

3. LABORATORIJSKA VJEŽBA

3.1 Ispitivanje čvrstoća i deformacija

3.2 Utvrđivanje ponašanja materijala pri opterećenju

Ime i prezime: _____

Broj indeksa: _____

Grupa: _____

3.1 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
- čvrstoća savijanjem morta
- tlačna čvrstoća morta
- dinamički modul elastičnosti

3.1.1 MJERENJE INDEKSA ODSKOKA SKLEROMETRA-BETON

Sklerometrom se mjeri veličina odskoka utega, koji ovisi o površinskoj tvrdoći i elastičnosti betona pomoću kojega određujemo tlačnu čvrstoću. Postupak ispitivanja će biti pokazan na uzorku betonske kocke koja je izrađena na laboratorijskoj vježbi Svježi beton i mort. 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 stlačuje 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 1. Iz srednje vrijednosti indeksa sklerometra iz baždarne krivulje očitava se tlačna čvrstoća kocke brida $a = 15$ cm. Nakon toga se na uzorku ispita tlačna čvrstoća drobljenjem što se također upiše u Tablicu 1 radi usporedbe.

Tablica 3.1.1: Vrijednosti indeksa sklerometra

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

3.1.2 TLAČNA ČVRSTOĆA BETONA

Ispituje se na kocki brida $a=15$ cm spravljena na laboratorijskim vježbama Svježi beton i mort. Podatci o ispitivanju upisuju se u Tablicu 2.

Tablica 3.1.2: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betonskih kocki

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

3.1.3 ČVRSTOĆA SAVIJANJEM MORTA

Ispituje se na prizmama morta 4 cm X 4 cm X 16 cm izrađenim na laboratorijskoj vježbi Svježi beton i mort. Podatci o ispitivanju upisuju se u Tablicu 3.

Tablica 3.1.3: Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje

Oznaka uzorka	Dimenzije uzorka (mm)	masa (kg)	volumen (m ³)	gustoća (kg/m ³)	Sila loma (N)	Čvrstoća savijanjem f_t (N/mm ²)
I						
II						
III						

$$f_t = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

3.1.4 TLAČNA ČVRSTOĆA MORTA

Ispituje se na polovicama prizmi morta koje nastaju nakon sloma uzoraka prizmi pri ispitivanju čvrstoće savijanjem. Podatci o ispitivanju upisuju se u Tablicu 4.

Tablica 3.1.4: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće

Oznaka uzorka	Dimenzije uzorka (mm)	Sila loma (N)	Tlačna čvrstoća f_c (N/mm ²)
I			
II			
III			

3.1.5 DINAMIČKI MODUL ELASTIČNOSTI

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

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

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

Gdje je:

E_{cd} – dinamički modul elastičnosti (N/mm²)

ρ – gustoća (kg/m³)

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

Podatci o ispitivanju se unose u Tablicu 5.

Tablica 3.1.5: 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						

3.2 Utvrđivanje ponašanja materijala pri opterećenju

Oprema potrebna za vježbu:

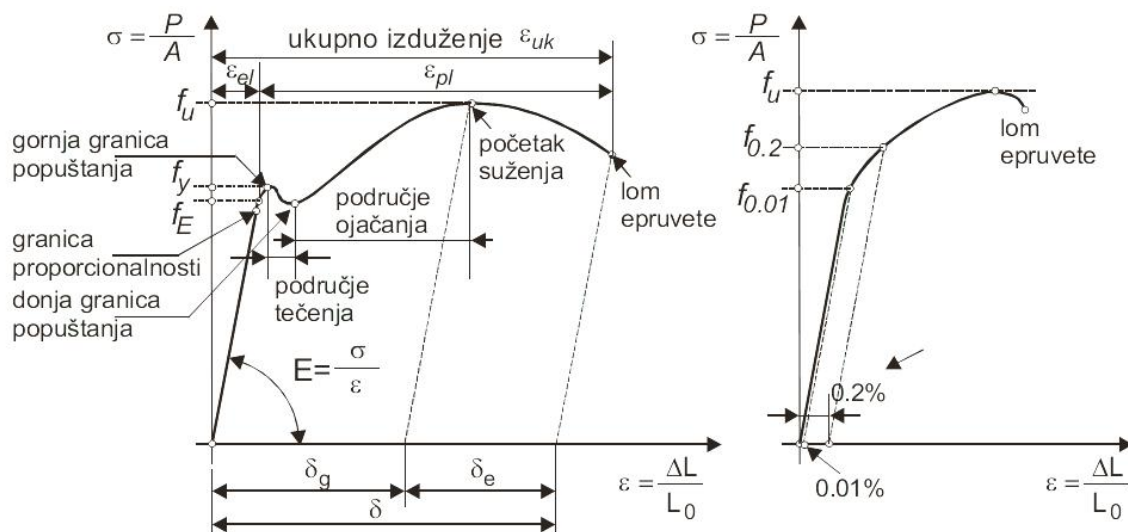
- kidalica
- pomično mjerilo
- kalkulator
- ekstenzometar

Na uzorcima odabranih materijala ispitati će se sljedeća mehanička svojstva:

- vlačna čvrstoća
- granica popuštanja
- modul elastičnosti

3.2.1 ČELIK – GRANICA POPUŠTANJA, VLAČNA ČVRSTOĆA, MODUL ELASTIČNOSTI

Utvrđivanje mehaničkih svojstava čelika vrši se vlačnim ispitivanjem u posebnom uređaju (kidalici) na epruveti dimenzija i oblika prema standardu ISO 6982-1:2009. Epruvete mogu biti pravokutnog, kvadratnog ili kružnog poprečnog presjeka, a navedenom normom se osim dimenzija propisuje i brzina nanošenja opterećenja - ovisno o modulu elastičnosti metala u pitanju i traženom mehaničkom svojstvu. Brzina unosa naprezanja u uzorak kontrolira se veličinom sile u sekundi ili veličinom pomaka čeljusti kidalice u sekundi. 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 1, a zatim se pomoću njih konstruira radni dijagram (Grafikon 1).

Tablica 3.2.1: Rezultati ispitivanja čeličnog uzorka

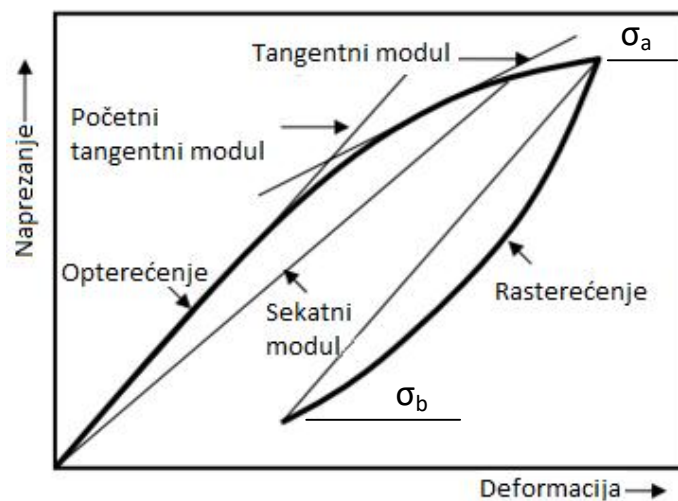
Oznaka uzorka	Promjer (mm)	Površina (mm ²)	Sila pri popuštanju (N)	Deformacija pri popuštanju (%)	Najveća sila (N)	Deformacija pri najvećoj sili (%)
I						
	Granica popuštanja (MPa)	Vlačna čvrstoća (MPa)	Modul elastičnosti (GPa)			

Grafikon 3.2.1: Radni dijagram ispitanog čelika



3.2.2 BETON – STATIČKI MODUL ELASTIČNOSTI

Utvrđivanje statičkog modula elastičnosti betona vrši se tlačnim ispitivanjem na uzorcima dobivenim vađenjem iz konstrukcije ili posebno izrađenim za tu svrhu, dimenzija prema standardu HRN U.M1.025:1982. Prilikom ispitivanja uzorak je potrebno opterećivati i rasterećivati unutar elastičnog područja, tako da se naprezanje postepeno povećava do trećine tlačne čvrstoće ($\sigma_a = f_c/3$), a zatim smanji do 0.5 MPa. Provode se najmanje tri dodatna ciklusa ispitivanja te se naposljetku uzorci opterećuju do njihova sloma. Moduli elastičnosti betona i prikaz načina opterećivanja nalazi se na slici ispod – statički modul elastičnosti određuje se u području rasterećenja σ_a - σ_b .



Postupak ispitivanja biti će prikazan na prizmi od mikrobetona poznate tlačne čvrstoće, čije dimenzije je potrebno izmjeriti prije postavljanja između cilindara za unos opterećenja. Prije početka ispitivanja vrši se kalibracija uređaja i postavljanje mjerača sile i pomaka u nulto stanje. Nanošenje naprezanja vrši se kontrolom sile, i to u iznosu 300 N/s do trećine tlačne čvrstoće uzorka, a zatim se unos naprezanja zaustavlja na 5 sekundi. Tijekom 5 sekundi zadržava se iznos naprezanja, a potom se uzorak rasterećuje do razine naprezanja od 0.5 MPa i opet zaustavlja unos opterećenja na 5 sekundi. Nakon ove stanke vrši se ponovno opterećenje u iznosu 300 N/s do trećine tlačne čvrstoće uzorka – opisani postupak se ponavlja u tri ciklusa. Iz radnog dijagrama dobivenog ispitivanjem utvrđuje se vrijednost modula elastičnosti u MPa, na cijeli broj. Utvrđene vrijednosti upisuju se u Tablicu 2, a zatim se pomoću njih konstruira radni dijagram (Grafikon 2).

Tablica 3.2.2: Rezultati ispitivanja betonskog uzorka

Oznaka uzorka	Dimenzije (mm)	Površina (mm ²)	Sila pri trećini čvrstoće (N)	Deformacija pri trećini čvrstoće (%)	Sila pri 0.5 MPa (N)	Deformacija pri 0.5 MPa (%)	Modul elastičnosti (N/mm ²)
I							

Grafikon 3.2.2: Radni dijagram u elastičnom području ispitanog mikrobetona

