

# Određivanje svojstava zamjenskog materijala za imobilizaciju uzoraka u standardnom uređaju za izravni posmik stijena

---

Crnković, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:606115>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**

*Repository / Repozitorij:*



[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ivana Crnković**

**Split, 2021.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Ivana Crnković**

**Određivanje svojstava zamjenskog materijala za  
imobilizaciju uzoraka u standardnom uređaju za  
izravni posmik stijena**

**Diplomski rad**

**Split, 2021.**

### **Zahvala**

*Hvala mom mentoru dr.sc. Goranu Vlastelici na povjerenju, motivaciji i uvijek ohrabrujućim riječima te komentoru dr.sc. Goranu Baloeviću na pomoći i savjetima prilikom izrade ovog rada. Hvala laborantima Stipi Rađi i Nenadu Petkoviću te asistentici Ani Duhović na pomoći kod praktičnog rada.*

*Mojim roditeljima i sestri posebno hvala jer nikad nisu posumnjali u moj uspjeh.*

*Svi loši dani protiv vaše su ljubavi bili nemoćni.*

*Hvala mojim prijateljicama i prijateljima bez kojih bi ovaj rad bio samo suhoparni tekst,  
a dani iza nas monotoni i bezbojni.*

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDATKINJA: Ivana Crnković  
MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083220637  
KATEDRA: **Katedra za geotehniku**  
PREDMET: **Mehanika stijena**

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Određivanje svojstava zamjenskog materijala za imobilizaciju uzoraka u standardnom uređaju za izravni posmik stijena

Opis zadatka: Potrebno je dizajnirati recepture odgovarajućeg zamjenskog materijala s aluminatnim cementom kao vezivom, te iste usporediti s materijalima koji se koriste u standardnoj proceduri. Pri tome usporediti svojstva materijala u svježem stanju, vrijeme vezanja materijala, te svojstva materijala u očvrslom stanju. Provjeriti odabrane varijante mješavine u stvarnim uvjetima testa na dva primjera stijena s područja Dalmacije: lapora i vapnovitog lapora te rezultate usporediti s rezultatima dobivenima na referentnom mortu.

U Splitu, 25. veljače 2021.  
Voditelj Diplomskog rada:

Doc.dr.sc. Goran Vlastelica

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske radove:

Doc.dr.sc. Ivo Andrić

## **Određivanje svojstava zamjenskog materijala za imobilizaciju uzoraka u standardnom uređaju za izravni posmik stijena**

**Sažetak:** Postupak određivanja posmične čvrstoće stijena metodom izavnog posmika jedan je od najčešće korištenih postupaka određivanja posmične čvrstoće pukotina ili intaktne stijene. Prema naputku ISRM-a, postupak se provodi na neporemećenim uzorcima stijene uzetim iz bušene jezgre ili blokova, pomoću prijenosnog uređaja za izravni posmik. Prilikom ugradnje u uređaj, testni uzorak je potrebno imobilizirati koristeći materijale koji postižu veliku čvrstoću (dovoljnu da se slom odvije preko uzorka) u kratkom vremenskom roku (zbog zahtjeva racionalnosti provedbe pripreme testa). U ovom radu prikazane su recepture s aluminatnim cementom nastale variranjem litijevog karbonata kao ubrzivača vezanja te su njihove karakteristike uspoređene s karakteristikama referentnog morta, kao i rezultati izavnog posmika provedenog na pet različitih uzoraka stijena s područja Dalmacije.

### ***Ključne riječi:***

izravni posmik, imobilizacijska mješavina, aluminatni cement, litijev karbonat, posmična čvrstoća

## **A determination of properties of alternative material used for immobilization of samples in standard direct shear apparatus**

### ***Abstract:***

The procedure of determination of the shear strength of rocks by using direct shear test is one of the most commonly used procedures in which the shear strength of cracks or of intact rocks is determined. According to ISRM, the test is conducted on undisturbed samples of a rock taken from drilled core or blocks, while using a portable apparatus for shear test. During the installation into the device, the test sample must be immobilized using materials it with high strength (high enough for the shear to occur through the sample) in short period of time (because of requirement of rationality of test preparation implementation). Calcium aluminate cement mortar formulations are designed by varying lithium carbonate content as an accelerator and its characteristics are compared with characteristics of a standardly used mortar. To select the optimum mortar, direct shear test that were conducted on five different samples of rocks from the area of Dalmatia.

### ***Key words:***

direct shear test, immobilization material, calcium aluminate cement, lithium carbonate, shear strength

## **SADRŽAJ:**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. IZRAVNI POSMIK.....</b>	<b>1</b>
2.1. Mohr- Coulombov zakon .....	1
2.2. Ispitivani uzorci i ispitni program.....	2
2.3. Uređaj za izravni posmik.....	5
2.4. Ugradnja uzoraka i postupak izravnog smicanja .....	7
2.5. Primjer analize rezultata izravnog posmika .....	9
2.6. Ideja i potrebne karakteristike dobivenog morta .....	11
<b>3. PROJEKTIRANJE IMOBILIZACIJSKE MJEŠAVINE .....</b>	<b>13</b>
3.1. Korištene metode ispitivanja .....	14
3.1.1. Vicatov postupak.....	14
3.1.2. Određivanje obradljivosti morta - razastiranje .....	15
3.1.3. Metoda ultrazvuka.....	16
3.1.4. Određivanje savojne čvrstoće .....	17
3.1.5. Određivanje tlačne čvrstoće.....	18
3.2. Korišteni materijali .....	19
3.2.1. Kalcij aluminatni cement.....	19
3.2.2 Voda .....	20
3.2.3. Dodaci za ubrzavanje vezanja.....	20
3.2.4. Pijesak .....	21
3.2.5. Aditiv.....	23
3.3. Određivanje standardne konzistencije kalcij aluminatnog cementa .....	23
3.4. Ispitivanje doze litijevog karbonata.....	25
3.4.1. Određivanje vremena vezanja paste s dodatkom litijevog karbonata .....	26
3.4.2. Izrada standardnog morta s dodatkom litijevog karbonata i ispitivanje obradljivosti .....	28
3.4.3. Ispitivanje brzine ultrazvuka i čvrstoće morta.....	31
3.5. Projektiranje brzovezujućeg morta .....	35
3.5.1. Ispitivanje na savijanje i tlak .....	38
<b>4.PRIMJENA DOBIVENE RECEPTURE ZA POTREBE IZRAVNOG POSMIKA ....</b>	<b>40</b>
4.1. Receptura 1 .....	40
4.2. Receptura 2.....	42
4.3. Receptura 3.....	43

4.4. Receptura 4.....	44
4.5. Rezultati .....	47
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>49</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>50</b>
<b>7. ZAHVALA.....</b>	<b>52</b>
<b>8. PRILOZI.....</b>	<b>53</b>



## 1. UVOD

U geotehničkom inženjerstvu i mehanici stijena prilikom proračunavanja pilota i nosivosti temelja, stabilnosti potpornih zidova i zagatnih stijenki značajnu ulogu imaju parametri čvrstoće tla i/ili stijene [1,2,3]. Dva osnovna parametra su kut unutarnjeg trenja i kohezija, koji su osnova Mohr-Coulombov-og kriterija čvrstoće čija je upotreba raširena u praksi.

Do navedenih parametara čvrstoće dolazi se laboratorijskim ispitivanjem pomoću uređaja za izravni posmik [4]. Prema napatku ISRM-a, postupak se provodi na intaktnim uzorcima koji su prethodno izdvojeni iz bušenih blokova. Kod „mekih“ stijena, postoji podložnost degradaciji posmične čvrstoće zbog izloženosti atmosferskim uvjetima. To smanjenje posmične čvrstoće većinom proizlazi iz procesa rastrošbe na što najviše utječe uzastopno smjenjivanje vlaženja i sušenja [5,6,7]. Pojam „meke“ stijene označava materijale koji imaju jednoosnu tlačnu čvrstoću u rasponu od 0,5 do 25 MPa [8].

Postupak izravnog posmika se provodi na uzorcima lapora i vapnovitih lapora različitih udjela kalcijevog karbonata [9]. Ti uzorci se oblikuju u prizme kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija (5-7)x(5-7) cm i visine 8-10 cm [10]. Uzorci se testiraju pri različitim normalnim opterećenjima, te se kao rezultat dobiva posmično naprezanje u trenutku sloma i pripadno normalno naprezanje. Rezultati se iskazuju u efektivnim naprezanjima i prikazuju putem kohezije „c“ i kuta unutarnjeg trenja „ $\varphi$ “.

Prilikom ispitivanja posmične čvrstoće uzorka meke stijene potrebno je imobilizirati uzorak gipsom ili mortom. Imobilizacijom se onemogućavaju bilo kakvi pomaci ili momenti savijanja uzorka te ispitivanje rezultira lomom po plohi opterećenoj horizontalnom silom.

Za ovu svrhu postoji poseban gips, ali iskustveno je zaključeno da se mogu koristiti reparaturni mortovi koji brzo vežu i u kratkom vremenu razvijaju velike čvrstoće. S financijske strane, reparaturni mortovi su povoljniji od gipsa.

Cilj ovog rada je postići recepturu morta što sličniju referentnom mortu koji postoji na tržištu, a čija receptura je poznata proizvođaču.

## 2. IZRAVNI POSMIK

### 2.1. Mohr- Coulombov zakon

Posmična čvrstoća stijene definirana je Mohr-Coulombovim zakonom čvrstoće za efektivna naprezanja. Određena je parametrima čvrstoće: kutom unutarnjeg trenja i kohezijom.

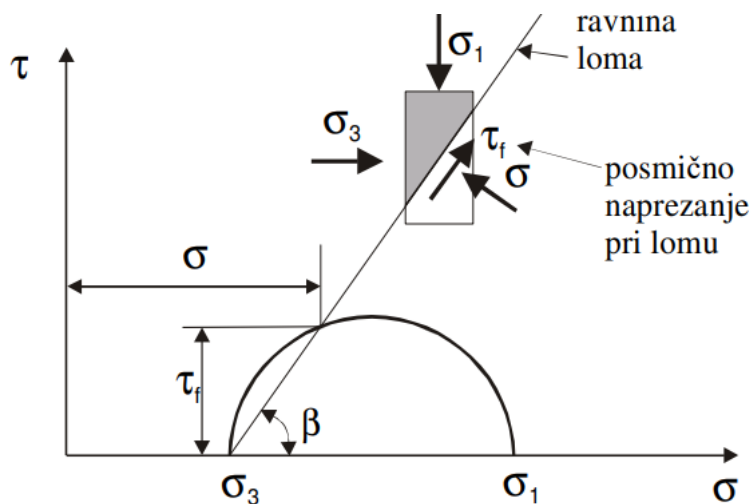
Posmična čvrstoća je kombinacija kohezije i kuta unutarnjeg trenja i izražava se Coulombovom anvelopom sloma. Kohezija je posljedica veze među česticama i kod glinovitih materijala ima značajnu ulogu. Kut unutarnjeg trenja je posljedica trenja među česticama i odgovara kutu nagiba plohe po kojem počinje klizati blok sačinjen od istog materijala kao i podloga [11].

Sva stanja loma prikazuju se Mohrovim krugovima pa se na njih postavlja anvelopa. Pravac koji aproksimira tu anvelopu može se izraziti:

$$\tau_f = c_{ir} + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ir}$$

$c_{ir}$  – kohezija, posmična čvrstoća kad su normalna naprezanja jednaka nuli

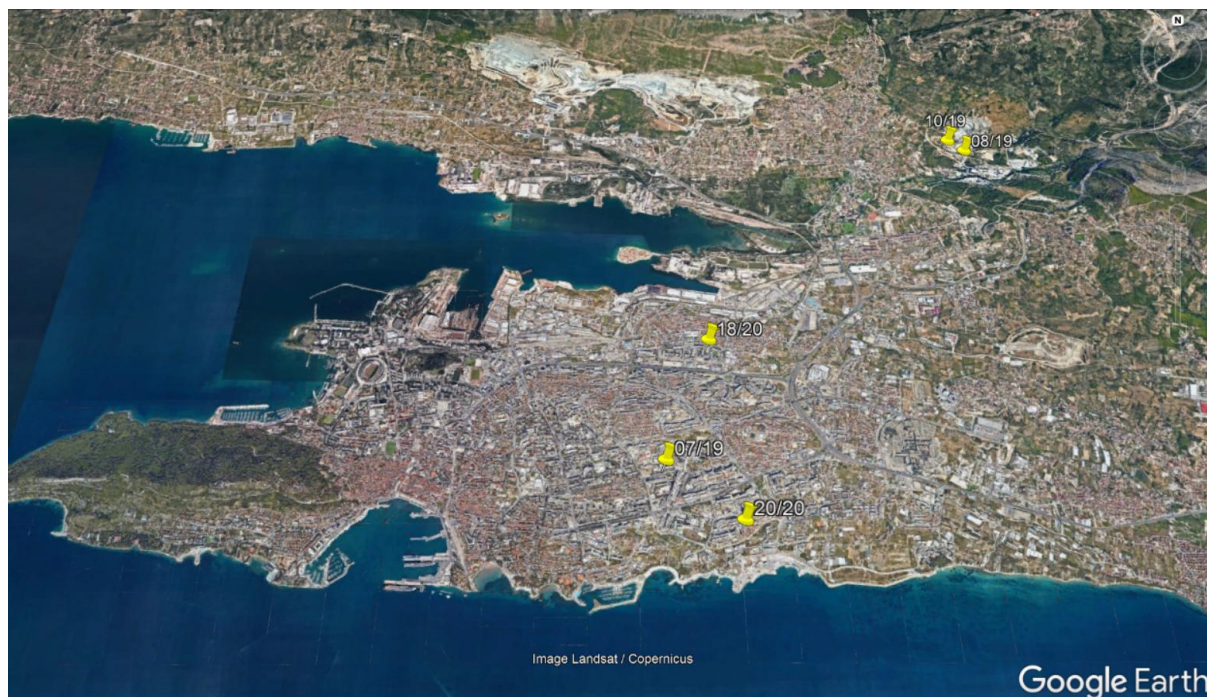
$\varphi_{ir}$  – kut unutarnjeg trenja



Slika 1. Mohr-Coulombov zakon

## 2.2. Ispitivani uzorci i ispitni program

Uzorci mekih stijena se uzimaju iz svježe iskopanih zasjeka pomoću pile za kamen bez upotrebe vode. Nakon dopremanja u laboratorij, uzorci se oblikuju na željene dimenzije također pomoću pile [12]. Za potrebe ovog rada korišteni su uzorci oblika prizmi dimenzija kvadratnog presjeka 5,5x5,5 i 3,5x3,5. Uzorci su u nedegradiranom stanju i prikupljeni su na dolje prikazanim lokacijama za potrebe projekta UNSAT1.



Slika 2. Lokacije uzoraka

Osim ispitivanja posmične čvrstoće, određena su i ostala svojstva uzoraka:

- udio  $\text{CaCO}_3$
- suha gustoća stijene  $\rho_d$
- gustoća čvrstih čestica
- upijanje vode
- čvrstoća stijene u točki
- slake durability test
- izravni posmik

Udio  $\text{CaCO}_3$  određen je po normi HRN U.B1.026 - Određivanje sadržaja karbonata. Prilikom određivanja sadržaja karbonata u stijeni, koristi se solna kiselina koja s karbonatima formira klorid i dolazi do kemijske reakcije pri čemu se oslobađa ugljikov dioksid. Ugljikov

dioksid se sakuplja, određuju mu se volumen i masa pri laboratorijskim uvjetima. Iz mase ugljikovog dioksida i težinskog odnosa prema kalcijevom karbonatu proračuna se masa karbonata i izrazi se u postotku početne suhe mase. Realno je očekivati da veći udio kalcijevog karbonata rezultira većom čvrstoćom stijene.

Gustoća čvrstih čestica izračuna se kao umnožak specifične težine koja se određuje u piknometru i gustoće vode po normi HRN EN ISO 17892-3:2016 (Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 3. dio: Određivanje gustoće čvrstih čestica (ISO 17892-3:2015, ispravljena verzija 2015-12-15; EN ISO 17892-3:2015)).

Upijanje vode prema normi HRN B.B8.010 (Ispitivanje upijanja vode).

Čvrstoća stijene u točki-Point load test (PLT) prema ISRM (Suggested Method for Determining Point Load Strength (1985), published in ISRM (2007, Blue Book)).

Uzorci stijene lome se primjenom koncentriranog opterećenja preko para zaobljenih konusnih šiljaka.

Slake durability test koristi se za određivanje trajnosti stijena tj. određuje se otpornost stijene pri cikličkom vlaženju i sušenju tako što se uzorci stave u bubanj koji rotira u posudi s vodom konstantnom brzinom od 20 okretaja u minuti. Nakon 10, 25, 60 i 120 minuta vrtnje, uzorci se izvade i suše te se ustanovi njihova masa. Test se provodi prema ISRM (Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties – Part 2: Suggested Methods for Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties (1977), published in ISRM (2007, Blue Book)).

Izravni posmik provodi se prema normi HRN EN ISO 17892-10:2019 (Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla -- 10. dio: Izravni posmik (ISO 17892-10:2018; EN ISO 17892-10:2018) ili BS 1377-7:1990 British Standard Methods of test for Soils for civil engineering purposes – Part 7. Shear strength test (total stress)). Postupak izravnog posmika detaljnije je objašnjen u podnaslovu 2.4.

Svi rezultati provedenih ispitivanja dani su u tablicama 1. i 2. te detaljnije u prilogima.

Tabela 1. Rezultati laboratorijskih ispitivanja

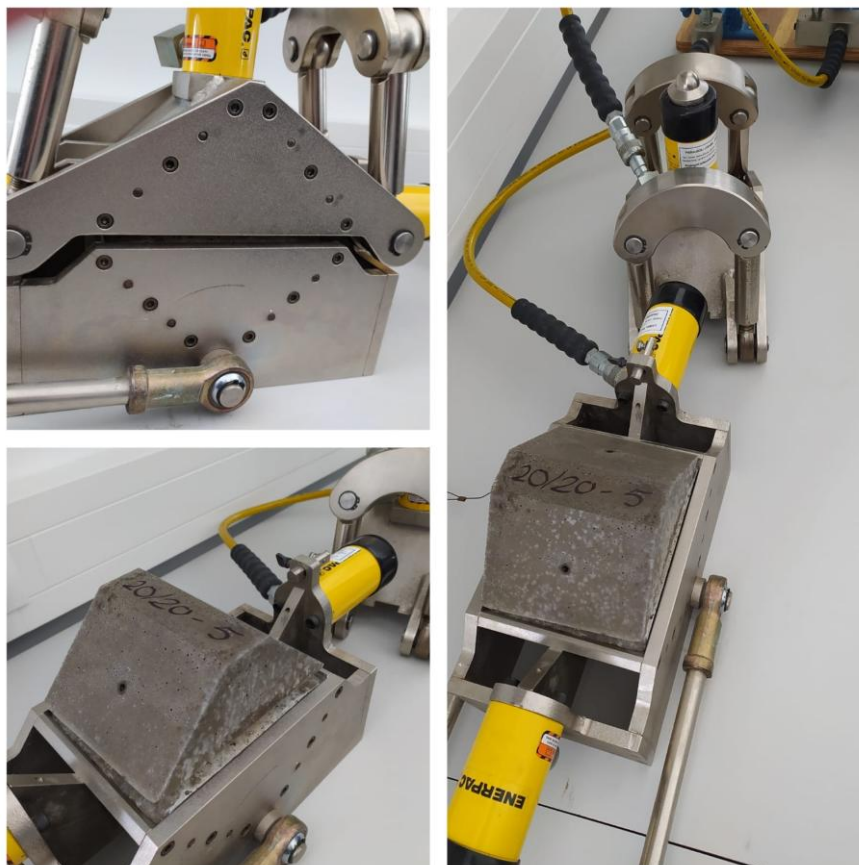
Uzorak			07/19	08/19	10/19	18/20	20/20
Lokacija			Split (Ul. Matice hrvatske)	Solin (Majdan)	Solin (Majdan)	Split (Ravne Njive - bušotina 4)	Split (Trstenik - vrtić)
CaCO <sub>3</sub>		%	57.85	64.10	62.39	64.20	45.87
Vlažnost	w	%	2.38	8.40	3.64	1.12	2.60
Upijanje	U <sub>v</sub>	%	6.14	4.89	5.39	1.80	9.95
Jedinična težina	γ	kN/m <sup>3</sup>	24.00	24.13	24.29	25.01	23.53
Gustoća	ρ	Mg/m <sup>3</sup>	2.45	2.46	2.48	2.55	2.40
Suha gustoća	ρ <sub>d</sub>	Mg/m <sup>3</sup>	2.39	2.27	2.39	2.52	2.34
Gustoća čv. čestica	ρ <sub>s</sub>	Mg/m <sup>3</sup>	2.66	2.66	2.64		2.64
Jednoosna tlačna čvrstoća (stijena)	σ <sub>c</sub> (UCS)	MPa	-	-	-	69.30	-
Čvrstoća u točki	I <sub>s(50)</sub>	MPa	1.818	1.380	1.865	1.957	1.240
Izravni posmik (stijena)	c	MPa	3.796	3.115	1.808	6.014	5.816
	φ	°	39.20	52.24	55.38	33.95	22.11
Slake test *	I <sub>d2</sub>	%	94.82	95.71	94.21	97.67	92.40
	SDI <sub>10</sub>	%	94.82	95.71	94.21	97.67	92.40
	SDI <sub>25</sub>	%	86.13	90.53	91.27	97.06	73.01
	SDI <sub>60</sub>	%	81.30	87.60	83.31	94.58	44.75
	SDI <sub>120</sub>	%	72.21	70.01	59.23	92.87	48.36

Tabela 2. Rezultati laboratorijskih ispitivanja

uzorak		07/19	08/19	10/19	18/20	20/20
CaCO <sub>3</sub> (%)		57.85	64.10	62.39	64.20	45.87
indeks osjetljivosti na kalavost (%)	Id <sub>1</sub>	96.343	97.289	97.259	97.924	95.593
	Id <sub>2</sub>	94.815	95.713	94.206	97.671	92.400
	Id <sub>3</sub>	94.290	94.010	92.231	97.210	90.187
	Id <sub>4</sub>	91.745	93.302	91.683	96.886	84.993
modificirani indeks osjetljivosti na kalavost (%)	SDI <sub>10</sub>	94.815	95.713	94.206	97.671	92.400
	SDI <sub>25</sub>	86.129	90.534	91.265	97.060	73.014
	SDI <sub>60</sub>	81.299	87.599	83.313	94.579	44.755
	SDI <sub>120</sub>	72.205	70.012	59.226	92.869	48.358
Loss Slake Index (%)	LSI <sub>1</sub>	0.062	0.062	0.079	0.012	0.201
	LSI <sub>2</sub>	0.116	0.116	0.167	0.021	0.333
	LSI <sub>3</sub>	0.167	0.170	0.249	0.029	0.425
	LSI <sub>4</sub>	0.207	0.224	0.329	0.037	0.488

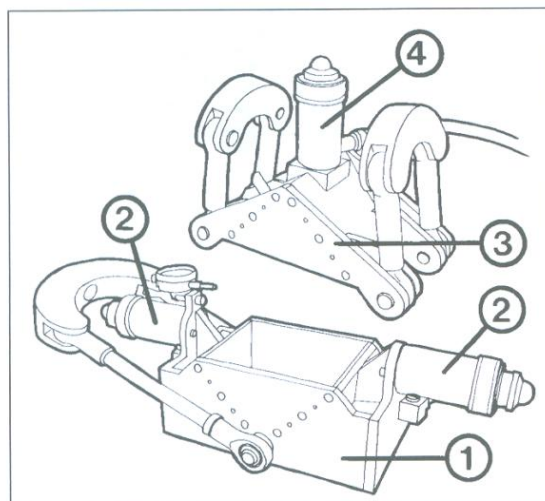
### 2.3. Uređaj za izravni posmik

Za pokus izravnog posmika koristi se prijenosni uređaj koji se sastoji od dvije kutije koje osiguravaju prijenos normalnog naprezanja u ravnini smicanja pri čemu je uzorak opterećen i posmično uzduž iste ravnine. Čelija mora onemogućiti stvaranje momenta u ravnini uzorka. Čelije su izrađene od nehrđajućih materijala. Na donjem dijelu sa obje strane se nalaze hidraulički cilindri za nanošenje horizontalnog opterećenja, dok je na gornjem jedan cilindar za nanošenje vertikalnog opterećenja.

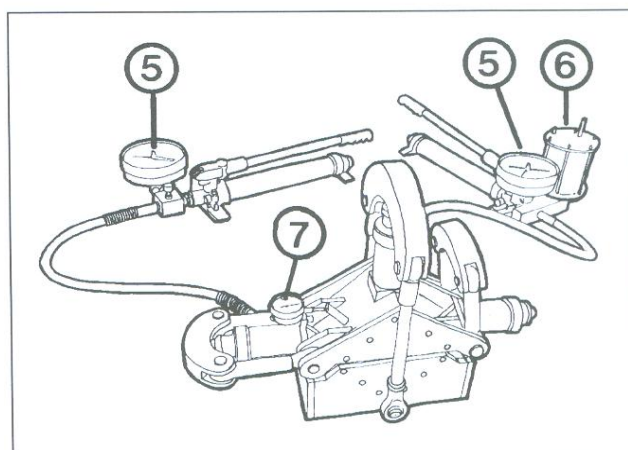


Slika 3. Uređaj za izravni posmik

Opterećenje se nanosi pomoću dvije hidrauličke pumpe. Iznos opterećenja očitava se na baždarenom pokazivaču sile. Hidraulička pumpa za vertikalno opterećenje ima ugrađenu kompenzacijsku posudu koja omogućava konstantnost normalnog opterećenja u granicama  $\pm 2\%$  za vrijeme trajanja testa [13].



Slika 4. Čelija uređaja za direktno smicanje (1-donji dio ćelije, 2 i 3-hidraulički cilindar, 4-gornji dio ćelije)



Slika 5. Čelija uređaja za direktno smicanje sa hidrauličkim pumpama (5- pokazivač sile, 6- kompezacijska posuda, 7- gornji dio ćelije)

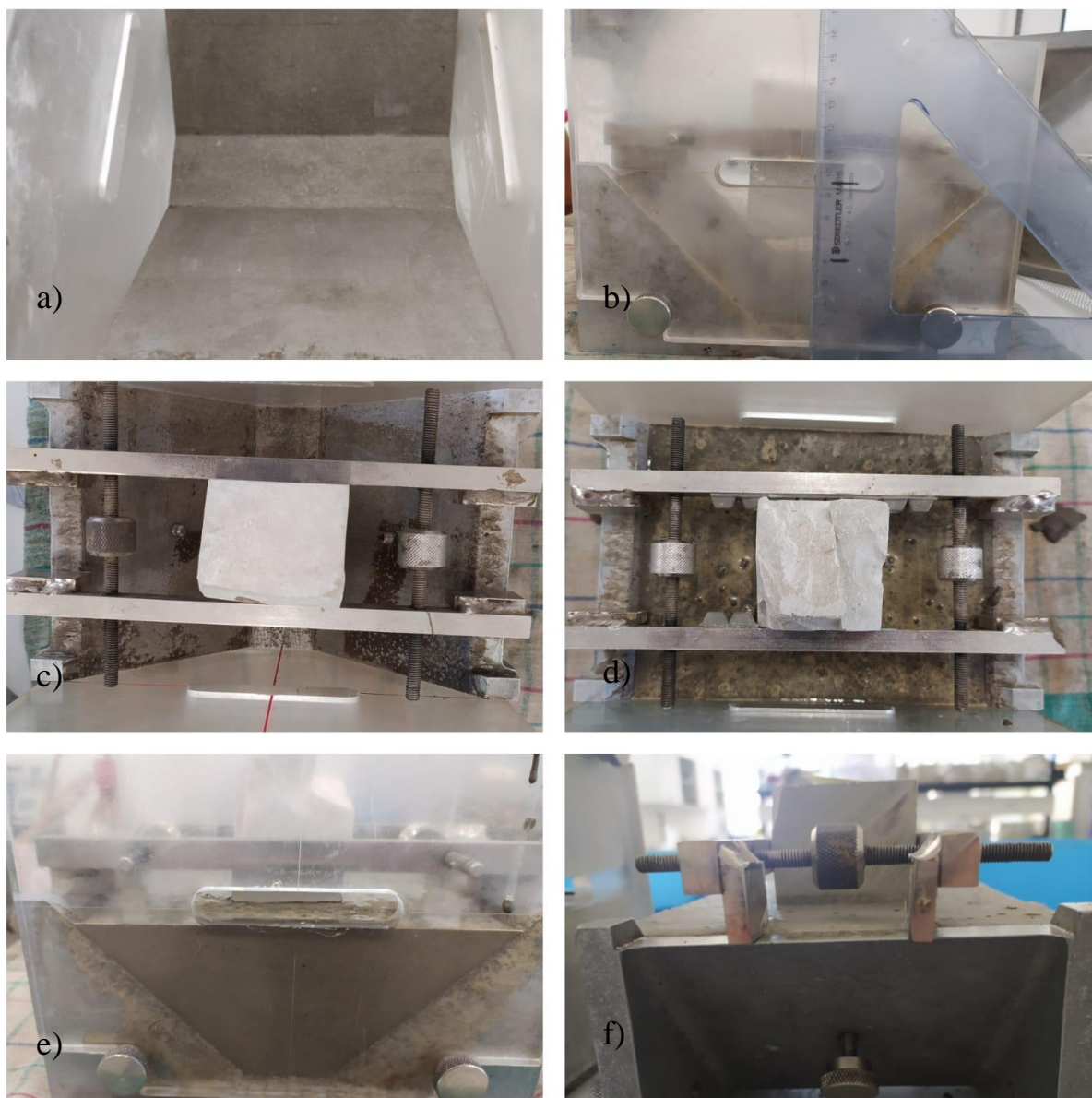
## 2.4. Ugradnja uzoraka i postupak izravnog smicanja

Za provođenje postupka izravnog smicanja potrebno je spomenute uzorke imobilizirati u kalupima. Njihova imobilizacija osigurava nepomičnost uzorka prilikom smicanja. Za potrebe ovog rada, korištene su dvije vrste morta: gotovi, tvornički pripremljeni mort i mort čija je receptura dobivena u laboratoriju.

Odabrani uzorak potrebno je centrirati pomoću kliješta koja su dio opreme kalupa (Slika 6c). Uzorak se postavlja tako da kliješta dolaze na dvije trećine visine uzorka od dna (Slika 6b). Potrebno je pripremiti aluminijski kalup (Slika 6a). U prvoj fazi ugrađivanja, koristi se



kalup koji na sredini stranice ima vijke. Ti vijci se stegnu tako da njihov vrh ulazi u mort. Na aluminijski kalup se dodaju bočne stranice od pleksiglasa te se one također vijcima pričvrste za kalup. Tako pripremljen kalup se naulji te je onda spreman za usipanje morta.



*Slika 6. Ugradnja uzorka- a) priprema kalupa; b) naznačavanje vertikalne dispozicije uzorka; c) postavljanje uzorka pomoću čeličnih kliješta; d) ugradnja morta; e) bočni pogled nakon ugradnje morta; f) frontalni pogled nakon ugradnje morta*

Jedan dio uzorka ugrađuje se pomoću tvornički pripremljenog morta. Suha smjesa za mort se nalazi u vrećama od 25 kg i potrebno joj je samo dodati vodu. Konkretno za jedan kalup tj. jedno miješanje korišteno je 1850 g reparaturnog morta rapid R4 0-1,6 mm proizvođača Samoborka i 125 g vode. Zamiješani mort se usipa u pripremljeni kalup te se on sam nivelira. Potrebno je paziti da se mort ne prelije kroz otvore na pleksiglasu. Potom se u

mort uroni uzorak u kliještima tako da je donja veća polovica u mortu, a gornja manja izvan (Slika 6d, 6e, 6f). Potrebno je paziti da je uzorak dobro centriran u kalupu u suprotnom rezultati posmika neće biti mjerodavni.

Ovako pripremljen uzorak se ostavi na sobnoj temperaturi. Nakon otprilike sat i pol vremena potrebno je odvojiti bočne stranice od pleksiglasa te ih očistiti. Čiste stranice se postavljaju na drugi aluminijski kalup i stegnu vijcima. Razlika između dva aluminijska kalupa je u tome što prvi ima vijke na stranicama dok drugi nema. Kalup se također naulji te se usipa ista količina morta kao i za prvi kalup. Prvi dio kalup se postavlja na drugi tako da se uzorak uroni u svježi mort. Pri tome treba paziti da drugi dio kalupa ispravno nalegne na drugi i da je moguće pritegnuti vijke.

Sada je kalup također potrebno ostaviti na sobnoj temperaturi. Ovisno o vrsti morta ili gipsa koji se koriste, testiranje se može provesti isti dan ili dan nakon ugradnje.



Slika 7. Uzorci spremni za smicanje

## 2.5. Primjer analize rezultata izravnog posmika

Kao primjer, ovdje su prikazani rezultati izravnog posmika uzorka 08/19. Uzorak je uzet za potrebe projekta UNSAT1 s lokacije Majdan Solin. Radi se o uzorku s 64,10 % kalcijevog karbonata. Kao imobilizacijski mort korišten je već spomenuti reparaturni mort proizvođača Samoborka.

Kako bi se odredili parametri posmične čvrstoće, ispitana je serija uzoraka kojima su prethodno izmjerene dimenzije poprečnog presjeka i izračunane površine.

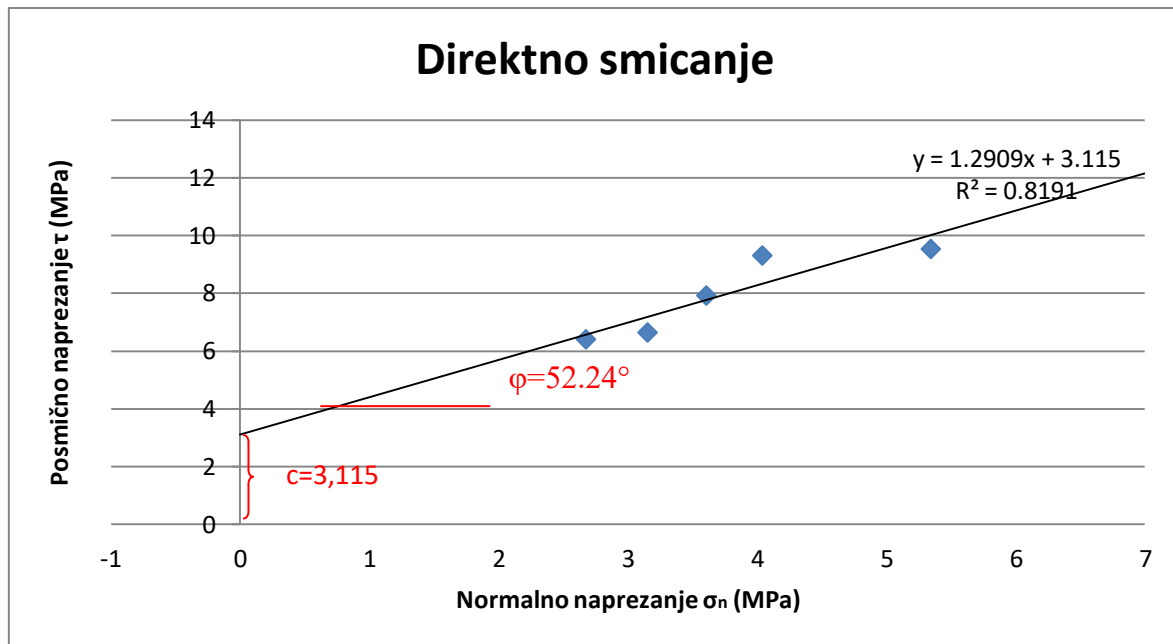
Tabela 3. Prikaz dimenzija i površina uzoraka

ULAZNE DIMENZIJE								KONTROLA		
BR.	$\check{S}_1$ (cm)	$\check{S}_2$ (cm)	$\check{S}_{sred}$ (cm)	$D_1$ (cm)	$D_2$ (cm)	$D_{sred}$ (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	$\check{S}_{sred}$ (cm)	$D_{sred}$ (cm)	$A_{kont}$ (cm <sup>2</sup> )
1	5.4	5.5	5.45	5.6	5.6	5.6	30.52	5.45	5.15	28.07
2	4.85	5.1	4.975	5.5	5.6	5.55	27.61	5,00	5.55	27.75
3	5.1	5.4	5.25	5.6	5.6	5.6	29.4	5.15	5.55	28.58
4	5.5	5.6	5.55	5.8	5.7	5.75	31.91	5.70	5.65	32.21
5	5.25	5.4	5.325	5.5	5.5	5.5	29.29	5.35	5.25	28.09
6	5.3	5.5	5.4	5.9	5.6	5.75	31.05	5.20	5.30	27.56

Svaki uzorak postavlja se u uređaj za izravni posmik i opteretiti se određenom vertikalnom silom te se lagano dodaje horizontalna sve do trenutka sloma kada se ta sila zabilježi. S obzirom na dobivene sile i površine, izračunaju se  $\sigma$  i  $\tau$  te se pomoću metode najmanjih kvadrata odrede parametri čvrstoće (Tabela 4). Metoda najmanjih kvadrata provodi se tako da se postavi pravac kroz izmjerene vrijednosti posmičnog otpora pri lomu te se kohezija i kut unutarnjeg trenja odrede prema Mohr-Coulombovom zakonu. Koriste se kontrolirane površine, a to su površine izmjerene nakon sloma (Tabela 3).

Tabela 4. Rezultati posmika

REZULTATI POSMIKA								NAPOMENE
BR.	$A_{kont}$ (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)	c (MPa)	$\phi$ (°)	
1	28.07	7.5	18	2.6721	6.413	3.115	52.24	
2	27.75	10	22	3.6036	7.928			V SA 5,5 NA 10
3	28.58	9	19	3.1488	6.647			
4	32.21	13	30	4.0366	9.315			
5	28.09	15	26.8	5.3405	9.542			
6	27.56	19.5	35	7.0755	12.7			odbačen



Slika 8. Rezultati izravnog posmika

Kao rezultat dobiju se iznosi  $c$  i  $\varphi$ .

## 2.6. Ideja i potrebne karakteristike dobivenog morta

Za provedbu pokusa izravnog posmika predviđen je poseban gips, međutim taj gips je vrlo skup (na lokalnom tržištu red veličine do 5 puta skuplji od zamjenskih proizvoda na bazi cementa). Iskustveno se došlo do zaključka da je u svrhu imobiliziranja uzorka moguće koristiti reparaturni brzovezujući mort tvrtke Samoborka. Ovaj mort ima dovoljno visoku čvrstoću za primjenu u geotehnici, konkretno za ovu svrhu. Radi se o samonivelirajućem, tvornički pripremljenom, reparaturnom mortu s brzim razvojem čvrstoće, za brzu prohodnost i trajni popravak betonskih podova u industrijskim postrojenjima.

Suha smjesa je sive boje, dodavanjem vode postaje tamnosiva do smeđa. Vrlo brzo nakon miješanja dolazi do početka vezanja, a nakon toga mort razvija vrlo visoku ranu čvrstoću. Uspoređujući ovo ponašanje s ponašanjem aluminatnog cementa, uočene su sličnosti. Glavna karakteristika aluminatnog cementa također je razvoj vrlo visoke rane čvrstoće, ali početak vezanja aluminatnog cementa je više sati nakon kontakta cementa i vode. Zaključeno je da se karakteristika visoke rane čvrstoće može iskoristiti u geotehnici dok se početak vezanja može ubrzati dodavanjem ubrzivača vezanja. Za aluminatni cement najboljim ubrzivačem su se pokazali spojevi na bazi litija.

Kako bi dobiveni mort mogao poslužiti u geotehnici, potrebno je razviti recepturu koja će imati dovoljnu čvrstoću na savijanje i tlak nakon kratkog vremena, čije će vezanje početi

kratko vrijeme nakon usipanja u kalup, a da je pritom dobro obradiva jer je potrebno osigurati dobro prijanjanje morta uz uzorak.

Početna ideja je razviti recepturu morta koji ima sve navedene karakteristike, a sastoji se od aluminatnog cementa kojemu su dodavane određene količine litija u svrhu ubrzanja vezanja i superplastifikatora za bolju obradivost. Kao referentni mort korišten je reparaturni mort rapid R4 0-1,6 mm tvrtke Samoborka te se variranjem komponenti morta pokušalo približiti svim svojstvima referentnog morta.

Proces razvoja receptura i njihove karakteristike nalaze se u sljedećim poglavljima.

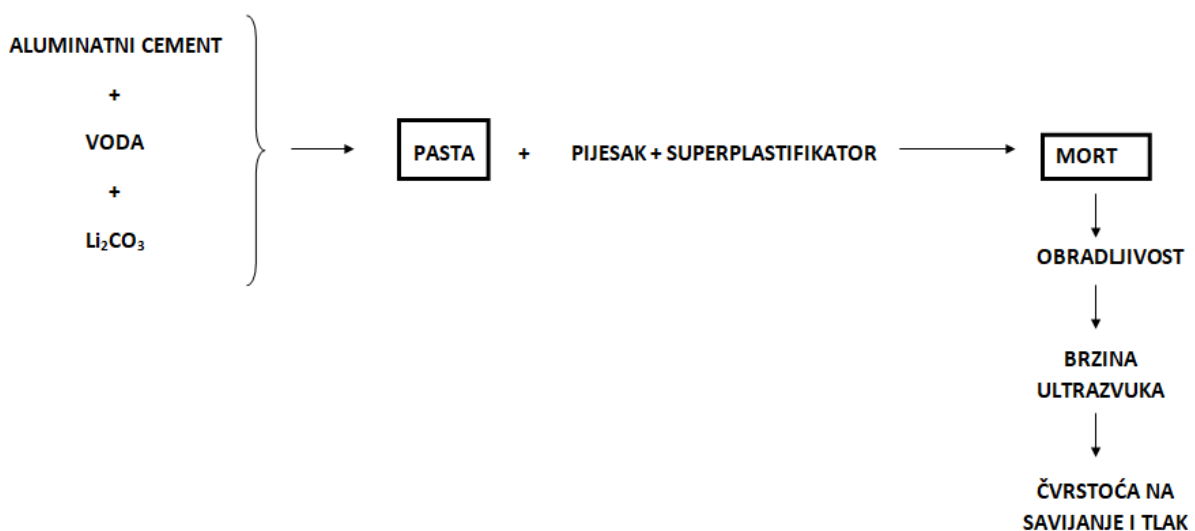
### 3. PROJEKTIRANJE IMOBILIZACIJSKE MJEŠAVINE

Za dobivanje recepture morta koji bi se mogao koristiti kao imobilizacijska mješavina potrebno je zadovoljiti glavne parametre: vrijeme početka i kraja vezanja, obradljivost te čvrstoće na tlak i savijanje.

Kako bi mort imao svrhu, potrebno je da njegovo vezanje ne započinje prije 20 do 30 minuta nakon kontakta cementa i vode čime se ostavlja vremena za ispravnu ugradnju u kalup i dodavanje uzorka u mort. Isto tako, potrebno je osigurati da mort otvrdne i bude spreman za skidanje prvog kalupa nakon sat i pol do dva. Budući da se radi o aluminatnom cementu koji ima odgodu vezanja više sati, jasno je da će biti potrebno koristiti ubrzivač vezanja, konkretno litijev karbonat.

Za ispravnu ugradnju morta u kalupe, a i da bi se osiguralo dobro prijanjanje morta oko ispitnog uzorka, potrebno je postići dobru obradljivost morta. Ugledajući se na referentni mort, najbolje rješenje je dobiti mort koji je samonivelirajući i nakon usipanja u kalup ne zahtijeva intervencije osim laganog ručnog vibriranja nakon uranjanja uzorka. Takva obradljivost morta postiže se dodavanjem superplastifikatora.

S obzirom da se radi o mortu koji služi za provođenje izravnog posmika, potrebno je da taj mort ima dobru čvrstoću na tlak i savijanje jer će tome biti izložen prilikom posmika. Cilj je da mort koji imobilizira uzorak ne pukne prije samog uzorka. U protivnom ispitivanje nije valjano i rezultat se odbacuje. Idejni dijagram tijeka prikazan je na slici 9.



Slika 9. Dijagram tijeka

Navedeni parametri su osigurani provođenjem standardnih ispitivanja na pasti i mortu, a rezultati i postupci su prikazani u sljedećim poglavljima.

### 3.1. Korištene metode ispitivanja

#### 3.1.1. Vicatov postupak

Za dobivanje **standardne konzistencije**, a kasnije i vrijeme početka i završetka vezanja, korišten je Vicatov postupak.

Vicatov postupak je standardni laboratorijski postupak kojim se određuje standardna konzistencija cementne paste. Ovaj postupak se provodi tako da se mjeri prodiranje valjka u cementnu pastu. Radi se o valjku standardnih dimenzija, promjera 10 mm i normirane težine. Prvo je potrebno izvagati vodu i cement za svaku mješavinu. Zatim se voda ulije u posudu miješalice te se lagano dodaje izvagani cement. Potrebno je zabilježiti trenutak kontakta cementa i vode, kao što je dano u tablici. Nakon toga posuda miješalice se stavlja u miješalicu i vrši se miješanje koje ukupno traje 3 minute, minuta i pol prvom brzinom, a zatim ostatak vremena drugom. Tako pripremljena pasta se ugrađuje u prsten oblika konusa koji se nalazi na staklenoj površini te se gornja površina zagladi i poravna s rubom prstena.



*Slika 10. Ispitivanje standardne konzistencije Vicatovim aparatom*

Konus s pastom se postavlja u Vicatov aparat tako da valjak bude približno na sredini. Nakon određenog vremena, 4-6 minuta od kontakta vode i cementa, valjak se otpušta te on svojom težinom slobodno prodire u pastu. Potrebno je pratiti vrijeme i očitavati prodiranje valjka kroz pastu. Ako se nakon 30 sekundi valjak zaustavi na 5-7 mm iznad staklene podloge, pasta je standardne konzistencije.

**Određivanje vremena vezanja paste** se također izvodi pomoću Vicatova aparata. Početkom vezanja nazivamo trenutke kada cementna pasta počinje prelaziti iz plastičnog u kruto stanje stvaranjem igličastih kristala. S vremenom ti kristali ispune sav volumen i cementna pasta prelazi u kruto stanje pa te trenutke nazivamo krajem vezanja. Vrijeme početka i kraja vezanja su vrlo bitni parametri kod projektiranja receptura.

Svježa cementna pasta ugrađuje u standardni konusni prsten ispod kojega se stavlja staklena pločica. Tako pripremljen uzorak se postavlja u Vicatov aparat. Za razliku od gornjeg pokusa za dobivanje standardne konzistencije, ovdje se valjak s utegom zamjenjuje iglom, a princip ostaje isti. Igla se postavi na gornju površinu cementne paste i pridrži. Igla se nakon toga pušta da slobodno prodire u cementnu pastu i nakon 30 sekundi se bilježi dubina prodiranja. Postupak se ponavlja svakih 10 minuta. Onog trenutka kad se igla zaustavi 4-5 mm od staklene podloge kažemo da smo odredili vrijeme vezanja. Nakon toga se prsten okrene na drugu stranu te se opet provodi ispitivanje. Vrijeme kada igla više ne prodire u cementnu pastu, tj. kada ne uspijeva prodrijeti više od 0,5 mm, smatramo krajem vezanja.

### 3.1.2. Određivanje obradljivosti morta - razastiranje

Prema normi EN-1015-3, obradljivost morta se ispituje odmah nakon miješanja, dok je mort još u svježem stanju. Konzistencija morta je mjera obradljivosti i vlažnosti svježeg morta i daje informaciju o ponašanju morta kada je izložen opterećenju. Svježi mort za ovaj test mora imati minimalni volumen od 1,5 l.

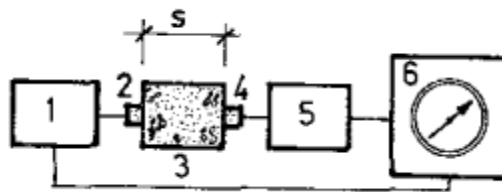
Prema navedenoj normi, obradljivost morta dobije se ispitivanjem na potresnom stolu. Stol se sastoji od stalka na kojemu se nalazi pločica ili disk. Prije ispitivanja potrebno je vlažnom spužvom prebrisati pločicu stola i kalup u koji se ugrađuje mort. Kalup se postavlja na sredinu stola te se jednom rukom pridrži dok se drugom ugrađuje mort u dva sloja. Svaki sloj se zbija s 10 udaraca drvenim batom. Gornji dio kalupa se podiže i odstranjuje se višak morta. Potrebno je osigurati ravnomjernu popunjenost donjeg dijela kalupa mortom. Nakon 15 sekundi, kalup se vertikalno podiže. Rasprostiranje morta se postiže protresanjem stola 15 puta u 15 sekundi, što znači 1 potres po sekundi.

Nakon toga, mjeri se promjer rasprostranjenog morta u dva okomita smjera te se usvoji srednja vrijednost.



### 3.1.3. Metoda ultrazvuka

Ultrazvuk su ustvari vibracije iste prirode kao zvuk, ali vrlo visokih frekvencija, koje ljudsko uho ne može registrirati. Vibracije imaju mehanički karakter s frekvencijama većim od 20 kHz. Metoda ultrazvuka je nerazorna metoda kojom se na brz i efikasan način može odrediti brzina ultrazvuka kroz element. Uređaj za ovo ispitivanje radi na principu rasprostiranja ultrazvučnih valova i sastoji se od generatora impulsa i predajnika u obliku sonde koji se postavlja na jedan kraj elementa i njime se ustvari ultrazvuk „uvodi“ u element, od prijemnika gdje se mehanički impulsi pretvaraju u električne, pojačivača i indikatora vremena [14].



Slika 11. Shema ultrazvučnog uređaja

Nakon ispitivanja obradljivosti na potresnom stolu, mort se pokupi i ugrađuje u 3 kalupa oblika prizme i dimenzija 40x40x160 mm. Kalup je postavljen na vibrirajući stol koji vibrira tijekom ugradnje morta. Mort se ugrađuje u dva sloja te se nakon vibriranja postavi na ravnu površinu gdje se višak morta skine i prizme zaglade. Tako ugrađeni mort se ostavlja 24 sata u laboratorijskim uvjetima da očvrstne.

Nakon 24 sata, kalup se skine i prizme su spremne za ispitivanja. Prvo se provodi nerazorna metoda, a to je metoda ultrazvuka. Za svaku recepturu postoje tri prizme, a kao mjerodavni rezultat gleda se srednja vrijednost rezultata svake od njih. Prizme se označuju lokalnim nazivima i određuje im se masa vaganjem. Bitno je voditi računa o svakoj pojedinačnoj prizmi. Ukoliko jedna pokaže slabiju čvrstoću, to bi se trebalo manifestirati i na brzini ultrazvuka.

Prizme se postavljaju na ravnu površinu i na bazne stranice se postavljaju sonde uređaja za ultrazvuk koje su prethodno premazane slojem gela. Sonde se pridržavaju rukama i na uređaju se prate iznosi vremena prolaska ultrazvuka od predajnika do prijemnika kroz prizmu te je vrijeme iskazano u mikrosekundama. Budući da je dužina puta kojim ultrazvuk prolazi poznata kao i izmjereno vrijeme, može se izračunati brzina ultrazvuka  $v = \frac{s}{t}$  [14].



Slika 12. Metoda ultrazvuka

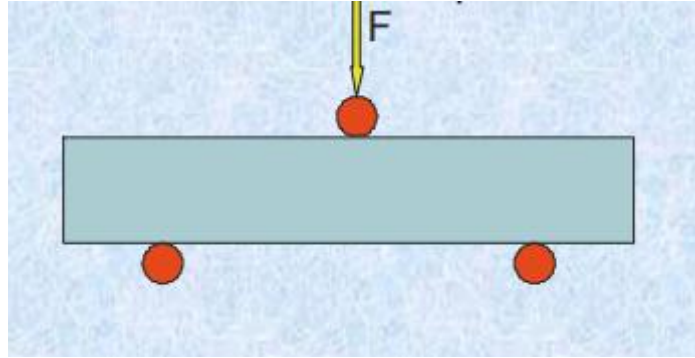
Brzina prolaska ultrazvuka je manja u zraku nego betonu pa možemo zaključiti da beton, odnosno mort s više šupljina ispunjenih zrakom ima manju brzinu ultrazvuka. S obzirom na ovo, može se odrediti poveznica između čvrstoće morta i brzine zvuka.

#### 3.1.4. Određivanje savojne čvrstoće

Prizme koje su prethodno ispitane metodom ultrazvuka potrebno je ispitati i na savijanje. Čvrstoća na savijanje jedan je od glavnih pokazatelja dobro projektiranog morta, uzevši u obzir da je vlačna čvrstoća i kod morta i kod betona višestruko manja od tlačne. Metoda savijanja ustvari donju zonu izlaže vlačnom naprezanju i upravo je to kritično područje na kojemu se prvo događa pucanje [14].

Prizma se postavlja po dužini u uređaj na kojemu je postavljen nastavak za ispitivanje savijanja. Prizma se oslanja na dva linijska oslonca s donje strane, a s gornje se, također pomoću oslonca koji se nalazi na sredini, prizma opterećuje silom. Kontakti na mjestima dva donja oslonca i na gornjem osloncu kojim se nanosi sila moraju biti linijskog karaktera.

Sila se postupno povećava sve do trenutka sloma.



Slika 13. Ispitivanje savojne čvrstoće

### 3.1.5. Određivanje tlačne čvrstoće

Nakon ispitivanja na savijanje, svaka prizma je podijeljena na dva dijela. Te polovice se postavljaju u uređaj za ispitivanje na tlak. Radi se o istom uređaju kao i za savijanje, s tim da su im nastavci zamijenjeni. Za razliku od nastavka za savijanje gdje su oslonci linijski, ovdje se uzorak stavlja između dvije pločice i opterećuje tlačnom silom.

Polovice prizama su postavljene po dužini i počinje se nanositi tlačno opterećenje sve do trenutka sloma. Rezultat su čvrstoća i sila u trenutku sloma.



Slika 14. Određivanje tlačne čvrstoće

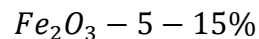
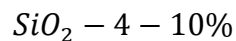
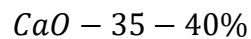
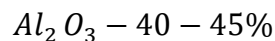
## 3.2. Korišteni materijali

### 3.2.1. Kalcij aluminatni cement

Kalcij aluminatni cement (CAC) je posebna vrsta cementa koja se koristi za specifične svrhe [15]. Primjena u posebnim situacijama je omogućena njegovom sposobnosti brzog dobivanja čvrstoće i izvrsnom otpornosti na kemikalije, vatru i abraziju. CAC koristi za postrojenja s plinom zbog odlične otpornosti na temperaturne udare. Nadalje, kalcij aluminatni cement je povoljan za korištenje za skladišta štetnog otpada [15].

CAC se proizvodi od sitno mljevenog klinkera koji se sastoji od monokalcijevog aluminata. Proizvodi se slično kao i portlandcementni klinker, ali postoji razlika u omjeru. Dok se za portlandcementni klinker koriste aluminatne i vapnene sirovine, za aluminatni se klinker koriste vapnenac i boksit koji se peku na temperaturi od 1500 do 1600 °C.

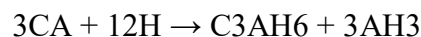
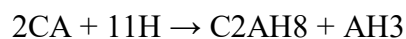
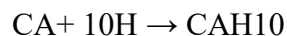
Sirovina aluminatnog cementa se obično sastoji od:



CAC vrlo brzo dobiva na čvrstoći te ima visoku ranu čvrstoću čak pri niskim temperaturama ukoliko je zaštićen od smrzavanja prije početka vezanja što ga razlikuje od drugih vrsta cemenata čije se vezanje usporava ili čak potpuno zaustavlja pri niskim temperaturama.

Mogućnost razvijanja brze čvrstoće čini ovaj cement prikladnim za hitne intervencije ili popravke objekata koji se moraju u kratkom vremenu vratiti u upotrebu. Veoma brzo vezanje ovog cementa pa čak i reda veličine nekoliko minuta može se dobiti dodavanjem male količine litijevih soli, što je prikazano ovim radom [15].

Glavne reakcije hidratacije aluminatnog cementa su:



Tijekom hidratacije, kalcij aluminatni cement u kratkom periodu (24 sata) oslobađa svu toplinu što može uzrokovati značajan prirast topline materijala, posebno kod masivnog betona gdje uzrokuje prekomjerna naprezanja i pucanje betona. Upotreba kalcij aluminatnog cementa

je ograničena njegovom visokom cijenom, ali i nepovoljnim svojstvima samog cementa kao što je smanjenje čvrstoće. Postoje primjeri kolapsa konstrukcija od kalcij aluminatnog cementa i zbog toga je on u većini zemalja zabranjen u konstrukcijskim svrhama.

### 3.2.2 Voda

Za pastu i mort korištena je demineralizirana voda laboratorijske temperature kako bi se isključila mogućnost utjecaja potencijalno otopljenih tvari na rezultate ispitivanja.

### 3.2.3. Dodaci za ubrzavanje vezanja

Dodaci za ubrzavanje vezanja utječu na kemijsku reakciju cementa i vode što znači da korištenje akceleratora rezultira skraćenjem vremena do početka vezanja i/ili povećanjem ranih čvrstoća.

Od početka korištenja cementa u građevinskoj praksi bio je cilj ubrzati proces do početka vezanja pa su se koristili različiti ubrzivači koji danas nisu u upotrebi zbog njihovih negativnih utjecaja. Kao primjer može poslužiti kalcijev klorid koji je najbolji akcelerator, ali se ne koristi zbog utjecaja na koroziju armature. Anorganske soli i nitrati su alternative iako su manje učinkoviti od kalcijevog klorida [16].

Ubrzivači vezanja se najčešće koriste za radove koji trebaju biti brzo gotovi i koji moraju razviti visoku ranu čvrstoću. Takvi radovi su sanacijski radovi i sprječavanje curenja vode. Prednosti ubrzanja vezanja i ranog očvršćivanja su brojni. Moguće je ranije skinuti oplatu te tako uštedjeti vrijeme i novac, reducirati potrebno vrijeme njegovanja betona i raniji povratak u funkciju saniranog objekta.

Kod kalcij aluminatnog cementa kao najbolji ubrzivači pokazale su se litijeve soli kao što su:  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{LiOH}$ ,  $\text{LiCl}$  i  $\text{LiNO}_3$ .

Vrijeme vezanja aluminatnog cementa uz utjecaj različitih iona raste u slijedećem poretku: Kationi:  $\text{Li}^+ \ll \text{Na}^+ < \text{uzorak bez ubrzivača} < \text{K}^+ \leq \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{NH}_4^+$   
Anioni:  $\text{OH}^- \ll \text{uzorak bez ubrzivača} < \text{Cl}^- < \text{NO}_3^- < \text{Br}^- < \text{CH}_3\text{COO}^-$  [16].

Za potrebe ovog rada korišten je litijev karbonat  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  firme Kemika. Radi se o sitnim bijelim zrnima, većeg ili manjeg promjera. Kako bi se litijev karbonat pravilno rasporedio u cementnoj mješavini, potrebno je određenu količinu otopiti u vodi koja će se koristiti za

izradu cementne paste ili morta. Dodani litijev karbonat je potrebno miješati dok se većina ne otopi u vodi. Tako otopljen spreman je za dodavanje u pastu ili mort.

Litij karbonat		SPECIFIKACIJA:	
CAS:	554-13-2	Sadržaj	≥ 99%
Kodirati	1204309	Sastojci netopivi u razrijeđenoj solnoj kiselini	≤ 0,01%
Čistoća / područje primjene	godišnje	Kloridi (Cl)	≤ 0,002%
Pakiranje	100 g	Nitrati (NO <sub>3</sub> )	≤ 0,001%
Indeksni broj	-	Sulfati (SO <sub>4</sub> )	≤ 0,005%
EC broj	209-062-5	Kalcij (Ca)	≤ 0,005%
Bruto formula	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Kalij (K)	≤ 0,005%
		Magnezij (Mg)	≤ 0,001%
		Natrij (Na)	≤ 0,005%
		Teški metali (poput Pb)	≤ 0,001%
		Željezo (Fe)	≤ 0,001%

Slika 15. Karakteristike korištenog litijevog karbonata

### 3.2.4. Pijesak

Za dobivanje standardnog morta korišten je standardni laboratorijski pijesak CEN EN 196-1, a njegova tehnička uputa nalazi se u prilogu. U svakom pakiranju nalazi se 1350 grama standardnog pijeska što je, prema normi, dovoljno za jedno miješanje.



Slika 16. Standardni laboratorijski pijesak

Tabela 5. Svojstva standardnog pijeska

Square mesh Size (mm)	Cumulative (%) retained
0.08	99 ± 1
0.16	87 ± 5
0.50	67 ± 5
1.00	33 ± 5
1.60	7 ± 5
2.00	0

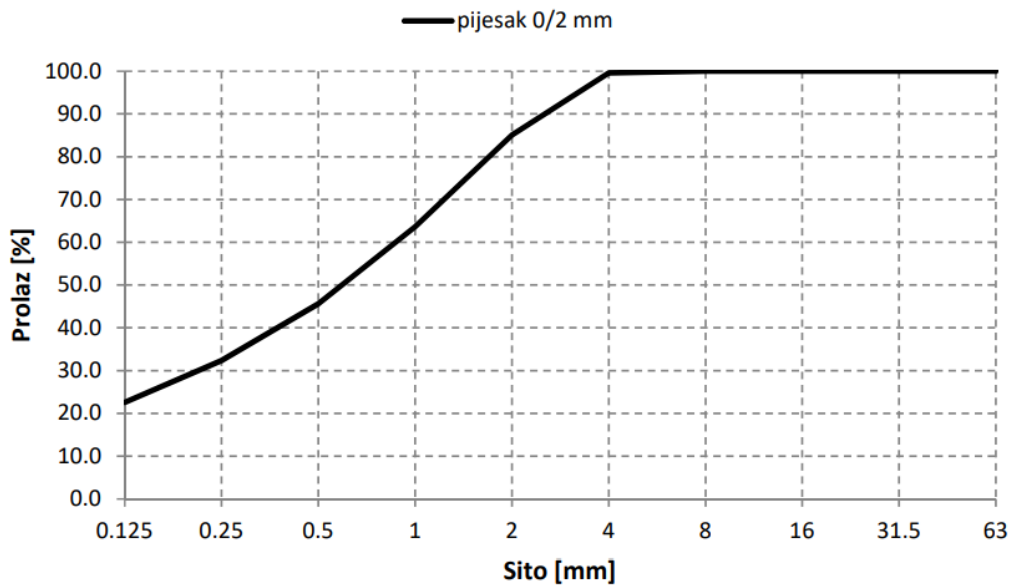
U praksi se ne koristi standardni pijesak, nego vapnenac 0/2 mm. Obavljeno je prosijavanje pijeska te se rezultati ispitivanja nalaze u tablici ispod.

Tabela 6. Rezultati prosijavanja

Sito	Ostatak	Prolaz	Ostatak	Prolaz
[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]
63	0.0	815.8	0.0	100.0
31.5	0.0	815.8	0.0	100.0
16	0.0	815.8	0.0	100.0
8	0.0	815.8	0.0	100.0
4	3.2	812.6	0.4	99.6
2	118.5	694.1	14.9	85.1
1	174.7	519.4	36.3	63.7
0.5	147.1	372.3	54.4	45.6
0.25	108.1	264.2	67.6	32.4
0.125	79.9	184.3	77.4	22.6
< 0.125	184.3	-	-	-
Ukupno	815.8			

Početno	Razlika	Odstupanje	Ref.	Ocjena
[g]	[g]	%	%	-
819.1	3.3	0.0	< 1	Zadovoljava

Modul finoće MF 2.510  
 Koef zrnatosti KF 3.490



Slika 17. Grafički prikaz granulometrijskog sastava

### 3.2.5. Aditiv

U svrhu poboljšanja obradljivosti, mortovima se dodaje superplastifikator koji smanjuje vodocementni faktor, ali ima tendenciju odužiti vrijeme vezanja. U ovom radu je korišten Master Glenium ACE 430 superplastifikator. Radi se o aditivu na bazi polikarboksilnog etera.

### 3.3. Određivanje standardne konzistencije kalcij aluminatnog cementa

Standardna konzistencija određuje se na pasti pomoću Vicatovog postupka opisanog u podnaslovu 3.1.1.

Sve mješavine sadrže 500 grama aluminatnog cementa, a sadržaj vode i vodocementni faktor variraju s obzirom na tehničku uputu. Također, svih 6 mješavina dobiveno je istim postupkom u kontroliranim laboratorijskim uvjetima.

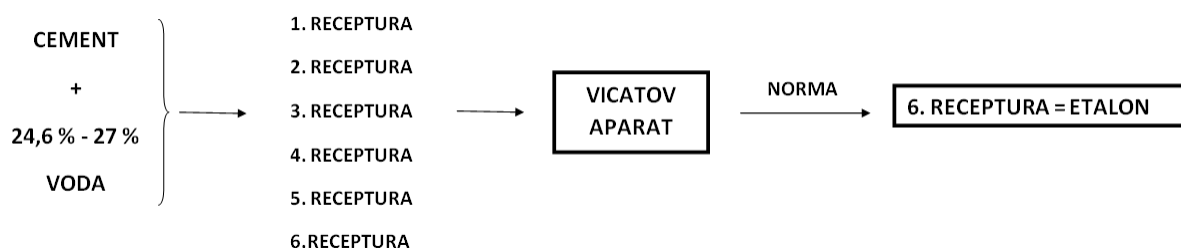
U prvih četiri pokušaja dobivanja paste standardne konzistencije, valjak je prodirao previše duboko, pa su te recepture odbačene. Kod pete recepture, valjak se zaustavlja na 19 mm iznad staklene podloge, što ukazuje na premalo vode u pasti pa je i taj pokušaj odbačen.



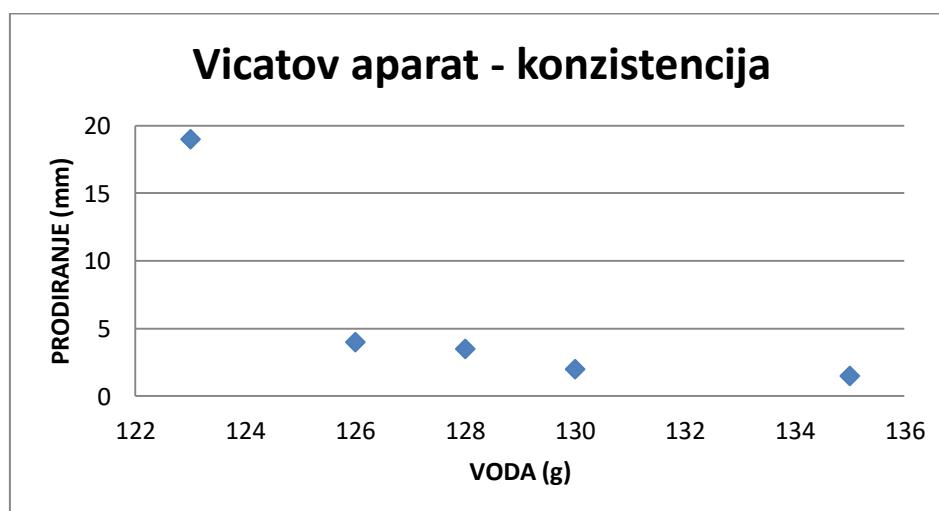
Može se uočiti da se minimalnim variranjem količine vode u pasti dobivaju velike razlike u rezultatima. Posljednja receptura zadovoljava normu te je ona uzeta kao odgovarajuća.

Tabela 7. Određivanje početne konzistencije

ODREĐIVANJE POČETNE KONZISTENCIJE						
BR	CEM (g)	VODA (g)	POSTOTAK (%)	VRIJEME KONTAKTA (h)	VRIJEME ISPITIVANJA (h)	REZULTAT (mm)
1	500	135	27	10:21	10:27	1.5
2	500	130	26	10:36	10:43	2
3	500	128	25.6	10:55	11:00	3.5
4	500	126	25.2	11:08	11:13	4
5	500	123	24.6	11:20	11:25	19
6	500	125	25	11:33	11:37	7



Slika 18. Dijagram tijeka određivanja standardne konzistencije



Slika 19. Prodiranje igle Vicatovog aparata

### 3.4. Ispitivanje doze litijevog karbonata

O utjecaju litijevog karbonata na ubrzavanje vezanja aluminatnog cementa trenutno postoji vrlo mali broj radova, ali poznato je da velik broj anorganskih soli utječe na početak vezanja kalcij aluminatnog cementa ukoliko su dodane u koncentraciji od 0,1 do 0,5 % težine cementa [16]. S obzirom na ove podatke, ispitane su 4 mješavine s različitim dozama litijevog karbonata. Nakon određivanja standardne konzistencije cementne paste, istražen je utjecaj doze litijevog karbonata na vezanje, obradljivost i čvrstoću morta.

Tabela 8. Recepture

	ETALON	L1	L2	L3	L4
CEMENT (g)	500	500	500	500	500
VODA (g)	125	125	125	125	125
LITIJEV KARBONAT(%)	0	0.005	0.0065	0.008	0.01
LITIJEV KARBONAT(g)	0	0.025	0.0325	0.04	0.05



Slika 20. Određivanje vremena vezanja Vicatovim aparatom

### 3.4.1. Određivanje vremena vezanja paste s dodatkom litijevog karbonata

Prvi korak projektiranja recepture koja je cilj ovog rada jest određivanje vremena vezanja početne recepture, tj. cementne paste koja se sastoji samo od aluminatnog cementa i vode. Kada se dobije početak i kraj vezanja ove paste, moguće ju je modificirati litijevim karbonatom što je i učinjeno u četiri recepture (Tablica 8.).

Tabela 9. Vrijeme vezanja

	ET.	L1	L2	L3	L4
CEMENT (g)	500	500	500	500	500
VODA (g)	125	125	125	125	125
LITIJEV KARBONAT (%)	0	0.005	0.0065	0.008	0.01
LITIJEV KARBONAT (g)	0	0.025	0.0325	0.04	0.05
POČETAK VEZANJA (min)	270	90	44	29	20
KRAJ VEZANJA (min)	290	120	91	64	45

Ideja je prvo odrediti granične vrijednosti litijevog karbonata, a to je moguće određivanjem vremena početka i kraja vezanja. Slijedeći preporuku, kao moguća najviša doza litijevog karbonata uzeta je doza od 0,01% litijevog karbonata na 500 grama cementa, a ta receptura je nazvana L4.

Vicatovim postupkom je dobiveno da je početak vezanja etalonske mješavine, tj. one u kojoj nema litijevog karbonata 270 minuta od kontakta cementa i vode, što je predugo. Za razliku od etalona, receptura L4 počinje vezati već nakon 20 minuta što je odličan rezultat, ali tako velika doza litijevog karbonata rezultira poteškoćama u miješanju, a i svakom daljnjem radu s ovom recepturom. Zaključeno je da velika doza litijevog karbonata ubrzava vrijeme vezanja, ali i smanjuje obradljivost, stoga su bile potrebne ostale recepture.

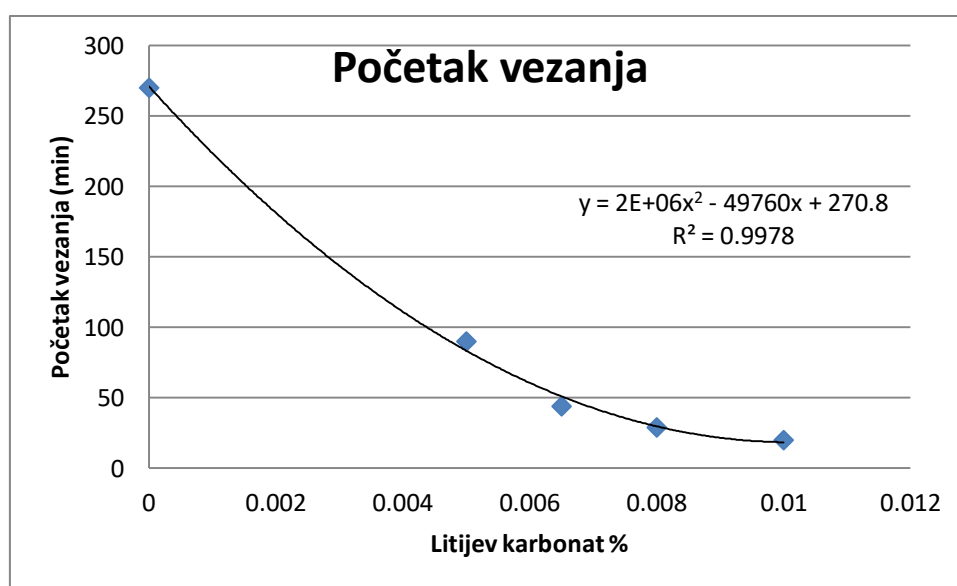
Receptura L1 sadrži 0,005% litijevog karbonata i ima odgodu vezanja 90 minuta što je predugo. L2 sadrži 0,0065 % litijevog karbonata i početak vezanja joj je 44 minute nakon kontakta vode i cementa što je i dalje predugo. Vodeći se dosadašnjim rezultatima, za

recepturu L3 korišteno je 0,008% litijevog karbonata što je rezultiralo početkom vezanja od 29 minuta. L3 daje najbolju kombinaciju početka vezanja i obradljivosti paste.

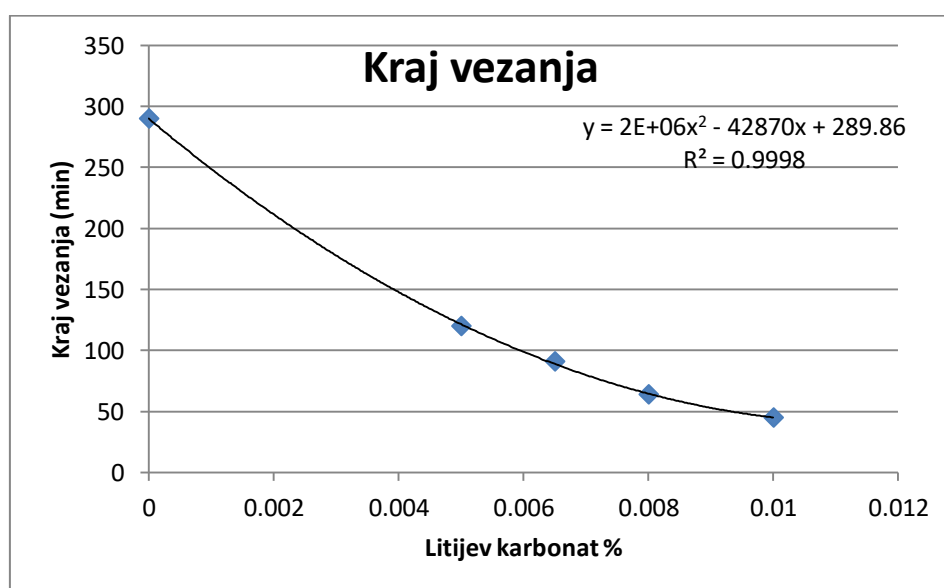
Kada govorimo o kraju vezanja, etalonska mješavina, L1 i L2 imaju predugo vrijeme kraja vezanja da bi se mogle koristiti u geotehnici, dok L3 i L4 imaju dobro vrijeme.

Međutim, rezultati koji se dobiveni na pasti neće se nužno ponoviti i na mortu.

Na dijagramima ispod prikazane su ovisnosti početka i kraja vremena vezanja o količini litijevog karbonata. Ovisnost vezanja o litijevom karbonatu može se aproksimirati funkcijom polinoma četvrtog stupnja pri čemu korelacija iznosi 1.



Slika 21. Ovisnost vremena početka vezanja o litijevom karbonatu



Slika 22. Ovisnost vremena kraja vezanja o litijevom karbonatu

### 3.4.2. Izrada standardnog morta s dodatkom litijevog karbonata i ispitivanje obradljivosti

Mort je materijal koji nastaje miješanjem nekog veziva, u ovom slučaju aluminatnog cementa, sitne frakcije agregata i vode. Gore navedenim recepturama s različitim količinama litijevog karbonata dodana je određena količina standardnog pijeska prema normi. Dakle, kao što nalaže norma EN 14647:2005, mort treba sadržavati 1350 grama standardnog pijeska, 500 grama aluminatnog cementa i 200 grama vode. Prema tome, propisani vodocementni faktor je 0,40.

Predviđenu količinu litijevog karbonata je potrebno otopiti u 200 grama vode. Ta voda se zatim ulijeva u posudu od miješalice te se dodaje 500 grama aluminatnog cementa. Posuda se postavlja u miješalicu. Prethodno je agregat dodan u posudu za agregat koja ima mogućnost automatski dodati agregat kada za to dođe vrijeme. Kad se postavi posuda u miješalicu, potrebno je uključiti automatski program za miješanje morta koji prvo miješa pastu pa dodaje agregat i nastavlja miješati mort.

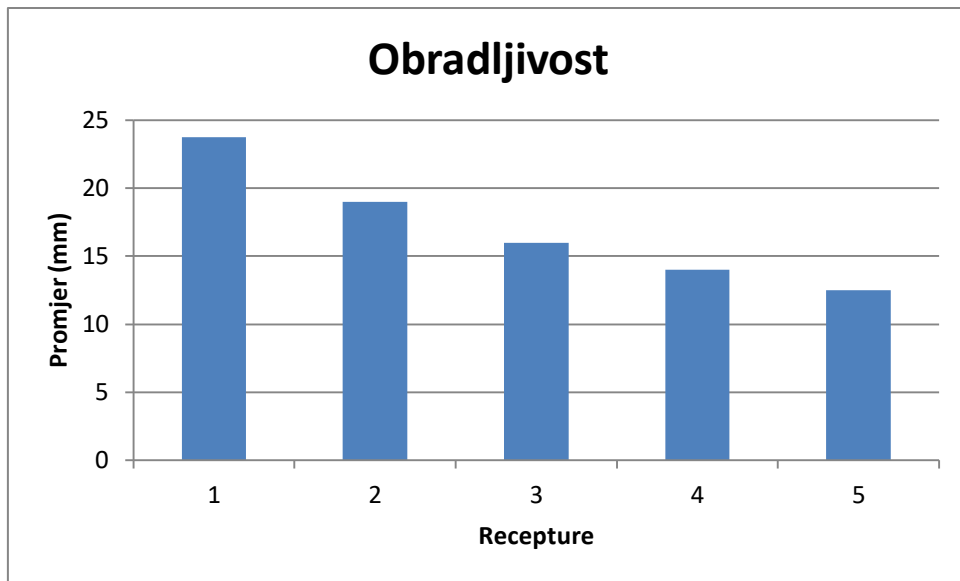
Ova količina morta dovoljna je za popuniti 3 kalupa oblika prizme dimenzija 40x40x160 mm u kojima mort treba očvrstnuti kako bi bio spreman za ispitivanje.

Na svježem mortu ispitivana je njegova obradljivost, a na čvrstim prizmama brzina ultrazvuka, čvrstoća na savijanje i tlak.

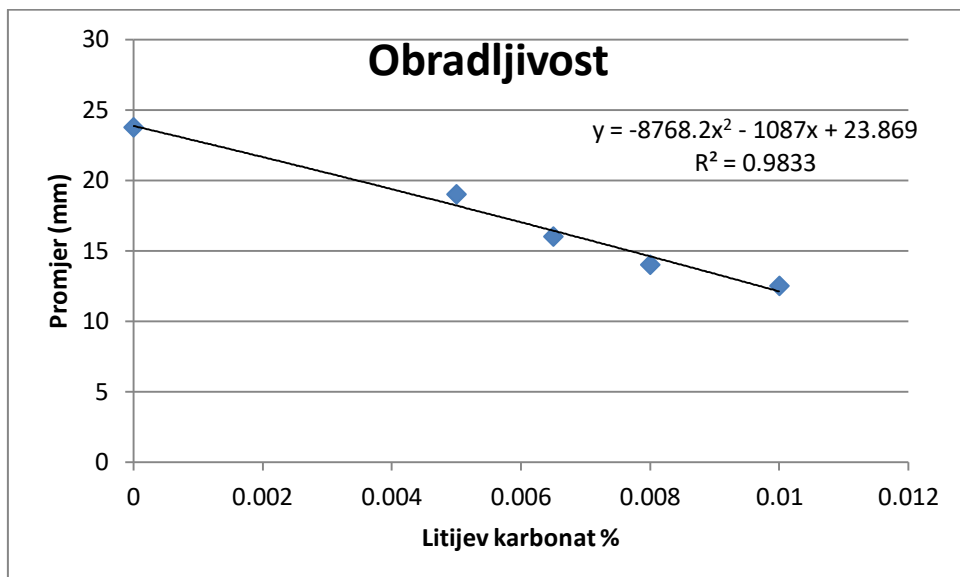
Za etalonsku mješavinu i četiri recepture proveden je ovaj test i rezultati se nalaze u tablici.

*Tabela 10. Rezultati ispitivanja obradljivosti*

	RASPROSTIRANJE				
	E	L1	L2	L3	L4
PROMJER 1 (mm)	24	19	16	14	12.5
PROMJER 2 (mm)	23.5	19	16	14	12.5
SREDNJA VRIJEDNOST (mm)	23.75	19	16	14	12.5



Slika 23. Obradljivost morta



Slika 24. Obradljivost morta s obzirom na litijev karbonat

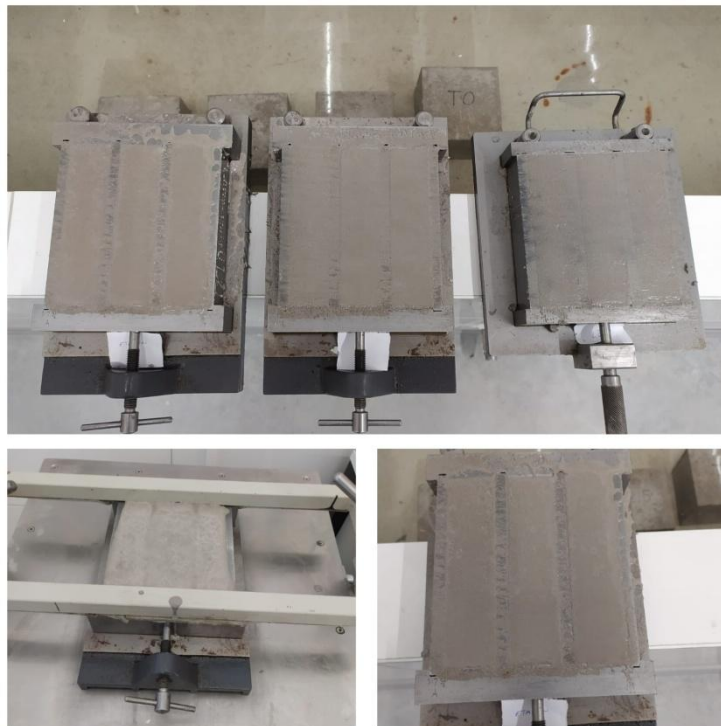


*Slika 25. Ispitivanje obradljivosti morta*

U rezultatima se jasno vidi da veća količina litija smanjuje obradljivost svježeg morta što automatski ograničava njegovu upotrebu u geotehničkom laboratoriju. Što se tiče vremena vezanja morta, njega je teže ispitati nego kada se radi o pasti pa je iskustveno zaključeno da veća količina litijevog karbonata ubrzava vezanje.

### 3.4.3. Ispitivanje brzine ultrazvuka i čvrstoće morta

Nakon ispitivanja obradljivosti, mort se ugrađuje u kalupe i ostavlja da očvrstne u laboratorijskim uvjetima.



Slika 26. Ugrađeni mort

Očvršli mort se vadi iz kalupa te se provodi metoda ultrazvuka koja je objašnjena u podnaslovu 3.1.3.



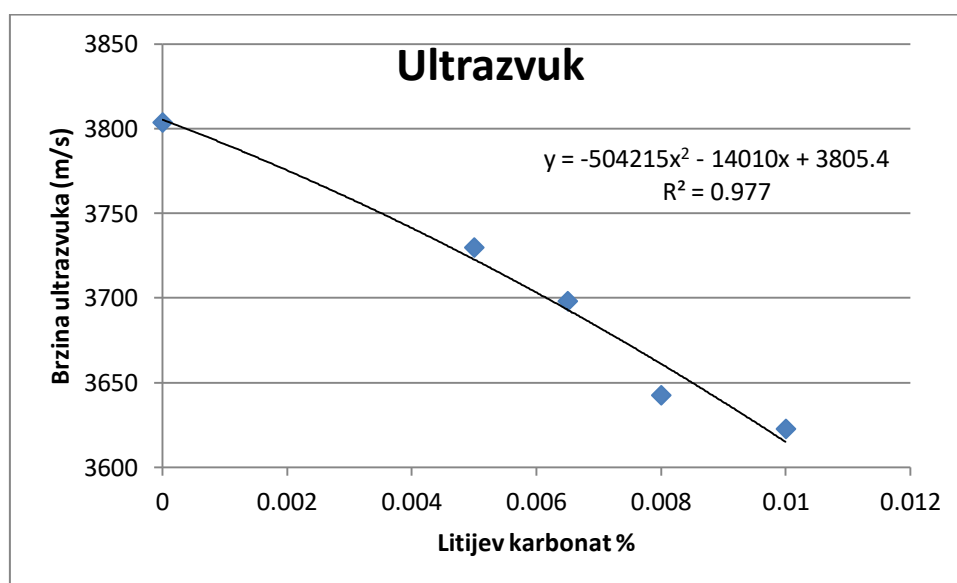
Slika 27. Prizme spremne za ispitivanje

Prizmama kojima je određena brzina ultrazvuka određuje se i čvrstoća na savijanje i tlak, a postupak je objašnjen u 3.1.4. i 3.1.5.

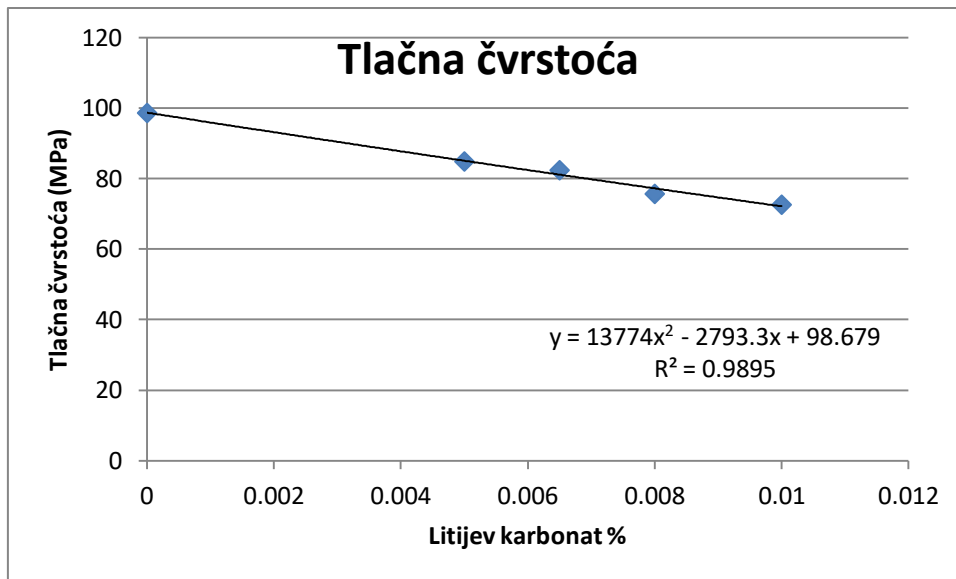


Tabela 11. Srednje vrijednosti rezultata ispitivanja

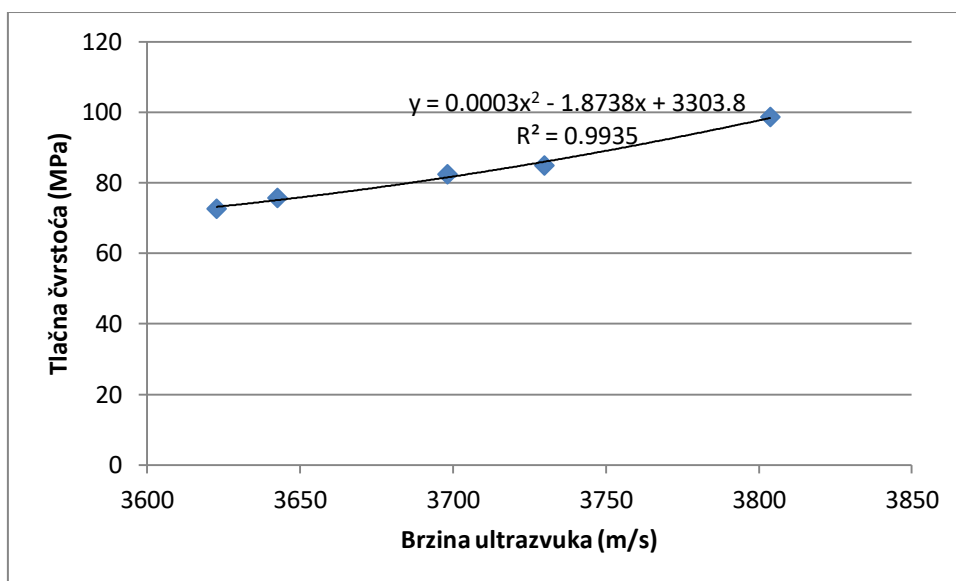
REZULTATI ISPITIVANJA					
BR.	LITIJEV KARBONAT (%)	BRZINA UZV (m/s)	DIN. MODUL EL. (MPa)	TLAČNA ČVRSTOĆA (MPa)	SAVOJNA ČVRSTOĆA (MPa)
E	0	3803.72	32657.9	98.63	8.18
L1	0.005	3729.86	30502.67	84.87	8.16
L2	0.0065	3698.17	29736.36	82.39	8.23
L3	0.008	3642.59	29048.86	75.68	8.11
L4	0.01	3622.72	28679.55	72.61	7.31



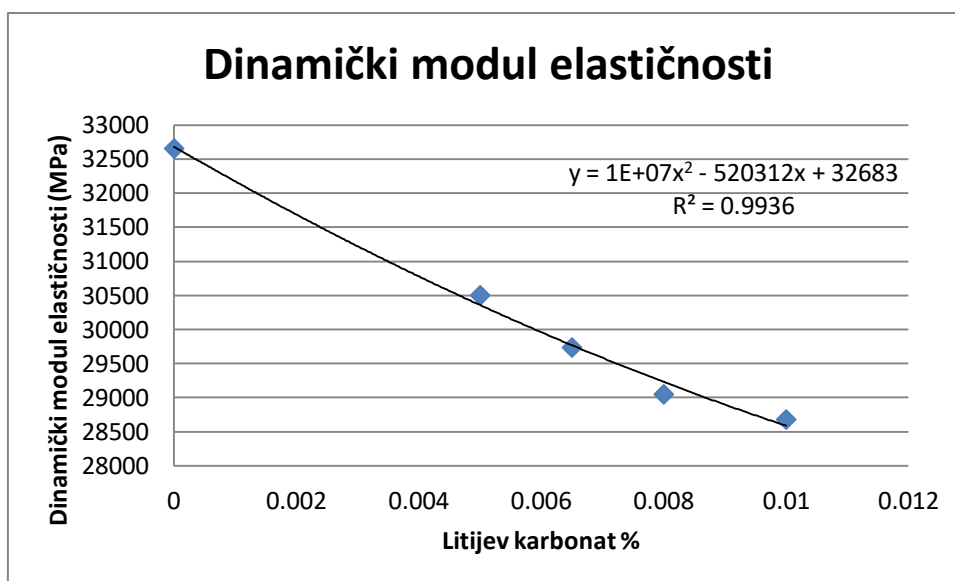
Slika 28. Ovisnost brzine ultrazvuka o litijevom karbonatu



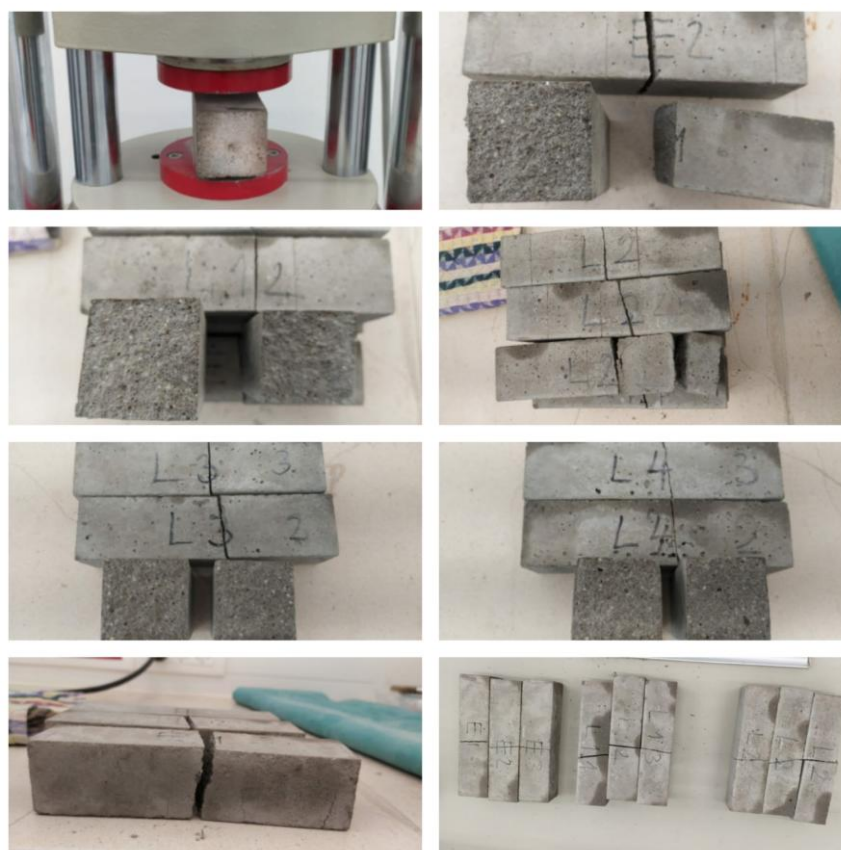
Slika 29. Ovisnost tlačne čvrstoće o litijevom karbonatu



Slika 30. Ovisnost tlačne čvrstoće i brzine ultrazvuka



Slika 31. Promjena din. modula elastičnosti ovisno o litijevom karbonatu



Slika 32. Ispitivanje na savijanje

U priložima su prikazani radni formulari, tj. čvrstoće na savijanje za svaku pojedinu prizmu i sila pri slomu kao i brzine ultrazvuka, a njihova korelacija vidljiva je na dijagramu (Slika 28.).

Pošto su od svake recepture izrađene tri prizme koje su metodom savijanja prepolovljene, postoji 6 rezultata čvrstoće, a mjerodavan rezultat je njihova srednja vrijednost.

Naravno, rezultati variraju od prizme do prizme, ali uzimajući u obzir srednje vrijednosti (Tabela 6), jasan je pad tlačne čvrstoće kod receptura s više litijevog karbonata.

### 3.5. Projektiranje brzovezujućeg morta

S obzirom na zadovoljavajuće rezultate čvrstoća na savijanje i na tlak te zahtijevanog vremena početka i kraja vezanja, za daljnji rad odabrana je receptura L3. Pošto se radi o recepturi s velikom dozom litija od 0,008%, mort je loše obradiv. Na obradljivost morta moguće je utjecati dodavanjem superplastifikatora koji poboljšava obradljivost, ali ima tendenciju produžiti vrijeme vezanja.

Prva ideja je bila uraditi dvije recepture, sa superplastifikatora i bez superplastifikatora i usporediti ih s referentnim mortom. Obje recepture sastoje se od cementa i pijeska u omjeru 1:3, što znači 500 grama cementa i 1500 grama pijeska i vode koja se korigira prema obradljivosti. Treba imati na umu da se povećanjem količine superplastifikatora stvara prostor za smanjenje količine vode čime je moguće povećati čvrstoću, ali i usporiti vrijeme vezanja jer superplastifikator i litijev karbonat imaju oprečna djelovanja na vrijeme vezanja.

Prva receptura R1, uz poznate količine pijeska, cementa i litijevog karbonata, sadrži i 0,5% aditiva, tj 2,5 grama superplastifikatora i 250 grama vode. Kako je već navedeno, ova receptura je zamišljena bez aditiva, ali već pri miješanju se događaju teškoće i uočava se problem s obradljivosti pa je ipak dodan aditiv.

Druga receptura R2 sadrži iste količine pijeska, cementa, litijevog karbonata i vode, dok je doza aditiva povećana. Iskustveno je početna ideja bila smanjiti količinu vode na 225 grama, ali pri miješanju je ipak dodana pa mort sadrži 250 grama vode što znači da je w/c faktor 0,5. Aditiv je povećan na 0,8% što iznosi 4 grama aditiva.

Tabela 12. Rezultati ispitivanja obradljivosti na potresnom stolu

	R1	R2
CEMENT (g)	500	500
PIJESAK (g)	1500	1500
VODA (g)	250	250
LITIJEV KARBONAT (g)	0.04	0.04
ADITIV (%)	0.5	0.8
ADITIV (g)	2.5	4
PROMJER 1	25	cijeli promjer
PROMJER 2	25.5	cijeli promjer

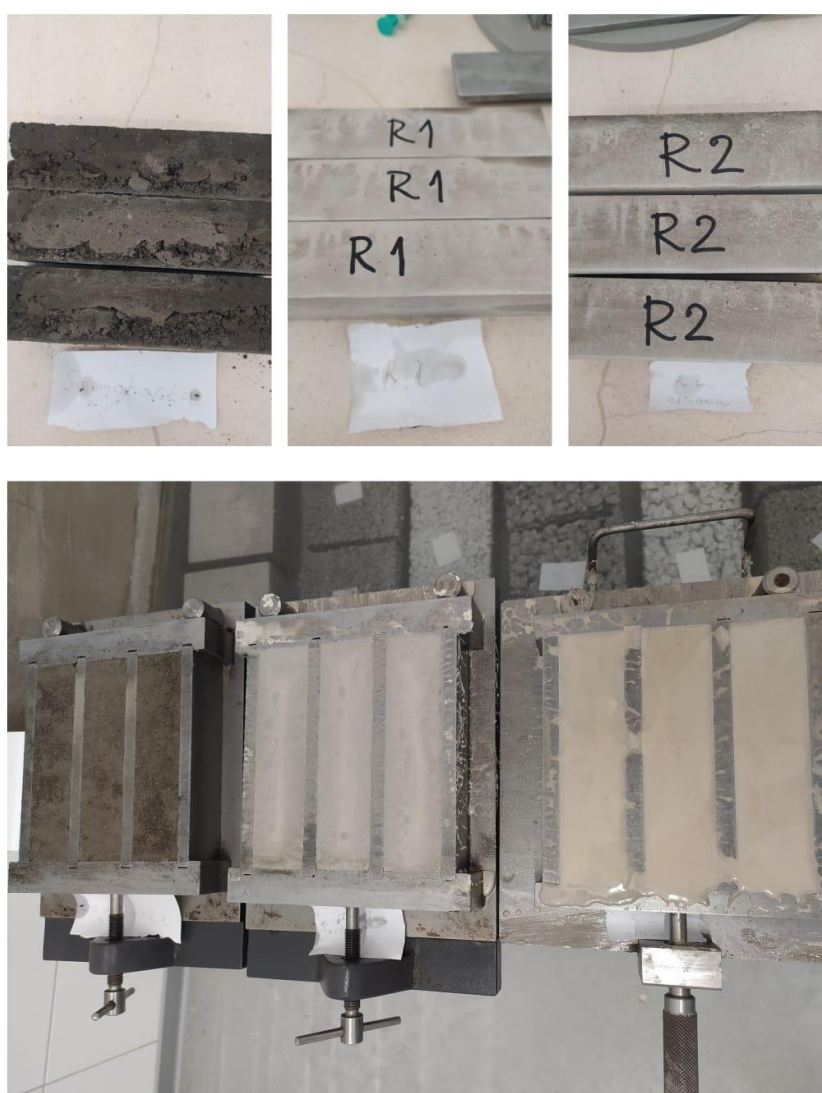


Slika 33. Referentni mort, R1 i R2 na potresnom stolu

Obe recepture su vrlo dobro obradive i mogle bi se koristiti, ali cilj je odabrati onu koja ima što sličnija svojstva referentnom mortu.

Paralelno s eksperimentalnim recepturama, zamiješana je i ispitana receptura referentnog morta, kako bi rezultati bili dobiveni u istim uvjetima i kao takvi mjerodavni za usporedbu. Referentni mort je zamiješan prema uputama tj. 2 kilograma suhe mješavine morta i 240 grama vode. Već pri miješanju je uočeno da se radi o vrlo žitkoj smjesi, a ispitivanje obradljivosti na potresnom stolu je to i pokazalo s obzirom da se mort prelio preko stola.

Nakon toga slijedi ista procedura kao i kod prethodnih mortova; ugrađivanje u kalupe oblika prizme, sušenje i ispitivanje na savijanje i tlak. Međutim, prilikom ugrađivanja u kalupe, mort više nije žitak kao na početku te ga nije moguće pravilno ugraditi. U samo par sekundi prelazi iz žitkog i obradivog stanja u potpuno neobradivo. Ipak, mort je ugrađen i ostavljen da se suši u istim uvjetima kao i eksperimentalni mortovi.



Slika 34. Referentni mort 1, R1 i R2 u očvrslom i svježem stanju

### 3.5.1. Ispitivanje na savijanje i tlak

Nakon 24 sata svi mortovi su spremni za ispitivanje na savijanje i tlak. Koristi se ista procedura kao što je objašnjeno gore, a rezultati se nalaze u formularima.



Slika 35. Referentni mort 1, R1 i R2 nakon savijanja

Može se uočiti da recepture R1 i R2 imaju vrlo slične čvrstoće i na tlak i na savijanje, s tim da receptura R1 ima malo veću čvrstoću na savijanje. Prema tome, zaključujemo da veća koncentracija aditiva utječe na obradljivost, ali ne i na čvrstoću vjerojatno jer je količina vode nepromijenjena. Kako veća količina aditiva utječe na vrijeme vezanja u kombinaciji s litijevim karbonatom ostaje nepoznanica zbog nedostatka aparature za određivanje početka i kraja vezanja na mortu.

Iako je referentni mort bio loše ugrađen, ispitane su čvrstoće. Sukladno lošoj ugradnji, ispitivanja su pokazala veliki pad čvrstoće s obzirom na čvrstoću navedenoj u tehničkoj uputi te se ovi rezultati ne mogu uzeti u obzir. Stoga je bilo potrebno ponoviti ispitivanje, ali ovaj

put bez ispitivanja na potresnom stolu. Odmah nakon miješanja, mort se ugrađuje u kalupe. Ovaj put je očito da se radi o samonivelirajućoj smjesi i da dodatno vibriranje nije potrebno. Mort je dovoljno žitak i obradiv te je ugradnja uspješna.



Slika 36. Samoborka 2

Nakon 24 sata referentni mort je ispitivan te su rezultati u skladu s tehničkom uputom. Zaključeno je da receptura R2 ima podjednaku obradljivost kao i referentni mort, a čvrstoća na tlak joj je čak i veća te je ova receptura potencijalno odgovarajuća receptura za korištenje u geotehničkom laboratoriju.

Rezultati ispitivanja prikazani su u tablicama 13. i 14.

Tabela 13. Rezultati ispitivanja morta

REZULTATI ISPITIVANJA						
BROJ REC.	ADITIV (%)	LITIJEV KARBONAT (%)	BRZINA UZV (m/s)	DINAMIČKI MODUL ELASTIČNOSTI (MPa)	TLAČNA ČVRSTOĆA (MPa)	SAVOJNA ČVRSTOĆA (MPa)
R1	0.5	0.008	3612.503	28903.66	69.623	8.51
R2	0.8	0.008	3667.193	30145.57	65.97	7.553

Tabela 14. Rezultati ispitivanja referentnog morta

REZULTATI ISPITIVANJA				
BROJ REC.	BRZINA UZV (m/s)	DINAMIČKI MODUL ELASTIČNOSTI (MPa)	TLAČNA ČVRSTOĆA (MPa)	SAVOJNA ČVRSTOĆA (MPa)
Referentni mort	3436.09	25998.54	42.717	7.023



## **4.PRIMJENA DOBIVENE RECEPTURE ZA POTREBE IZRAVNOG POSMIKA**

### **4.1. Receptura 1**

Kao rezultat ispitivanja u laboratoriju za materijale, kao potencijalna receptura za primjenu u geotehničkom laboratoriju predložena je receptura R2. Radi se o već usvojenoj količini cementa, vode i pijeska, ali s 0,8% aditiva i 0,04 grama litijevog karbonata.

Dobivena receptura se zamiješa i ugrađuje u kalup za izravni posmik te se postavlja uzorak koji se ispituje po već objašnjenoj proceduri. Ugrađen je mort u dva kalupa i ostavljen da se suši u laboratorijskim uvjetima. Nakon dva sata mort nije bio spreman za okretanje i ugrađivanje druge strane te je zaključeno da ova receptura ima preveliku odgodu vezanja.

Iako je vrijeme vezanja na pastu bilo u skladu s potrebnim vezanjem u geotehničkoj praksi, na mortu je ono daleko duže. Mort s tako velikom odgodom vezanja je u praksi neupotrebljiv, tj. dodavanje litijevog karbonata nema smisla. Ovdje se uočava problem nemogućnosti ispitivanja vezanja na mortu i jasno je da je vezanje usporeno zbog aditiva bez obzira na litijev karbonat.

Mort ove recepture poslužio je kao imobilizacijski mort za dva uzorka 18/20. Jedan uzorak opterećen je vertikalnom silom od 25 kN, a drugi od 20 kN. Prilikom ispitivanja izravnog posmika u oba slučaja je došlo do pucanja morta te su oba uzorka odbačena. Kao što je vidljivo na slikama ispod, došlo je do pucanja gornje polovice morta i to na isti način u oba slučaja, kao posljedica momenta savijanja.



Slika 37. Uzorci 18/20 imobilizirani mortom recepture 1



Slika 38. Lom gornje polovice morta kao posljedica momenta savijanja

## 4.2. Receptura 2

S obzirom da je receptura 1 imala značajnu odgodu vezanja, a i u oba slučaja ispitivanja na posmik došlo je do pucanja morta (što ne mora nužno biti zbog male čvrstoće morta, treba uzeti u obzir da su uzorci opterećeni velikim vertikalnim silama i da se radi o vrlo čvrstim uzorcima), receptura 2 je malo modificirana.

Radi se o recepturi koja ima istu količinu cementa, pijeska i litijeovog karbonata kao i receptura 1, ali bez dodatka superplastifikatora koji je izbačen zbog njegove mogućnosti da uspori vrijeme vezanja. Izbacivanjem superplastifikatora iz morta, potrebno je osigurati obradljivost dodavanjem dodatne vode, što znači da je na unaprijed određenih 250 grama vode tijekom miješanja dodano još 90 grama.

Prilikom ugrađivanja u kalupe za izravni posmik, ista receptura se ugrađuje i u kalup oblika prizme kako bi se mogle ispitati čvrstoće na savijanje i tlak nakon 2 i nakon 24 sata. Budući da sama svrha morta ograničava vrijeme vezanja na 2 sata, potrebno je da mort razvije dovoljnu čvrstoću kako bi se mogao izložiti izravnom posmiku.

Potrebno je uzeti u obzir da prizme nisu ugrađene na vibrirajućem stolu nego u geotehničkom laboratoriju te su čvrstoće zbog toga potencijalno malo manje. Nakon 2 sata, jedna prizma je ispitana na savijanje i tlak, a ostale dvije nakon 24 sata, a rezultati se nalaze u tablici.



Slika 39. Uzorci 10/19 i 08/19 imobilizirani mortom recepture 2

### 4.3. Receptura 3

Receptura 2 ima manju odgodu vezanja od recepture 1, ali ipak ostavlja prostora za poboljšanje vezanja što je moguće povećanjem količine litija. Receptura 3 sadrži 0,16 grama litija što je četverostruko više nego kod recepture 2, ali zato sadrži i 0,5% aditiva jer tako velika doza litija značajno smanjuje obradljivost. Na 250 grama vode prilikom miješanja dodano je još 50 te je obradljivost zadovoljavajuća.

Prilikom ugrađivanja morta u kalup, potrebno je ručno vibrirati, a posebnu pažnju treba obratiti kod uranjanja uzorka jer se mort samostalno teško raspoređuje i ne prianja uz uzorak. Zbog toga mort treba brzo zamiješati i što je brže moguće ugraditi u kalup i dodati uzorak jer se pokazalo da svaka odgoda dovodi do poteškoća pri ugradnji, a samim time se ne osigurava povezanost morta i uzorka. Svaki nepopunjeni prostor oko uzorka može rezultirati lošim rezultatima izravnog posmika, a time imobilizacijska mješavina gubi smisao. Mort je nakon sat i pol očvrstnuo i spreman je za okretanje i ugradnju drugog dijela kalupa.

Receptura 3 nakon dva sata daje vrlo slične rezultate čvrstoće na savijanje i tlak kao i receptura 2 (Tablica 16). Može se zaključiti da čak četverostruko povećanje doze litijevog karbonata i dodavanje superplastifikatora ne može toliko smanjiti čvrstoću koliko veća količina vode. Naime, eksperimentalno je recepturi 3 dodano 40 grama manje vode nego recepturi 2, ali dodatkom superplastifikatora obradljivost je osigurana.

Nakon 24 sata, ispitivanja na prizmama pokazuju pad obje čvrstoće za više od 10 MPa.



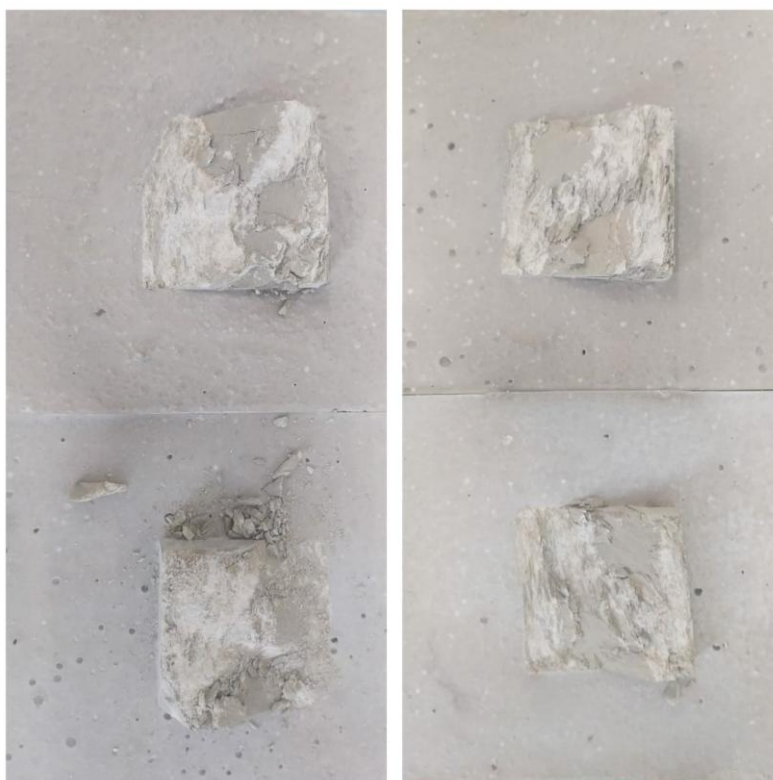
Slika 40. Uzorci 18/20 i 08/19 imobilizirani mortom recepture 3

#### 4.4. Receptura 4

Zbog pomalo teže ugradnje morta u kalup i uzorka u mort, receptura 3 je modificirana te je količina litijevog karbonata smanjena sa 0,16 na 0,1 gram dok je količina superplastifikatora ostala ista. S obzirom na manju količinu litijevog karbonata, postoji mogućnost smanjenja vode, a time povećanja čvrstoće. Voda je smanjena s 300 grama (receptura 3) na 280 grama. Obradljivost je bolja nego kod recepture 3 i puno lakše se mort raspoređuje po kalupu i oko uzorka.

Mort je očvrstnuo nakon dva sata i spreman je za okretanje i ugradnju druge strane. Koristeći ovaj mort kao imobilizacijsku mješavinu, ukupno trajanje procesa oko jednog uzorka kojeg treba ispitati na posmik smanjeno je na 4 sata ( 2 sata do okretanja donjeg dijela kalupa, dva sata do vezanja gornjeg dijela) što je optimalno za geotehničke svrhe.

Mort pokazuje vrlo dobre čvrstoće i nakon dva sata i nakon 24 sata. Prema tome, receptura broj 4 zadovoljava sve potrebne parametre imobilizacijske smjese (obradljivost, vrijeme vezanja, čvrstoće na savijanje i tlak) i ti parametri su slični referentnom mortu Samoborki.



Slika 41. Uzorci 10/19 i 8/19 imobilizirani mortom recepture 4

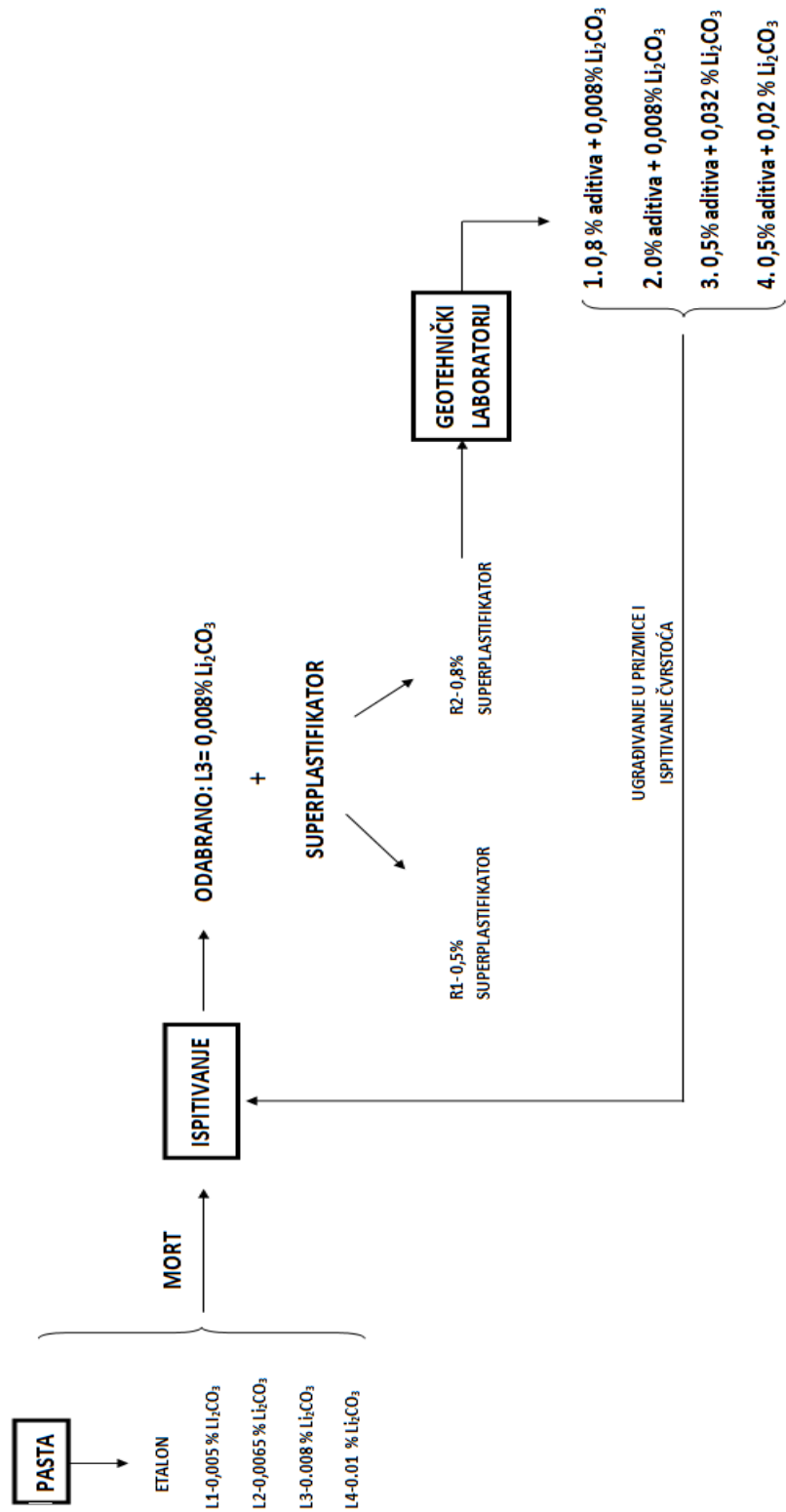
Tabela 15. Recepture dobivene u geotehničkom laboratoriju

BR.	CEM. (g)	VODA (g)	LITIJEV KARBONAT (%)	LITIJEV KARBONAT (g)	ADITIV (%)	ADITIV (g)
1	500	250	0.008	0.04	0.8	4
2	500	250+90	0.008	0.04	0	0
3	500	250+50	0.032	0.16	0.5	2.5
4	500	250+30	0.02	0.1	0.5	2.5

Tabela 16. Rezultati ispitivanja čvrstoće

BROJ RECEPTURE		SAVOJNA ČVRSTOĆA (MPa)		TLAČNA ČVRSTOĆA (MPa)			
		nakon 2 sata	nakon 24 sata	nakon 2 sata		nakon 24 sata	
2	Prizma 1	1.24	-	4.46	4.85	-	-
	Prizma 2	-	6.74	-	-	47.33	46.86
	Prizma 3	-	6.72	-	-	47.21	47.01
3	Prizma 1	1.26	-	4.47	4.34	-	-
	Prizma 2		5.43	-	-	30.4	34.16
	Prizma 3		6.77	-	-	33.19	33.18
4	Prizma 1	1.49	-	5.69	5.86	-	-
	Prizma 2	1.59	-	5.77	5.84	-	-
	Prizma 3	-	6.25	-	-	42.21	41.61

Dijagram tijeka dobivanja receptura prikazan je na slici 42.



Slika 42. Dijagram tijeka

## 4.5. Rezultati

Sve recepture su iskorištene kao imobilizacijski mort za različite uzorke stijena. Nakon postavljanja u uređaj za izravni posmik, uzorci su izloženi velikim silama od 20 ili 25 kN i rezultati smicanja se nalaze u priložima.

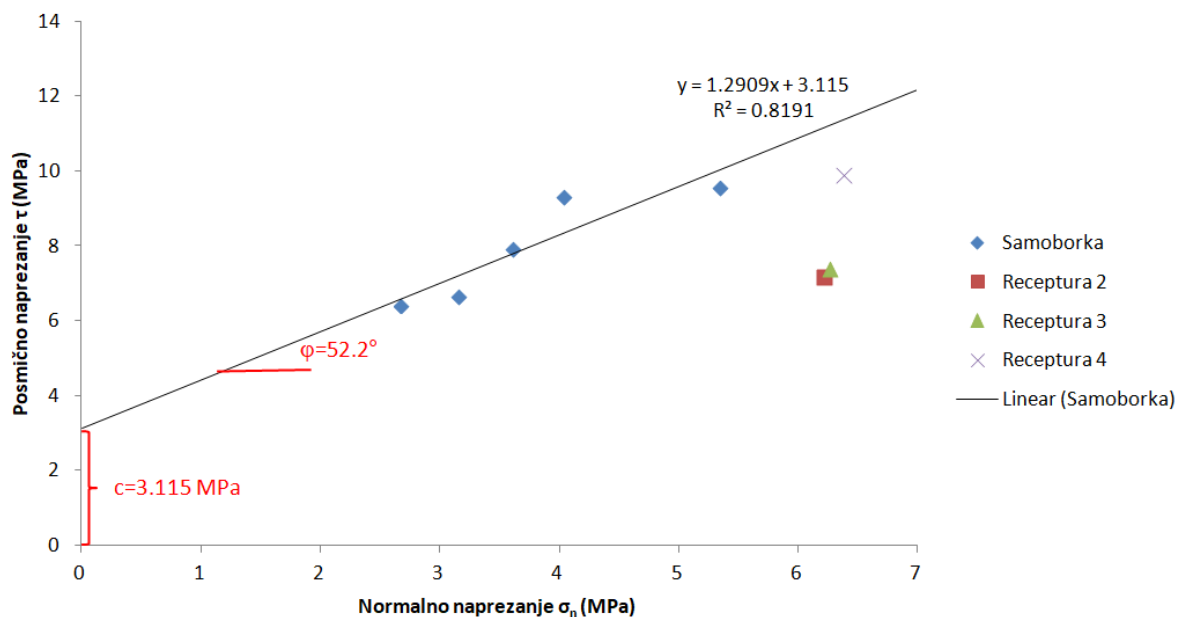
Prva receptura je korištena za ispitivanje dva uzorka 18/20 i u oba slučaja došlo je do loma morta, ali i uzorka pri čemu se radi o vrlo visokim horizontalnim silama (40 kN) te su rezultati odbačeni.

Uzorci koji su ugrađeni s drugom recepturom su 10/19 i 8/19 te su ispitani 24 sata nakon ugradnje. U oba slučaja mort je ostao cjelovit iako su uzorci opterećeni vertikalnom silom od 20 kN.

Treća receptura korištena je za uzorke 18/20 i 08/19. Uzorak 18/20 je pri posmiku vjerojatno bio izložen momentu savijanja radi loše ugradnje zbog neprianjanja morta uz uzorak te je došlo do loma morta. Uzorak je bio opterećen vertikalnom silom od 20 kN. Kod uzorka 08/20, mort odlično obuhvaća uzorak, ali je uzorak malo ekscentrično ugrađen što je vidljivo na slikama. Ipak, opterećen vertikalnom silom od 20 kN, mort nije pukao.

Četvrtom recepturom imobilizirani su uzorci 08/19 i 10/19. Zbog vrlo dobre obradljivosti morta, oba uzorka su ispravno ugrađena što se pokazalo u rezultatima posmika; mort nije pukao iako opterećen vertikalnom silom od 20 kN.

Uzorak 08/19 imobiliziran je referentnim mortom, recepturom 2, 3 i 4 te su rezultati prikazani na dijagramu na slici 43.



Slika 43. Usporedba rezultata posmika



Na dijagramu je vidljivo odstupanje rezultata s eksperimentalnim recepturama od onih sa referentnim mortom, ali to je posljedica većeg vertikalnog opterećenja. Zanimljivo je i to što su rezultati s recepturama 2 i 3 vrlo slični, što ukazuje na to da se vjerojatno radi o uzorcima iz istog bloka koji se razlikuju od uzoraka imobiliziranih referentnim mortom.

Svi rezultati posmika nalaze se u formularima u prilogima.

## 5. ZAKLJUČAK

S obzirom na dobre čvrstoće koje su recepture pokazale prilikom ispitivanja na prizmama, može se zaključiti da je moguće koristiti recepture 1, 2 i 3 u svrhu izravnog posmika. Naravno, čvrstoće nisu jedini parametar kojeg treba ispuniti pa zato treba obratiti pažnju i na vrijeme vezanja i obradljivost.

Izravni posmik je proveden na više različitih uzoraka stijena koji se razlikuju po tvrdoći, a koji su imobilizirani različitim recepturama, zaključeno je da je za mekše stijene moguće koristiti recepture koje imaju niže čvrstoće pa se tako dodavanjem veće količine litija može osigurati brže vezanje, a opet osigurati kvalitetnu imobilizaciju prikladne čvrstoće.

Ovaj rad je pokazatelj utjecaja različitih komponenti recepture morta jedne na drugu te je zorni prikaz širokih mogućnosti kombinacije aluminatnog cementa i litijevog karbonata. Litijev karbonat u kombinaciji s aluminatnim cementom ubrzava vezanje, ali smanjuje obradljivost. Dodavanjem supeplastifikatora obradljivost se poboljšava, ali superplastifikator djeluje suprotno od litijevog karbonata i usporava vezanje, zbog toga je bitno balansirati količine oba dodatka.

Kao što je prikazano u radu, aluminatni cement u kombinaciji s litijevim karbonatom i superplastifikatorom (naravno, uz vodu i pijesak) daje mort vrlo sličnih karakteristika kao kod mortova koji već postoje na tržištu i čija je primjena vrlo široka.

Treba imati na umu da su svi uzorci izloženi vrlo visokim vertikalnom silama i da se radi o tvrdim uzorcima koji su odbačeni i u nekim slučajevima kada su imobilizirani referentnim mortom. Također, uređaj za izravni posmik nije najbolje rješenje ako se radi o tvrdim stijenama s većim udjelom kalcijevog karbonata. Često se dogodi da vertikalna sila popusti prilikom nanošenja horizontalne, a pošto se radi manualno, nije moguće garantirati istu brzinu nanošenja sile. Ove pogreške kod samog postupka se više očituju kod tvrdih stijena te za njih treba potražiti alternativu.

## 6. LITERATURA

- [1] Vlastelica, G., Mišćević, P., Fukuoka, H. (2016): Monitoring of vertical cuts in soft rock mass, defining erosion rates and modelling time- dependent geometrical development of the slope. Proceedings of the Int Sym of the ISRM RMRE: From the Past to the Future, Ürgüp, Turkey, 29-31 August, 2016. Ulusay, R. et al. (eds.), London: Taylor & Francis Group, pp 1249-1254.
- [2] Vlastelica G., Mišćević P., Biloš T., (2015): Opažanje i modeliranje erozije zasjeka u mekoj stijeni , Split, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- [3] Vlastelica G., Mišćević P., Štambuk Cvitanović N., Glibota A.(2018.); Geomechanical aspects of remediation of quarries in the flysch: Case study of abandoned quarry in Majdan, Croatia. Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- [4] Mišćević P., Vlastelica G.: Shear strength of weathered soft rock – proposal of test method additions. Proc. Reg. Sym. on Rock Eng. in Diff. Gr. Cond. – Eurock 2009, Cavtat, Croatia, 303-308. Leiden: CRC Press/Balkema, 2009.
- [5] Mišćević P., Vlastelica G. (2011): Durability Characterization of Marls from the Region of Dalmatia, Croatia. Geotechnical and Geological Engineering: 29(5): 771-781.
- [6] Vlastelica, G., Mišćević, P., Štambuk Cvitanović, N. 2018. Durability of soft rocks in Eocene flysch formation (Dalmatia, Croatia), Engineering. Geology 245, 207-217.
- [7] Mišćević P., Vlastelica G., (2019.): Estimation of embankment settlement caused by deterioration of soft rock grains, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 78/3, 1843-1853.
- [8] Vlastelica G., (2015): Utjecaj rastrošbe na trajnost zasjeka u mekoj stijeni, Doktorski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- [9] Toševski A., Grgec D., Padovan D. (2012): Osnovno o genezi, sastavu i trošenju eocenskog fliša hrvatskog obalnog pojasa. Rudarsko-geološko-naftni zbornik. Vol. 25 str. 47-62 Zagreb.

- [10] Mišćević P., Vlastelica G.: Shear strength of artificially weathered marl. Proc. Reg. Sym. on Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering – Eurock 2010, Lausanne, Switzerland, 119-122. Leiden: CRC Press/Balkema, 2010.
- [11] Mišćević P., (2015.): Inženjerska mehanika stijena, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- [12] Mišćević P., Vlastelica G., (2012.): Stabilnost u vremenu kosine iskopane u laporu, Građevinar, 64/6, 451-461.
- [13] Vlastelica G., Mišćević P., Pavić N.,(2016.): Mjerenje posmične čvrstoće meke stijene u uvjetima laboratorijski stimulirane rastrošbe, Građevinar 68/12, 955-965.
- [14] Muravljov, M. (1995.), Građevinski materijali
- [15] Ukrainczyk, N. (2014.). Effect of polycarboxylate superplasticiser on properties of calcium aluminate cement mortar. ICE
- [16] Myrdal, R. (2007.). Accelerating admixtures for concrete. Trondheim, Norway: SINTEF-Building and Infrastructure.

## **7. ZAHVALA**

Diplomski rad povezan s radom na projektu UNSAT1 - Eksperimentalna i numerička istraživanja mehanizama u nesaturiranim geomaterijalima kojeg je financirala Hrvatska zaklada za znanost pod brojem UIP-2017-05-3429.

Dio materijala potrebnih za izradu ovog rada donirala je tvrtka Calucem d.o.o., ovom prilikom im se još jednom zahvaljujemo.

## **8. PRILOZI**

# REPARATURNI MORT RAPID R4 0-1,6 mm

Samonivelirajući, za horizontalne površine

## NAMJENA:

Samonivelirajući tvornički pripremljen, tiksotropan reparaturni mort s brzim razvojem čvrstoća, za brzu prohodnost i trajni popravak betonskih podova u industrijskim postrojenjima. Pogodan je za fino izravnavanje i popravak manje oštećenih betonskih površina koje su izložene prometnom opterećenju, za vanjske i unutarnje radove za oštećenja 10-100 mm.

Primjenjiv se za radove pri niskim temperaturama do -10°C. Koristi se kao nosivi sloj ili za popravak oštećenih šahtova, betonskih opločnika, horizontalnih i pod blagim kutom nagnutih površina i sl. REPARATURNI MORT RAPID R4 0-1,6 mm ima visoke početne i završne čvrstoće, dobru prionjivost, otpornost na klizanje, niske i visoke temperature. Povećana vodonepropusnost, otpornost na soli i vremenske utjecaje.

## SASTAV:

brzovezni cement, pijesak 0-1,6 mm, mikrosilika, aditivi

## IZGLED:

prah tamno sive do smeđe boje

## TEHNIČKE KARAKTERISTIKE I SVOJSTVA:

Razredba prema HRN EN 1504-3 i TPBK – Prilog H: CC mort za konstrukcijski popravak, Razred R4

Tlačna čvrstoća nakon 28 dana (HRN EN 12190)	≥ 45 MPa
Sadržaj iona klorida (HRN EN 1015-17)	≤ 0,05 %
Čvrstoća prionjivosti (HRN EN 1542)	≥ 2,0 MPa
Toplinska kompatibilnost s djelovanjem soli (HRN EN 13687-1)	≥ 2,0 MPa (nakon 50 ciklusa)
Modul elastičnosti	≥ 20 GPa
Reakcija pri požaru	Europski razred A1
Opasne tvari (HRN EN 1504-3)	Sukladno s točkom 5.4
Veličina zrna	do 1,6 mm
Temperatura podloge polaganja	-10 °C do +30 °C
Tlačna čvrstoća nakon 2 sata pri 20°C (HRN EN 12190)	≥ 31 MPa
Tlačna čvrstoća nakon 2 sata pri -5°C (HRN EN 12190)	≥ 8 MPa
Tlačna čvrstoća nakon 4 sata pri 20°C (HRN EN 12190)	≥ 48 MPa
Tlačna čvrstoća nakon 4 sata pri -5°C (HRN EN 12190)	≥ 18 MPa
Tlačna čvrstoća nakon 24 sata pri 20°C (HRN EN 12190)	≥ 62 MPa
Tlačna čvrstoća nakon 24 sata pri -5°C (HRN EN 12190)	≥ 45 MPa
Brzi razvoj čvrstoće	da
Vrijeme ugradnje (miješanje, ugradnja, završna obrada) pri -5°C	20-30 min
Debljina sloja	10-100 mm
Prohodnost (20°C, 60% rel.vlaga)	2 h

## POTROŠNJA:

2,0 - 2,4 kg / m<sup>2</sup> za d= 1 mm

## POSTUPAK:

### PRIPREMA PODLOGE:

Sve podloge moraju biti čiste, čvrste, bez ostataka ulja, cementne skramice, ostataka boje ili nevezanih ostataka materijala koji smanjuju prionjivost. Vrijednost čvrstoće prionjivosti mora biti

minimalno 1,5 N/mm<sup>2</sup>.

Podlogu ohrapaviti brušenjem ili pjeskarenjem pod visokim pritiskom. Strujom zraka odstraniti prašinu i nevezane ostatke materijala. Odgovarajuće pripremljenu površinu navlažiti vodom do kapilarne zasićenosti (mat ovlažena). Vidljivu armaturu prije upotrebe morta obavezno očistiti i zaštititi antikorozivnim sredstvom. Zamrznute podloge prije primjene morta potrebno je odmrznuti neposredno prije primjene REPARATURNOG MORTA RAPID R4 0-1,6 mm.

**Napomena:** Kako je vrijeme ugradnje morta (miješanje, ugradnja, završna obrada) kratko, sve radove potrebno je pažljivo planirati. U gradilišnim uvjetima potrebno je zamiješati manju probnu količinu, izmjeriti vrijeme ugradnje i nakon toga u miješalici zamiješati veće količine.

#### PRIPREMA MATERIJALA:

Sadržaj vreće dodavati u vodu uz stalno miješanje (1-2 min) dok se ne postigne homogena masa bez grudica pogodna za nanošenje. Za 25 kg morta potrebno je 2,75 – 3,25 l vode, odnosno za manju količinu 110 - 130 ml vode / 1 kg morta.

Miješajte onoliko materijala koliko ga možete potrošiti u roku 20 minuta pri temperaturi od -5°C odnosno 10 minuta pri temperaturi od 20°C.

REPARATURNI MORT RAPID R4 0-1,6 0-1,6 mm ne miješati s drugim proizvodima. Ne primjenjivati mort ako će temperatura pasti u roku 24 h ispod -10°C. Prilikom miješanja materijala pri niskim temperaturama (0°C - 10°C) koristiti zagrijanu vodu do 20°C.

#### PRIMJENA:

Kako bi se postigla optimalna prionjivost morta potrebno je prije ugradnje na podlogu kao kontaktni sloj utrljati mekano plastični REPARATURNI MORT RAPID R4 0-1,6 mm. Nastavak primjene morta nastavlja se „svježe na svježe“ tako da kontaktni sloj ne otvrdne.

REPARATURNI MORT RAPID R4 0-1,6 R4 0-1,6 mm nanosi se u jednom ili više slojeva do potrebne ukupne debljine od 100 mm.

Površine svježeg morta moraju se štititi od prebrzog sušenja. To se osobito odnosi na tanje slojeve kod nepovoljnih atmosferskih prilika (visoka temperatura, niska vlaga, vjetar i sl.)

Kod standardnih vremenskih uvjeta (20°C, 60% rel.vlaga) površina je prohodna nakon 2 h. Alat nakon upotrebe oprati vodom, a ako je mort na alatu očvrstnuo mehanički ga je potrebno odstraniti. Prilikom izvođenja radova pridržavati se važećih građevinskih normi.

#### NAPOMENA:

U koliko izvođač prilikom ugradnje kupljenog proizvoda primijeti ili posumnja na neki primjenski ili estetski nedostatak proizvoda dužan je, u skladu s ponašanjem dobrog gospodarstvenika, obustaviti ugradnju proizvoda kako bi eventualna šteta bila što manja te bez odlaganja uputiti prigovor proizvođaču, koji će u najkraćem roku prigovor obraditi i riješiti.

Prigovori koji se upute proizvođaču nakon što je ugrađen veći dio ili sav kupljeni materijal, ne mogu biti predmet prigovora niti će se nadoknaditi tako nastala šteta. Skriveno mane rješavaju se posebno.

#### ALAT:

zidarska žlica, metalni gleter, četka, električni mješač

Alat odmah nakon upotrebe oprati vodom

#### TEMPERATURA PODLOGE I ZRAKA:

Prilikom primjene i sušenja temperatura podloge i zraka ne smije biti niža od -10°C ni viša od +30°C

#### PAKIRANJE:

vreća 25 kg

#### SKLADIŠTENJE:

u suhoj prostoriji na paleti

#### ROK UPOTREBE:

u neotvorenoj ambalaži 6 mjeseci

#### TRANSPORT:

Svojstva proizvoda se za vrijeme transporta ne smiju narušiti. REPARATURNI MORT RAPID R4 0-1,6 mm za vrijeme transporta zaštititi od utjecaja vlage.

REPARATURNI MORT RAPID R4 0-1,6 mm nije uvršten među opasne tvari za prijevoz po cesti ili željeznici.

#### MJERE SIGURNOSTI:

Oznake upozorenja:

-



Oznake obavijesti:

P232 Zaštititi od vlage

P102 Čuvati izvan dohvata djece.

P261 Izbjegavati udisati prašinu.

P262 Spriječiti dodir s očima, kožom ili odjećom.

P280 Nositi zaštitne rukavice/zaštitu za oči.

P305+351+ 338 U SLUČAJU DODIRA S OČIMA: oprezno ispirati vodom nekoliko minuta. Ukloniti kontaktne leće ukoliko ih nosite i ako se one lako uklanjaju. Nastaviti ispiranje.

P302+352 U SLUČAJU DODIRA S KOŽOM: oprati velikom količinom sapuna i vode.

P313: Zatražiti savjet/pomoć liječnika

**POSTUPANJE S  
OTPADOM:**

**Ostaci od proizvoda:** U skladu s *Uredbom o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada* očvrsnute ostatke razvrstati kao građevinski otpad prema ključnom broju 17 09 04

**KONTROLA KVALITETE:**

Prema Zakonu o građevnim proizvodima proizvod je uvršten u sustav ocjenjivanja i provjere stalnosti svojstava: 2+

IGH Zagreb – br.cert. 2477-CPR-1886

REPARATURNI MORT RAPID R4 0-1,6 mm je pod stalnim nadzorom tvorničke kontrole kvalitete Samoborke d.d.

Tvornička kontrola proizvodnje (sustav ocjenjivanja sukladnosti 2+) je pod nadzorom ovlaštenog laboratorija (INSTITUT IGH d.d. Zagreb).

**IZJAVA O  
SVOJSTVIMA:**

Identifikacijska oznaka 53149109818-ZGP-14/1534, 16.06.2014.

rujan 2017.

Tehnička uputa proizvoda sadrži naša znanja, dostupne znanstvene spoznaje i praktična iskustva. Svim korisnicima koji upotrebljavaju naše proizvode, treba poslužiti kao preporuka za primjenu istih kako bi se postigli najbolji rezultati. Istovremeno, ne preuzimamo odgovornost za štetu nastalu zbog nepravilne upotrebe, nekvalitetno izvedenih radova ili pogrešnog odabira proizvoda.



Oznaka recepture: ETALON

Datum izrade: 7.4.2021.

Datum ispitivanja: 8.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{UZV}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	604,8	40	40	160	2362,5	42,0	3809,52	32470,5 2
prizma 2	611,4	40	40	160	2388,28	42,5	3764,71	32057,1 8
prizma 3	614,1	40	40	160	2398,83	41,7	3836,93	33446,0 0

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3803,72$  m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 32657,9$  mPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1		7,70	8,18	1a	122,03	76,27	98,63
				1b	120,85	75,53	
2		8,52		2a	122,49	76,56	
				2b	120,92	75,58	
3	3,55	8,31		3a	120,51	75,32	
				3b	121,51	75,94	

Ispitala: Ivana Crnković



Oznaka recepture: L1

Datum izrade: 7.4.2021.

Datum ispitivanja: 8.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{uzv}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	589,6	40	40	160	2303,13	43,1	3712,30	30059,4 9
prizma 2	592,9	40	40	160	2316,02	42,4	3773,58	31233,9 1
prizma 3	595,4	40	40	160	2325,78	43,2	3703,70	30214,6 2

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3729,86$  m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 30502,67$  mPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1	3,57	8,36	8,16	1a	104,73	65,46	84,87
				1b	105,52	65,95	
2	3,35	7,84		2a	102,65	65,16	
				2b	105,65	66,03	
3	3,54	8,29		3a	104,47	65,29	
				3b	103,08	65,43	

Ispitala: Ivana Crnković



Oznaka recepture: L2

Datum izrade: 7.4.2021.

Datum ispitivanja: 8.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{uzv}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	589,2	40	40	160	2301,56	43,6	3669,72	29353,8 5
prizma 2	588,4	40	40	160	2298,44	43,0	3720,93	30137,9 1
prizma 3	585,6	40	40	160	2287,5	43,2	3703,70	29717,3 2

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3698,17$  m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 29736,36$  mPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1	3,66	8,57	8,23	1a	102,45	64,03	82,39
				1b	102,80	64,25	
2	3,60	8,43		2a	102,79	64,24	
				2b	102,14	63,84	
3	3,29	7,70		3a	98,43	61,52	
				3b	99,83	62,39	

Ispitala: Ivana Crnković



Oznaka recepture: L3

Datum izrade: 8.4.2021.

Datum ispitivanja: 9.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{uzv}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	591,5	40	40	160	2310,55	43,2	3703,70	30016,7 7
prizma 2	590,4	40	40	160	2306,25	44,7	3579,42	27983,9 3
prizma 3	593,1	40	40	160	2316,80	43,9	3644,65	29145,8 8

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3642,59$  m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 29048,86$  mPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1	3,45	8,08	8,11	1a	94,26	58,91	75,68
				1b	89,43	55,89	
2	3,29	7,70		2a	92,27	57,65	
				2b	94,01	58,76	
3	3,65	8,55		3a	96,65	60,41	
				3b	92,30	57,67	

Ispitala: Ivana Crnković



Oznaka recepture: L4

Datum izrade: 8.4.2021.

Datum ispitivanja: 9.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{uzv}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	589,5	40	40	160	2302,73	44,3	3611,74	28448,08
prizma 2	590,3	40	40	160	2305,86	43,8	3652,97	29140,84
prizma 3	592,2	40	40	160	2313,28	44,4	3603,60	28449,74

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3622,72$  m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 28679,55$  mPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1	2,98	6,98	7,31	1a	89,37	55,86	72,61
				1b	91,27	57,04	
2	3,19	7,47		2a	86,90	54,31	
				2b	91,04	56,90	
3	3,20	7,49		3a	90,96	56,85	
				3b	86,66	54,16	

Ispitala: Ivana Crnković



Oznaka recepture: R1

Datum izrade: 26.4.2021.

Datum ispitivanja: 27.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{uzv}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	597,2	40	40	160	2332,81	44,0	3636,36	29212,1 2
prizma 2	599,1	40	40	160	2340,23	45,2	3539,82	27770,0 5
prizma 3	599,5	40	40	160	2341,8	43,7	3661,33	29728,8 1

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3612,503$  m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 28903,66$  mPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1	3,82	8,95	8,51	1a	104,26	65,16	69,623
				1b	115,29	72,06	
2	3,59	8,41		2a	110,76	69,23	
				2b	112,40	70,25	
3	3,49	8,17		3a	113,94	71,21	
				3b	111,78	69,86	

Ispitala: Ivana Crnković



Oznaka recepture: R2

Datum izrade: 26.4.2021.

Datum ispitivanja: 27.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{uzv}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	612,5	40	40	160	2392,58	42,3	3782,51	32417,2 8
prizma 2	603,3	40	40	160	2356,64	46,2	3463,20	26766,9 2
prizma 3	598,9	40	40	160	2339,45	42,6	3755,87	31252,5 1

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3667,193$  m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 30145,57$  mPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1	3,31	7,75	7,553	1a	107,34	67,09	65,97
				1b	106,42	66,51	
2	3,03	7,09		2a	104,92	65,58	
				2b	105,56	65,98	
3	3,34	7,82		3a	106,21	66,38	
				3b	102,81	64,26	

Ispitala: Ivana Crnković





Oznaka recepture: Reparativni mort rapid R4 0-1,6 mm - 1

Datum izrade: 26.4.2021.

Datum ispitivanja: 27.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{uzv}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	563,5	40	40	160	2201,17	47,4	3375,53	23751,3 1
prizma 2	571,2	40	40	160	2231,25	47,8	3347,28	23674,5 8
prizma 3	555,3	40	40	160	2169,14	46,2	3463,20	24637,2 7

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3395,34$  m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 24021,05$  MPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1	2,04	4,77	4,923	1a	54,46	34,04	30,65
				1b	50,26	31,41	
2	2,34	5,48		2a	53,29	33,31	
				2b	52,89	30,06	
3	1,93	4,52		3a	46,56	29,10	
				3b	41,54	25,98	

Ispitala: Ivana Crnković



Oznaka recepture: Reparturni mort rapid R4 0-1,6 mm - 2

Datum izrade: 29.4.2021.

Datum ispitivanja: 30.4.2021.

### Ispitivanje gustoće i brzine ultrazvuka

uzorak	Masa (g)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$t_{uzv}$ ( $\mu$ s)	v (m/s)	Ed (MPa)
prizma 1	593,5	40	40	160	2318,36	46,4	3448,28	26105,7 3
prizma 2	594,8	40	40	160	2323,44	47,0	3404,26	25499,2 2
prizma 3	597,4	40	40	160	2333,59	46,3	3455,72	26390,7 4

srednja brzina ultrazvuka  $v_{sr} = 3436,09$ m/s

srednja vrijednost dinamičkog modula elastičnosti  $E_{d,sr} = 25998,54$  mPa

### Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće

Ispitivanje na savijanje				Ispitivanje na pritisak			
uzorak	Sila (kN) savijanje	Savojna čvrstoća $f_{sav}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{sav}$	uzorak	Sila (kN) tlak	Tlačna čvrstoća $f_{tlak}$ (MPa)	Sred. vrij. $f_{tlak}$
1	2,99	7,00	7,023	1a	69,63	43,52	42,717
				1b	67,05	41,88	
2	2,92	6,84		2a	69,15	43,22	
				2b	65,87	41,17	
3	3,09	7,23		3a	70,14	43,84	
				3b	68,29	42,67	

Ispitala: Ivana Crnković



UZORAK: 07/19

REZULTATI ISPITIVANJA

SLAKE TEST - "Vrtige"			DATUM: -			
Ciklus vrtnje		0	1	2	3	4
Vrijeme vrtnje = 10 min	Masa (g)	504.77	486.31	478.60	475.95	463.10
	Oznaka raspadanja		A (10)	B (12)	B (15)	B (11)
Vrijeme vrtnje = 25 min	Masa (g)	499.83	462.33	430.50	413.90	394.44
	Oznaka raspadanja		B (14)	B (15)	B (12)	B (11)
Vrijeme vrtnje = 60 min	Masa (g)	496.39	437.04	403.56	375.62	352.53
	Oznaka raspadanja		B (12)	C (17)	B (14)	B (13)
Vrijeme vrtnje = 120 min	Masa (g)	524.34	436.96	378.60	333.48	292.15
	Oznaka raspadanja		B (12)	C (19)	B (14)	B (14)

UZORAK: 08/19

REZULTATI ISPITIVANJA

SLAKE TEST - "Vrtige"			DATUM: 10.01.2020.			
Ciklus vrtnje		0	1	2	3	4
Vrijeme vrtnje = 10 min	Masa (g)	503.10	489.53	481.60	473.03	469.47
	Oznaka raspadanja		C (25)	D (69)	D (64)	D (66)
Vrijeme vrtnje = 25 min	Masa (g)	546.50	510.68	494.77	481.10	473.00
	Oznaka raspadanja		C (20)	D (38)	D (56)	D (64)
Vrijeme vrtnje = 60 min	Masa (g)	529.40	487.03	463.70	438.58	422.56
	Oznaka raspadanja		C (25)	D (47)	D (51)	D (54)
Vrijeme vrtnje = 120 min	Masa (g)	534.82	4430	374.44	316.00	268.71
	Oznaka raspadanja		D (83)	D (120)	E (207)	E (218)

UZORAK: 10/19

REZULTATI ISPITIVANJA

SLAKE TEST - "Vrtige"			DATUM: -			
Ciklus vrtnje		0	1	2	3	4
Vrijeme vrtnje = 10 min	Masa (g)	516.56	502.4	486.63	476.43	473.60
	Oznaka raspadanja		C (34)	D (51)	C (41)	C (44)
Vrijeme vrtnje = 25 min	Masa (g)	494.93	473.91	451.70	438.40	430.19
	Oznaka raspadanja		C (46)	C (49)	D (69)	D (59)
Vrijeme vrtnje = 60 min	Masa (g)	526.93	475.08	439.00	417.00	400.13
	Oznaka raspadanja		C (26)	C (45)	D (62)	D (62)
Vrijeme vrtnje = 120 min	Masa (g)	505.40	398.45	299.33	229.80	181.05
	Oznaka raspadanja		D (141)	D (188)	D (183)	D (143)



UZORAK: 18/20

REZULTATI ISPITIVANJA

SLAKE TEST - "Vrtige"				DATUM: -		
Ciklus vrtnje		0	1	2	3	4
Vrijeme vrtnje = 10 min	Masa (g)	522.56	511.71	510.39	507.98	506.29
	Oznaka raspadanja		B (11)	B (11)	B (12)	B (13)
Vrijeme vrtnje = 25 min	Masa (g)	493.12	481.36	478.65	475.23	472.27
	Oznaka raspadanja		A (10)	A (10)	A (10)	A (10)
Vrijeme vrtnje = 60 min	Masa (g)	513.88	493.95	486.02	479.73	473.98
	Oznaka raspadanja		B (11)	B (12)	B (11)	B (11)
Vrijeme vrtnje = 120 min	Masa (g)	518.99	493.74	481.98	470.26	459.58
	Oznaka raspadanja		B (13)	B (13)	B (13)	B (13)

UZORAK: 20/20

REZULTATI ISPITIVANJA

SLAKE TEST - "Vrtige"				DATUM: 01.04.2021.		
Ciklus vrtnje		0	1	2	3	4
Vrijeme vrtnje = 10 min	Masa (g)	510.15	487.67	471.38	460.09	433.59
	Oznaka raspadanja		C (22)	C (38)	C (31)	C (17)
Vrijeme vrtnje = 25 min	Masa (g)	496.56	413.29	362.56	307.24	262.16
	Oznaka raspadanja		D (69)	D (70)	D (87)	D (82)
Vrijeme vrtnje = 60 min	Masa (g)	517.15	300.25	231.45	195.15	174.43
	Oznaka raspadanja		D (60)	D (54)	D (54)	C (46)
Vrijeme vrtnje = 120 min	Masa (g)	488.92	326.03	236.43	190.65	154.49
	Oznaka raspadanja		D (190)	D (132)	E (204)	E (212)



uzorak		07/19	08/19	10/19	18/20	20/20
CaCO <sub>3</sub> (%)		57.85	64.10	62.39	64.20	45.87
indeks osjetljivosti na kalavost (%)	Id <sub>1</sub>	96.343	97.289	97.259	97.924	95.593
	Id <sub>2</sub>	94.815	95.713	94.206	97.671	92.400
	Id <sub>3</sub>	94.290	94.010	92.231	97.210	90.187
	Id <sub>4</sub>	91.745	93.302	91.683	96.886	84.993
modificirani indeks osjetljivosti na kalavost	SDI <sub>10</sub>	94.815	95.713	94.206	97.671	92.400
	SDI <sub>25</sub>	86.129	90.534	91.265	97.060	73.014
	SDI <sub>60</sub>	81.299	87.599	83.313	94.579	44.755
	SDI <sub>120</sub>	72.205	70.012	59.226	92.869	48.358
Loss Slake Index (%)	LSI <sub>1</sub>	0.062	0.062	0.079	0.012	0.201
	LSI <sub>2</sub>	0.116	0.116	0.167	0.021	0.333
	LSI <sub>3</sub>	0.167	0.170	0.249	0.029	0.425
	LSI <sub>4</sub>	0.207	0.224	0.329	0.037	0.488

Slake Durability Indeks ("indeks osjetljivosti na kalavosti")

$$I_{dn} = \frac{m_n}{m_0} \cdot 100 (\%)$$

Modified Slake Durability Index

$$SDI_{(time)} = \frac{m_{(time)}}{m_0} \cdot 100 (\%)$$

Loss Slake Index - LSI → određuje se iz jednadžbe pravca na dijagramu  $\log(SDI_{10}/SDI_{vrijeme})$  - vrijeme

iz knjige prof. Mišćevića - Inženjerska mehanika stijena

**Tablica 2.5.** Gamble-ova klasifikacija prema indeksu postojanosti nakon drugog ciklusa

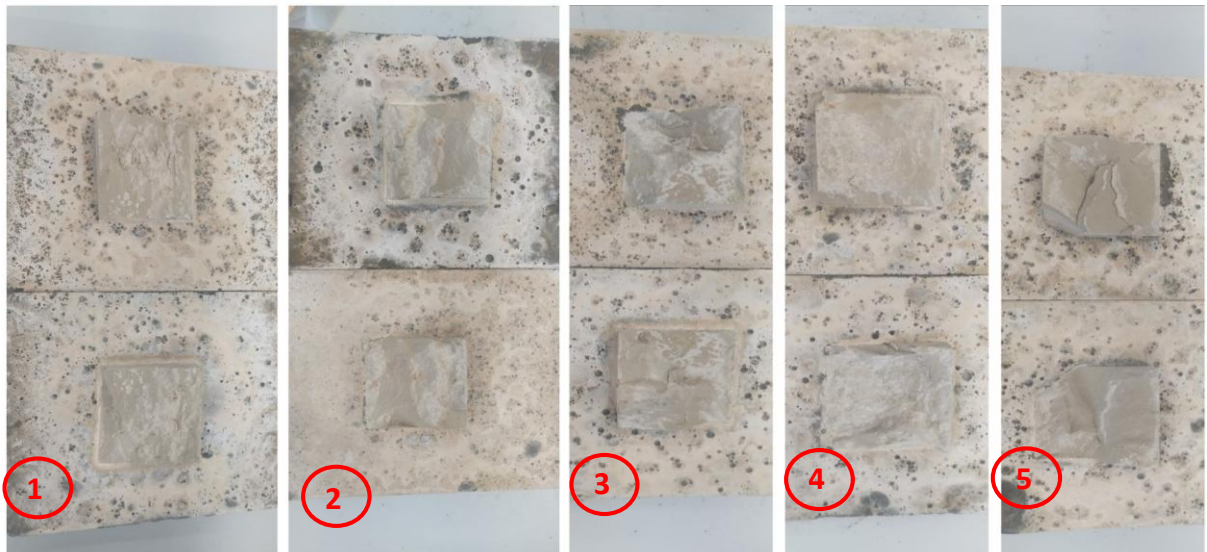
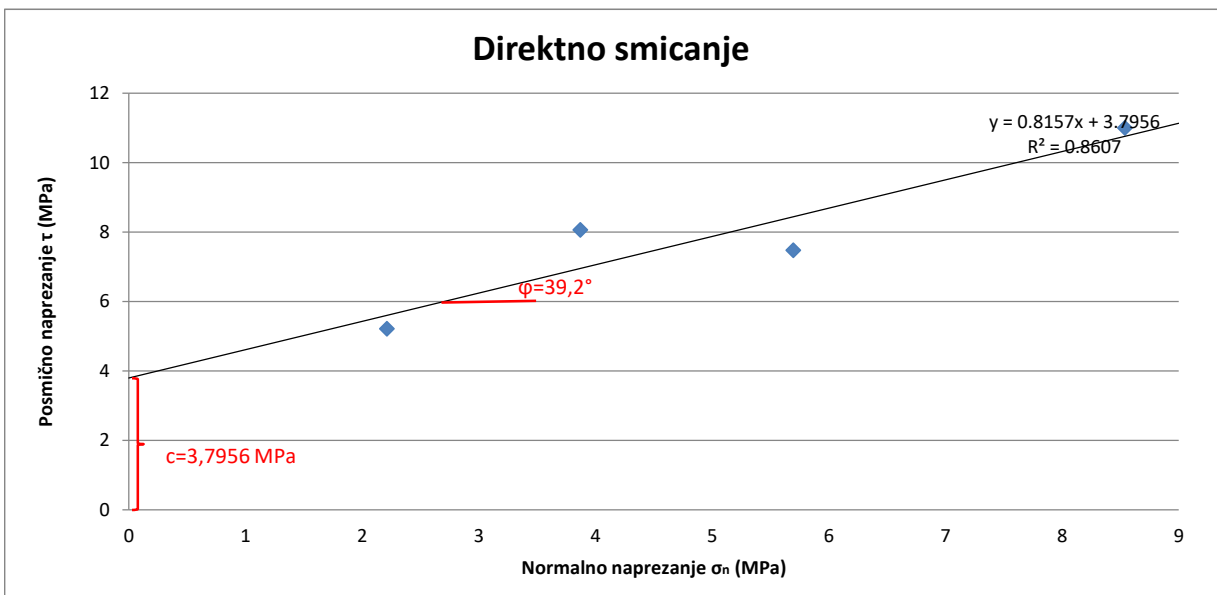
grupa stijene	Id <sub>2</sub> (%)
izrazito visoko postojana	> 98
visoko postojana	95-98
srednje visoko postojana	85-95
srednje postojana	60-85
nisko postojana	30-60
vrlo nisko postojana	< 30

### REZULTATI ISPITIVANJA

<b>DATUM:</b>	TRAVANJ 2021.	<b>UZORAK:</b>	7/19
<b>LOKACIJA/OBJEKT:</b>	PROJEKT UNSATI, ULICA MATICE HRVATSKE	<b>OPIS:</b>	LAPOR
		<b>CaCO<sub>3</sub></b>	57.85%

ULAZNE DIMENZIJE								KONTROLA		
REDNI BROJ	Š <sub>1</sub> (cm)	Š <sub>2</sub> (cm)	Š <sub>sred</sub> (cm)	D <sub>1</sub> (cm)	D <sub>2</sub> (cm)	D <sub>sred</sub> (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Š <sub>sred</sub>	D <sub>sred</sub>	A <sub>kont</sub> (cm <sup>2</sup> )
1	5.6	5.6	5.6	5.7	5.9	5.8	32.48	5.65	5.6	31.64
2	5.5	5.5	5.5	5.9	6	5.95	32.725	5.3	5.85	31.005
3	5.6	5.7	5.65	5.7	5.4	5.55	31.3575	5.3	5.3	28.09
4	5.9	6	5.95	5.5	5.5	5.5	32.725	5.8	5.25	30.45
5	5.2	5.3	5.25	5.7	5.6	5.65	29.6625	4.65	4.65	21.6225

REZULTATI POSMIKA								NAPOMENE	
REDNI BROJ	A <sub>kont</sub> (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	σ (MPa)	τ (MPa)	c (MPa)	φ (°)		
1	31.64	7	16.5	2.212389	5.214918	3.7956	39.2		
2	31.005	12	25	3.870343	8.063216				
3	28.09	16	21	5.695977	7.47597				
4	30.45	26	33.5	8.538588	11.00164				
5	4.65	20	36.5	9.249624	16.88056			ploha sloma ulazi u mort	



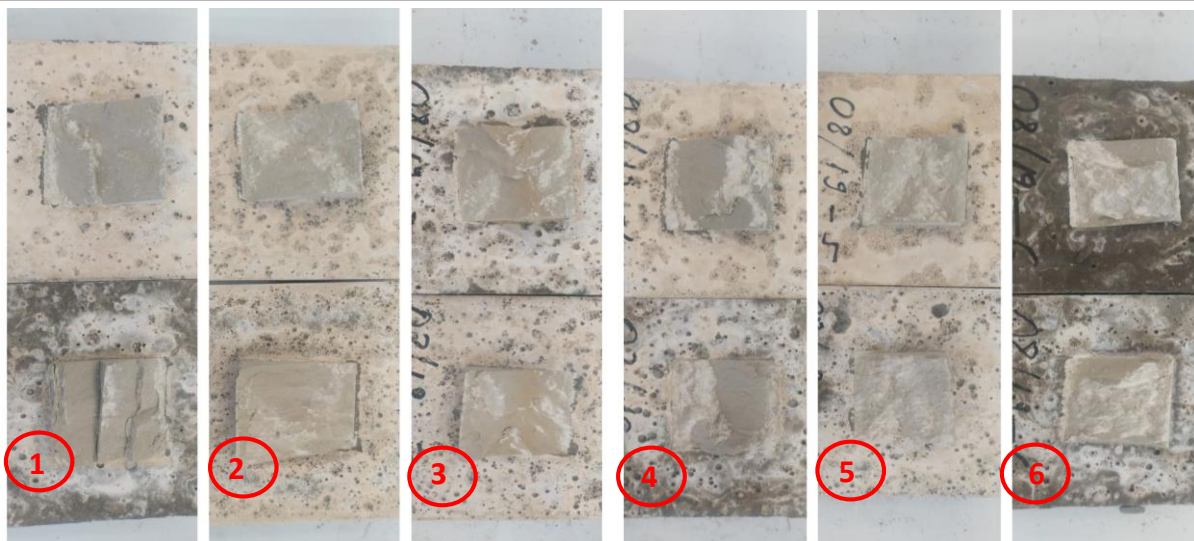
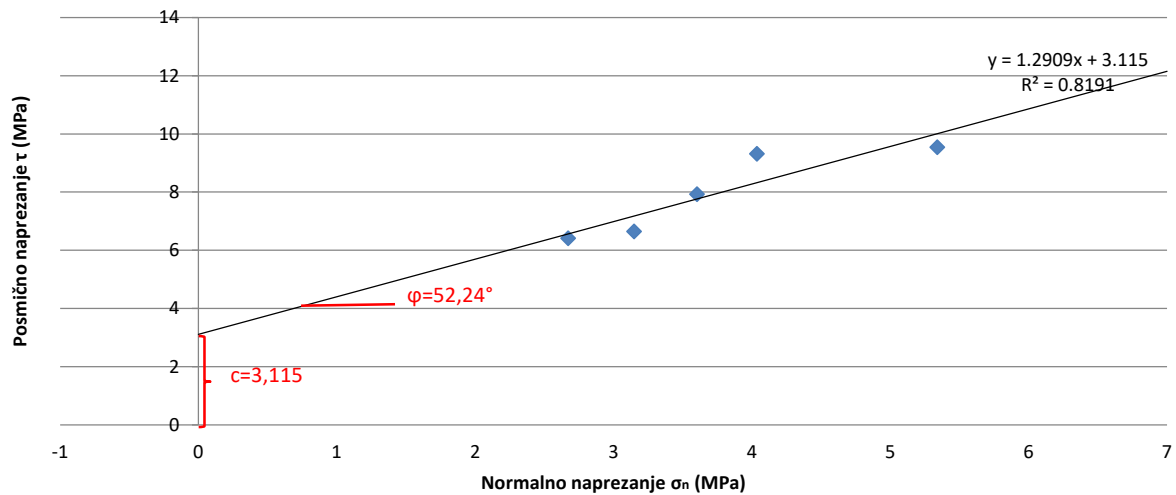
### REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM:	TRAVANJ 2021.	UZORAK:	8/19
LOKACIJA/OBJEKT:	PROJEKT UNSATI, MAJ DAN SOLIN	OPIS:	LAPOR
		CaCO <sub>3</sub>	64.10%

ULAZNE DIMENZIJE							KONTROLA			
REDNI BROJ	Š <sub>1</sub> (cm)	Š <sub>2</sub> (cm)	Š <sub>sred</sub> (cm)	D <sub>1</sub> (cm)	D <sub>2</sub> (cm)	D <sub>sred</sub> (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Š <sub>sred</sub>	D <sub>sred</sub>	A <sub>kont</sub> (cm <sup>2</sup> )
1	5.4	5.5	5.45	5.6	5.6	5.6	30.52	5.45	5.15	28.0675
2	4.85	5.1	4.975	5.5	5.6	5.55	27.61125	5	5.55	27.75
3	5.1	5.4	5.25	5.6	5.6	5.6	29.4	5.15	5.55	28.5825
4	5.5	5.6	5.55	5.8	5.7	5.75	31.9125	5.7	5.65	32.205
5	5.25	5.4	5.325	5.5	5.5	5.5	29.2875	5.35	5.25	28.0875
6	5.3	5.5	5.4	5.9	5.6	5.75	31.05	5.2	5.3	27.56

REZULTATI POSMIKA							NAPOMENE	
REDNI BROJ	A <sub>kont</sub> (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	σ (MPa)	τ (MPa)	c (MPa)	φ (°)	
1	28.0675	7.5	18	2.67213	6.413111	3.115	52.24	
2	27.75	10	22	3.603604	7.927928			V SA 5,5 NA 10
3	28.5825	9	19	3.14878	6.647424			
4	32.205	13	30	4.03664	9.315324			
5	28.0875	15	26.8	5.340454	9.541611			
6	27.56	19.5	35	7.075472	12.69956			odbačen

### Direktno smicanje

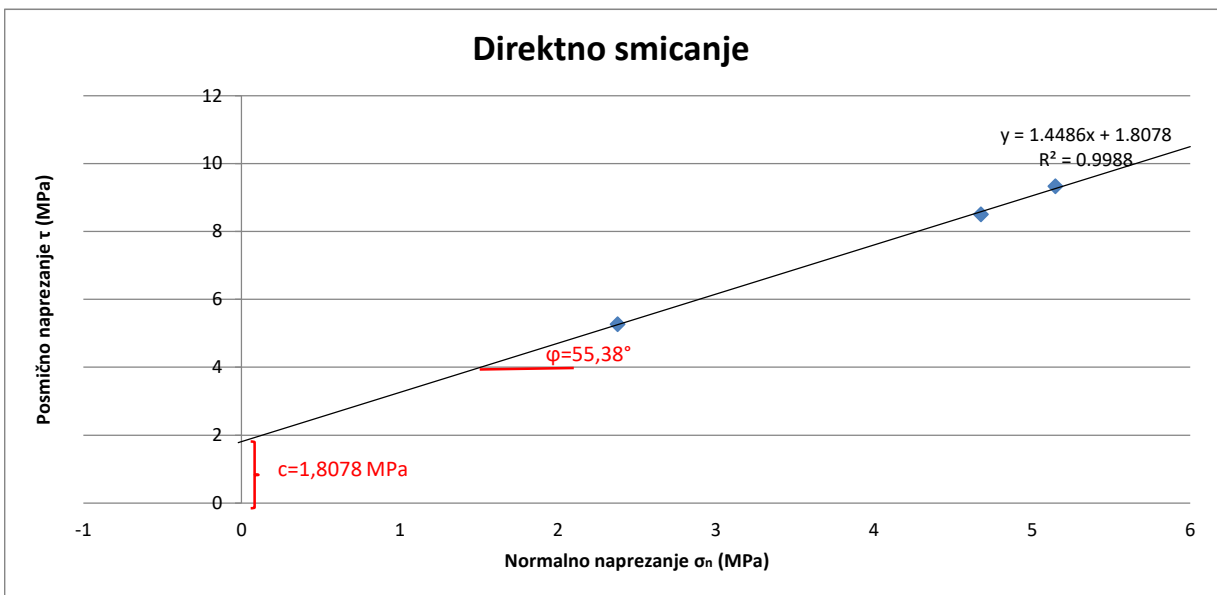


### REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM:	TRAVANJ 2021.	UZORAK:	10/19
LOKACIJA/OBJEKT:	UNSATI, MAJDAN SOLIN	OPIS:	LAPOR
		CaCO <sub>3</sub> :	62.39%

REDNI BROJ	ULAZNE DIMENZIJE						KONTROLA			
	Š <sub>1</sub> (cm)	Š <sub>2</sub> (cm)	Š <sub>sred</sub> (cm)	D <sub>1</sub> (cm)	D <sub>2</sub> (cm)	D <sub>sred</sub> (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Š <sub>sred</sub>	D <sub>sred</sub>	A <sub>kont</sub> (cm <sup>2</sup> )
1	5.6	5.6	5.6	5.4	5.6	5.5	30.8	5.45	5.4	29.43
2	5.5	5.7	5.6	5.4	5.6	5.5	30.8	5.6	5.4	30.24
3	5.7	5.7	5.7	5.5	5	5.25	29.925	5.6	4.2	23.52
4	5.7	5.7	5.7	5.8	5.6	5.7	32.49	5.55	5.6	31.08
5	5.4	5.5	5.45	5.5	5.8	5.65	30.7925	5.5	5.6	30.8

REDNI BROJ	REZULTATI POSMIKA						NAPOMENE	
	A <sub>kont</sub> (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	σ (MPa)	τ (MPa)	c (MPa)	φ (°)	
1	29.43	7	15.5	2.378525	5.266735	1.8078	55.38	
2	30.24							Pukao prije sloma
3	23.52	11	20	4.676871	8.503401			
4	31.08	16	29	5.148005	9.330759			
5	30.8	20	44	6.493506	14.28571			"Outlier"



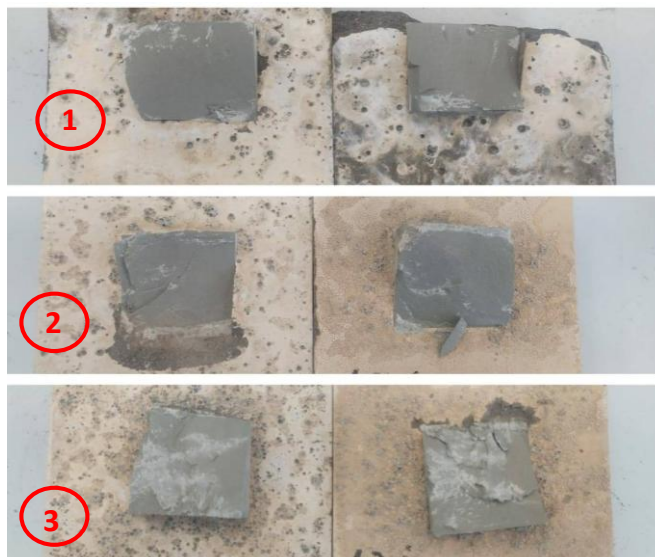
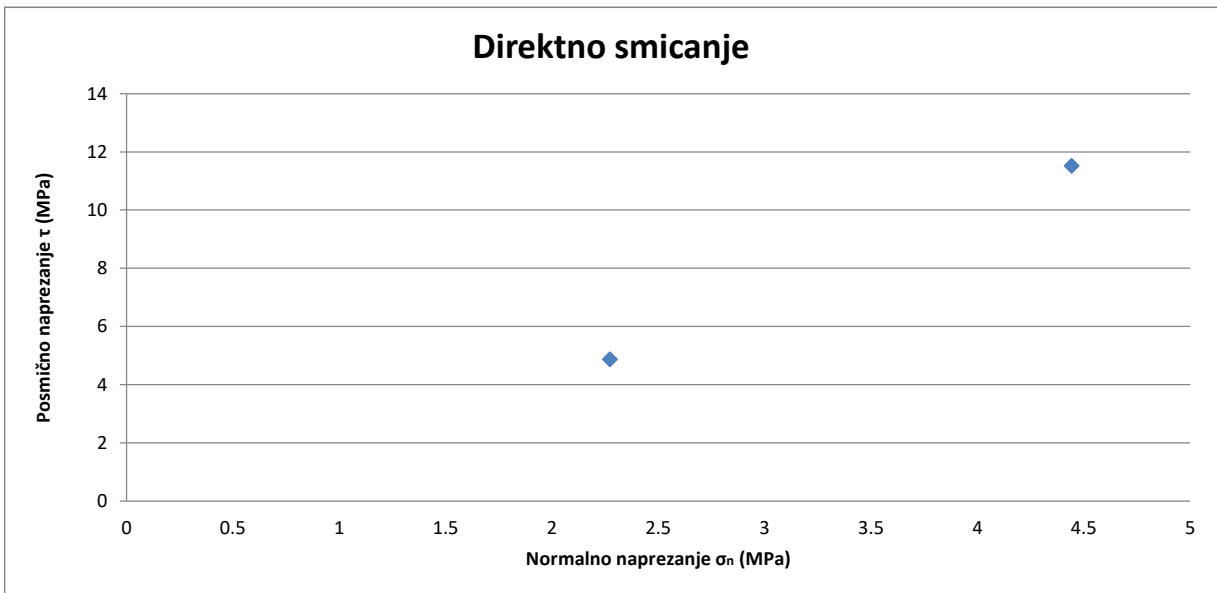


### REZULTATI ISPITIVANJA

<b>DATUM:</b>	TRAVANJ 2021.	<b>UZORAK:</b>	18/20 5.5x5.5
<b>LOKACIJA/OBJEKT:</b>	PROJEKT UNSATI, RAVNE NJIVE, IGH BUŠOTINA	<b>OPIS:</b>	LAPOR
		<b>CaCO<sub>3</sub>:</b>	64.20%

ULAZNE DIMENZIJE								KONTROLA		
REDNI BROJ	$\check{S}_1$ (cm)	$\check{S}_2$ (cm)	$\check{S}_{sred}$ (cm)	$D_1$ (cm)	$D_2$ (cm)	$D_{sred}$ (cm)	$A$ (cm <sup>2</sup> )	$\check{S}_{sred}$	$D_{sred}$	$A_{kont}$ (cm <sup>2</sup> )
1	5.5	5.5	5.5	5.5	5.7	5.6	30.8	5.65	4.65	26.2725
2	5.75	5.4	5.575	5.6	5.3	5.45	30.38375	5.6	5.4	30.24
3	5.2	5.3	5.25	5.7	5.6	5.65	29.6625	5.15	5.6	28.84

REZULTATI POSMIKA								NAPOMENE	
REDNI BROJ	$A_{kont}$ (cm <sup>2</sup> )	$V$ (kN)	$H$ (kN)	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)	$c$ (MPa)	$\phi$ (°)		
1	26.2725	7	15	2.272727	4.87013				
2	30.24	13.5	35	4.443165	11.51932				
3	28.84	20	36.5	6.74252	12.3051	Odbačeno		ploha sloma ulazi u mort	

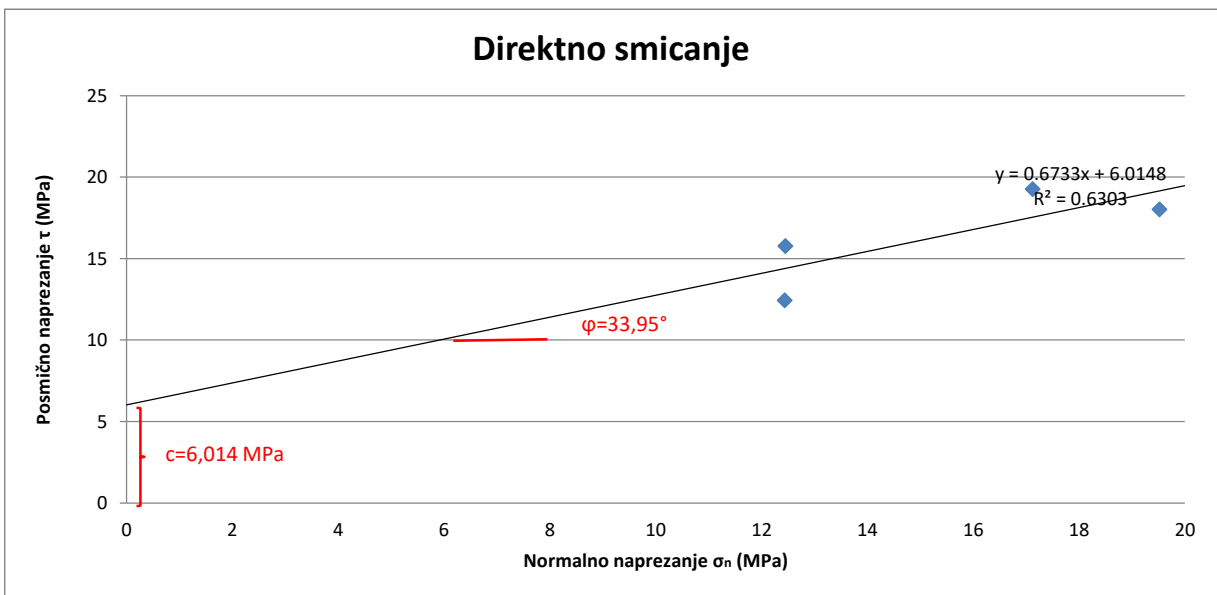


### REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM:	TRAVANJ 2021.	UZORAK:	18/20 3,5x3,5
LOKACIJA/OBJEKT:	PROJEKT UNSATI, RAVNE NJIVE, IGH BUŠOTINA 4	OPI:	LAPOR
		CaCO <sub>3</sub> :	64.20%

REDNI BROJ	ULAZNE DIMENZIJE							KONTROLA		
	$\check{S}_1$ (cm)	$\check{S}_2$ (cm)	$\check{S}_{sred}$ (cm)	$D_1$ (cm)	$D_2$ (cm)	$D_{sred}$ (cm)	$A$ (cm <sup>2</sup> )	$\check{S}_{sred}$	$D_{sred}$	$A_{kont}$ (cm <sup>2</sup> )
4	3.6	3.6	3.6	3.3	3.3	3.3	11.88	3.65	3.2	11.68
5	3.7	3.6	3.65	3.3	3.2	3.25	11.8625	3.6	3.35	12.06
6	3.9	3.9	3.9	3.3	3.2	3.25	12.675	3.95	3.05	12.0475
7	3.7	3.8	3.75	3.5	3.4	3.45	12.9375	3.7	3.6	13.32

REDNI BROJ	REZULTATI POSMIKA							NAPOMENE
	$A_{kont}$ (cm <sup>2</sup> )	$V$ (kN)	$H$ (kN)	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)	$c$ (MPa)	$\phi$ (°)	
4	11.68	20	22.5	17.12329	19.2637	6.014	33.95	
5	12.06	15	15	12.43781	12.43781			
6	12.0475	15	19	12.45072	15.77091			
7	13.32	26	24	19.51952	18.01802			

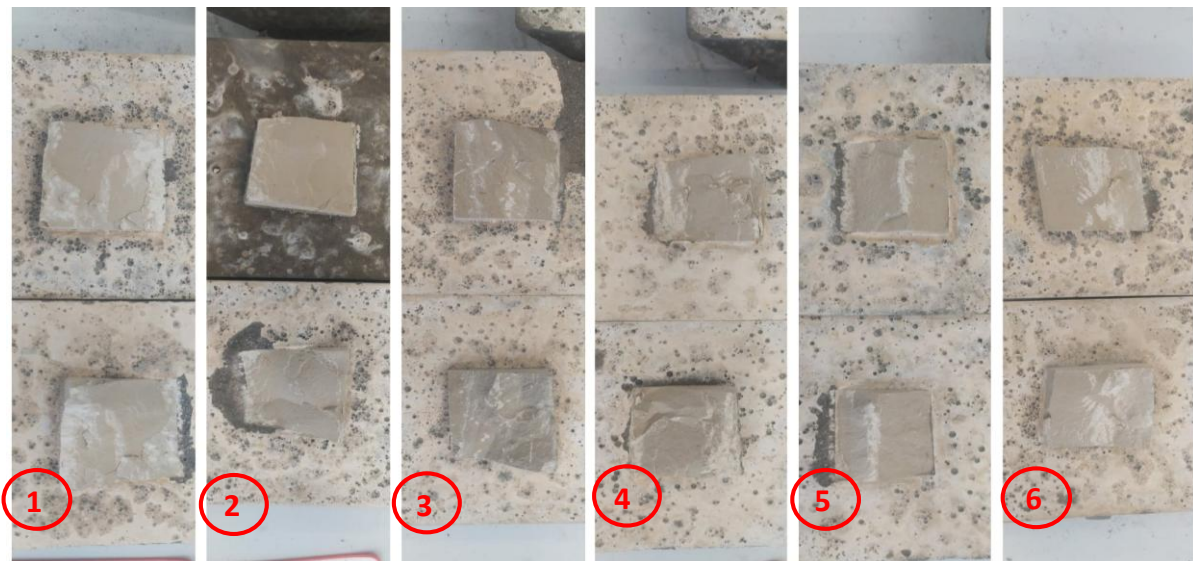
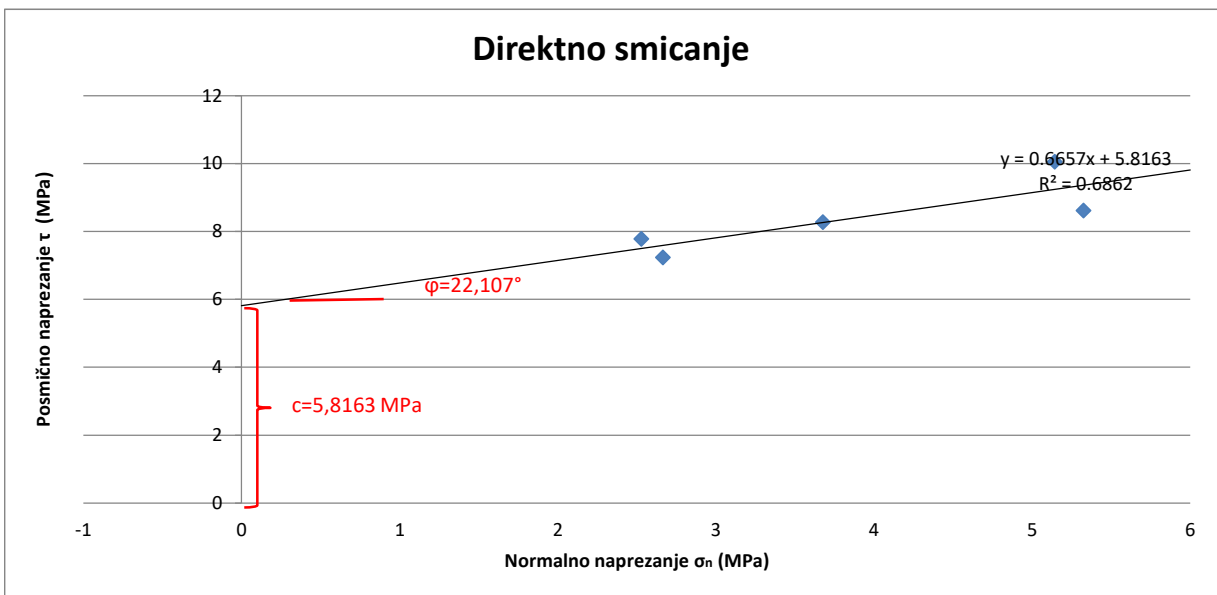


### REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM:	TRAVANJ 2021.	UZORAK:	20/20
LOKACIJA/OBJEKT:	TRSTENIK SPLIT	OPIS:	LAPOR
		CaCO <sub>3</sub>	45.87%

REDNI BROJ	ULAZNE DIMENZIJE							KONTROLA		
	$\dot{S}_1$ (cm)	$\dot{S}_2$ (cm)	$\dot{S}_{sred}$ (cm)	$D_1$ (cm)	$D_2$ (cm)	$D_{sred}$ (cm)	$A$ (cm <sup>2</sup> )	$\dot{S}_{sred}$	$D_{sred}$	$A_{kont}$ (cm <sup>2</sup> )
1	5.65	5.4	5.525	5.8	5.3	5.55	30.66375	5.6	5.7	31.92
2	5.2	4.35	4.775	5.6	5.15	5.375	25.665625	4.85	5.3	25.705
3	5.1	5.2	5.15	5.25	5.1	5.175	26.65125	5.1	5.15	26.265
4	5	4.9	4.95	5.7	5.7	5.7	28.215	4.9	5.55	27.195
5	5.2	4.9	5.05	4.8	4.8	4.8	24.24	4.7	4.55	21.385
6	5.1	4.9	5	5.7	5.7	5.7	28.5	4.9	5.65	27.685

REDNI BROJ	REZULTATI POSMIKA							NAPOMENE
	$A_{kont}$ (cm <sup>2</sup> )	$V$ (kN)	$H$ (kN)	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)	$c$ (MPa)	$\phi$ (°)	
1	31.92	17	27.5	5.325815	8.615288	5.8163	22.10702	
2	25.705	6.5	20	2.528691	7.780587			
3	26.265	7	19	2.665144	7.233962			
4	27.195	10	22.5	3.677147	8.27358			
5	21.385	11	21.5	5.143792	10.05378			
6	27.685	18.5	22.5	0	0			
								ODBAČEN





### REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM: TRAVANJ 2021.								UZORAK: 18/20 5.5x5.5		
LOKACIJA/OBJEKT: PROJEKT UNSATI, RAVNE NJIVE, IGH BUŠOTINA								OPIS: LAPOR		
								CaCO <sub>3</sub> : 64.20%		
ULAZNE DIMENZIJE								KONTROLA		
REDNI BROJ	Š1(cm)	Š2(cm)	Šsred(cm)	D1(cm)	D2(cm)	Dsred(cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Šsred	Dsred	Akont (cm <sup>2</sup> )
1	4.9	4.9	4.9	5.1	5	5.05	24.745	5	4.3	21.5
REZULTATI POSMIKA								NAPOMENE		
REDNI BROJ	A <sub>kont</sub> (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	c (Mpa)	$\phi$ (°)			
1	21.5	25	41	11.62791	19.06977			ploha sloma ulazi u mort		





### REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM:	TRAVANJ 2021.	UZORAK:	18/20 5.5x5.5
LOKACIJA/OBJEKT:	PROJEKT UNSATI, RAVNE NJIVE, IGH BUŠOTINA	OPIS:	LAPOR
		CaCO3:	64.20%

ULAZNE DIMENZIJE							KONTROLA			
REDNI BROJ	Š1(cm)	Š2(cm)	Šsred(cm)	D1(cm)	D2(cm)	Dsred(cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Šsred	Dsred	Akont (cm <sup>2</sup> )
1	4.8	4.8	4.8	5.1	5.3	5.25	25.2	4.9	5.4	26.46

REZULTATI POSMIKA							NAPOMENE	
REDNI BROJ	A kont (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	c (Mpa)	$\phi$ (°)	
1	26.46	20	43	7.558579	16.25094			ploha sloma ulazi u mort



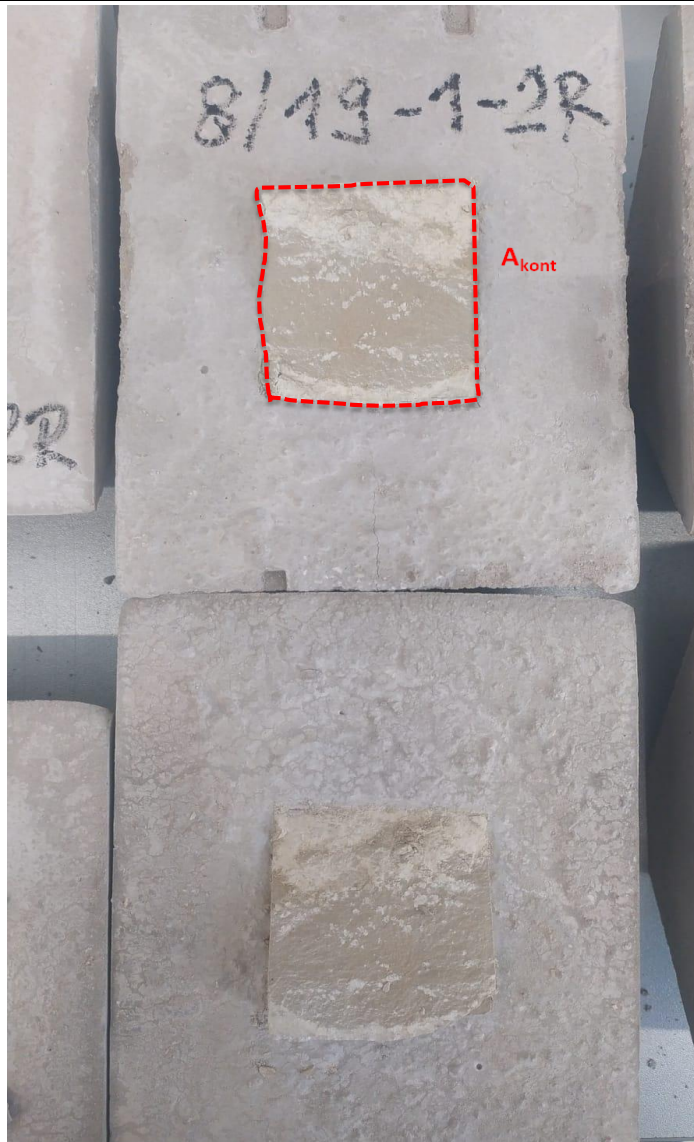


### REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM:	TRAVANJ 2021.	UZORAK:	8/19
LOKACIJA/OBJEKT:	PROJEKT UNSATI, MAJDAN SOLIN	OPIS:	LAPOR
		CaCO3	64.10%

ULAZNE DIMENZIJE								KONTROLA		
REDNI BROJ	Š1(cm)	Š2(cm)	Šsred(cm)	D1(cm)	D2(cm)	Dsred(cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Šsred	Dsred	Akont (cm <sup>2</sup> )
1	5.5	5.6	5.55	5.8	5.6	5.7	31.635	5.55	5.8	32.19

REZULTATI POSMIKA								NAPOMENE		
REDNI BROJ	A kont (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	c (Mpa)	$\phi$ (°)			
1	32.19	20	23	6.21311	7.145076					





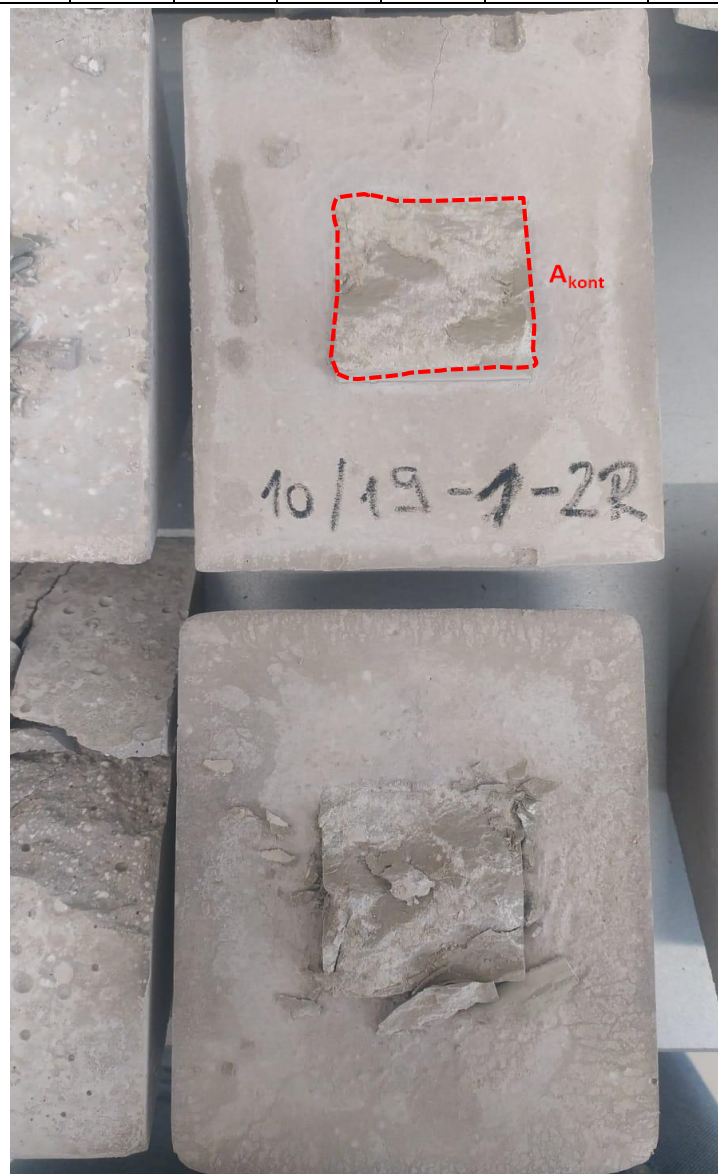
REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM: TRAVANJ 2021.  
LOKACIJA/OBJEKT: UNSATI, MAJDAN SOLIN

UZORAK: 10/19  
OPIS: LAPOR  
CaCO3: 62.39%

ULAZNE DIMENZIJE							KONTROLA			
REDNI BROJ	Š1(cm)	Š2(cm)	Šsred(cm)	D1(cm)	D2(cm)	Dsred(cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Šsred	Dsred	Akont (cm <sup>2</sup> )
1	5.5	5.7	5.6	5.5	5.7	5.6	31.36	5.55	5.7	31.635

REZULTATI POSMIKA							NAPOMENE	
REDNI BROJ	A kont (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	c (Mpa)	$\phi$ (°)	
1	31.635	20	26	6.322112	8.218745			nakon 24 sata



**REZULTATI ISPITIVANJA**

<b>DATUM:</b>	TRAVANJ 2021.	<b>UZORAK:</b>	18/20 3,5x3,5
<b>LOKACIJA/OBJEKT:</b>	PROJEKT UNSATI, RAVNE NJIVE, IGH BUŠOTINA 4	<b>OPI:</b>	LAPOR
		<b>CaCO3:</b>	64.20%

ULAZNE DIMENZIJE								KONTROLA		
REDNI BROJ	Š1(cm)	Š2(cm)	Šsred(cm)	D1(cm)	D2(cm)	Dsred(cm)	A (cm2)	Šsred	Dsred	Akont (cm2)
1	5.1	4.9	5	6.1	5.7	5.9	29.5	5.2	4.7	24.44

REZULTATI POSMIKA								NAPOMENE
REDNI BROJ	Akont (cm2)	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	c (Mpa)	$\phi$ (°)	
1	24.44	20	33	8.183306	13.50245			zakretanje radi lose ugradnje, pukao mort





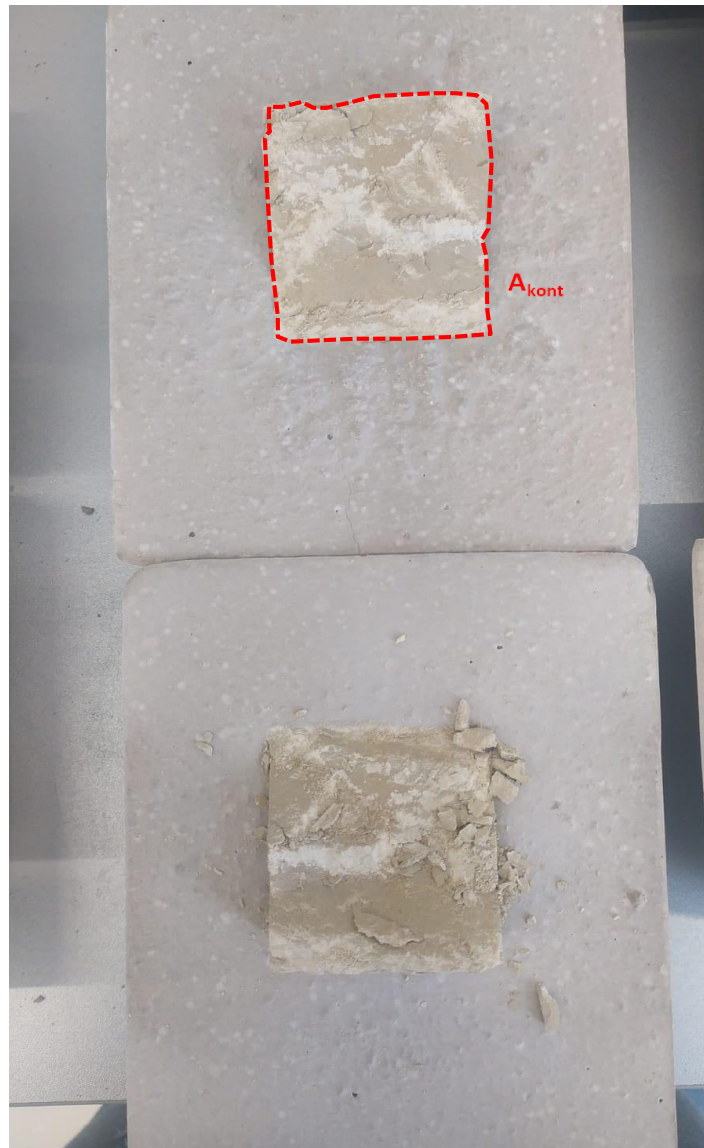


### REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM:	TRAVANJ 2021.	UZORAK:	8/19
LOKACIJA/OBJEKT:	PROJEKT UNSATI, MAJDAN SOLIN	OPIS:	LAPOR
		CaCO3	64.10%

ULAZNE DIMENZIJE							KONTROLA			
REDNI BROJ	Š1(cm)	Š2(cm)	Šsred(cm)	D1(cm)	D2(cm)	Dsred(cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Šsred	Dsred	Akont (cm <sup>2</sup> )
1	5.6	5.7	5.65	5.6	5.7	5.65	31.9225	5.5	5.8	31.9

REZULTATI POSMIKA							NAPOMENE	
REDNI BROJ	A kont (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	c (Mpa)	$\phi$ (°)	
1	31.9	20	23.5	6.269592	7.366771			malo ekscentrično ugrađen





**REZULTATI ISPITIVANJA**

DATUM: TRAVANJ 2021.								UZORAK: 8/19		
LOKACIJA/OBJEKT: PROJEKT UNSATI, MAJDAN SOLIN								OPIS: LAPOR		
								CaCO3 64.10%		
ULAZNE DIMENZIJE								KONTROLA		
REDNI BROJ	Š1(cm)	Š2(cm)	Šsred(cm)	D1(cm)	D2(cm)	Dsred(cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Šsred	Dsred	Akont (cm <sup>2</sup> )
1	5.6	5.7	5.65	5.8	5.7	5.75	32.4875	5.55	5.65	31.3575
REZULTATI POSMIKA								NAPOMENE		
REDNI BROJ	A kont (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	c (Mpa)	$\phi$ (°)			
1	31.3575	20	31	6.378059	9.885992					





REZULTATI ISPITIVANJA

DATUM: TRAVANJ 2021.  
LOKACIJA/OBJEKT: UNSATI, MAJDAN SOLIN

UZORAK: 10/19  
OPIS: LAPOR  
CaCO<sub>3</sub>: 62.39%

ULAZNE DIMENZIJE							KONTROLA			
REDNI BROJ	Š1(cm)	Š2(cm)	Šsred(cm)	D1(cm)	D2(cm)	Dsred(cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Šsred	Dsred	Akont (cm <sup>2</sup> )
1	5.6	5.6	5.6	5.7	5.6	5.65	31.64	5.35	5.2	27.82
2										
3										
4										
5										
6										

REZULTATI POSMIKA							NAPOMENE	
REDNI BROJ	A kont (cm <sup>2</sup> )	V (kN)	H (kN)	$\sigma$ (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	c (Mpa)	$\phi$ (°)	
1	27.82	20	27	7.189073	9.705248			

