



LABORATORIJSKE VJEŽBE

STUDIJ: Preddiplomski sveučilišni studij Građevinarstvo

KOLEGIJ: Tehnologija betona

SEMESTAR: III.

Ime i prezime studenta:	
Akadska godina:	
Broj indeksa:	
Grupa:	
Nositelj kolegija:	Izv.prof.dr.sc. Ivana Miličević, dipl.ing.građ.
Asistent:	Robert Bušić, mag.ing.aedif.

Napomena: Zabranjeno je bilo kakvo kopiranje, prepisivanje, umnožavanje i bilo kakvo širenje u komercijalne svrhe bez prethodnog pismenog dopuštenja nositelja kolegija.

Sadržaj

1	LABORATORIJSKA VJEŽBA.....	4
1.1	FIZIKALNI PARAMETRI GRADIVA	5
1.1.1	GUSTOĆA I VOLUMNA GUSTOĆA (HRN EN 1097-6).....	6
1.1.2	NASIPNA GUSTOĆA (HRN EN 1097-6).....	6
1.1.3	APSORPCIJA VODE, POVRŠINSKA VLAŽNOST I VLAŽNOST (HRN EN 1097-6)	7
1.1.4	VODOUPOJNOST	7
1.1.5	POROZNOST	7
1.1.6	TABLICE	8
1.2	CEMENT	11
1.2.1	STANDARDNA KONZISTENCIJA (HRN EN 196-3).....	12
1.2.2	UTJECAJ TEMPERATURE NA KONZISTENCIJU	12
1.2.3	ODREĐIVANJE GUSTOĆE CEMENTA (HRN EN 196-6, ASTM 188-16)	12
1.2.4	ISPITIVANJE FINOĆE MLIVA CEMENTA (HRN EN 196-6).....	13
1.2.5	TABLICE	16
2	LABORATORIJSKA VJEŽBA.....	18
2.1	AGREGAT	19
2.1.1	GRANULOMETRIJSKI SASTAV (HRN EN 933-1, 933-2)	19
2.1.2	ISPITIVANJE OBLIKA ZRNA AGREGATA (HRN EN 933-4).....	23
2.1.3	ODREĐIVANJE PRAŠINASTIH I GLINOVITIH ČESTICA U AGREGATU.....	25
2.2	OBIČNI BETON - SVJEŽI BETON.....	26
2.2.1	PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONSKE MJEŠAVINE.....	27
2.2.2	ISPITIVANJE OBIČNOG BETONA U SVJEŽEM STANJU	27
3	LABORATORIJSKA VJEŽBA.....	30
3.1	SAMOZBIJAJUĆI BETON – SVJEŽI BETON	31
3.1.1	PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONSKE MJEŠAVINE.....	31
3.1.2	ISPITIVANJE SAMOZBIJAJUĆEG BETONA U SVJEŽEM STANJU.....	32
4	LABORATORIJSKA VJEŽBA.....	37
4.1	ISPITIVANJE ČVRSTOĆA I DEFORMACIJA	38
4.1.1	MJERENJE INDEKSA ODSKOKA SKLEROMETRA – BETON (HRN EN 12504-2).....	38
4.1.2	TLAČNA ČVRSTOĆA BETONA (HRN EN 12390-3)	39
4.1.3	BETON - DINAMIČKI MODUL ELASTIČNOSTI (HRN EN 12504-4)	40
4.1.4	SKUPLJANJE BETONA (HRN EN 12390-16).....	41
4.2	UTVRĐIVANJE PONAŠANJA MATERIJALA PRI OPTEREĆENJU	42
4.2.1	ČELIK – GRANICA POPUŠTANJA, VLAČNA ČVRSTOĆA, MODUL EL. (ISO 6982-1)	42

4.2.2	BETON – STATIČKI MODUL ELASTIČNOSTI (HRN EN 12390-13).....	44
5	LABORATORIJSKA VJEŽBA.....	46
5.1	SVOJSTVA TRAJNOSTI BETONA.....	48
5.1.1	VODONEPROPUSNOST (HRN EN 12390-8)	48
5.1.2	PLINOPROPUSNOST (RILEM TC 116-PCD, HRN EN 993-4).....	49
5.1.3	OTPORNOST NA SMRZAVANJE I ODMRZAVANJE (HRN EN 12390-9)	50
5.2	TERMIČKA SVOJSTVA BETONA	50
5.2.1	OTPORNOST NA VISOKE TEMPERATURE (RILEM TC 129-MHT, 200-HTC).....	50
5.2.2	TOPLINSKA VODLJIVOST (HRN EN 12667, HRN ISO 8302)	51
5.3	MIKROSTRUKTURA BETONA.....	51
5.3.1	PRETRAŽNI ELEKTRONSKI MIKROSKOP	51
5.4	OŠTEĆENJA ARMATURE.....	52
5.4.1	KARBONATIZACIJA (HRN EN 14630)	52



1 LABORATORIJSKA VJEŽBA

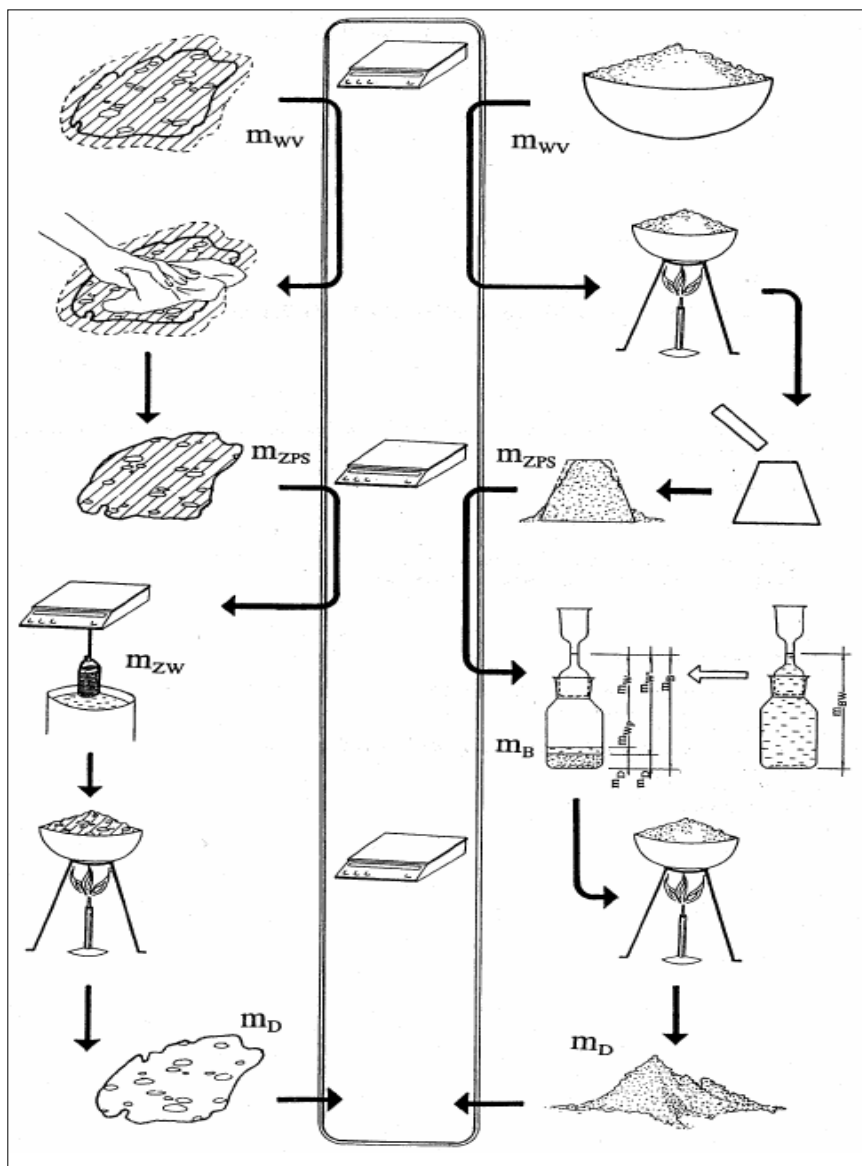
1.1 FIZIKALNI PARAMETRI GRADIVA

MATERIJAL POTREBAN ZA VJEŽBU:

- betonska kocka - 1komad - suha
- betonski opločnik - 1komad - suh
- pijesak 0-4 mm - 2 kg - potopljen u vodi i suh
- agregat 4-32 mm - 2 kg - potopljen u vodi i suh

OPREMA POTREBNA ZA VJEŽBU:

- vaga do 10 kg
- vaga za vaganje pod vodom do 10 kg sa žičanom košaricom
- piknometar
- sušionik
- plinski plamenik
- zdjele, žlice, krpe
- pomično mjerilo



Postupak ispitivanja

1.1.1 GUSTOĆA I VOLUMNA GUSTOĆA (HRN EN 1097-6)

Gustoća i volumenska gustoća određivat će se na krupnom (4-32 mm) i sitnom (0-4 mm) agregatu.

Krupni agregat

Ispitivanje se provodi na agregatu veličine zrna 4 mm do 32 mm s kojega su ranije odstranjene glinovite i prašinate čestice i koji je potopljen u vodi (zasićen s vodom) 24 sata. Takav agregat se izvaže na zraku (m_{ww}), ocijedi i obriše krpom tako da se vidljivi sloj vode (površinska vlažnost) odstrani. Tako dobiven zasićen površinski suh agregat (m_{zps}) ponovo se izvaže na zraku (m_z) i pod vodom (m_{zw}). Nakon toga se agregat suši na temperaturi 105°C do stalne mase (za potrebe vježbi oko 1 sat na plinu), te se tako osušen hladi i važe (m_d).

Sitni agregat (pijesak)

Ispitivanje se provodi na sitnom agregatu (pijesku) veličine zrna 0 mm do 4 mm koji je potopljen u vodi barem 24 sata (zasićen s vodom). Izvaže se vlažan pijesak (m_{ww}) na zraku tako da se višak vode pažljivo odlije iz posude za vaganje. Uzorak se zatim suši na plinu uz konstantno miješanje dok ne ocijenimo da je zasićen površinski suh. Tada se kalup oblika krnjeg stošca položi širom bazom na podlogu, napuni pijeskom i lagano nabije s 25 udaraca šipkom. Ako uzorak ima još površinske vlažnosti, nabijeni će uzorak zadržati oblik stošca nakon što se kalup dignu. Sušenje treba nastaviti, a ispitivanje ponavljati sve dok se zbijeni uzorak nakon podizanja kalupa ne osipa. Tada kažemo da je pijesak zasićen površinski suh i izvažemo ga na zraku (m_z). Zatim se uzorak stavi u piknometar, prelije vodom i promiješa sve dok svi mjehurići zraka ne izađu na površinu. Tada se nadolije voda na uzorak pijeska do označenog nivoa na gornjem dijelu piknometra, piknometar se obriše i odredi se njegova masa (piknometar + pijesak + voda, (m)). Uzorak se izvadi iz piknometra, osuši do stalne mase i izvaže se suh pijesak (m_d). Za proračun je također potrebno izvagati piknometar ispunjen s vodom do označenog nivoa (m_{Bw}).

Rezultate ispitivanja treba upisati u [Tablicu 1.1.1.](#), a proračun u [Tablicu 1.1.2.](#) i [1.1.3.](#)

1.1.2 NASIPNA GUSTOĆA (HRN EN 1097-6)

Nasipna gustoća ispituje se na sitnom i krupnom agregatu.

Nasipna gustoća u rastresitom stanju

Uzorak se na 105°C osuši do stalne mase i osušeni uzorkom se napuni posuda za mjerenje. Agregat se sipa s visine od 5 cm iznad ruba posude. Treba paziti da se posuda ne potrese, da ne bi došlo do segregacije zrna. Površina agregata se tada poravna bez nabijanja. Posuda s uzorkom se izvaže na vagi i odbijanjem mase posude pronađe se masa uzorka (m_r).

Nasipna gustoća u zbijenom stanju

Uzorak je osušen na 105°C do stalne mase. Posuda za mjerenje se puni do jedne trećine visine posude s osušeni agregatom i nabije s 25 udaraca šipkom za nabijanje. Zatim se doda približno ista količina agregata i ponovo nabija s 25 udaraca šipkom, tako da šipka prodre u materijal. Nakon toga posuda za mjerenje se prepuni agregatom, nabije s 25 udaraca i višak agregata skine s ravnalom. Posuda s uzorkom se izvaže i odbijanjem mase posude pronađe masa zbijenog uzorka (m_n).

Nasipna gustoća se izračunava prema formulama:

$$\rho_{s(r)} = \frac{m_r}{V_g} \text{ (g/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots \text{ nasipna gustoća u rastresitom stanju}$$

$$\rho_{s(n)} = \frac{m_n}{V_g} \text{ (g/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots \text{ nasipna gustoća u zbijenom stanju}$$

gdje je V_g ukupni volumen materijala

Rezultate ispitivanja treba upisati u [Tablicu 1.1.1.](#), a rezultate proračuna u [Tablicu 1.1.2.](#)

1.1.3 APSORPCIJA VODE, POVRŠINSKA VLAŽNOST I VLAŽNOST (HRN EN 1097-6)

Ispitivanje će se provoditi na sitnom i krupnom agregatu koji je potpuno vlažan i prirodno vlažan. Za potpuno vlažan materijal koristit će se podatci izmjereni kod gustoće.

Rezultati proračuna se upisuju u [Tablicu 1.1.3.](#), a za proračun se koriste vrijednosti iz [Tablice 1.1.1.](#)

1.1.4 VODOUPOJNOST

Vodoupojnost će se određivati na betonskoj kocki izrađenoj od monolitnog betona i betonskom opločniku izrađenom od prešanog betona. Oba uzorka se prije uranjanja u vodu izvažu (m_0). Betonska kocka i betonski opločnik se zatim uranjaju u posudu s vodom koso prema površini vode da se onemogući stvaranje mjehurića zraka. Nakon 15 min stajanja u vodi, uzorci se izvade iz vode, ocijede obrišu krpom i važu (m_{15}). Postupak ponavljamo, te nakon sljedećih 15 minuta zabilježimo izvaganu masu (m_{30}), zatim (m_{45}). Pri tome treba paziti da uvijek uranjamo istu plohu u vodu. Za praktičnu primjenu postupak traje 24 sata, a vremenski intervali mjerenja su duži. Nakon vaganja izračuna se kapilarno upijena voda u pojedinim vremenskim intervalima i izrazi kao upijanje po jedinici površine.

Rezultati mjerenja i proračuna upisuju se u [Tablicu 1.1.4.](#) i [Dijagram 1.1.1.](#)

1.1.5 POROZNOST

Poroznost se računa u [Tablici 1.1.5.](#) iz podataka o gustoći i volumnoj gustoći materijala prije izračunatih u ovoj vježbi.

1.1.6 TABLICE

Tablica 1.1.1.

SVOJSTVO			MATERIJAL		
			Krupni agregat	Sitni agregat	
Opis svojstva		Oznaka	Jedinica		
Masa vlažnog materijala		m_{wv}	g		
Masa zasićenog površinski suhog materijala	vaganog na zraku	m_z	g		
	vaganog pod vodom	m_{zw}	g		-----
Masa suhog materijala		m_d	g		
Masa piknometra s vodom		m_{Bw}	g	-----	
Masa materijala + piknometra + vode		m	g	-----	
Masa materijala u rastresitom stanju		m_r	g		
Masa materijala u zbijenom stanju		m_n	g		
Volumen materijala		V_g	cm ³		

Tablica 1.1.2. – KRUPNI AGREGAT

SVOJSTVO			KRUPNI AGREGAT		
			Formula	Jedinica	Rezultat
Gustoća		ρ	$\frac{m_d \cdot \rho_w}{m_d - m_{zw}}$	g/cm ³	
Volumna gustoća	suhog materijala	$\rho_{z(d)}$	$\frac{m_d \cdot \rho_w}{m_z - m_{zw}}$	g/cm ³	
	zasićenog površinski suhog materijala	$\rho_{z(zps)}$	$\frac{m_z \cdot \rho_w}{m_z - m_{zw}}$	g/cm ³	
Nasipna gustoća	u zbijenom stanju	$\rho_{s(r)}$	$\frac{m_n}{V_g}$	g/cm ³	
	u rastresitom stanju	$\rho_{s(n)}$	$\frac{m_r}{V_g}$	g/cm ³	

Tablica 1.1.2. – SITNI AGREGAT

SVOJSTVO		SITNI AGREGAT		
		Formula	Jedinica	Rezultat
Gustoća	ρ	$\frac{m_d \cdot \rho_w}{m_{Bw} - m + m_d}$	g/cm ³	
Volumna gustoća	suhog materijala	$\rho_{z(d)}$	$\frac{m_d \cdot \rho_w}{m_{Bw} - m + m_z}$	g/cm ³
	zasićenog površinski suhog materijala	$\rho_{z(zps)}$	$\frac{m_z \cdot \rho_w}{m_{Bw} - m + m_z}$	g/cm ³
Nasipna gustoća	u rastresitom stanju	$\rho_{s(r)}$	$\frac{m_r}{V_g}$	g/cm ³
	u zbijenom stanju	$\rho_{s(n)}$	$\frac{m_n}{V_g}$	g/cm ³

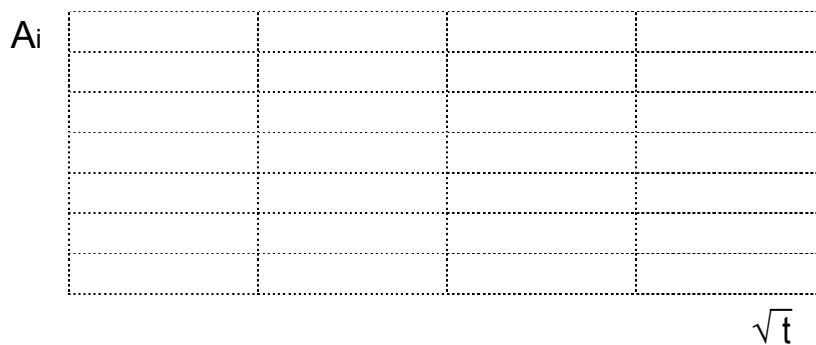
Tablica 1.1.3.

SVOJSTVO		FORMULE	MATERIJAL	
			Krupni agregat	Sitni agregat
Apsorbirana voda A_w	(% mase)	$\frac{m_z - m_d}{m_d} \cdot 100$		
	(% volumena)	$\frac{(m_z - m_d) \cdot \rho}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$		
Površinska vlažnost A_s	(% mase)	$\frac{m_{wv} - m_z}{m_d} \cdot 100$		
	(% volumena)	$\frac{(m_{wv} - m_z) \cdot \rho}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$		
Vlažnost W	(% mase)	$\frac{m_{wv} - m_d}{m_d} \cdot 100$		
	(% volumena)	$\frac{(m_{wv} - m_d) \cdot \rho}{m_d \cdot \rho_w} \cdot 100$		

Tablica 1.1.4.

SVOJSTVO			MATERIJAL	
			Monolitni beton (betonska kocka)	Prešani beton (betonski opločnik)
Masa suhog uzorka	m_0	kg		
Masa nakon 15 min. upijanja vode	m_{15}	kg		
Masa nakon 30 min. upijanja vode	m_{30}	kg		
Masa nakon 45 min. upijanja vode	m_{45}	kg		
Površina uronjena u vodu	A	m ²		
Koeficijent vodoupojnosti (w_{15}) nakon 15 min.	$\frac{m_{15} - m_0}{A \cdot \sqrt{t}}$	kg/m ² s ^{0,5}		
Koeficijent vodoupojnosti (w_{30}) nakon 30 min.	$\frac{m_{30} - m_0}{A \cdot \sqrt{t}}$	kg/m ² s ^{0,5}		
Koeficijent vodoupojnosti (w_{45}) nakon 45 min.	$\frac{m_{45} - m_0}{A \cdot \sqrt{t}}$	kg/m ² s ^{0,5}		
Upijena voda nakon 15 min. (A_{15})	$\frac{m_{15} - m_0}{A}$	kg/m ²		
Upijena voda nakon 30 min. (A_{30})	$\frac{m_{30} - m_0}{A}$	kg/m ²		
Upijena voda nakon 45 min. (A_{45})	$\frac{m_{45} - m_0}{A}$	kg/m ²		

Dijagram 1.1.1.



Tablica 1.1.5.

SVOJSTVO	FORMULA		MATERIJAL	
			Krupni agregat	Sitni agregat
Poroznost p	$\frac{\rho - \rho_{z(d)}}{\rho} \cdot 100$	(% volumena)		

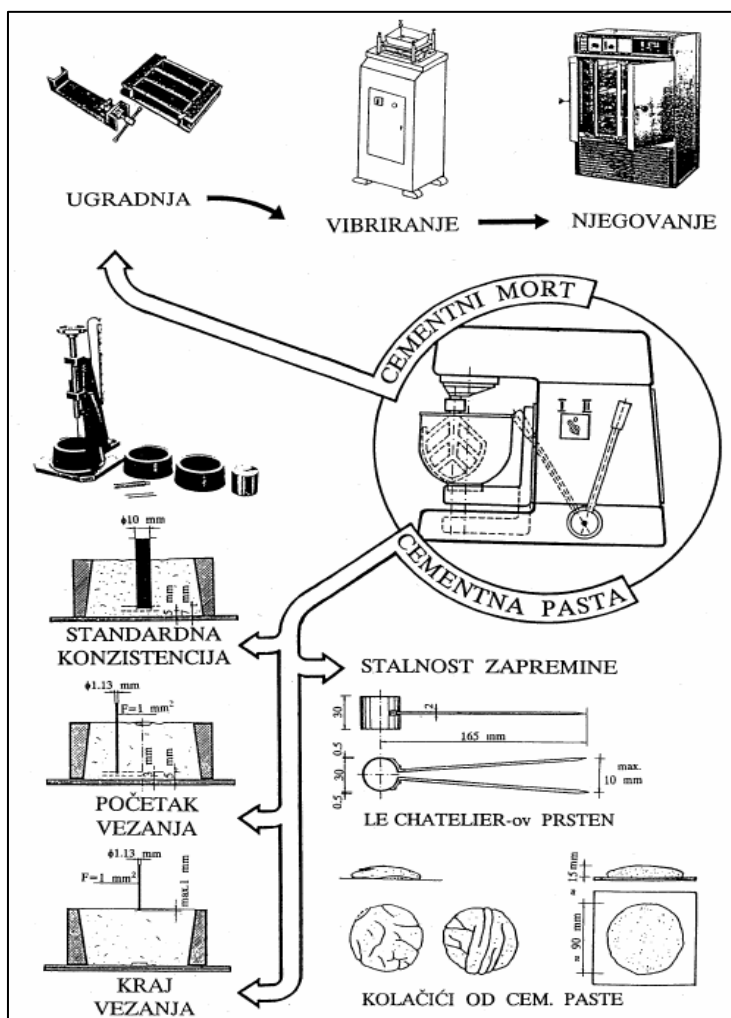
1.2 CEMENT

Materijali potrebni za vježbu:

- cement 3kg
- 1l vode sobne temperature
- 1l hladne vode
- 1l vruće vode
- 300 cm³ terpentina

Oprema potrebna za vježbu:

- miješalica za mort
- Vicatov aparat
- nož za poravnavanje cementne paste
- termometar
- 2 menzure 250 ml
- vaga točnosti 0,5g
- lopatica za cement
- posuda za vaganje cementa
- štoperica
- žlica za cementnu pastu
- staklena pločica 120 mm x 120 mm x 3 mm
- Le Chatelierova tikvica za određivanje gustoće



Postupak ispitivanja

1.2.1 STANDARDNA KONZISTENCIJA (HRN EN 196-3)

Odvagnuti 500g cementa i odmjeriti u menzuri pretpostavljenu količinu vode potrebnu za standardnu konzistenciju. Najprije se uzme 135 ml vode što odgovara srednjoj vrijednosti standardnih konzistencija za razne vrste cementa (23-32%). U posudu miješalice stavi se najprije 135 ml vode, a zatim 500g cementa. Posuda se podigne, uključi se miješalica na 1. brzinu i pustimo da radi 90 sekundi, zatim prebacimo u 2. brzinu i pustimo daljnjih 90 sekundi da radi nakon čega ju zaustavimo. Ukupni rad miješalice je 180 sekundi. Posuda se spusti i s dobivenom cementnom pastom se odmah puni konusni prsten koji je prethodno namazan uljem i postavljen na staklenu pločicu. Po potrebi se lagano protrese i gornja površina se zaravna nožem. Sonda s valjkom na Vicatovom aparatu se postavi u centar prstena na površinu paste i zakoči se s vijkom. Nakon toga se otpust vijak kako bi valjak mogao slobodno, vlastitom težinom, mogao prodrijeti u pastu. Položaj kazaljke na skali se očita nakon 30 sekundi. Ukoliko se valjak zaustavi na 5 mm do 7 mm iznad staklene podloge, pasta ima standardnu konzistenciju. Radna grupa će zamiješati još dvije nove cementne paste s više ili manje vode tako da se postotak za standardnu konzistenciju može interpolirati.

Po završetku pokusa s izmjerenim podacima potrebno je nacrtati krivulju u [Dijagram 1.2.1.](#) i grafički odrediti količinu vode potrebnu za standardnu konzistenciju. Standardnu konzistenciju treba izraziti u postotcima od težine suhog cementa.

1.2.2 UTJECAJ TEMPERATURE NA KONZISTENCIJU

Pripremi se cementna pasta s količinom vode koja je potrebna za postizanje standardne konzistencije, ali s različitim temperaturama vode (hladna i vruća voda). Proučava se razlika u konzistenciji ovisno o promjeni temperature cementne paste. Temperaturu cementne paste treba izračunati prema teorijskom izrazu (auditorne vježbe!), te se dobiveni rezultat uspoređuje s izmjerenim podacima. Nakon što je smjesa pripravljena treba odrediti dubinu prodiranja valjka na Vicatovom aparatu.

Rezultati ispitivanja se unose u [Tablicu 1.2.1.](#)

1.2.3 ODREĐIVANJE GUSTOĆE CEMENTA (HRN EN 196-6, ASTM 188-16)

Gustoća cementa se određuje pomoću standardne Le Chatelierove tikvice. Grlo tikvice je u donjem dijelu graduirano od 0 cm³ do 1 cm³, a u gornjem dijelu od 18 cm³ do 24 cm³. Između ova dva dijela nalazi se zadebljanje od 17 cm³. Tikvica se napuni terpentinom temperature oko 20°C do nivoa između 0 i 1 na donjem dijelu grla. Nivo se zabilježi. Nakon toga se u tikvicu ubaci točno odvagana količina cementa. Količina materijala ovisi o očekivanoj gustoći. Za cement čija je gustoća između 2,9 g/cm³ i 3,15 g/cm³ odvaži se 65 grama. Pri tome treba paziti da se materijal ne hvata na stjenke tikvice iznad konačnog nivoa tekućine. Boca se začepi i rotira kako bi izašli mjehurići zraka iz ispitivanog uzorka, odnosno da bi tekućina ispunila sav prostor između čestica cementnog praha. Konačni nivo tekućine (terpentina) će biti na gornjem graduiranom dijelu grla tikvice, te ga nakon rotiranja očitamo. Razlika tekućine prije i nakon ubacivanja uzorka cementa u tikvicu predstavlja volumen ispitivanog uzorka.

Gustoća se izračuna dijeljenjem mase uzorka cementa s očitanim volumenom i unosi se u [Tablicu 1.2.2.](#)

1.2.4 ISPITIVANJE FINOĆE MLIVA CEMENTA (HRN EN 196-6)

Finije mljeveni cementi daju veće čvrstoće, brže očvršćavaju, razvijaju više topline prilikom vezanja, više su skloni promjeni obujma, osjetljivi su na promjenu dodatka vode i na agresivne tvari.

Oprema potrebna za vježbu:

1. Sito otvora 0,09 mm
2. Blaine-ov aparat
3. Uređaj za prosijavanje air-jet metodom

Finoća mliva cementa može se ispitivati:

- metodom prosijavanja kroz sito otvora 0,09 mm (METODA 1),
- mjerenjem specifične površine (S) po Blaine-u (METODA 2) ili
- prosijavanjem air-jet metodom (METODA 3)

1.2.4.1 METODA PROSIJAVANJA

Finoća mljevenja metodom prosijavanja određuje se ručnim ili mehaničkim prosijavanjem uzorka cementa kroz sito veličine otvora 0,09 mm. Odvaže se 10 g cementa i prosijava dvije minute, odnosno dok kroz sito više ne prolazi fini materijal. Ostatak na situ se izvaži i njegova masa izrazi kao maseni postotak R_1 .

$$R_1 = \frac{m_0}{m} \cdot 100(\text{mas}\%)$$

gdje je: m_0 - masa ostatka cementa na situ

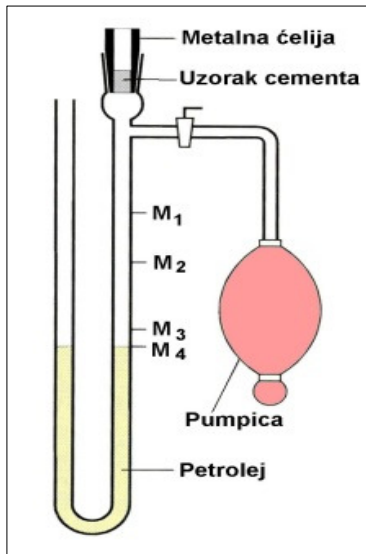
m - početna masa uzorka cementa (10 g).

Cijeli postupak se ponovi s novim uzorkom od 10 g da bi se dobila vrijednost R_2 . Ostatak cementa R nakon prosijavanja dobije se kao prosjek R_1 i R_2 . Ako se dobiveni rezultat razlikuje za više od 1% izvrši se treće prosijavanje i izračuna prosjek triju vrijednosti.

Rezultati ispitivanja se unose u [Tablicu 1.2.3.](#)

1.2.4.2 METODA PROPUSNOSTI ZRAKA (BLAINE-OVA METODA)

Finoća cementa određuje se kao specifična ploština promatranjem vremena potrebnog da određeni obujam zraka prođe kroz zbijeni cementni sloj specificiranih dimenzija i poroznosti. Ispitivanje se izvodi u Blaineovom aparatu mjerenjem propusnosti zraka kroz cementni uzorak mase 2,7 g koji je zbijen po propisanom postupku metalnim klipom, u metalnom cilindru koji na donjem dijelu ima izbušenu metalnu pločicu prekrivenu filter papirom. Vrh cilindra zatvori se originalnim čepom, a pomoću gumene pumpice pri otvorenoj dvokrakoj slavini isiše se zrak iz desnog kraka cjevčice tako da se tekućina popne do oznake M_1 i zatim se slavina zatvori. Nakon uklanjanja čepa s vrha cilindra zbog djelovanja stupca tekućine u desnom kraku, vanjski zrak počinje strujati kroz uzorak. Kada se razina tekućine spusti do oznake M_2 pokrene se zaporni sat i mjeri se vrijeme padanja tekućine od M_2 do M_3 , čime je određena brzina strujanja zraka kroz uzorak.



Blaine-ov aparat - shematski prikaz



Blaine-ov aparat

Na temelju izmjerenih podataka izračunava se specifična ploština cementa po formuli:

$$S = \frac{\rho_0}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t_0}} \cdot S_0 (\text{cm}^2 \text{g}^{-1})$$

gdje je:

- S - specifična ploština uzorka cementa
- S_0 - specifična ploština referentnog uzorka cementa
- ρ - gustoća uzorka cementa
- ρ_0 - gustoća referentnog uzorka cementa
- t - mjereno vrijeme cementa koji se ispituje
- t_0 - prosjek triju vremena mjerenih na referentnom uzorku cementa

Što je cement finiji manja je brzina strujanja zraka kroz uzorak i veća specifična ploština, koja se izražava kao ploština svih zrnaca uzorka cementa (cm^2) mase 1 grama. Specifična ploština cementa treba biti veća od $2400 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$.

Uz stalan kemijski i mineraloški sastav klinkera čvrstoća cementa zavisi osim o specifičnoj ploštini i o raspodjeli veličine čestica. Mnogobrojni pokusi i teorijska razmatranja doveli su do zaključka da je za proizvodnju cementa s najboljim razvojem čvrstoća bitno da cement sadrži što veći broj čestica između 3 i 30μ , jer je to frakcija koja određuje kakvoću (QCF-quality control fraction). Najsitnije čestice manje od 3μ hidratiziraju prebrzo čak prije pripreme betona, a obično su siromašne mineralima klinkera i ne pridonose očvršćivanju. Krupnije čestice veće od 30μ hidratiziraju za vrijeme očvršćivanja, ali samo na površini. Za proizvodnju cementa najvišeg razreda potrebno je da udio čestica od 3 do 30μ bude najmanje 70% .

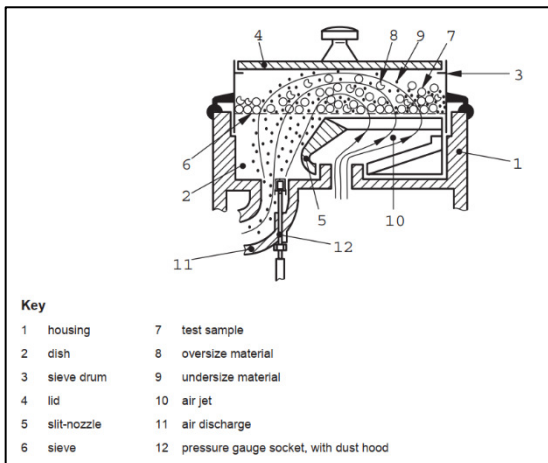
Rezultati ispitivanja se unose u [Tablicu 1.2.4.](#)

1.2.4.3 METODA PROSIJAVANJA U STRUJI ZRAKA (AIR-JET METODA)

Prosijavanje u struji zraka (prosijavanje air-jet metodom) se može koristiti za određivanje granulometrijskog sastava finih čestica. Ova metoda uobičajeno koristi ispitna sita promjera otvora 0,063 mm i 0,090 mm. Air-jet uređaj treba biti u mogućnosti ostvariti tlak u iznosu od 2 – 2,5 kPa preko površine sita. Ispitna sita trebaju biti promjera 200 mm.



Uređaj za prosijavanje u struji zraka



Uređaj za prosijavanje u struji zraka – shematski prikaz

Opis postupka:

- Prije ispitivanja, ukoliko je potrebno, osušiti uzorak do stalne mase
- Izvagati uzorak cementa na točnost od 0,01 g
- Postaviti uzorak u air-jet uređaj i uključiti uređaj
- Nakon 5±0,2 minute, isključiti uređaj i pažljivo ukloniti sito
- Cement koji nije prošao kroz sito pažljivo premjestiti u posudu ili plastičnu čašu
- Pažljivo očistiti sito sa mekanom četkom
- Utvrditi masu ostatka cementa na situ s točnošću od 0,01 g (oznaka „R1“)
- Ponoviti postupak te utvrditi masu ostatka cementa na situ s točnošću od 0,01 g (oznaka „R2“)
- Nakon ponovljenog postupka i utvrđenih vrijednosti ostataka cementa na situ (R1 i R2) izraziti vrijednost R kao srednju vrijednost dva mjerenja → $R = (R1+R2)/2$
- Izraziti masu ostatka cementa na situ kao postotak od ukupne mase cementa korištene u postupku ispitivanja pomoću jednadžbe:

$$m(P_{0.090}) = \frac{R}{m} \times 100$$

Gdje je:

m – masa cementa izražena u gramima (g)

R – masa ostatka cementa na situ izražena u gramima (g)

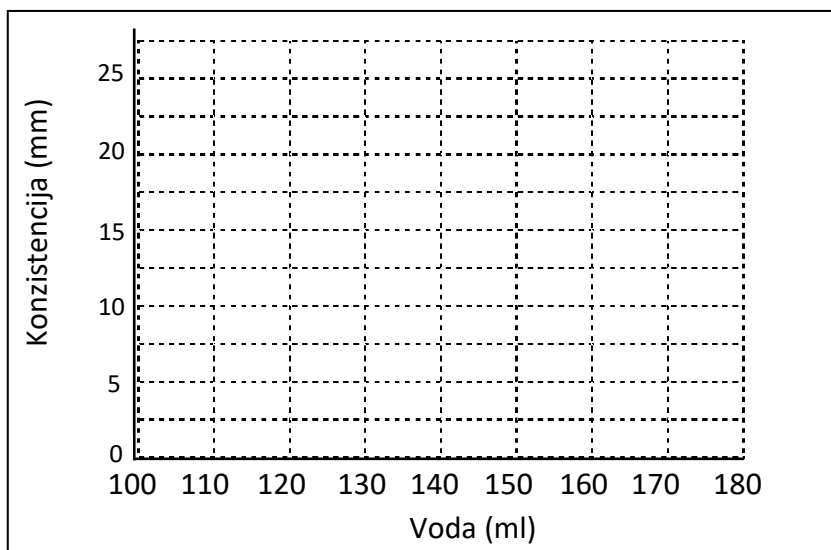
Rezultati ispitivanja se unose u [Tablicu 1.2.5.](#)

1.2.5 TABLICE

Tablica 1.2.1. Standardna konzistencija, utjecaj temperature na konzistenciju

CEMENT		VODA		CEMENTNA PASTA		
Masa	Temperatura	Volumen	Temperatura	Temperatura	Konzistencija	
(g)	(°C)	(ml)	(°C)	(°C)	mm	%

Dijagram 1.2.1.



Tablica 1.2.2. Gustoća cementa

Nivo tekućine	prije dodavanja cementa	V_1	cm^3	
	nakon dodavanja cementa	V_2	cm^3	
Cement	masa	m_c	g	
	volumen	$V_c = V_2 - V_1$	cm^3	
Gustoća		$\rho_c = \frac{m_c}{V_c}$	g/ cm³	

Tablica 1.2.3. Rezultati prosijavanja cementa metodom prosijavanja

Uzorak	m_o (g)	m (g)	R_i (%)	R_{prosijek} (%)
1				
2				

Tablica 1.2.4. Rezultati prosijavanja cementa metodom propusnosti zraka

gustoća uzorka cementa	ρ (g/cm ²)	
gustoća referentnog uzorka cementa	ρ_0 (g/cm ²)	3,252
mjereno vrijeme cementa koji se ispituje	t (s)	
prosijek triju vremena mjerenih na referentnom uzorku cementa	t_0 (s)	52,7
specifična ploština referentnog uzorka cementa	S_0 (cm ² g ⁻¹)	3818
specifična ploština uzorka cementa	S (cm ² g ⁻¹)	

Tablica 1.2.5. Rezultati prosijavanja cementa u struji zraka

Uzorak	m_o (g)	$m_{0,090}$ (g)	R_{prosijek} (%)
1			
2			
Uzorak	m_o (g)	$m_{0,063}$ (g)	R_{prosijek} (%)
1			
2			



2 LABORATORIJSKA VJEŽBA

2.1 AGREGAT

Materijali potrebni za vježbu:

- frakcije agregata:
 - 0-4 mm
 - 4-8 mm
 - 8-16 mm
 - 16-32 mm
- sastavljen krupni agregat (4-32 mm)
- pijesak (0-4 mm)

Oprema potrebna za vježbu:

- garnitura sita $\Phi 30$ cm
- vaga točnosti 0,1 g
- garnitura sita za određivanje udjela glinovitih i prašinih čestica
- pomično mjerilo
- sušionik
- plinski plamenik
- zdjele, žlice, krpe

2.1.1 GRANULOMETRIJSKI SASTAV (HRN EN 933-1, 933-2)

Ispitivanje granulometrijskog sastava provodi se na četiri frakcije, posebno za svaki uzorak dobiven četvrtanjem. Četvrtanje se izvodi na frakcijama: 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm i 16-32 mm. Odabere se odgovarajući niz sita za svaku frakciju i poreda po veličini: gore s najvećim, a dolje s najmanjim otvorima. Prosijavanje na svakom situ traje najmanje 120 sekundi. Po završetku sijanja važu se ostatci na sitima i unesu u [Tablice 2.1.1. do 2.1.4.](#) Izmjerene mase ostataka očitavaju se s točnošću do 1 g, a postotci se zaokružuju na cijeli broj. Gubitak materijala za vrijeme sijanja ne smije biti veći od 1% mase uzorka. Rezultati prosijavanja se prikazuju tabelarno u [Tablici 2.1.5.](#) i grafički u [Dijagramu 2.1.1.](#), tako da se izražavaju u postotcima mase kao zbroj količina koje su prošle kroz odgovarajuće sito. Zatim se izračunaju udjeli pojedinih frakcija agregata za jednu od optimalnih (ciljanih) krivulja prema dolje navedenim formulama i vrijednosti se upisuju u [Tablicu 2.1.5.](#)

$$A = 50 \left(\frac{d}{d_m} + \sqrt{\frac{d}{d_m}} \right) \%$$

EMPA
KRIVULJA

$$B = 100 \sqrt{\frac{d}{d_m}} \%$$

FULLEROVA
KRIVULJA

$$C = 100 \left(\frac{d}{d_m} \right)^{0,4} \%$$

KRIVULJA ZA
MASIVNI BETON



d - otvor svakog pojedinačnog sita (mm)
 d_m - najveće zrno agregata (mm)

Nakon toga se proračuna kumulativni granulometrijski sastav agregata za dobivene udjele frakcija te se u [Dijagram 2.1.1.](#) ucrtaju sumarna i optimalna krivulja. Proračun kumulativnog granulometrijskog sastava unosimo u [Tablicu 2.1.6.](#)

Tablica 2.1.1. Rezultati prosijavanja agregata za frakciju 0-4 mm

$M_0 =$ _____

FRAKCIJA 0-4 mm			
SITO	OSTATAK NA SITU	PROLAZ KROZ SITO	
(mm)	(g)	(g)	(%)
63			
31,5			
16			
8			
4			
2			
1			
0,5			
0,25			
0,125			
Dno			
suma			

Tablica 2.1.2. Rezultati prosijavanja agregata frakciju 4-8 mm

$M_0 =$ _____

FRAKCIJA 4-8 mm			
SITO	OSTATAK NA SITU	PROLAZ KROZ SITO	
(mm)	(g)	(g)	(%)
63			
31,5			
16			
8			
4			
2			
1			
0,5			
0,25			
0,125			
Dno			
suma			

Tablica 2.1.3. Rezultati prosijavanja agregata za frakciju 8-16 mm

$M_0 =$ _____

FRAKCIJA 8-16 mm			
SITO	OSTATAK NA SITU	PROLAZ KROZ SITO	
(mm)	(g)	(g)	(%)
63			
31,5			
16			
8			
4			
2			
1			
0,5			
0,25			
0,125			
Dno			
suma			

Tablica 2.1.4. Rezultati prosijavanja agregata za frakciju 16-32 mm

$M_0 =$ _____

FRAKCIJA 16-32 mm			
SITO	OSTATAK NA SITU	PROLAZ KROZ SITO	
(mm)	(g)	(g)	(%)
63			
31,5			
16			
8			
4			
2			
1			
0,5			
0,25			
0,125			
Dno			
suma			

Tablica 2.1.5. Numerički granulometrijski sastav agregata

Frakcija (mm)	Prolaz kroz sito	Sito (mm)									
		0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00	31,50	63,00
0-4	%										
4-8	%										
8-16	%										
16-32	%										
ZADANI KUMULATIVNI SASTAV (optimalna granulometrijska krivulja)											
Krivulja *	%										

*upisati oznaku (A, B ili C) odabrane optimalne krivulje!

Sustav jednačbi:

Rješenja jednačbi:

$$X_1 = \underline{\hspace{2cm}} (\%)$$

$$X_2 = \underline{\hspace{2cm}} (\%)$$

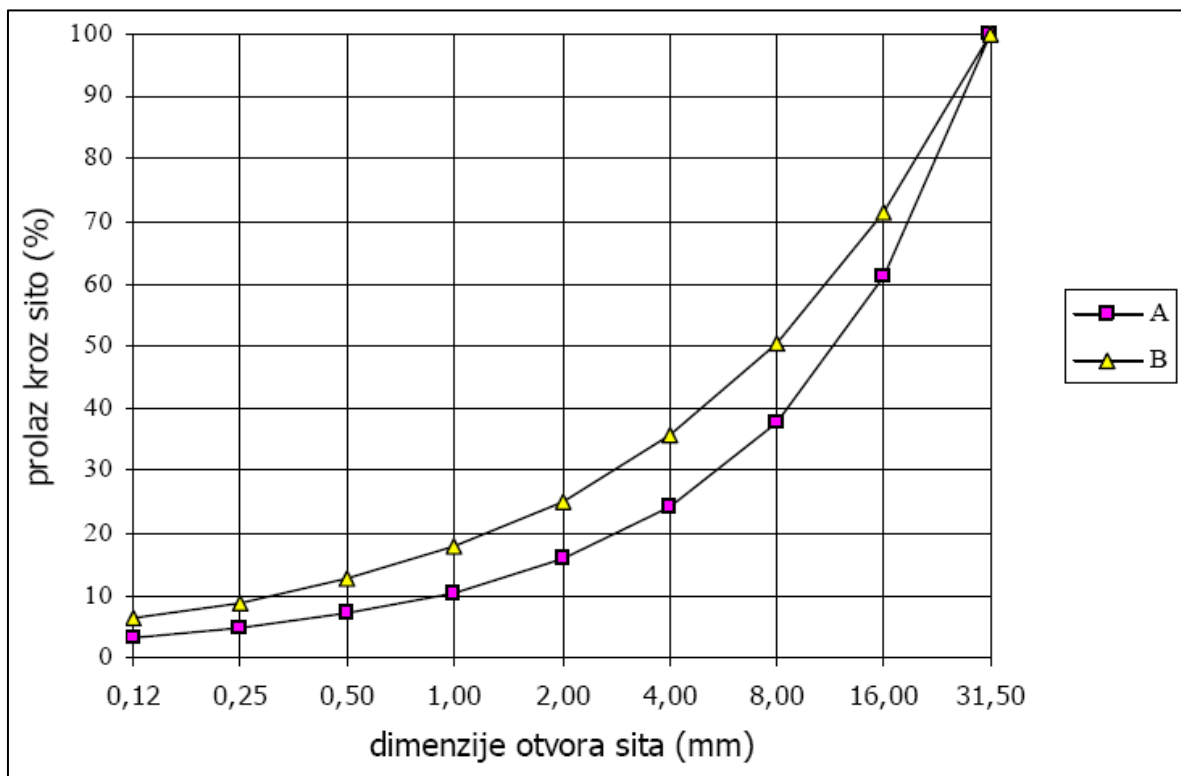
$$X_3 = \underline{\hspace{2cm}} (\%)$$

$$X_4 = \underline{\hspace{2cm}} (\%)$$

Tablica 2.1.6. Kumulativni granulometrijski sastav agregata

Frakcija (mm)	Prolaz kroz sito (%) [*]	Sito (mm)									
		0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00	31,50	63,00
0-4											
4-8											
8-16											
16-32											
Suma											

*unosimo vrijednosti računski dobivenih vrijednosti prolaza kroz sito X_1, \dots, X_4



Dijagram 2.1.1. Grafički prikaz prosijavanja agregata

2.1.2 ISPITIVANJE OBLIKA ZRNA AGREGATA (HRN EN 933-4)

Oblik zrna krupnog agregata (SI) zadaje se prema HRN EN 12620 razredom indeksa oblika ispitano prema HRN EN 933-4. Oblik zrna agregata ocjenjuje se obzirom na omjer duljine zrna, L i debljine zrna agregata, E izmjerene pomičnim mjerilom. Indeks oblika računa se tako da se izmjeri masa zrna agregata (M_2) čiji je omjer $L/E > 3$ te se izrazi u postotku ukupne mase (M_1) ispitanih zrna.

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 (\%)$$

M_2 - masa zrna agregata čiji je omjer $L/E > 3$ (g)

M_1 - ukupna masa ispitanih zrna (g)

L – duljina agregata (mm)

E – debljina agregata (mm)

Rezultati ispitivanja upisuju se u [Tablicu 2.1.7.](#), a indeks oblika zrna agregata u [Tablicu 2.1.8.](#)

Tablica 2.1.7. Ispitivanje oblika zrna prema nHRN EN 933-4

n	L (mm)	E (mm)	L/E	Masa zrna (g)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				

Tablica 2.1.8. Indeks oblika zrna

M₁ (g) (ukupna masa svih izmjerenih zrna agregata)	
M₂ (g) (ukupna masa svih izmjerenih zrna agregata kojima je omjer) L/E>3	
SI (indeks oblika zrna agregata)	

Tablica 2.1.9. Namjena betona s obzirom na indeks oblika zrna agregata

Razred SI	Indeks oblika SI	Namjena
SI40	≤40	Betoni do uključivo klase C 12/15
SI20	≤40	Ostali betoni

2.1.3 ODREĐIVANJE PRAŠINASTIH I GLINOVITIH ČESTICA U AGREGATU

2.1.3.1 METODA MOKRIM SIJANJEM

Ispitivanje se provodi na pijesku 0-4 mm i sastavljenom krupnom agregatu 4-32 mm. Ispitivanjem se određuje postotak prašinih i glinovitih čestica u agregatu mokrim sijananjem kroz sito 0,063 mm. Osušeni uzorak se izvaže i stavi u posudu, a zatim se prelije vodom. Agregat se snažno promiješa, tako da vrlo fine čestice dođu u stanje suspenzije. Suspenzija se odlijeva preko sita 0,063 mm, koje se nalazi pod zaštitom sita 1 mm. Postupak se ponavlja sve dok voda ne postane bistra. Sav materijal koji se zadržao na sitima osuši se zajedno s opranim agregatom na temperaturi 100 °C – 110 °C i izvaže. Na ovim vježbama se zbog uštede vremena uzorak suši ubrzano na plinu. Postotak čestica koje prolaze kroz sito 0,063 mm, izračuna se prema izrazu:

$$p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 (\%)$$

gdje je:

m_1 – masa suhog uzorka prije ispitivanja (g)

m_2 – masa uzorka nakon mokrog sijanjanja i sušenja (g)

Postotak se zaokružuje na jednu decimalu, a rezultati se upisuju u [Tablicu 2.1.10](#).

Tablica 2.1.10. Udio prašinih i glinovitih čestica u agregatu metodom mokrog sijanjanja

	Pijesak (0-4 mm)	Krupni agregat (4-32 mm)
m_1 (g)		
m_2 (g)		
p (%)		

2.1.3.2 METODA TALOŽENJA (samo za frakciju 0-4 mm)

U staklenu menzuru od 1 litre, usipa se do polovice visine pijesak i zatim još toliko vode. Dlanom se zatvori menzura i snažno protrese. Nakon toga se menzura odloži na ravnu plohu da se taloži 1 sat. Krupna zrna ostaju na dnu, a muljeviti sastojci se lagano talože. Nakon taloženja se nad pijeskom jasno raspoznaje sloj mulja. Izmjere se slojevi istaloženog pijeska i mulja, te se na osnovi njihovih omjera izračuna približna muljevitost, [Tablica 2.1.11](#).

$$p = \frac{V_m}{V_p + V_m} \cdot 100 (\%)$$

V_p – volumen uzorka pijeska (cm³)

V_m – volumen uzorka mulja (cm³)

Tablica 2.1.11. Udio prašinih i glinovitih čestica u agregatu metodom taloženja

V_p (cm ³)	
V_m (cm ³)	
p (%)	

2.2 OBIČNI BETON - SVJEŽI BETON

Materijali potrebni za vježbu:

- cement
- agregat frakcije:
 - 0-4 mm
 - 4-8 mm
 - 8-16 mm

Oprema potrebna za vježbu:

- miješalica za beton
- vaga točnosti 0,5 g
- vaga s mjernim područjem do 50 kg \pm 0,05 kg
- vibrostol
- porometar
- posude za vaganje
- zidarska žlica
- konus od pocinčanog lima za mjerenje konzistencije betona slijeganjem
- čelična šipka
- čelično ravnalo
- metar
- potresna ploča
- konus od pocinčanog lima za mjerenje konzistencije betona rasprostiranjem
- drveni bat za zbijanje betona
- kalupi za betonske kocke brida $a=150$ mm
- kalupi za betonske valjke $d/h=150/300$ mm
- kalupi za betonske prizme dimenzija 100×100×400 mm

2.2.1 PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONSKE MJEŠAVINE

Studenti će zamiješati betonsku mješavinu na kojoj će ispitati, konzistenciju slijeganjem i rasprostiranjem. Za mješavinu treba proračunati potrebne količine komponenti te napraviti korekciju mase agregata i vode za zadane vrijednosti apsorpcije i vlažnosti agregata. Nakon provedenih ispitivanja, beton treba ugraditi u kalupe (kocke/valjke/prizme) za ispitivanja predviđena za **4. i 5. LABORATORIJSKU VJEŽBU**.

Tablica 2.2.1. Sastav mješavine betona

Komponenta	Masa (kg)	Gustoća (kg/dm ³)	Volumen (dm ³)	Masa za 30 L (kg)
Cement				
Voda				
v/c				
Zrak				
Dodatak				
Agregat				
Ukupno				

Tablica 2.2.2. Korekcija mase agregata i vode

Frakcija	m _{ZPS}		Korekcija				Korigirana masa za 30 L (kg)
			Apsorpcija		Vlažnost		
	%	kg	%	kg	%	kg	
0-4							
4-8							
8-16							
Ukupno							
Voda							

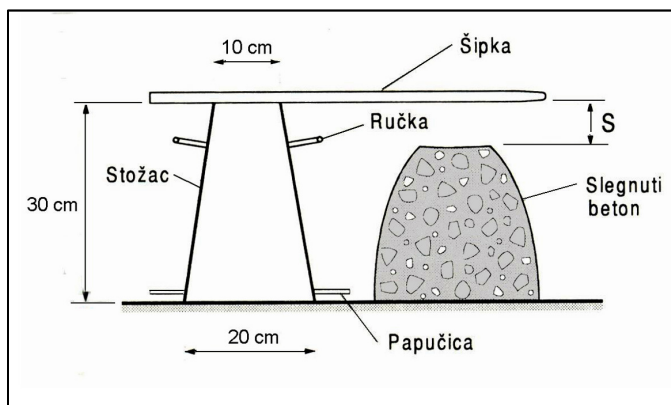
2.2.2 ISPITIVANJE OBIČNOG BETONA U SVJEŽEM STANJU

2.2.2.1 ISPITIVANJE GUSTOĆE SVJEŽEG BETONA (HRN EN 12350-6)

Gustoća svježeg betona određuje se tako da se posuda poznatog volumena napuni svježim betonom te se izvaže. Razlika između mase posude napunjene betonom i prazne posude je masa betona. Omjer mase betona i volumena posude je gustoća svježeg betona. Rezultate ispitivanja upisujemo u **Tablicu 2.2.5**.

2.2.2.2 KONZISTENCIJA BETONA SLIJEGANJEM (HRN EN 12350-2)

Konzistencija slijeganjem se ispituje tako da se kalup u obliku krnjeg stošca visine 30 cm puni betonom u tri nivoa (na svakom nivou se beton zbija čeličnom šipkom 25 puta) te se nakon podizanja kalupa mjeri slijeganje betona od njegove početne visine. Zbijanje šipkom treba biti jednoliko po cijelom presjeku. Prilikom zbijanja drugog i trećeg sloja, šipka ne treba prodirati u donji, već zbijeni sloj betona. Prije podizanja kalupa treba očistiti podlogu oko kalupa od suvišnog betona. Od početka punjenja kalupa do njegova podizanja ne smije proći više od 150 sekundi. Rezultate ispitivanja upisujemo u **Tablicu 2.2.5**.



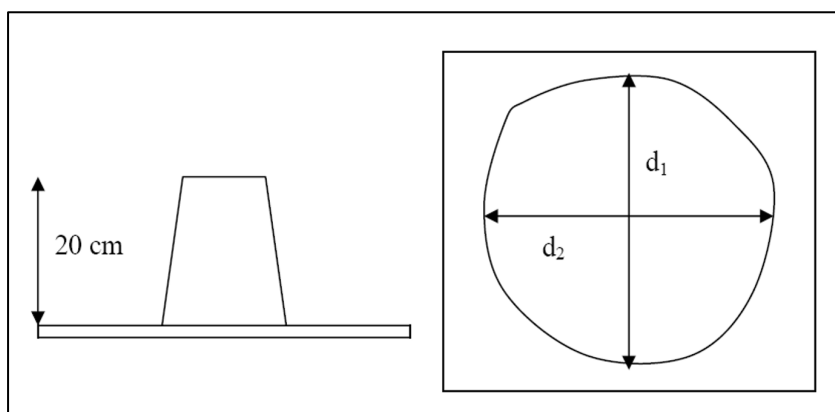
Ispitivanje konzistencije slijeganjem

Tablica 2.2.3. Razredi slijeganja svježeg betona

Razred	Slijeganje (mm)	Dopuštena odstupanja (mm)
S1	Od 10 do 40	±10
S2	Od 50 do 90	±20
S3	Od 100 do 150	±30
S4	Od 160 do 210	±30
S5	> 220	-

2.2.2.3 KONZISTENCIJA BETONA RASPROSTIRANJEM (HRN EN 12350-5)

Konzistencija rasprostiranjem se ispituje tako da se kalup oblika krnjeg stošca visine 20 cm puni betonom u 2 nivoa. Svaki nivo se zbijati batom 10 puta. Ako je potrebno, gornji se sloj nakon zbijanja dopuni betonom. Nakon 30 sekundi se kalup podiže vertikalno prema gore. Nakon odstranjivanja kalupa gornja ploča na kojoj je uzorak slobodno pada na donji graničnik s visine od 40 mm. Postupak se ponavlja s ukupno 15 padanja, tako da svaki ciklus ponavljanja ne traje kraće od 2 s i dulje od 5 s. Ravnalom se izmjeri najveća dimenzija betona koji se raširio u dva smjera d_1 i d_2 . Rezultate ispitivanja upisujemo u [Tablicu 2.2.5](#).



Ispitivanje konzistencije rasprostiranjem

Tablica 2.2.4. Razredi konzistencije svježeg betona prema utvrđenom rasprostiranju

Razred	Promjer rasprostiranja (mm)	Dozvoljena odstupanja (mm)
T1	< 340	± 30 za sve vrijednosti
T2	350 do 410	
T3	420 do 480	
T4	490 do 550	
T5	560 do 620	
T6	> 630	

2.2.2.4 TABLICE I REZULTATI ISPITIVANJA

Tablica 2.2.5. Rezultati ispitivanja svojstava svježeg betona

Podatci o betonu	cement (kg/m ³)		
	v/c		
Konzistencija	slijeganje (mm)		
	rasprostiranje (mm)	d ₁	
		d ₂	
		T	
Gustoća	kg/dm ³		

$$T = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ (mm)}$$



3 LABORATORIJSKA VJEŽBA

3.1 SAMOZBIJAJUĆI BETON – SVJEŽI BETON

Materijali potrebni za vježbu:

- cement
- agregat frakcije:
 - 0-4 mm
 - 4-8 mm
 - 8-16 mm
- voda
- kemijski dodatci
- punilo (eng. filler)

Oprema potrebna za vježbu:

- miješalica za beton
- vaga točnosti 0,5 g
- vaga s mjernim područjem do 50 kg ± 0,05 kg
- porometar
- posude za vaganje
- zidarska žlica
- konus od pocinčanog lima za mjerenje konzistencije betona rasprostranjem
- čelična šipka
- čelično ravnalo
- metar
- kalupi za valjke, kocke i prizme
- J-prsten
- L-kutija
- pocinčana ploča minimalnih dimenzija 90×90 cm
- sito otvora 5 mm

3.1.1 PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONSKE MJEŠAVINE

Osnovne karakteristike samozbijajućeg betona:

- eng. self-compacting concrete (SCC)
- vrsta betona koji tečenjem u potpunosti popunjava oplatu bez upotrebe vibracijskih uređaja.
- Pogodan je za sve primjene koje zahtijevaju vrhunsku izvedbu i završnu obradu
- lagano se ugrađuje i ekonomičan je te nije potrebno dodatno zbijanje betona
- odlična rana čvrstoća
- U usporedbi s običnim betonom → manji udio krupnog agregata, manji v/c omjer, povećan je udio cementne paste te je povećan udio superplastifikatora (SP), a prema potrebi može se upotrijebiti i dodatak za promjenu viskoznosti (VMA)
- Sposobnost tečenja i viskoznost postižu se pažljivim odabirom cementa i kemijskih i mineralnih dodataka, uz ograničavanje vodopraškastog omjera w/p (omjera vode i sitnih čestica) te dodavanje SP i eventualno VMA
- Preporučuje se uporaba najvećeg zrna $D_{max}=12-20$ mm

Osnovni zahtjevi u skladu s **Europskim smjernicama za samozbijajući beton:**

- Razred tlačne čvrstoće (HRN EN 206)
- Razred izloženosti (maksimalni v/c omjer, minimalna količina vode)
- Najveća veličina zrna agregata (D_{max})

Dodatni specifični zahtjevi za samozbijajući beton:

- Sposobnost tečenja
- Viskoznost
- Sposobnost zaobilazanja zapreka
- Otpornost segregaciji
- Drugi tehnički zahtjevi

Tablica 3.1. Tipičan raspon vrijednosti komponenata sukladno Europskim smjernicama za samozbijajući beton

Komponenta	Tipičan raspon	
	masa (kg/m ³)	volumen (litara/m ³)
Prah	380-600	
Cementa pasta		300-380
Voda	150-210	150-210
Krupni agregat	750-1000	270-360
sitni agregat (pijesak)	tipično između 48 - 55% volumena ukupnog agregata	
vodopraškasti omjer		0.85 - 1.10

Tablica 3.2. Sastav betonske mješavine samozbijajućeg betona projektiranog prema Europskim smjernicama

SASTAV BETONSKE MJEŠAVINE – SCC-R		Masa		Gustoća	Volumen	Masa za 18 L
		%	(kg)	(kg / dm ³)	(dm ³)	(kg)
Cement	CEM II 32,5 N		450.00	2.72	165.44	
Voda	gradski vodovod		202.50	1.00	202.50	
v/c omjer	0.45					
Dodatak 1	Superplastifikator	1.0%	4.50	1.06	4.25	
Dodatak 2	Dodatak za promjenu viskoznosti	0.2%	0.90	1.00	0.90	
Zrak		1.50			15.00	
Punilo	dolomitno brašno		150.00	2.86	52.45	
Agregat	pijesak riječni 0-2 mm	20%	290.92	2.60	111.89	
	frakcija 0-4 mm - dolomit	35%	552.19	2.82	195.81	
	frakcija 4-8 mm - dolomit	20%	307.71	2.75	111.89	
	frakcija 8-16 mm- dolomit	25%	393.02	2.81	139.87	
		100%			559.47	
UKUPNO			2351.75	2.35	1000	
v/p omjer	0.93					

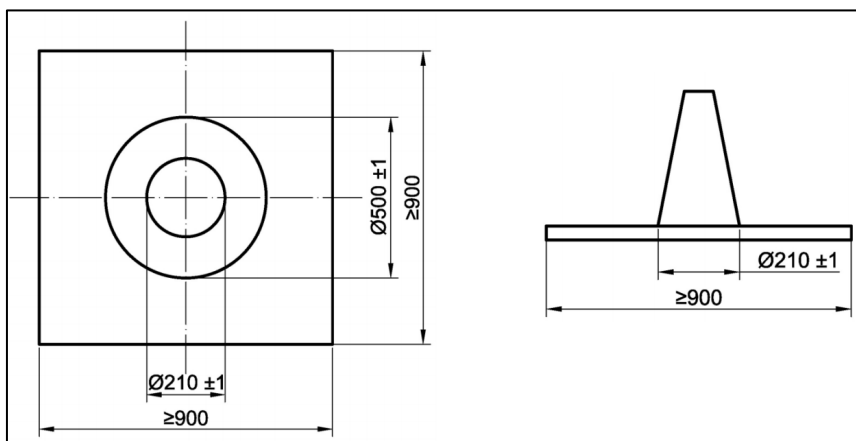
3.1.2 ISPITIVANJE SAMOZBIJAJUĆEG BETONA U SVJEŽEM STANJU

3.1.2.1 RASPROSTIRANJE SLIJEGANJEM (HRN EN 12350-8)

U većini slučajeva koristi se za određivanje tečenja i samozbijanja svježe betonske mješavine. Prilikom izvođenja navedenog testa mjere se dva parametra: veličina rasprostiranja i vrijeme rasprostiranja (T500).

Opis postupka:

Na ravnu ploču dimenzija 90x90 cm, postavlja se kalup od lima u obliku krnjeg stošca. Površina ploče mora biti ravna, glatka i prethodno navlažena mokrom krpom. Centar ploče opisuje kružnica promjera 500 mm koja služi za mjerenje vremena rasprostiranja. Prije punjenja stošca betonskom mješavinom potrebno je navlažiti unutrašnje površine stošca. Kada su se sve površine navlažile stožac se postavlja u centar ploče. Pridržavajući stožac rukama on se puni betonskom mješavinom bez ikakvog nabijanja. Beton se poravnava sa gornjom površinom stošca.



Nakon 30 sekundi, stožac se konstantnom brzinom podigne tako da betonska mješavina isteče. Štopericom se mjeri vrijeme od trenutka podizanja stožca pa sve dok beton rasprostranjem prvi put ne dosegne krug na ploči koji označava promjer od 500 mm (T500). Nakon što se zaustavi rasprostiranje betona izmjeri se promjer uzorka betona u dva okomita smjera te izrazi kao srednja vrijednost dviju izmjerenih vrijednosti (SF).



Tablica 3.3. Razredi rasprostiranja slijeganjem

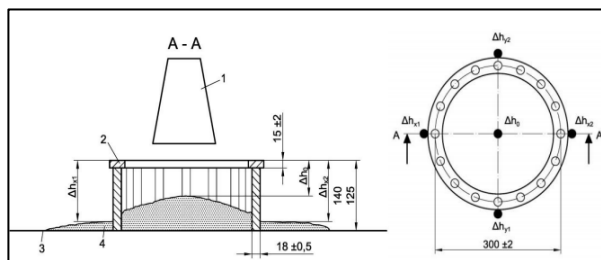
Razred	Tečenje betona (mm)	Primjena
SF1	550-650	Ne armirani i lagano armirani elementi
		Elementi koji nisu veliki dimenzija i ne zahtijevaju veliko tečenje
SF2	660-750	Za većinu radova
SF3	760-800	Elementi sa gustom armaturom, složenih oblika

Tablica 3.4. Razredi viskoznosti

Razred	T500 (s)	Karakteristike
VS1	≤ 2	Prikladno za gusto složenu armaturu, vrlo dobra završna površina betona, ali može doći do izdvajanja vode i segregacije
VS2	> 2	Moguća pojava tiksotropnih efekata (povoljno za smanjenje pritiska na oplatu), poboljšanje otpornosti na segregaciju, ali lošiji izgled površine (šupljine) i veća osjetljivost pri nastavku betoniranja

3.1.2.2 J-PRSTEN (HRN EN 12350-12)

Metodom ispitujemo sposobnost prolaza betona kroz armaturne šipke. Za provođenje postupka potrebna nam je horizontalna ploča koja na sebi ima označen krug od 500 mm, prsten koji simulira armaturne šipke, krnji stožac u koji punimo beton te ravna šipka duljine 400 mm. Nakon što na središte ploče postavimo prsten, navlažimo krnji stožac te ga postavimo unutar prstena i punimo betonskom mješavinom. Nakon nekog vremena (30s) nakon što smo napunili stožac, podižemo stožac i kreće tečenje betona. Postavimo šipku s ravnom stranom J prstena te izmjerimo relevantnu visinsku razliku između donjeg dijela šipke i površine betona u središtu ploče Δh_0 i četiri visinske razlike od gornjeg ruba prstena u okomitim smjerovima Δh_{x1} , Δh_{x2} , Δh_{y1} , Δh_{y2} , što je veća razlika u visini unutar i izvan prstena to je manja sposobnost prolaza betona.



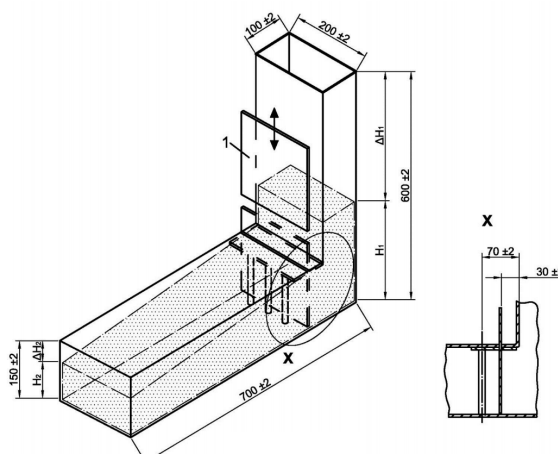
Tablica 3.5. Razredi sposobnosti zaobilaženja prepreke (J-prsten)

$$PJ = \frac{(\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2})}{4} - \Delta h_0$$

Razred	Specifikacije J- prstena
PJ 1	≤ 10 mm (16 šipki)
PJ 2	≤ 10 mm (12 šipki)

3.1.2.3 L-KUTIJA (HRN EN 12350-10)

Metodom se ispituje sposobnost prolaza betona kroz usko postavljene prostore između šipki. Za dobro zaobilaženje prepreka potrebno je da beton ima dovoljan postotak paste i da mu se osigura viskoznost. Prolaz betona definiran je visinom i duljinom koju beton zauzima prilikom tečenja. Kutija za ispitivanje je u obliku slova L po čemu je i ispitivanje dobilo naziv, pravokutnog je presjeka te ima vertikalni i horizontalni dio koji su međusobno odijeljeni pokretnim poklopcem. U horizontalnom dijelu kutije odmah do pokretnog poklopcem nalaze se dvije ili tri šipke koje simuliraju armaturu. Nakon što se betonska mješavina napravi, zatvori se pokretni poklopac te se vertikalni dio kutije puni betonom, nakon 60 sekundi otvori se pokretni poklopac i dopušta se betonu da slobodno teče između šipki armature. Nakon što tečenje prestane mjere se dvije mjerodavne visine H_1 i H_2 kao što je vidljivo na slici 6.6.



Tablica 3.6. Razredi sposobnosti zaobilaženja prepreke (L-kutija)

Razred	Uvjet	Primjena
PA 1	$H2/H1 \geq 0,8$	razmak 80-100 mm
	2 šipke	
PA 2	$H2/H1 \geq 0,8$	razmak 60-80 mm
	3 šipke	

3.1.2.4 OTPORNOST SEGREGACIJI (HRN EN 12350-11)

Pojava segregacije može biti osobito izražena u visokim betonskim elementima. Otpornost segregaciji, SR izražava se kao postotak količine betona koja je prošla kroz sito otvora 5 mm u odnosu na ukupnu masu. Otpornost segregaciji definira se samo za veće razrede slijeganja rasprostiranjem (SF) i/ili za više razrede viskoznosti (VS/VF).

Opis postupka:

- Otpriblike 10 L (5 kg) svježe betonske mješavine ostaviti i pokriti u posudi na 15 minuta
- Zabilježiti ukoliko dođe do pojave odvajanja vode
- Izmjeriti temperaturu svježe betonske mješavine
- Lagano izliti svježi beton preko sita promjera 5 mm sa visine od 500 ± 50 mm
- Pričekati 120 sekundi i potom pažljivo ukloniti sito u vertikalnom smjeru
- Zabilježiti masu materijala koja je prošla kroz sito i izračunati otpornost segregaciji SR (%)



$$SR = \frac{(m_{ps} - m_p) \times 100}{m_c}$$

SR – otpornost segregaciji (%)

m_{ps} – masa dna sita i betona koji je prošao kroz sito (g)

m_p – masa dna sita (g)

m_c – početna masa betona izlivena na sito (g)

Tablica 3.7. Razredi otpornosti segregaciji

Razred	Otpornost segregaciji (%)	Primjena
SR1	< 20	Tanke ploče, vertikalna primjena za udaljenost < 5 m i razmak > 80 mm
SR2	< 15	Vertikalna primjena za udaljenost > 5 m i razmak > 80 mm visoke vertikale – ako je razmak < 80 mm i udaljenost < 5 m, a ako je veća od 5 m smanjiti vrijednost SR za 10%

3.1.2.5 TABLICE I REZULTATI ISPITIVANJA

Tablica 3.8. Rezultati ispitivanja rasprostiranja slijeganjem

Mješavina	Poroznost		Viskoznost		Sposobnost tečenja			
			T500		rasprostiranje slijeganjem			
	kg	%	(s)	Razred	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d (mm)	Razred

Tablica 3.9. Rezultati ispitivanja J-prstenom

Mješavina	h ₀ (mm)	h _{x1} (mm)	h _{x2} (mm)	h _{y1} (mm)	h _{y2} (mm)	PJ (mm)	

Tablica 3.10. Rezultati ispitivanja L-kutijom

Mješavina	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	(H ₂ /H ₁)	Razred	

Tablica 3.11. Rezultati ispitivanja otpornosti na segregaciju

Mješavina	%	Razred	



4 LABORATORIJSKA VJEŽBA

4.1 ISPITIVANJE ČVRSTOĆA I DEFORMACIJA

Oprema potrebna za vježbu:

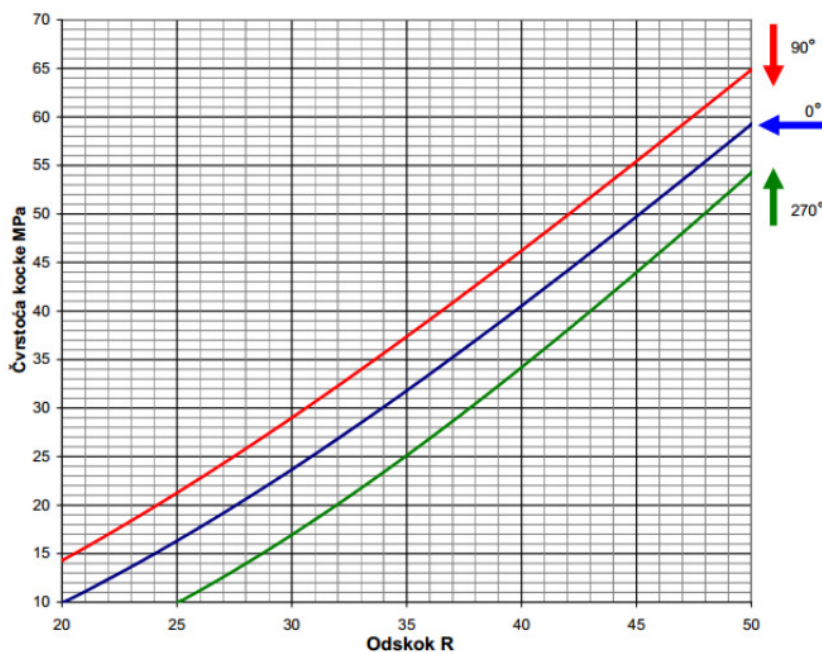
- sklerometar
- preša za ispitivanje čvrstoće betona
- vaga
- aparat za ultrazvučno ispitivanje

Na uzorcima izrađenim na laboratorijskoj vježbi Svježi beton i mort ispitat će se sljedeća fizikalna i mehanička svojstva:

- vjerojatna tlačna čvrstoća mjerenjem indeksa odskoka sklerometra
- tlačna čvrstoća drobljenjem betonske kocke
- dinamički modul elastičnosti
- skupljanje betona

4.1.1 MJERENJE INDEKSA ODSKOKA SKLEROMETRA – BETON (HRN EN 12504-2)

Sklerometrom se mjeri veličina odskoka utega, koji ovisi o površinskoj tvrdoći i elastičnosti betona pomoću kojega određujemo tlačnu čvrstoću. Postupak ispitivanja se za potrebe vježbi radi na uzorku betonske kocke. Na istom uzorku se ispituje indeks sklerometra na 5 mjesta s dvije strane, a nakon toga tlačna čvrstoća drobljenjem. Sklerometar se prisloni okomito na površinu kocke i postepenim pritiskivanjem ticala stlači se udarna opruga. Nakon pet udaraca očitavaju se indeksi sklerometra. Udari moraju biti jednoliko raspoređeni po površini kocke. Ispitna mjesta trebaju biti udaljena od ruba barem 3 cm, a međusobni razmak ne smije biti manji od 2 cm. Očitane vrijednosti indeksa sklerometra upisuju se u [Tablicu 4.1](#). Iz srednje vrijednosti indeksa sklerometra iz baždarne krivulje očita se tlačna čvrstoća kocke brida $a = 15$ cm. Potom se pomoću podataka iz [Tablice 4.2](#) ocjeni kvaliteta betona prema vrijednosti indeksa odskoka sklerometra. Nakon toga se na uzorku ispita tlačna čvrstoća drobljenjem što se također upiše u [Tablicu 4.1](#) radi usporedbe.



Tablica 4.1. Vrijednosti indeksa sklerometra

Oznaka uzorka	Indeksi sklerometra					Srednja vrijednost	Čvrstoća sklerometrom (N/mm ²)	Čvrstoća kocke (iz Tablice 2) (N/mm ²)
I								

Tablica 4.2. Ocjena kvalitete betona prema vrijednosti indeksa odskoka sklerometra

Srednja vrijednost indeksa odskoka sklerometra (R)	Kvaliteta betona
> 40	Dobar, tvrdi sloj
30 – 40	Srednji
20 – 30	Loš
< 20	Pukotine, oštećenja do površine

4.1.2 TLAČNA ČVRSTOĆA BETONA (HRN EN 12390-3)

HRN EN 12390-7

(gustoća očvrslunoga betona)

HRN EN 12390-3

(tlačna čvrstoća)

Tlačna čvrstoća betona se ispituje drobljenjem betonskih uzoraka. Ispituje se na kockama dimenzija 150×150×150 mm i na valjcima dimenzija 150×300 mm.

Starost betona u trenutku ispitivanja:

28 dana

Podatci o ispitivanju se upisuju u [Tablicu 4.3.](#)



Tablica 4.3. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betonskih kocki

Oznaka uzorka	Dimenzije uzorka	masa (kg)	volumen (m ³)	gustoća (kg/m ³)	Sila loma (N)	Čvrstoća kocke – 28 dan (N/mm ²)
I						

4.1.3 BETON - DINAMIČKI MODUL ELASTIČNOSTI (HRN EN 12504-4)

Određuje se pomoću mjerenja brzine prolaza ultrazvučnog pulsa. Brzina ultrazvučnih vibracija koje putuju kroz elastični materijal definirana je izrazom:

$$v = \sqrt{\frac{E_{cd} \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}} \quad (m/s)$$

$$E_{cd} = \frac{v^2 \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (N/mm^2)$$

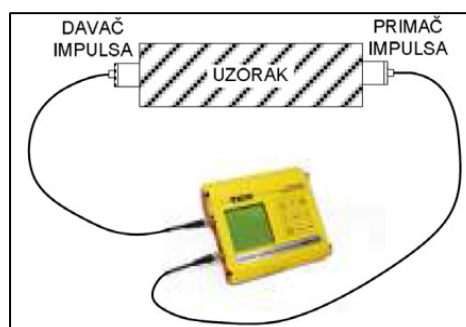
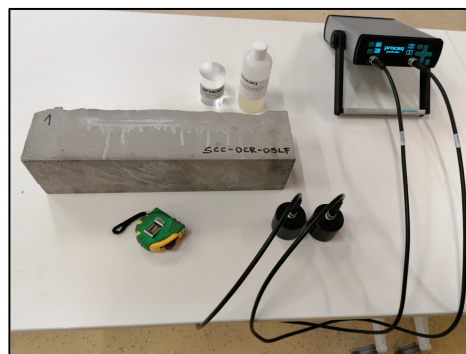
Gdje je:

E_{cd} – dinamički modul elastičnosti (N/mm^2)

ρ – gustoća (kg/m^3)

ν – Poissonov koeficijent ($\nu=0,15-0,25$)

Brzina zvuka u čvrstim tijelima je između 1500 – 5000 m/s. Brzina ultrazvuka u betonu ovisi o kvaliteti betona i varira u vrlo širokim granicama.



Podatci o ispitivanju se unose u [Tablicu 4.4.](#) te se potom radi ocjena kvalitete betona prema brzini prolaska ultrazvučnog impulsa pomoću podataka danih u [Tablici 4.5.](#)

Tablica 4.4. Dinamički modul elastičnosti betona

Oznaka uzorka	Duljina uzorka (m)	Gustoća betona (iz tablice 2) (kg/m^3)	Vrijeme prolaza ultrazvučnog impulsa t (s)	Srednje vrijeme prolaza t_s (s)	Brzina prolaza ultrazvučnog impulsa v (m/s)	E_{cd} (N/mm^2)
I						

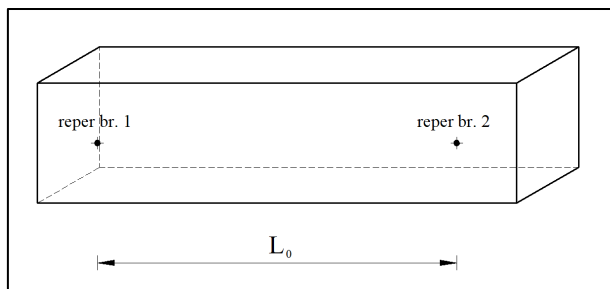
Tablica 4.5. Ocjena kvalitete betona prema brzini prolaska ultrazvučnog impulsa

Brzina prolaska ultrazvučnog vala (m/s)	Kvaliteta betona
> 4500	Odlična
3600 – 4500	Vrlo dobra
3000 – 3600	Dobra
2100 – 3000	Općenito loša
< 2100	Iznimno loša / Slab beton

4.1.4 SKUPLJANJE BETONA (HRN EN 12390-16)

Ispitivanje skupljanja betona provodi se sukladno normi HRN EN 12390-16:2019 na uzorcima prizmi dimenzija 100×100×400 mm. 24 sata nakon betonaže uzorci su raskalupljeni i označeni. Prije prvog mjerenja na sredinu uzorka na razmaku od 30 cm (tzv. mjerna udaljenost) su postavljeni reperi koji služe za mjerenje skupljanja kako je prikazano na slici. Potom su ispitni uzorci stavljeni u komoru te je predmetno vrijeme označeno kao vrijeme t_0 . Nakon postavljanja uzoraka u komoru mjeri se početna udaljenost između postavljenih repera $l(t_0)$. U komori je ispitnim uzorcima omogućeno slobodno deformiranje u kontroliranim uvjetima temperature od $20 \pm 4^\circ\text{C}$ i relativne vlažnosti zraka od $70 \pm 5\%$.

Ispitivanje skupljanja se provodi mjerenjem vrijednosti $l_{cs}(t)$ na unaprijed definirane datume i to na 1., 7., 14. dan te svaki sedmi dan u vremenu od 90 dana starosti betona. Pomoću deformetra se mjere deformacije u mm/m u odnosu na prvo mjerenje nakon $24 \pm 0,5$ sata a rezultati deformacija u određenom vremenu „t“ su izračunati pomoću slijedećeg izraza:



Mjerne točke na liniji paralelnoj sa glavnom osi

$$\varepsilon_{cs} = \frac{l(t_0) - l_{cs}(t)}{L_0}$$

gdje je:

L_0 - mjerna udaljenost, tj. udaljenost između repera (mm)

$l(t_0)$ – početna udaljenost između repera u trenutku t_0 (mm)

$l_{cs}(t)$ – udaljenost između repera u trenutku t (mm)

ε_{cs} – ukupna deformacija skupljanja betonskog uzorka u trenutku t

Deformacije su mjerene (na svakom uzorku) na dvije bočne strane prizme označene sa oznaka „A“ i „B“ te se kao konačna vrijednost ukupne deformacije skupljanja betonskog uzorka u određenom trenutku uzimala srednja vrijednost.

Podatci o ispitivanju se unose u [Tablicu 4.6.](#)

Tablica 4.6. Podatci o ispitivanju skupljanja betona

starost uzorka	Izmjerene vrijednosti skupljanja (mm)	$l(t_0) - l_{cs}(t)$ (mm)	L_0 (m)	ε_{cs} (mm/m)
1				
7				
14				
21				
28				
35				
42				
49				
56				

4.2 UTVRĐIVANJE PONAŠANJA MATERIJALA PRI OPTEREĆENJU

Oprema potrebna za vježbu:

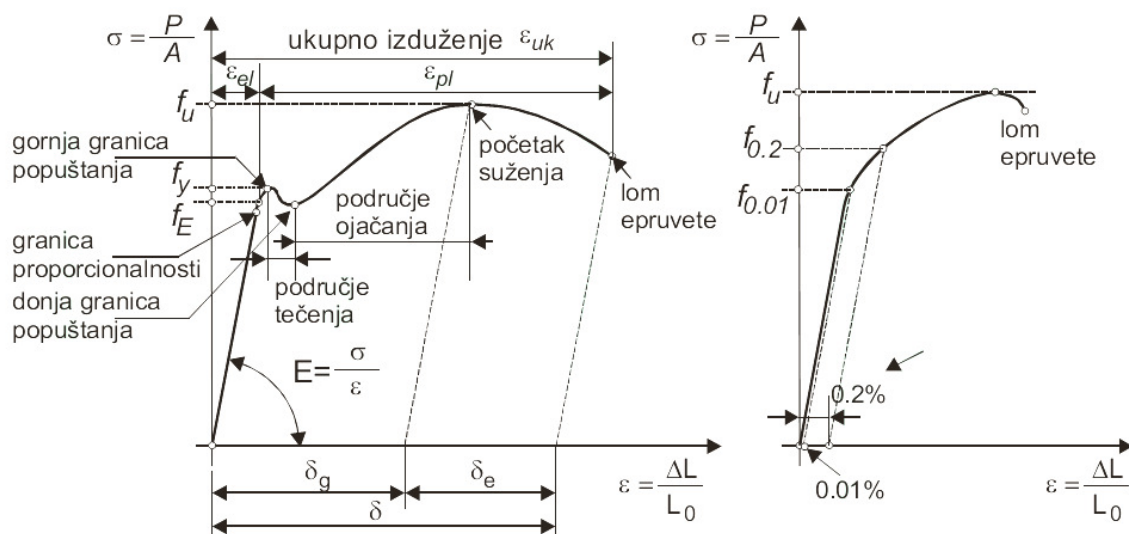
- kidalica
- pomično mjerilo
- kalkulator
- ekstenzometar

Na uzorcima odabranih materijala ispitati će se sljedeća mehanička svojstva:

- vlačna čvrstoća
- granica popuštanja
- modul elastičnosti

4.2.1 ČELIK – GRANICA POPUŠTANJA, VLAČNA ČVRSTOĆA, MODUL EL. (ISO 6982-1)

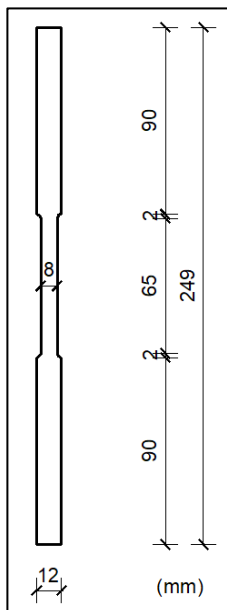
Utvrdivanje mehaničkih svojstava čelika vrši se vlačnim ispitivanjem u posebnom uređaju (kidalici) na epruveti dimenzija i oblika prema zadanom standardu (ISO 6982-1). Epruvete mogu biti pravokutnog, kvadratnog ili kružnog poprečnog presjeka, a navedenom normom se osim dimenzija propisuje i brzina nanošenja opterećenja. Brzina unosa naprezanja u uzorak kontrolira se veličinom sile u sekundi (N/s) ili veličinom pomaka čeljusti kidalice u sekundi (mm/s). Karakteristični dijagrami čelika s veličinama koje opisuju njegovo ponašanje prikazane su na slici ispod.



A/ Čelici s izraženim plastičnim ponašanjem

B/ Čelici bez izražene granice popuštanja

Postupak ispitivanja biti će prikazan na **čeličnoj epruveti kružnog poprečnog presjeka** čiji promjer i visinu je potrebno izmjeriti prije postavljanja u čeljusti kidalice. Nakon postavljanja epruvete u čeljusti na nju se postavlja ekstenzometar kojim se vrši bilježenje deformacije u vremenu. Prije početka ispitivanja vrši se kalibracija uređaja i postavljanje mjerača sile i deformacije u nulto stanje. Nanošenje sile se vrši kontrolom deformacije, i to u iznosu 0,025 %/s do granice popuštanja, a zatim u iznosu 0,8 %/s. Iz radnog dijagrama dobivenog ispitivanjem utvrđuju se vrijednosti čvrstoća u MPa, na cijeli broj, postotak izduženja pri granici popuštanja na prvu decimalu, te modul elastičnosti na cijeli broj u GPa. Utvrđene vrijednosti upisuju se u [Tablicu 4.7.](#), a zatim se pomoću njih konstruira radni dijagram ([Grafikon 4.1.](#))



Nanošenje sile:

PODRUČJE 1

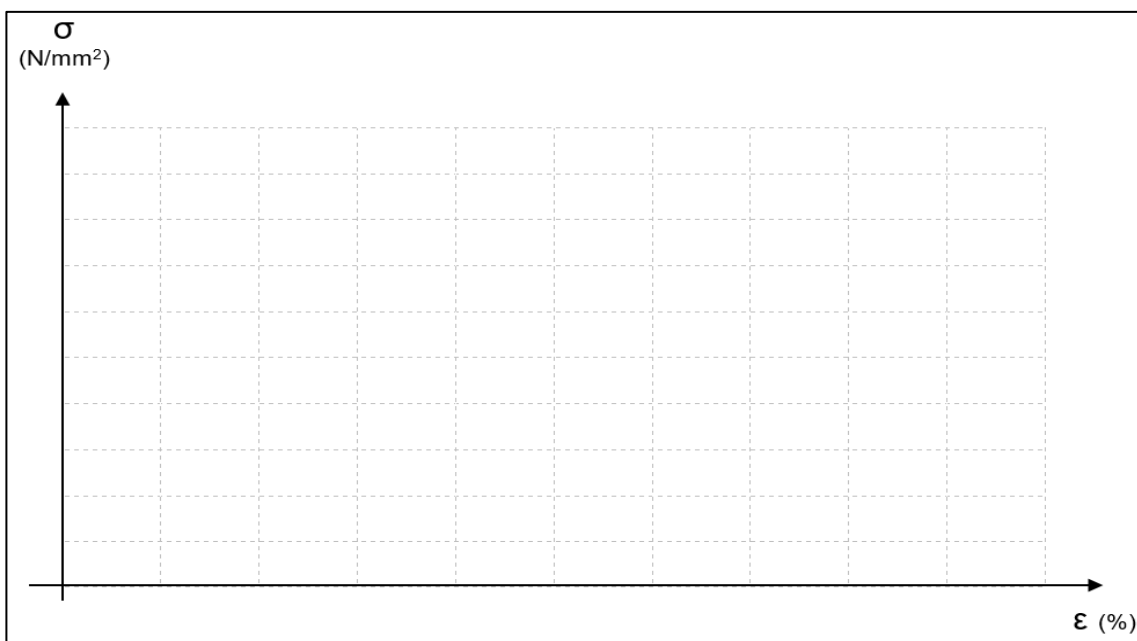
(područje do granice popuštanja)
 $L \times 0,00025 \text{ mm/s}$

PODRUČJE 2

(područje nakon granice popuštanja)
 $L \times 0,008 \text{ mm/s}$

Tablica 4.7. Rezultati ispitivanja čeličnog uzorka

Oznaka uzorka	Promjer (mm)	Površina (mm ²)	Sila pri popuštanju F_y (N)	Deformacija pri popuštanju ϵ_y (%)	Najveća sila F_u (N)	Deformacija pri najvećoj sili ϵ_u (%)
I						
Oznaka uzorka	Deformacija pri lomu ϵ_{max} (%)	Granica popuštanja f_y (MPa)	Vlačna čvrstoća f_u (MPa)	Modul elastičnosti E (GPa)		
I						



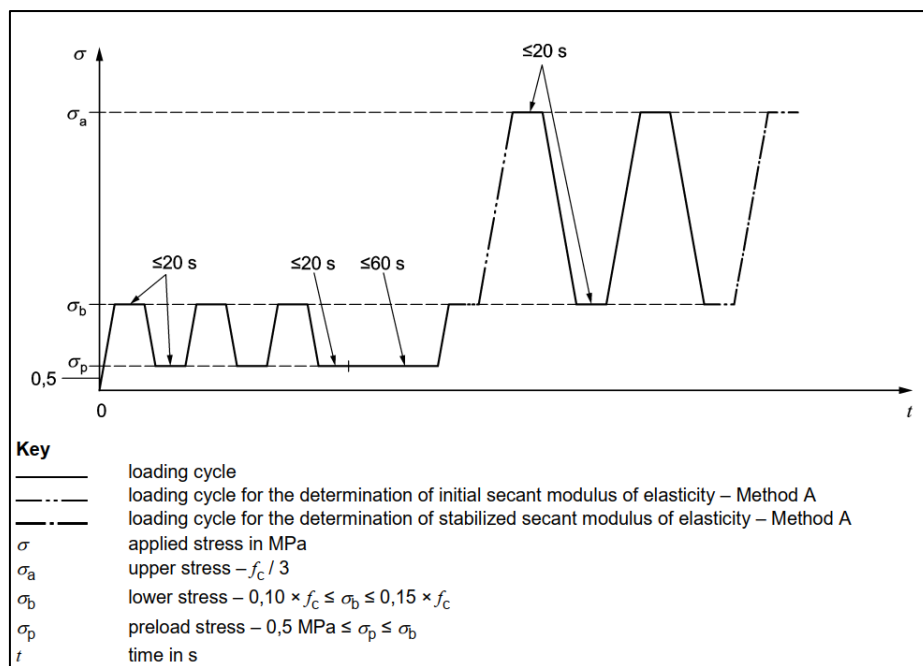
Grafikon 4.1. Radni dijagram ispitivanog čelika

4.2.2 BETON – STATIČKI MODUL ELASTIČNOSTI (HRN EN 12390-13)

Utvrđivanje statičkog modula elastičnosti betona vrši se tlačnim ispitivanjem na uzorcima dobivenim vađenjem iz konstrukcije ili posebno izrađenim za tu svrhu, dimenzija prema standardu. Postupak ispitivanja biti će prikazan na betonskom valjku poznate tlačne čvrstoće, čije dimenzije je potrebno izmjeriti prije postavljanja uzorka u tlačnu prešu.



Prilikom ispitivanja uzorak je potrebno opterećivati i rasterećivati unutar elastičnog područja sukladno [Grafikonu 4.2.](#)



Grafikon 4.2. Ciklusi opterećenja za utvrđivanje statičkog modula elastičnosti betona

Naprezanja:

σ_a – gornja granica (eng. upper stress)

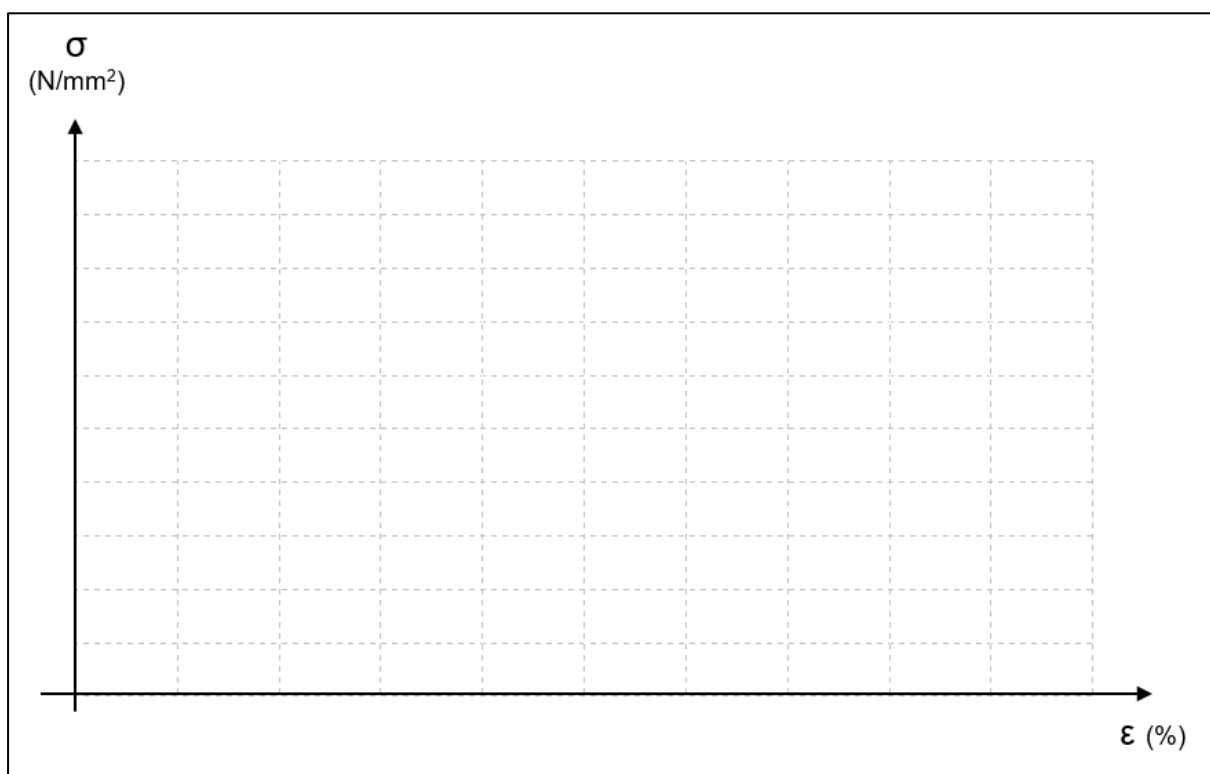
σ_b – donja granica (eng. lower stress)

σ_p – prednaprezanje (eng. preload stress)

Tablica 4.8. Vrijednosti naprezanja potrebnih za provedbu ispitivanja modula elastičnosti betona

Tlačna čvrstoća valjka $f_{c,cyl}$ (MPa)	Oznaka naprezanja	Izraz	Usvojena vrijednost naprezanja (N/mm ²)	Modul elastičnosti (MPa)
	σ_a	$f_c / 3$		
	σ_b	$0,1 \times f_c < \sigma_b < 0,15 \times f_c$		
	σ_p	$0,5 \text{ MPa} < \sigma_p < \sigma_{b,usvojeno}$		

Iz radnog dijagrama dobivenog ispitivanjem betonskog uzorka na tlačnoj preši utvrđuje se vrijednost modula elastičnosti (MPa). Utvrđena vrijednost se upisuje u [Tablicu 4.8.](#), a zatim se pomoću radnog dijagrama prikazanog na tlačnoj preši konstruira radni dijagram na [Grafikonu 4.3.](#)



Grafikon 4.3. Radni dijagram ispitivanog betona



5 LABORATORIJSKA VJEŽBA

Oprema potrebna za vježbu:

- uređaj za ispitivanje vodonepropusnosti
- uređaj za ispitivanje plinopropusnosti
- klima komora (ciklusi smrzavanja i odmrzavanja)
- peć (izlaganje visokim temperaturama)
- tlačna preša
- uređaj za mjerenje brzine prolaska ultrazvučnog impulsa (ultrazvuk)
- uređaj za ispitivanje toplinske vodljivosti
- pretražni elektronski mikroskop (SEM)
- oprema za ispitivanje karbonatizacije
- vaga

Na uzorcima izrađenim na laboratorijskoj vježbi Svježi beton ispitat će se sljedeća svojstva:

- vodonepropusnost
- plinopropusnost
- toplinska vodljivost
- veza na sučeljku „cementna pasta – agregat“
- karbonatizacija

5.1 SVOJSTVA TRAJNOSTI BETONA

5.1.1 VODONEPROPUSNOST (HRN EN 12390-8)

Ispitivanje vodonepropunosti, tj. dubine prodora bode pod tlakom provodi se sukladno normi HRN EN 12390-8 na uzorcima kocke brida 150 mm izloženim konstantnom tlaku od 500 ± 50 kPa u trajanju od 72 ± 2 sata na uređaju Controls 55-C0246/6. Voda se pod tlakom nanosi na dno uzorka, uz pomoć vodonepropusne gumene brtve. Dno uzorka, tj. površina koja je izložena pritisku vode, se odmah nakon raskalupljivanja ohrapavi sa čeličnom četkom. Potom se uzorak njeguje pod vodom sukladno normi HRN EN 12390-2 kroz idućih 28 dana. Ispitivanje se provodi na serijama od tri uzorka iz iste betonske mješavine, starosti 28 dana.



Tijekom ispitivanja pazi se da je pritisak na betonske uzorke konstantan te da ne dolazi do curenja vode i popuštanja vodonepropusne gumene brtve. Nakon 72 ± 2 sata uzorci betonskih kocki se uklone iz uređaja za ispitivanje te se višak vode sa stranice kocke koja je bila izložena prodiranju vode obriše suhom krpom. Potom se uzorci lome cijepanjem te se mjeri dubina prodiranja vode u uzorak. Od tri ispitana uzorka iz svake serije, za mjerodavnu dubinu prodora vode uzima se prosječna vrijednost. Utvrđene vrijednosti upisuju se u [Tablicu 5.1.1](#). U zadnjem koraku se određuje razred vodonepropusnosti betona prema dopuštenim prosječnim prodorima vode navedenim u normi HRN 1128:2007 (Beton – smjernice za primjenu norme HRN EN 206-1) - [Tablici 5.1.2](#).

Tablica 5.1.1. Rezultati ispitivanja vodonepropusnosti betona

Seriya	Oznaka kocke	Prodor vode (mm)

Tablica 5.1.2. Razredi vodonepropusnosti betona sukladno normi HRN 1128:2007 (Beton – smjernice za primjenu norme HRN EN 206-1)

Razred vodonepropusnosti	Dopušteni prosječni prodor vode (mm)
VDP 1	50
VDP 2	30
VDP 3	15

5.1.2 PLINOPROPUSNOST (RILEM TC 116-PCD, HRN EN 993-4)

Ispitivanje plinopropusnosti provodi se sukladno CemBureau metodi danj u preporukama RILEM TC 116-PCD. Sukladno navedenoj preporuci plinopropusnost se ispituje na propusnost kisika. Ova metoda daje rezultat u obliku koeficijenta plinopropusnosti (K) u vrijednosti 10^{-14} do 10^{-19} m². Od svake mješavine ispituju se uzorci valjaka promjera 150 mm i visine 50 mm. Uzorci su dobiveni rezanjem uzorka oblika valjka, promjera $\Phi 150$ i visine 300 mm. Uzorci su prije početka ispitivanja sušeni na 105°C do stalne mase. Uzorci su podvrgnuti djelovanju fluida (plina) pod određenim tlakovima (50, 100, 150, 200, 250 i 300 kPa) te se mjerilo vrijeme prolaza mjehurića zraka u poznatim uvjetima okoline. Koeficijent plinopropusnosti izračunava se pomoću jednadžbe:

$$K_{1,5} = \frac{2Qp_0H\eta}{A(p^2 - p_a^2)}$$

gdje je:

A – poprečna površina betonskog uzorka (m²)

H – visina uzorka (m)

Q – protok plina (m³/s)

p – apsolutni ulazni tlak (Pa)

p_a i p₀ – atmosferski tlak (prema standardu pretpostavlja se da se radi o istim tlakovima)

η – dinamička viskoznost fluida

Utvrđene vrijednosti upisuju se u [Tablicu 5.1.3.](#)

Tablica 5.1.3. Rezultati ispitivanja plinopropusnosti betona

Uzorak		Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
Veličina	Mjerna jedinica	Vrijednost		
d (m)	(m)	0,15	0,15	0,15
H (m)	(m)	0,05	0,05	0,05
A	(m ²)	0.017672	0.017672	0.017672
T	(°C)	24	24	24
η	(Pa.s)	17.8×10 ⁻⁵	17.8×10 ⁻⁵	17.8×10 ⁻⁵
p _a i p ₀	(Pa)	1.01325×10 ⁵	1.01325×10 ⁵	1.01325×10 ⁵
p _i	(Pa)			
p = p _a + p _i	(Pa)			
V	(cm ³)			
t	(s)			
Q = V/t	(m ³ /s)			
K	(m ²)			
K _{prosijek}	(m ²)			

U preporukama RILEM TC 230-PSC dani su kriteriji za određivanje kvalitete betona s obzirom na vrijednosti koeficijenta plinopropusnosti ([Tablica 5.1.4.](#)), koji su korišteni pri interpretaciji rezultata.

Tablica 5.1.4. Kriteriji za određivanje kvalitete betona s obzirom na vrijednosti koeficijenta plinopropusnosti [RILEM TC 230-PSC]

K (m ²)	Plinopropusnost betona	Kvaliteta betona
< 10 ⁻¹⁸	mala	dobar
10 ⁻¹⁸ - 10 ⁻¹⁶	srednja	srednji
> 10 ⁻¹⁶	velika	loš

5.1.3 OTPORNOST NA SMRZAVANJE I ODMRZAVANJE (HRN EN 12390-9)

Ovaj dio vježbi je pokazni dio laboratorijskih vježbi. Studentima će biti prikazana laboratorijska oprema te će im biti objašnjen princip rada laboratorijske opreme potrebne za provedbu predmetnog ispitivanja. Nadalje, asistent će zajedno sa studentima proći kroz cjeloviti postupak ispitivanja, koji je prethodno objašnjen na auditornim vježbama. Studenti su dužni voditi bilješke u za to predviđenom prostoru.

Prostor za bilješke:

5.2 TERMIČKA SVOJSTVA BETONA

5.2.1 OTPORNOST NA VISOKE TEMPERATURE (RILEM TC 129-MHT, 200-HTC)

Ovaj dio vježbi je pokazni dio laboratorijskih vježbi. Studentima će biti prikazana laboratorijska oprema te će im biti objašnjen princip rada laboratorijske opreme potrebne za provedbu predmetnog ispitivanja. Nadalje, asistent će zajedno sa studentima proći kroz cjeloviti postupak ispitivanja, koji je prethodno objašnjen na auditornim vježbama. Studenti su dužni voditi bilješke u za to predviđenom prostoru.

Prostor za bilješke:

5.2.2 TOPLINSKA VODLJIVOST (HRN EN 12667, HRN ISO 8302)

Ovaj dio vježbi je pokazni dio laboratorijskih vježbi. Studentima će biti prikazana laboratorijska oprema te će im biti objašnjen princip rada laboratorijske opreme potrebne za provedbu predmetnog ispitivanja. Nadalje, asistent će zajedno sa studentima proći kroz cjeloviti postupak ispitivanja, koji je prethodno objašnjen na auditornim vježbama. Studenti su dužni voditi bilješke u za to predviđenom prostoru.

Prostor za bilješke:

5.3 MIKROSTRUKTURA BETONA

5.3.1 PRETRAŽNI ELEKTRONSKI MIKROSKOP

Ovaj dio vježbi je pokazni dio laboratorijskih vježbi. Studentima će biti prikazana laboratorijska oprema te će im biti objašnjen princip rada laboratorijske opreme potrebne za provedbu predmetnog ispitivanja. Nadalje, asistent će zajedno sa studentima proći kroz cjeloviti postupak ispitivanja, koji je prethodno objašnjen na auditornim vježbama. Studenti su dužni voditi bilješke u za to predviđenom prostoru.

Prostor za bilješke:

5.4 OŠTEĆENJA ARMATURE

5.4.1 KARBONATIZACIJA (HRN EN 14630)

Ispitivanje se provodi na betonskim uzorcima prethodno izvađenim iz betonske konstrukcije sukladno normi HRN EN 14630:2007 - određivanje dubine karbonatizacije u očvrslom betonu fenolftalein metodom. Uzorci koji su izvađeni iz betonske konstrukcije se tretiraju fenolftalein otopinom (1g fenolftaleina otopljenog u 70 ml etilnog alkohola i razrijeđenog do 100 ml deioniziranom vodom). Fenolftalein je kemijski pokazatelj koji mijenja boju u odnosu na sredinu. Ako je sredina kisela, ne mijenja boju (ostaje bezbojan), a ako je sredina bazna (lužnata), mijenja boju u ljubičastu (pH > 8.6). Rezultati ispitivanja se potom upisuju u [Tablicu 5.4.1.](#) te se na temelju utvrđene dubine karbonatizacije donosi zaključak.

Tablica 5.4.1. Rezultati ispitivanja karbonatizacije

Redni broj uzorka	Konstrukcijski element iz kojega je uzorak izvađen	Dubina karbonatizacije (mm)	
		maksimalna	srednja