

# Ispitivanje svojstava cementa

---

Šaina, Andrej

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:595422>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Andrej Šaina**  
**JMBAG: 0114029055**

**ISPITIVANJE SVOJSTAVA CEMENTA**

**Završni rad**

**Rijeka, veljača 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Sveučilišni preddiplomski studij**  
**Inženjerski materijali**

**Andrej Šaina**  
**JMBAG: 0114029055**

**ISPITIVANJE SVOJSTAVA CEMENTA**

**Završni rad**  
**Rijeka, veljača 2019.**

## **IZJAVA**

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Andrej Šaina

**U Rijeci, 25. veljače 2019.**



## **SAŽETAK:**

Cement je jedan od najvažnijih sastojaka betona. Cement je vezivo, supstanca koja se upotrebljava pri gradnji, postavlja se, stvrdnjava i prijanja drugim materijalima kako bi ih vezao zajedno. Rijetko se koristi samostalno, već najčešće povezuje kameni agregat. Potrebno je poznavati svojstva cementa kako bi znali odrediti njegovu čvrstoću i otpornost na različite utjecaje. Cilj ovog završnog rada je upoznavanje i ispitivanje fizikalno mehaničkih svojstava cementa i cementne paste.

**KLJUČNE RIJEČI:** cement, svojstva cementa, cementna pasta

## **ABSTRACT:**

Cement is one of the most important ingredients of the concrete. Cement is a binder, a substance which is used in construction. Cement has to be layered, hardened and bound to another material in order to attach them together. It is rarely used on its own, it usually binds the crushed aggregate. The properties of cement need to be known in order to determine its strength and resistance to different effects. The aim of this final paper is getting an insight and analysing the physical and mechanical properties of the concrete and cement paste.

**KEY WORDS:** cement, cement propertie, cement paste

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. PROIZVODNJA PORTLAND CEMENTA.....	2
2.1. Faze proizvodnje cementa .....	3
3. FIZIKALNO MEHANIČKA SVOJSTVA CEMENTA .....	4
3.1. Finoća mliva.....	4
3.2. Vlaga.....	4
3.3. Postojanost volumena.....	5
4. PROVEDENA ISPITIVANJA U LABORATORIJU.....	6
4.1. Određivanje standardne konzistencije cementne paste .....	8
4.1.1. Postupak pripreme cementne paste.....	8
4.1.2. Postupak punjenja kalupa cementnom pastom .....	8
4.1.3. Postupak ispitivanja standardne konzistencije cementne paste (Vicat-ov uređaj) .....	9
4.2. Vrijeme vezivanja cementne paste .....	10
4.3. Određivanje gustoće cementa .....	12
4.4. Ocjena razreda čvrstoće cementa .....	13
5. ZAKLJUČAK.....	17
6. POPIS SLIKA .....	18
7. POPIS TABLICA.....	18
8. POPIS LITERATURE.....	19

## 1. UVOD

Cilj ovog završnog rada je upoznavanje i ispitivanje fizikalno mehaničkih svojstava cementne paste i obrada podataka pri ispitivanju. Prije početka ispitivanja potrebno je znati kako su potrebne male količine vode, u području standardne konzistencije svježe cementne paste, za promjenu njenih svojstava hidratacije, čvrstoće, elastičnosti, viskoznosti i slično.

Kako bi uopće počeli razrađivati problem iz uvoda, potrebno se je najprije upoznati sa cementom, njegovim svojstvima i područjima primjene.

Cement (eng. *cement*) je hidrauličko vezivo koje pri doticaju s vodom i zrakom ima svojstvo očvršćivanja. Proizvodi se pečenjem kamena u rotacijskim pećima, na visokim temperaturama (1400-1500 °C). Naziva se često i portlandcement (po engleskoj pokrajini gdje je napravljen prvi cement) ili portlandski cement pri čemu podrazumjevamo pečenje sirovine koja se pretvara u klinker. Klinker su kuglice spoja kalcij-silikata promjera 3 – 4 cm. Nakon pečenja klinker se melje u fini prah i dodaje mu se oko 5% gipsa koji služi za kontrolu brzine vezanja. Cement je u konačnom obliku sivi prah koji se uz dodavanje vode pretvara u cementnu pastu.

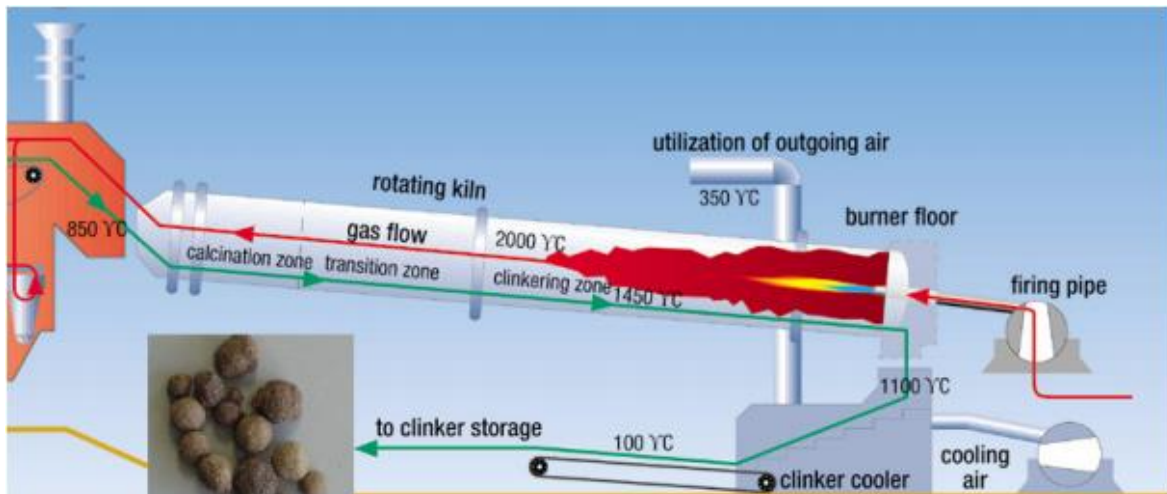
Primjena cementa je vrlo široka, a može se koristiti kao npr.: žbuka, pravljenje odvodnih kanala, u betonu kao vezivo za temeljne ploče, brane, lukove, itd...



## 2. PROIZVODNJA PORTLAND CEMENTA

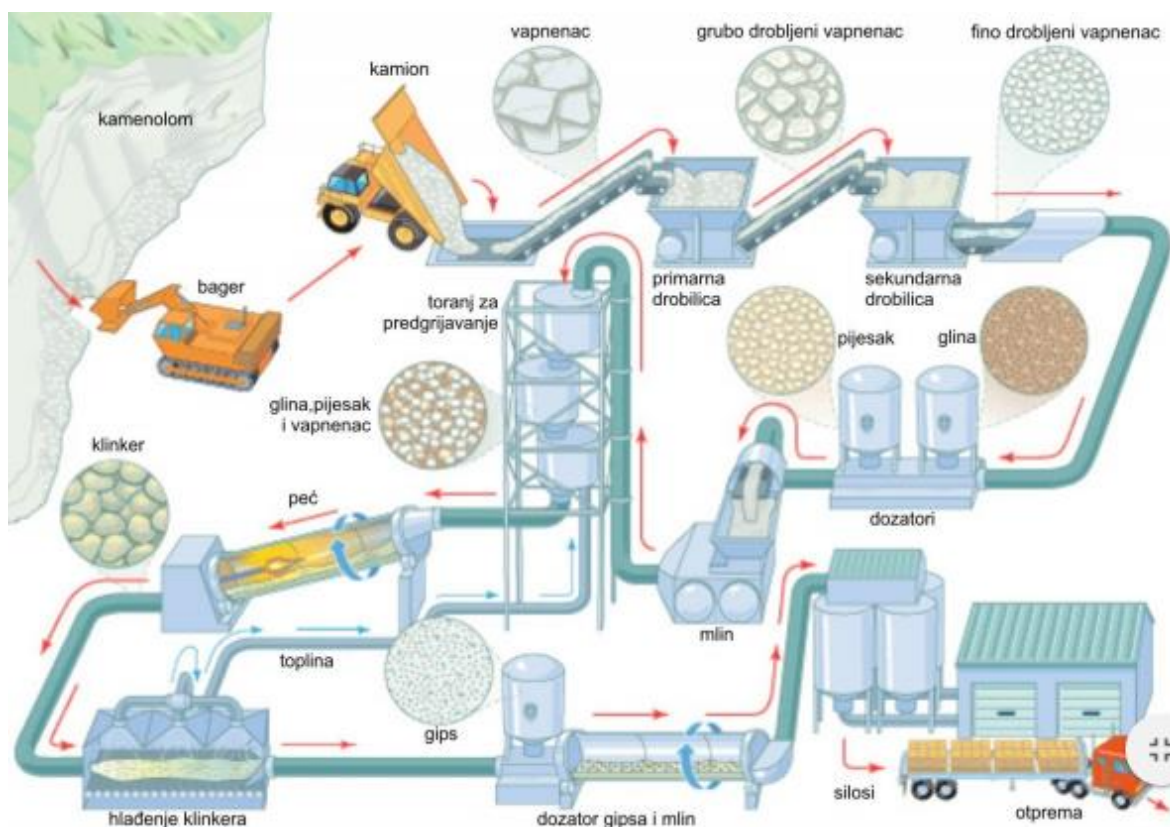
Standardni proces proizvodnje cementa sastoji se od nekoliko faza: eksploatacija mineralnih sirovina, priprema sirovina za proizvodnju klinkera, miješanje mineralnih sirovina i proizvodnja klinkera, te na kraju dolazi mljevenje dobivenog klinkera i dodavanje aditiva, te pakiranje cementa.

Eksploatacija sirovina vrši se strojnim iskopom ili bušenjem i miniranjem. Sirovine se homogeniziraju na otprilike jednaka zrna i započinje se proces mljevenja sirovina. Prethodno mljevenu sirovinu postavlja se u rotacijske peći (*Slika 1.*) i peče se na temperaturi od 1400 – 1500 °C. Rotacijska peć je cilindričnog oblika i obložena je visokotemperaturnim ciglama. U rotacijskoj peći nastaje klinker.



*Slika 1. Rotacijska peć*

Klinker se nakon pečenja hladi i melje uz istovremeno dodavanje gipsa i ponekad drugih aditiva. Sirovine za proizvodnju cementa su najčešće vapnenac i lapor, a zatim glina, pijesak, boksit i slično. Izbor sirovina za izradu cementa ovisi o dostupnosti tih sirovina na odeđenom području. Najvažniji mineral potreban za proizvodnju klinkera je kalcijev karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Kalcijevog karbonata ima najviše u vapnencima i zbog toga je to najzastupljeniji mineral za izradu. Dodavanje gipsa klinkeru pri mljevenju služi za reguliranje vremena vezanja cementa, to jest usporavanje vezivanja. U portland cementu je njegov udio najčešće 2-4%.



Slika 2. *Proizvodnja cementa*

**2.1. Faze proizvodnje cementa:**

- 1.faza: Eksploatacija sirovina i doprema do postrojenja
- 2.faza: Drobljenje primarnom i sekundarnom drobilicom (fino drobljeni vapnenac)
- 3.faza: Miješanje pijeska i gline; toranj za predgrijavanje
- 4.faza: Pečenje vapnenca i dobivanje klinkera
- 5.faza: Hlađenje klinkera, dodavanje gipsa putem dozatora
- 6.faza: Pohranjivanje dobivenog cementa u silose
- 7.faza: Pakiranje i otprema cementa

### **3. FIZIKALNO MEHANIČKA SVOJSTVA CEMENTA**

Potrebno je poznavati fizikalno mehanička svojstva cementa kako bi kvaliteta odgovarala traženim normama i zahtjevima. Pri tome je nužno provoditi ispitivanja materijala.

Kvaliteta cementa najčešće se određuje prema sljedećim svojstvima:

volumna masa, finoća mliva, vlaga, postojanost volumena, skupljanje i bubrenje, mehanička čvrstoća, vrijeme vezivanja, standardna konzistencija i gustoća.

Posljednja 3 svojstva obrađena su u laboratoriju prema određenim normama i biti će detaljnije analizirana.

#### **3.1. Finoća mliva**

Potrebno je poznavati granulometrijski sastav cementa zbog toga jer o njemu ovise mnoga svojstva cementa. Standardnim metodama mljevenja dobivaju se veličine zrnaca od 2  $\mu\text{m}$  do 80  $\mu\text{m}$ . Moguće je prosijavati do veličine otvora sita od 0,063 mm. Za manja zrnca od 0,063 koriste se ultrazvučne metode ili postupak sa zračnom strujom. Finiji cement ima bolja svojstva i osobine cementne paste, ali s time i veću mogućnost skupljanja, što nije pogodno za cementnu pastu. Moguće je i određivanje specifične površine cementa umjesto određivanja granulometrijskog sastava. Za taj se postupak koristi se najčešće Blaine-ov permeabilimetar (mjerač propusnosti) ili određene empirijske metode. Cement ima veću specifičnu površinu ako je finije mljeven.

#### **3.2. Vlaga**

Postotak vlage u cementu dobije se sušenjem na temperaturi od 100 do 110 °C. Visok postotak vlažnosti znači da je cement bio pod utjecajem vlažnog zraka ili je bio loše skladišten. Vlaga započinje proces hidratacije i pri tome se gube svojstva i kvaliteta cementa. Postotak vlage ne bi trebao biti veći od 2%, a ukoliko prijeđe preko 5% uporabna vrijednost mu se jako smanji.

### 3.3. Postojanost volumena

Postojanost volumena cementa je vrijednost koj prikazuje postojanost cementa prilikom očvršćivanja i hidratacije. Ispitivanje postojanosti volumena provodi se u Le Chattelierovim prstenovima (*Slika 3.*) prema normi HRN EN 196-3 [4]. Nepostojanost volumena može biti posljedica kasne hidratacije ili kemijske reakcije nekih komponenata iz sastava cementa. Cementna pasta se postavlja u prstenove i nakon očvršćivanja, razmak krajeva kazaljki prstenova ne bi smio premašiti 10 mm. Ispitivanje se vrši u 3 prstena koji se postavljaju u vodu na 24 sata i nakon toga se kuhaju 2.5 sata.



*Slika 3. Le Chattelierov prsten*

#### **4. PROVEDENA ISPITIVANJA U LABORATORIJU**

Sva ispitivanja u radu provedena su korištenjem laboratorijske opreme u laboratoriju za materijale Građevinskog fakulteta u Rijeci.

Provedena su sljedeća ispitivanja:

1. Određivanje standardne konzistencije cementne paste
2. Vrijeme vezivanja cementne paste
3. Određivanje gustoće cementa
4. Ocjena razreda čvrstoće cementa

##### Materijali potrebni za rad:

- 3 kg cementa
- voda temperature  $20 \pm 2$  °C
- 300 cm<sup>2</sup> petroleja
- standardni pijesak ( $1350 \pm 5$ g)

##### Oprema potrebna za rad:

- lopatica za cement
- posuda za vaganje cementa
- 2 menzure 250 ml
- vaga točnosti 1g
- termometar  $0 - 80 \pm 1$  °C
- mješalica za mort (*Slika 4.*)
- štoperica
- žlica za cementnu pastu
- nauljene staklene pločice 120 x 120 mm i debljine 3mm
- špatula za poravnanje cementne paste
- Vicato-ov uređaj (*Slika 5.*)
- Le Chattelierova tikvica za određivanje gustoće

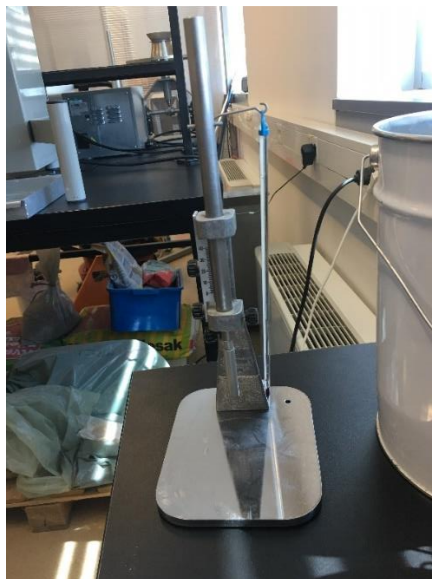
-2 staklena lijevka

-kalupi za izradu cementnih prizmi

-za sva ispitivanja korišten je cement "Strukto cement", čvrstoće 42,5 N



*Slika 4. Mješalica za mort*



*Slika 5. Vicat-ov uređaj*

## **4.1. Određivanje standardne konzistencije cementne paste**

Potrebno je odrediti standardnu konzistenciju cementne paste jer se s takvom pastom provode daljnja ispitivanja vezana uz vrijeme vezivanja i postojanosti volumena cementne paste. Standardna konzistencija cementne paste ovisi o količini dodane vode. Pri dodavanju vode moramo imati na umu kako i male količine mogu dovesti do velikih razlika u rezultatu. Za zadovoljavajuću standardnu konzistenciju dodaje se 23-32% vode. Standardna konzistencija cementne paste biti će postignuta kada sonda Vicat-ovog uređaja prodre u cementnu pastu  $6 \pm 2$  mm mjereno od dna kalupa.

### **4.1.1. Postupak pripreme cementne paste**

Vicat-ov uređaj mora se baždariti spuštanjem sonde na staklenu podložnu pločicu na kojoj će biti kalup. Skalu Vicat-ovog uređaja mora se izjednačiti s nulom. Nakon toga, sonda se podiže u početni položaj iznad središta konusnog prstena i pričvršćuje se vijkom. Potrebno je odvagati 500 g cementa i pripremiti dogovorenu količinu vode (23-32% cementne mase) sobne temperature. U posudu mješalice za mort najprije se ulijeva voda, a zatim pripremljena količina cementa (postupak traje do 10 s). Smjesa se miješa u prvoj brzini. Nakon 90 sekundi, mješalica se zaustavlja i unutar 30 sekundi, ručno, pomoću žlice, pogura se materijal s metlice mješalice i stjenke posude prema sredini posude. Mješalica se ponovno uključuje u prvoj brzini, 90 sekundi.

### **4.1.2. Postupak punjenja kalupa cementnom pastom**

Cementna pasta se odmah prebacuje u lagano nauljeni kalup koji se prethodno stavlja na lagano nauljenu staklenu pločicu. Kalup se puni bez potresanja i utiskivanja cementne paste. Potrebno je lagano udarati dlanom po površini cementne paste kako bi izašao višak zraka. Višak cementne paste se odstranjuje špatulom i površina se nakon toga mora izravnati.

### 4.1.3. Postupak ispitivanja standardne konzistencije cementne paste (Vicat-ov uređaj)

Sondu Vicat-ovog uređaja postavili smo na centar površine cementne paste i zakočili vijkom. Otpuštamo vijak kako bi sonda slobodnim padom, vlastitom težinom, mogla prodrijeti u cementnu pastu. Potrebno je očitati položaj na skali nakon najmanje 5 sekundi što se prodiranje zaustavilo ili nakon 30 sekundi što se je sonda otpustila (kao mjerodavan biramo koji je od navedena dva raniji). Ukoliko se sonda zaustavi na  $6 \pm 2$  mm od dna kalupa, dobili smo standardnu konzistenciju cementne paste i odabranu količinu vode koristimo za daljnja ispitivanja. Ukoliko se sonda nije zaustavila na potrebnoj visini, potrebno je ponavljati postupak dok se ne dobije postavljeni uvjet za standardnu konzistenciju na način da se smanji odnosno poveća potrebna količina vode (*Tablica 1.*).

cement		voda		cementna pasta		
masa (g)	temperatura (°C)	volumen (ml)	temperatura (°C)	temperatura (°C)	prodor sonde (mm)	Konzistencija (% m cement)
500,0	23,2	155,0	22,9	24,8	0	31
500,1	23,8	115,2	24,4	25,6	mali	23
500,0	23,5	135,7	23,1	23,7	6	27

*Tablica 1. Ispitivanje standardne konzistencije cementne paste*

Dodavanjem 27% vode mase cementa dobivena je standardna konzistencija cementne paste koja se koristi za daljnja ispitivanja.



## 4.2. Vrijeme vezivanja cementne paste

Vrijeme vezivanja cementne paste zasniva se na prijelazu paste iz tekuće u kruto stanje. Teško je odrediti početak i kraj procesa vezivanja cementa ako nemamo potrebnu aparaturu. Vrijeme vezivanja određuje se na Vicat-ovom aparatu, pomoću igle, na temelju prodiranja igle u cementnu pastu standardne konzistencije (koju smo dobili prijašnjim ispitivanjima). Početak vremena vezivanja računa se od dodavanja vode u cement do zaustavljanja igle na  $6 \pm 2$  mm od dna kalupa. Kraj vremena vezivanja je kada igla više ne može prodrijeti u cementnu pastu više od 0,5 mm. Kraj vezivanja označuje potpuno skrućivanje cementne paste, što je otprilike nakon 6 ili više sati.

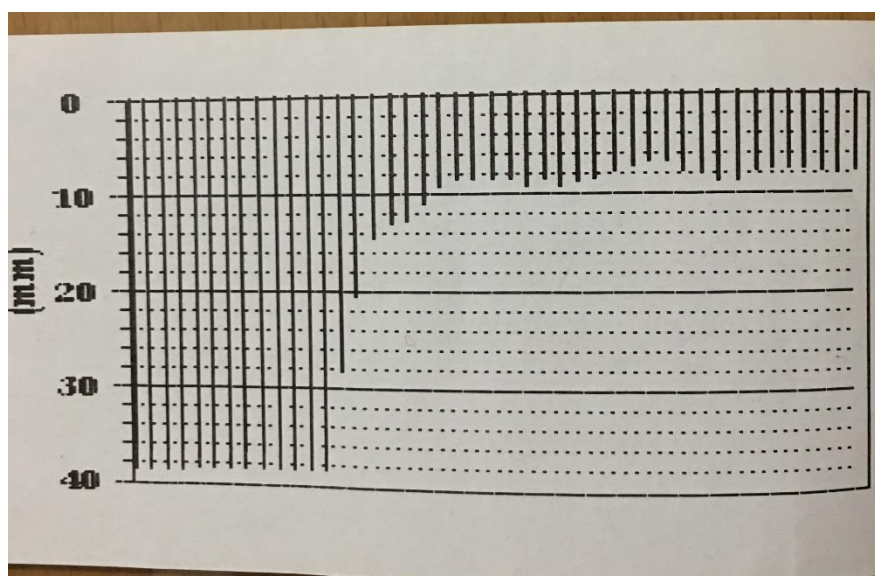
Vrijeme vezivanja ispitali smo na uzorku standardne konzistencije cementne paste (*Slika 6.*). Uređaj smo programirali na ubode svakih 10 minuta, 44 uboda (*Tablica 2., Slika 7.*). Ispitivanje je trajalo 7 sati i 20 minuta. U tom vremenskom razdoblju igla je na početku prodirala 39 mm u uzorak. Do 13. uboda prodiranje je bilo jednako ( $\pm 1$  mm). Između 13. i 14. uboda prodiranje se je smanjilo za 10 mm, što znači da je početak vezivanja paste započeo nakon 2 sata i 10 min. Nakon toga, kroz sat vremena, cementna pasta se je stvrdnula i ostala konstantne tvrdoće do kraja ispitivanja ( $08,0 \text{ mm} \pm 02,0 \text{ mm}$ ).



*Slika 6. Uzorak nakon ispitivanja*

Redni broj uboda	Vrijeme (min)	Prodor igle (mm)	Redni broj uboda	Vrijeme (min)	Prodor igle (mm)
1	0	39.0	23	220	08.7
2	10	38.8	24	230	08.7
3	20	39.0	25	240	09.6
4	30	38.8	26	250	08.7
5	40	38.6	27	260	09.6
6	50	38.6	28	270	09.0
7	60	38.6	29	280	08.7
8	70	38.6	30	290	08.1
9	80	38.6	31	300	07.7
10	90	38.6	32	310	07.0
11	100	38.6	33	320	07.0
12	110	38.6	34	330	08.1
13	120	38.6	35	340	08.1
14	130	28.3	36	350	09.0
15	140	20.7	37	360	09.0
16	150	14.7	38	370	08.1
17	160	13.2	39	380	07.9
18	170	13.0	40	3090	07.9
19	180	11.3	41	400	07.9
20	190	09.6	42	410	08.1
21	200	08.7	43	420	08.1
22	210	08.7	44	430	08.1

Tablica 2. Rezultati ispitivanja vremena vezivanja



Slika 7. Graf uboda svakih 10 min

### 4.3. Određivanje gustoće cementa

Gustoća cementa određuje se pomoću standardne Le Chattelierove tikvice (Slika 8.). Grlo tikvice u donjem dijelu sadržava oznake volumena od 0 do 1 cm<sup>3</sup>. U gornjem dijelu nalazi se raspon od 18 do 24 cm<sup>3</sup>. Između ova dva dijela nalazi se zadebljanje volumena od 17 cm<sup>3</sup>. Postupak se sastoji od ulijevanja petroleja temperature 20 °C u tikvicu, do nivoa između 0 i 1 cm<sup>3</sup>. Nivo se zabilježi u tablicu. Nakon ulijevanja petroleja, postepeno se ubacuje 65 g cementa u tikvicu i pri tome treba voditi računa o tome da se cement ne hvata za stijenke tikvice, nego sav mora utonuti u petrolej. Tikvica se pritom rotira kako bi iz cementa izašao sav zrak. Nakon što je izašao sav zrak iz cementa, očitava se nivo petroleja na gornjem dijelu tikvice. Razlika nivoa prije i poslje ubacivanja cementa daje nam volumen cementa. Gustoću cementa dobijemo prema izrazu mase u odnosu na volumen (Tablica 3.).



Slika 8. Le Chattelierova tikvica

nivo tekućine	prije dodatka	V <sub>1</sub>	cm <sup>3</sup>	0,5
	nakon dodatka	V <sub>2</sub>	cm <sup>3</sup>	22,3
cement	masa	m <sub>c</sub>	g	65
	volumen	V <sub>c</sub>	cm <sup>3</sup>	21,8
gustoća cementa		ρ	g/cm <sup>3</sup>	2,9817

Tablica 3. Gustoća cementa

#### 4.4. Ocjena razreda čvrstoće cementa

Ocjena razreda tlačne čvrstoće i čvrstoće na savijanje provodi se ispitivanjima prema normi HRN EN 196-1:2005 [6]. Ispitivanje počinje izradom prizmica dimenzija 40x40x160mm. Prizmice se izrađuju od kvarcnog pijeska (1350 g), a omjer cementa, pijeska i vode je 1:3:0.5. Komponente moraju biti laboratorijske temperature od  $20 \pm 2$  °C. Potrebno je izračunati količine pojedinih komponenti prema danom omjeru:

masa vode ( $m_w$ ) = 225 g

masa cementa ( $m_c$ ) = 450 g

masa pijeska ( $m_p$ ) = 1350 g

Miješanje morta započinje tako da se u posudu mješalice ulije voda, a zatim se doda cement. Smjesa se miješa u prvo brzini, 30 sekundi. Tijekom sljedećih 30 sekundi dodaje se pijesak i nastavi se miješanje brzinom 2 sljedećih 30 sekundi. Prekine se miješanje i lopaticom se ostruže mort s lopatice mješaća i stijenki posude. Nastavi se miješanje od 60 sekundi. Nakon izrade smjese, ista se ugrađuje u kalupe dimenzija 40x40x160 mm (*Slika 9.*). Površina kalupa izravna se špatulom i kalupi se postavljaju na vibrator kako bi izašao višak zraka iz mješavine. Pripremljen mort se pokrije staklenom pločicom i postavlja se u vodu. Ispitivanje se provodi nakon 28 dana njegovanja prizmica u vlažnoj okolini.



*Slika 9. Kalup s prizmicama*

Vlačna i tlačna čvrstoća izrađenih prizmica ispitivana je nakon 7 dana. Prvo se provodi ispitivanje na vlak na cijeloj prizmici, a zatim se na ispitanim polovicama ispituje tlak.

Vlačna čvrstoća ispituje se savijanjem prizmica. Savijanje se provodi tako da je uzorak opterećen u tri točke (*Slika 10.*). Uzorak se smjesti u aparat za ispitivanje i opterećenje se nanosi jednoliko,  $50 \pm 10$  N/s, do sloma.

Izraz za dobivanje vlačne čvrstoće savijanjem:

$$\sigma_v = \frac{1,5 * P * l}{b^3}$$

gdje je P sila sloma (N), b širina poprečnog presjeka (mm), te l udaljenost između oslonaca, 100 mm.



*Slika 10. Uređaj za ispitivanje vlačne čvrstoće*

Tlačna čvrstoća ispituje se na polovicama prizmi dobijenih od vlačnog ispitivanja savijanjem. Opterećenje se nanosi jednoliko pomoću metalne pločice 40 x 40 mm, do sloma (*Slika 11.*).

Ako jedan rezultat odstupa više od 10% od srednje vrijednosti ostalih, odbacuje se i računa prosjek preostalih rezultata.



*Slika 11. Uređaj za ispitivanje tlačne čvrstoće*

Izraz za dobivanje tlačne čvrstoće:

$$\sigma_t = \frac{P}{A} [MPa]$$

gdje je P sila sloma (N), te A površina poprečnog presjeka (mm<sup>2</sup>).

Rezultati ispitivanja prikazani su u sljedećoj tablici:

ČVRSTOĆA CEMENTA							
	vlačna sila (N) P	tlačna sila 1 (N) P	tlačna sila 2 (N) P	vlačna čvrstoća $\sigma_v$ (MPa)	tlačna čvrstoća 1 $\sigma_t$ (MPa)	tlačna čvrstoća 2 $\sigma_t$ (MPa)	prosječna tlačna čvrstoća $\sigma_t$ (MPa)
1.	2439	53220	54230	5.707	33.263	33.894	33.579
2.	2396	51420	53150	5.607	32.138	33.219	32.709
3.	2351	54350	55120	5.501	33.969	34.450	34.209
				$\sigma_v$ , srednja = 5,605			$\sigma_t$ , srednja = 33,499

Tablica 4. Čvrstoća cementa

## 5. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme velika je potražnja betona u svijetu, pa samim time i uporaba cementa. Kako bi projektirali beton prema zahtjevanim kriterijima potrebno je poznavati osnovna svojstva cementa. Da bi se odredila osnovna svojstva cementa, određena kvaliteta i ujednačenost u proizvodnji, potrebno je provesti određena ispitivanja. Da bi se dobiveni rezultati ispitivanja mogli međusobno uspoređivati ispitivanja se provode prema važećim standardima. Dakle, svi uvjeti ispitivanja su unaprijed strogo definirani i tokom ispitivanja kontrolirani kako dobiveni rezultati ne bi ovisili o pojedincu koji ih provodi. Usprkos tome, veoma je teško kontrolirati zadane uvjete, čak i u laboratoriju, pa uvijek postoje određena odstupanja koja se mogu tolerirati unutar dopuštenih granica.



## **6. POPIS SLIKA**

Slika 1. Rotacijska peć -

[https://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids\\_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/Cementne%20sirovine.pdf](https://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/Cementne%20sirovine.pdf)

Slika 2. Proizvodnja cementa -

[https://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids\\_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/Cementne%20sirovine.pdf](https://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/Cementne%20sirovine.pdf)

Slika 3. Le Chattelierov prsten - <https://testing.de/de/1.0214>

Slika 4. Mješalica za mort – laboratorij GRADRI

Slika 5. Vicat-ov uređaj - laboratorij GRADRI

Slika 6. Uzorak nakon ispitivanja - laboratorij GRADRI

Slika 7. Graf uboda svakih 10 min - laboratorij GRADRI

Slika 8. Le Chattelierova tikvica - laboratorij GRADRI

Slika 9. Kalup s prizmicama - laboratorij GRADRI

Slika 10. Uređaj za ispitivanje vlačne čvrstoće - laboratorij GRADRI

Slika 11. Uređaj za ispitivanje tlačne čvrstoće - laboratorij GRADRI

## **7. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Ispitivanje standardne konzistencije cementne paste - dobivena pri ispitivanju

Tablica 2. Rezultati ispitivanja vremena vezivanja – iz Vicat-ovog aparata

Tablica 3. Gustoća cementa – dobivena pri ispitivanju

Tablica 4. Čvrstoća cementa - dobivena pri ispitivanju

## 8. POPIS LITERATURE

[1]

[https://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids\\_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/Cementne%20sirovine.pdf](https://rudar.rgn.hr/~mklanfar/nids_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/Cementne%20sirovine.pdf)

[2]

Materijali za završni ispit, prof.dr.sc. Gojko Balabanić

[3]

Materijali s kolegija Inženjerski materijali

[4]

HRN EN 196-3: Metode ispitivanja cementa – 3. dio:

Određivanje vremena vezivanja i postojanosti volumena

[5]

<https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/cement/81-cement-definition-and-full-details>

[6]

HRN EN 196-1: Metode ispitivanja cementa – 1. dio:

Određivanje čvrstoće (EN 196-1: 2005)