,51 %
A 3.3					1,81 %

#### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 3,92 MPa

vzorec 2 4,01 MPa

vzorec 3 3,36 MPa

A 3.3 3,76 MPa

#### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 12,10 MPa 12,08 MPa

vzorec 2 11,07 MPa 11,86 MPa

vzorec 3 11,56 MPa 10,77 MPa

A 3.3 11,57 MP

MEŠANICA A 4.1**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 20 g ( v % = [20 g/4000 g] \* 100 % = 0,5 % )

**meritev pretočnosti:** $t_0 = 62$  s $t_{30} = 66$  s**meritev razleza:** $d_1 = 33$  cm,  $d_2 = 32,5$  cm,  $d = 32,75$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1978$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 912,38$  g $W_1 = 0,20$  $m_2 = 11,69$  g $W_2 = 77,198$  g $m_3 = 1298,37$  g $W_3 = 7,22$  g $m_4 = 18,91$  g

relativna izguba vode = 9,3525 %

 $m_5 = 385,99$  g

WRW = 90,6474 %

**meritev izločanja vode:**

(0,5 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,33 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 1,92 %, vzorec 2 = 1,88 %, vzorec 3 = 1,99 %,  $A_{4.1} = 1,93$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,94 cm	3,94 cm	3,98 cm	ni merjeno	2,13 %
vzorec 2	15,94 cm	3,96 cm	3,99 cm	ni merjeno	1,36 %
vzorec 3	15,94 cm	3,96 cm	3,99 cm	ni merjeno	1,55 %
A 4.1					1,68 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 4,26 MPa

vzorec 2 4,13 MPa

vzorec 3 4,86 MPa

A 4.1 4,42 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 16,77 MPa 14,43 MPa

vzorec 2 14,51 MPa 16,89 MPa

vzorec 3 15,86 MPa 18,71 MPa

A 4.1 16,19 MPa

## MEŠANICA A 4.2

### **sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 20 g (v % = [20 g/4000 g] \* 100 % = 0,5 % )

### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 33,13$  s,  $t_{0,2} = 35,12$  s

$t_{30,1} = 40,59$  s,  $t_{30,2} = 40,51$  s

### **meritev razleza:**

$d_1 = 33,5$  cm,  $d_2 = 37,5$  cm,  $d = 37$  cm

### **meritev gostote:**

$\rho = 1946$  kg/m<sup>3</sup>

### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,79$  g  $W_1 = 0,20$

$m_2 = 13,26$  g  $W_2 = 77,876$  g

$m_3 = 1303,17$  g  $W_3 = 7,63$  g

$m_4 = 20,89$  g relativna izguba vode = 9,7976 %

$m_5 = 388,38$  g WRW = 90,2023 %

### **meritev izločanja vode:**

(1 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,66 %

### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 3,04 %, vzorec 2 = 2,93 %, vzorec 3 = 2,89 %,  $A_{4,2} = 2,95$  %

### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,91 cm	3,97 cm	3,97 cm	ni merjeno	1,80 %
vzorec 2	15,92 cm	3,91 cm	3,99 cm	ni merjeno	2,96 %
vzorec 3	15,93 cm	3,88 cm	3,98 cm	ni merjeno	3,53 %
A 4.2					2,77 %

### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 4,82 MPa

vzorec 2 4,72 MPa

vzorec 3 5,09 MPa

A 4.2 4,88 MPa

### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 16,68 MPa 16,68 MPa

vzorec 2 16,23 MPa 17,01 MPa

vzorec 3 16,71 MPa 17,12 MPa

A 4.2 16,74 MPa

MEŠANICA A 4.3**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 20 g ( v % = [20 g/4000 g] \* 100 % = 0,5 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 32,04$  s,  $t_{0,2} = 32,67$  s $t_{30,1} = 38,41$  s,  $t_{30,2} = 40,19$  s**meritev razleza:** $d_1 = 36,5$  cm,  $d_2 = 36,5$  cm,  $d = 36,5$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1960$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 913,73$  g  $W_1 = 0,20$  $m_2 = 12,72$  g  $W_2 = 79,106$  g $m_3 = 1309,26$  g  $W_3 = 7,5$  g $m_4 = 20,22$  g relativna izguba vode = 9,4809 % $m_5 = 395,53$  g WRW = 90,5190 %**meritev izločanja vode:**

(0,5 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,33 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 2,86 %, vzorec 2 = 2,11 %, vzorec 3 = 1,39 %,  $A_{4,3} = 2,12$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,92 cm	4,00 cm	3,96 cm	442 g	1,30 %
vzorec 2	15,89 cm	3,99 cm	3,95 cm	442 g	1,99 %
vzorec 3	15,91 cm	4,00 cm	3,97 cm	442 g	1,25 %
A 4.3					1,25 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 5,67 MPa

vzorec 2 5,49 MPa

vzorec 3 5,43 MPa

A 4.3 5,53 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 18,16 MPa 17,86 MPa

vzorec 2 18,01 MPa 18,23 MPa

vzorec 3 11,97 MPa 17,12 MPa

A 4.3 16,89 MPa



## MEŠANICA A 5

### **sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 30 g (v % = [30 g/4000 g] \* 100 % = 0,75 % )

### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 24$  s

$t_{30,1} = 30$  s

### **meritev razleza:**

$d_1 = 58$  cm,  $d_2 = 59$  cm,  $d = 58,5$  cm

### **meritev gostote:**

ni merjeno

### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 912,38$  g  $W_1 = 0,20$

$m_2 = 13,25$ g  $W_2 = 77,524$  g

$m_3 = 1300$  g  $W_3 = 6,19$  g

$m_4 = 19,44$  g relativna izguba vode = 7,9846 %

$m_5 = 387,62$  g WRW = 92,0153 %

### **meritev izločanja vode:**

(4 ml / 150 ml) \* 100 % = 2,66 %

### **meritev krčenja po 24 urah :**

ni merjeno

### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

ni merjeno

### **meritve upogibne trdnosti :**

ni merjeno

### **meritve tlačne trdnosti :**

ni merjeno

### **OPOMBA :**

Mešanica je hitro segregirala in se je lepila na ostenje mešalne posode. Pri meritvi izločanja vode se segregacija opazi po cca. 1 uri (pojavi se značilne vertikalne sledi). Zaradi navedenega nisem vzel vzorcev za meritev krčenja oz. meritev upogibne in tlačne trdnosti.

MEŠANICA A 6.1**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 25 g ( v % = [25 g/4000 g] \* 100 % = 0,625 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 32$  s $t_{30,1} = 44$  s**meritev razleza:** $d_1 = 50$  cm,  $d_2 = 51$  cm,  $d = 50,5$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1968$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 912,66$  g $W_1 = 0,20$  $m_2 = 13,19$  g $W_2 = 75,95$  g $m_3 = 1292,44$  g $W_3 = 8,23$  g $m_4 = 21,42$  g

relativna izguba vode = 10,8352 %

 $m_5 = 397,78$  g

WRW = 89,1647 %

**meritev izločanja vode:**

V zgornjem delu mezure (120 ml – 150 ml) se je naredil »gobasti« sloj, povsem suh. Med tem in ostalim slojem (mešanico) se je pojavila »razpoka« ki je potekala okoli in okoli mezure.

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 4,17 %, vzorec 2 = 4,40 %, vzorec 3 = 4,56 %,  $A_{6,1} = 4,38$  %

(veliki skrčki, katerih vzrok je lahko tudi napačna priprava vzorca ali napaka pri merjenju)

**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,97 cm	4,97 cm	3,98 cm	ni merjeno	1,18 %
vzorec 2	15,96 cm	3,98 cm	3,98 cm	ni merjeno	1,01 %
vzorec 3	15,95 cm	3,98 cm	3,98 cm	ni merjeno	1,02 %
A 6.1					1,07 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1	5,28 MPa
vzorec 2	5,68 MPa
vzorec 3	4,20 MPa
A 6.1	5,05 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1	17,44 MPa	18,33 MPa
vzorec 2	18,05 MPa	17,55 MPa
vzorec 3	16,51 MPa	17,74 MPa
A 6.1	17,60 MPa	

MEŠANICA A 6.2**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 25 g ( v % = [25 g/4000 g] \* 100 % = 0,625 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 31,57$  s,  $t_{0,2} = 34,43$  s $t_{30,1} = 39,52$  s,  $t_{30,2} = 39,38$  s**meritev razleza:** $d_1 = 47$  cm,  $d_2 = 48$  cm,  $d = 47,5$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1982$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 913,93$  g $W_1 = 0,20$  $m_2 = 13,46$  g $W_2 = 79,24$  g $m_3 = 1310,13$  g $W_3 = 6,97$  g $m_4 = 20,43$  g

relativna izguba vode = 8,7960 %

 $m_5 = 396,2$  g

WRW = 91,2039 %

**meritev izločanja vode:**

(1 ml / 149 ml) \* 100 % = 0,67 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 2,07 %, vzorec 2 = 1,19 %, vzorec 3 = 2,10 %,  $A_{6,2} = 1,78$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,92 cm	3,93 cm	3,98 cm	432 g	2,32 %
vzorec 2	15,81 cm	3,96 cm	3,98 cm	432 g	1,82 %
vzorec 3	15,93 cm	3,96 cm	3,98 cm	439 g	1,77 %
A 6.2					1,97 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 5,06 MPa

vzorec 2 4,88 MPa

vzorec 3 5,27 MPa

A 6.2 5,07 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 18,26 MPa 18,13 MPa

vzorec 2 19,09 MPa 18,11 MPa

vzorec 3 17,54 MPa 15,54 MPa

A 6.2 17,78 MPa

### MEŠANICA A 6.3

#### **sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 25 g (v % = [25 g/4000 g] \* 100 % = 0,625 % )

#### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 27,66$  s,  $t_{0,2} = 28,66$  s

$t_{30,1} = 32,09$  s,  $t_{30,2} = 32,09$  s

#### **meritev razleza:**

$d_1 = 42$  cm,  $d_2 = 43$  cm,  $d = 42,5$  cm

#### **meritev gostote:**

$\rho = 1942$  kg/m<sup>3</sup>

#### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,73$  g  $W_1 = 0,20$

$m_2 = 12,83$  g  $W_2 = 78,47$  g

$m_3 = 1306,11$  g  $W_3 = 7,69$  g

$m_4 = 20,52$  g relativna izguba vode = 9,7991 %

$m_5 = 392,38$  g WRW = 90,2008

#### **meritev izločanja vode:**

(0,5 ml / 149 ml) \* 100 % = 0,33 %

#### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 3,09 %, vzorec 2 = 3,92 %, vzorec 3 = 2,15 %,  $A_{6,3} = 3,05$  %

#### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,94 cm	3,98 cm	3,99 cm	436 g	0,86 %
vzorec 2	15,94 cm	3,99 cm	3,99 cm	436 g	0,72 %
vzorec 3	15,95 cm	4,00 cm	3,99 cm	436 g	0,48 %
A 6.3					0,69 %

#### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 4,43 MPa

vzorec 2 5,05 MPa

vzorec 3 4,11 MPa

A 6.3 4,53 MPa

#### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 13,14 MPa 15,98 MPa

vzorec 2 16,17 MPa 15,85 MPa

vzorec 3 16,20 MPa 16,73 MPa

A 6.3 15,67 MPa

MEŠANICA A 7.1**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 22,5 g ( v % = [22,5 g/4000 g] \* 100 % = 0,5625 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 35,95$  s,  $t_{0,2} = 37,91$  s $t_{30,1} = 43,87$  s,  $t_{30,2} = 43,50$  s**meritev razleza:** $d_1 = 40$  cm,  $d_2 = 41$  cm,  $d = 40,5$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1949$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 912,85$  g $W_1 = 0,20$  $m_2 = 13,32$ g $W_2 = 77,582$  g $m_3 = 1300,76$  g $W_3 = 7,09$  g $m_4 = 20,41$  g

relativna izguba vode = 9,1387 %

 $m_5 = 387,91$  g

WRW = 90,8612 %

**meritev izločanja vode:**

(1 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,66 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 3,10 %, vzorec 2 = 3,10 %, vzorec 3 = 2,77 %,  $A_{7,1} = 2,99$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,93 cm	3,90 cm	3,98 cm	ni merjeno	3,36 %
vzorec 2	15,95 cm	3,93 cm	3,98 cm	ni merjeno	2,47 %
vzorec 3	15,94 cm	3,92 cm	3,99 cm	ni merjeno	2,25 %
A 7.1					2,70 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 5,17 MPa

vzorec 2 5,20 MPa

vzorec 3 5,17 MPa

A 7.1 5,18 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 17,85 MPa 20,53 MPa

vzorec 2 19,20 MPa 18,94 MPa

vzorec 3 17,20 MPa 20,37 MPa

A 7.1 19,01 MPa

## MEŠANICA A 7.2

### **sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 22,5 g (v % = [22,5 g/4000 g] \* 100 % = 0,5625 % )

### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 31,44$  s,  $t_{0,2} = 33,20$  s

$t_{30,1} = 36,60$  s,  $t_{30,2} = 36,87$  s

### **meritev razleza:**

$d_1 = 44$  cm,  $d_2 = 43,5$  cm,  $d = 43,75$  cm

### **meritev gostote:**

$\rho = 1956$  kg/m<sup>3</sup>

### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,76$  g  $W_1 = 0,20$

$m_2 = 12,88$  g  $W_2 = 78,91$  g

$m_3 = 1308,31$  g  $W_3 = 8,27$  g

$m_4 = 21,15$  g relativna izguba vode = 10,4802 %

$m_5 = 394,55$  g WRW = 89,5197 %

### **meritev izločanja vode:**

(1 ml / 148 ml) \* 100 % = 0,67 %

### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 2,69 %, vzorec 2 = 2,75 %, vzorec 3 = 3,21 %,  $A_{7,2} = 2,88$  %

### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,96 cm	3,91 cm	3,99 cm	428 g	2,38 %
vzorec 2	15,98 cm	3,92 cm	3,99 cm	430 g	2,04 %
vzorec 3	15,97 cm	3,93 cm	4,00 cm	428 g	1,93 %
A 7.2					2,12 %

### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 4,25 MPa

vzorec 2 5,18 MPa

vzorec 3 4,42 MPa

A 7.2 4,62 MPa

### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 16,24 MPa 15,06 MPa

vzorec 2 16,49 MPa 16,77 MPa

vzorec 3 14,34 MPa 14,99 MPa

A 7.2 15,65 MPa

MEŠANICA A 7.3**sestava mešanice :**

apno 252 g

beli cement 692 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 291 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/4000 g = 0,25 )

superplastifikator PPh = 22,5 g ( v % = [22,5 g/4000 g] \* 100 % = 0,5625 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 27,56$  s,  $t_{0,2} = 28,76$  s $t_{30,1} = 32,75$  s,  $t_{30,2} = 33,75$  s**meritev razleza:** $d_1 = 39$  cm,  $d_2 = 39,5$  cm,  $d = 39,25$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1950$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 913,53$  g $W_1 = 0,20$  $m_2 = 12,93$  g $W_2 = 77,93$  g $m_3 = 1303,18$  g $W_3 = 7,33$  g $m_4 = 20,26$  g

relativna izguba vode = 9,4058 %

 $m_5 = 389,65$  g

WRW = 90,5941 %

**meritev izločanja vode:**

(1 ml / 149 ml) \* 100 % = 0,67 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 2,69 %, vzorec 2 = 2,64 %, vzorec 3 = 2,38 %,  $A_{7,3} = 2,57$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,91 cm	4,00 cm	3,98 cm	438 g	0,97 %
vzorec 2	15,91 cm	4,00 cm	3,98 cm	436 g	1,04%
vzorec 3	15,92 cm	4,00 cm	3,98 cm	436 g	0,87 %
A 7.3					0,96 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 4,06 MPa

vzorec 2 3,99 MPa

vzorec 3 3,59 MPa

A 7.3 3,88 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 16,99 MPa 16,91 MPa

vzorec 2 17,79 MPa 17,70 MPa

vzorec 3 17,85 MPa 17,53 MPa

A 7.3 17,46 MPa



## MEŠANICA B 1

### **sestava mešanice :**

apno 524 g

beli cement 330 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1062 g + 438 g = 1500 g ( PPV = 1500 g/3910 g = 0,38 )

### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 18,06$  s,  $t_{0,2} = 18,08$  s

$t_{30,1} = 20,92$  s,  $t_{30,2} = 21,71$  s

### **meritev razleza:**

$d_1 = 26$  cm,  $d_2 = 25$  cm,  $d = 25,5$  cm

### **meritev gostote:**

$\rho = 1867$  kg/m<sup>3</sup>

### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,57$  g  $W_1 = 0,28$

$m_2 = 13,46$  g  $W_2 = 100,16$  g

$m_3 = 1274,91$  g  $W_3 = 14,36$  g

$m_4 = 27,82$  g relativna izguba vode = 14,3365 %

$m_5 = 361,34$  g WRW = 85,6634 %

### **meritev izločanja vode:**

(1 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,66 %

### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 2,95 %, vzorec 2 = 2,23 %, vzorec 3 = 1,97 %, B<sub>1</sub> = 2,38 %

### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,93 cm	3,93 cm	3,97 cm	359 g	2,90 %
vzorec 2	15,99 cm	3,92 cm	3,98 cm	358 g	2,66%
vzorec 3	15,91 cm	3,92 cm	3,98 cm	359 g	2,90 %
B 1					2,82 %

### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 0,93 MPa

vzorec 2 0,88 MPa

vzorec 3 0,84 MPa

B 1 0,88 MPa

### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 1,72 MPa 1,52 MPa

vzorec 2 1,66 MPa 1,93 MPa

vzorec 3 1,83 MPa 1,82 MPa

B 1 1,75 MPa

MEŠANICA B 2**sestava mešanice :**

apno 524 g

beli cement 330 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1134 g + 466 g = 1600 g ( PPV = 1600 g/3910 g = 0,41 )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 12,68$  s,  $t_{0,2} = 12,80$  s $t_{30,1} = 14,32$  s,  $t_{30,2} = 14,48$  s**meritev razleza:** $d_1 = 25,5$  cm,  $d_2 = 25,5$  cm,  $d = 25,5$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1799$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 913,54$  g $W_1 = 0,29$  $m_2 = 12,32$  g $W_2 = 103,86$  g $m_3 = 1271,32$  g $W_3 = 14,92$  g $m_4 = 27,24$  g

relativna izguba vode = 14,3650 %

 $m_5 = 357,78$  g

WRW = 85,6349 %

**meritev izločanja vode:**

(1 ml / 152 ml) \* 100 % = 0,65 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 1,65 %, vzorec 2 = 1,64 %, vzorec 3 = 1,54 %,  $B_2 = 1,61$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,95 cm	3,95 cm	3,97 cm	349 g	2,38 %
vzorec 2	15,96 cm	3,96 cm	3,97 cm	348 g	1,96 %
vzorec 3	15,95 cm	3,95 cm	3,97 cm	348 g	2,42 %
B 2					2,25 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1	0,44 MPa
vzorec 2	0,55 MPa
vzorec 3	0,51 MPa
B 2	0,50 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1	1,10 MPa	1,24 MPa
vzorec 2	1,27 MPa	1,36 MPa
vzorec 3	1,39 MPa	1,47 MPa
B 2		1,31 MPa

### MEŠANICA B 3

#### **sestava mešanice :**

apno 524 g

beli cement 330 g

kalcitna moka 3056 g

voda 1062 g + 438 g = 1500 g ( PPV = 1500 g/3910 g = 0,38 )

superplastifikator PPh = 9,775 g (v % = [9,775 g/3910 g] \* 100 % = 0,25 % )

#### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 11,40$  s,  $t_{0,2} = 11,50$  s

$t_{30,1} = 12,19$  s,  $t_{30,2} = 12,46$  s

#### **meritev razleza:**

$d_1 = 39$  cm,  $d_2 = 39,5$  cm,  $d = 39,25$  cm

#### **meritev gostote:**

$\rho = 1831$  kg/m<sup>3</sup>

#### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,17$  g  $W_1 = 0,28$

$m_2 = 12,51$  g  $W_2 = 100,36$  g

$m_3 = 1275,23$  g  $W_3 = 14,7$  g

$m_4 = 27,21$  g relativna izguba vode = 14,6468 %

$m_5 = 362,02$  g WRW = 85,3531 %

#### **meritev izločanja vode:**

(2 ml / 150 ml) \* 100 % = 1,33 %

#### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 1,10 %, vzorec 2 = 1,39 %, vzorec 3 = 1,26 %,  $B_3 = 1,25$  %

#### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,98 cm	3,99 cm	3,98 cm	362 g	0,78 %
vzorec 2	15,98 cm	3,99 cm	3,98 cm	361 g	0,61 %
vzorec 3	15,98 cm	3,99 cm	3,97 cm	360 g	1,10 %
B 3					0,83 %

#### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 0,37 MPa

vzorec 2 0,33 MPa

vzorec 3 0,48 MPa

B 3 0,39 MPa

#### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 1,36 MPa 1,17 MPa

vzorec 2 1,42 MPa 1,13 MPa

vzorec 3 1,28 MPa 1,33 MPa

B 3 1,32 MPa

MEŠANICA B 4**sestava mešanice :**

apno 524 g

beli cement 330 g

kalcitna moka 3056 g

voda 850 g + 350 g = 1200 g ( PPV = 1200 g/3910 g = 0,30 )

superplastifikator PPh = 9,775 g ( v % = [9,775 g/3910 g] \* 100 % = 0,25 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 21,36$  s,  $t_{0,2} = 21,18$  s ( T = 24° C ) $t_{30,1} = 32,74$  s,  $t_{30,2} = 36,31$  s ( T = 25° C )**meritev razleza:** $d_1 = 27$  cm,  $d_2 = 27$  cm,  $d = 27$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1904$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 914,06$  g $W_1 = 0,24$  $m_2 = 12,51$  g $W_2 = 88,18$  g $m_3 = 1289,61$  g $W_3 = 9,75$  g $m_4 = 22,26$  g

relativna izguba vode = 11,0570 %

 $m_5 = 375,55$  g

WRW = 88,9470 %

**meritev izločanja vode:**

(0,5 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,33 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 2,29 %, vzorec 2 = 3,15 %, vzorec 3 = 2,79 %,  $B_4 = 2,74$  %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,93 cm	3,97 cm	3,98 cm	392 g	1,52 %
vzorec 2	15,92 cm	3,95 cm	3,98 cm	393 g	2,01 %
vzorec 3	15,93 cm	3,97 cm	3,99 cm	393 g	1,44 %
B 4					1,66 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 0,93 MPa

vzorec 2 0,48 MPa

vzorec 3 0,55 MPa

B 4 0,65 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 2,35 MPa 2,48 MPa

vzorec 2 2,93 MPa 2,98 MPa

vzorec 3 2,60 MPa 2,67 MPa

B 4 2,66 MPa

## MEŠANICA B 5

### **sestava mešanice :**

apno 524 g

beli cement 330 g

kalcitna moka 3056 g

voda 850 g + 350 g = 1200 g ( PPV = 1200 g/3910 g = 0,30 )

superplastifikator PPh = 19,55 g ( v % = [19,55 g/3910 g] \* 100 % = 0,50 % )

### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 17,34$  s,  $t_{0,2} = 17,40$  s ( T = 24° C )

$t_{30,1} = 18,69$  s,  $t_{30,2} = 18,53$  s ( T = 24° C )

### **meritev razleza:**

$d_1 = 38,5$  cm,  $d_2 = 39$  cm,  $d = 38,75$  cm

### **meritev gostote:**

$\rho = 1900$  kg/m<sup>3</sup>

### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,17$  g  $W_1 = 0,23$

$m_2 = 12,15$  g  $W_2 = 90,14$  g

$m_3 = 1297,05$  g  $W_3 = 10,45$  g

$m_4 = 22,6$  g relativna izguba vode = 11,593 %

$m_5 = 383,88$  g WRW = 88,406 %

### **meritev izločanja vode:**

( 1 ml / 150 ml ) \* 100 % = 0,66 %

### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 1,57 %, vzorec 2 = 2,21 %, vzorec 3 = 2,41 %, B<sub>5</sub> = 2,06 %

### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,92 cm	3,97 cm	3,98 cm	396 g	1,76 %
vzorec 2	15,95 cm	3,96 cm	3,98 cm	395 g	1,90 %
vzorec 3	15,93 cm	3,98 cm	3,99 cm	396 g	1,45 %
B 5					1,70 %

### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 1,30 MPa

vzorec 2 1,25 MPa

vzorec 3 1,25 MPa

B 5 0,65 MPa

### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 3,38 MPa 3,20 MPa

vzorec 2 3,02 MPa 3,26 MPa

vzorec 3 3,27 MPa 2,90 MPa

B 5 3,17 MPa

**OPOMBA :**

V stekleni mezuri sem opazil zelo rahlo segregacijo in sicer v območju med 135 do 150 ml. Dopuščam tudi možnost, da je do segregacije prišlo zaradi premikanja mezure.

## MEŠANICA B 6

### **sestava mešanice :**

apno 524 g

beli cement 330 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 292 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/3910 g = 0,26 )

superplastifikator PPh = 19,55 g ( v % = [19,55 g/3910 g] \* 100 % = 0,50 % )

### **meritev pretočnosti:**

$t_{0,1} = 29,07$  s,  $t_{0,2} = 28,56$  s ( T = 26° C )

$t_{30,1} = 32,26$  s,  $t_{30,2} = 33,40$  s ( T = 26° C )

### **meritev razleza:**

$d_1 = 35$  cm,  $d_2 = 36$  cm,  $d = 35,5$  cm

### **meritev gostote:**

$\rho = 1958$  kg/m<sup>3</sup>

### **meritev vodozadržnosti:**

$m_1 = 913,84$  g  $W_1 = 0,20$

$m_2 = 12,27$  g  $W_2 = 80,94$  g

$m_3 = 1311,42$  g  $W_3 = 7,23$  g

$m_4 = 19,50$  g relativna izguba vode = 8,9317 %

$m_5 = 397,58$  g WRW = 91,06 %

### **meritev izločanja vode:**

(0,5 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,33 %

### **meritev krčenja po 24 urah :**

vzorec 1 = 1,50 %, vzorec 2 = 1,58 %, vzorec 3 = 1,29 %,  $B_6 = 1,46$  %

### **meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,92 cm	3,98 cm	3,98 cm	421 g	1,35 %
vzorec 2	15,94 cm	3,98 cm	3,99 cm	422 g	1,12 %
vzorec 3	15,93 cm	3,98 cm	3,99 cm	421 g	1,52 %
B 6					1,34 %

### **meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 1,66 MPa

vzorec 2 1,70 MPa

vzorec 3 1,70 MPa

B 6 1,68 MPa

### **meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 4,93 MPa 4,71 MPa

vzorec 2 4,93 MPa 5,03 MPa

vzorec 3 4,78 MPa 4,55 MPa

B 6 4,79 MPa

MEŠANICA B 7**sestava mešanice :**

apno 524 g

beli cement 330 g

kalcitna moka 3056 g

voda 708 g + 292 g = 1000 g ( PPV = 1000 g/3910 g = 0,26 )

superplastifikator PPh = 29,325 g ( v % = [29,325 g/3910 g] \* 100 % = 0,75 % )

**meritev pretočnosti:** $t_{0,1} = 27,44$  s,  $t_{0,2} = 28,28$  s ( T = 25° C ) $t_{30,1} = 30,74$  s,  $t_{30,2} = 30,25$  s ( T = 26° C )**meritev razleza:** $d_1 = 46$  cm,  $d_2 = 45,5$  cm,  $d = 45,75$  cm**meritev gostote:** $\rho = 1912$  kg/m<sup>3</sup>**meritev vodozadržnosti:** $m_1 = 913,5$  g $W_1 = 0,23$  $m_2 = 12,10$  g $W_2 = 79,39$  g $m_3 = 1303,44$  g $W_3 = 6,83$  g $m_4 = 18,93$  g

relativna izguba vode = 8,6029 %

 $m_5 = 389,94$  g

WRW = 91,39 %

**meritev izločanja vode:**

(1 ml / 150 ml) \* 100 % = 0,66 %

**meritev krčenja po 24 urah :**vzorec 1 = 2,06 %, vzorec 2 = 2,55 %, vzorec 3 = 2,31 %, B<sub>7</sub> = 2,31 %**meritev dimenzije, teže in krčenja prizmic po 28 dneh:**

	dolžina	višina	širina	teža	krčenje
vzorec 1	15,95 cm	4,00 cm	3,99 cm	418 g	0,54 %
vzorec 2	15,95 cm	4,00 cm	3,99 cm	414 g	0,61 %
vzorec 3	15,95 cm	4,00 cm	3,99 cm	422 g	0,58 %
B 7					0,59 %

**meritve upogibne trdnosti :**

vzorec 1 1,53 MPa

vzorec 2 1,33 MPa

vzorec 3 1,73 MPa

B 7 1,53 MPa

**meritve tlačne trdnosti :**

vzorec 1 4,81 MPa 4,92 MPa

vzorec 2 4,93 MPa 4,79 MPa

vzorec 3 5,32 MPa 5,39 MPa

B 7 5,02 MPa