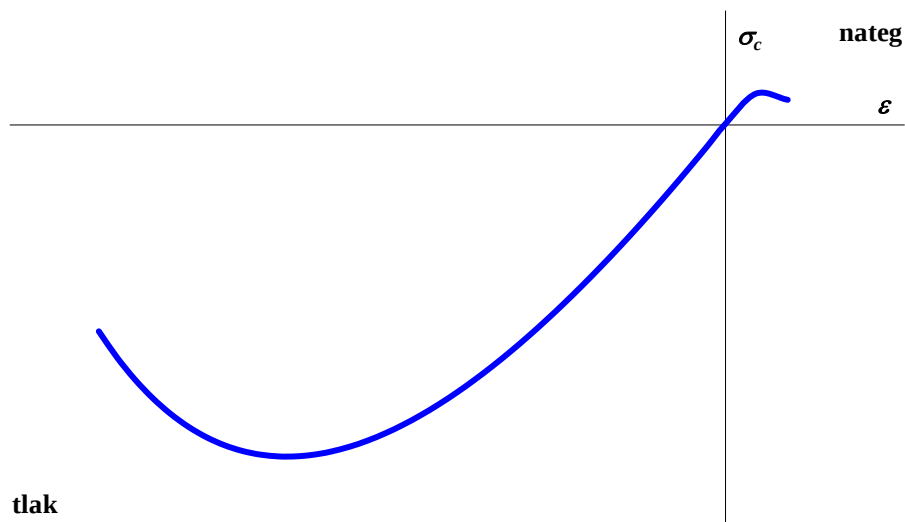


2. Vaja: KONSTITUTIVNI ZAKONI MATERIALOV – laboratorijska vaja

1.1 Beton

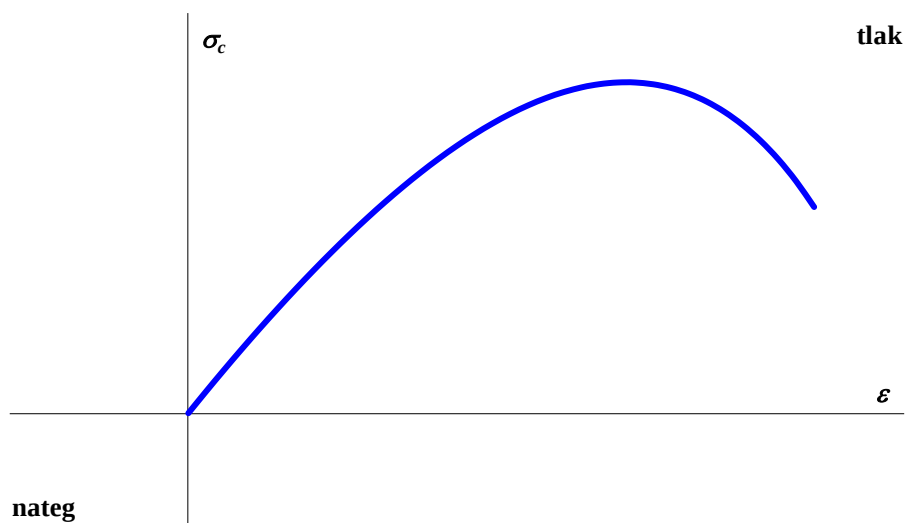
1.1.1 Zveza med napetostmi σ in deformacijami ε betona

Konstitutivni zakon materiala je podan v obliki enačbe, ki ponazarja zvezo med napetostmi σ in deformacijami ε .



Slika 1 Konstitutivni zakon betona – σ - ε diagram betona.

Na sliki 14 je prikazana splošna oblika σ - ε diagrama betona. Ustrezni predpisi podajajo projektne σ - ε diagrame betonov.



Slika 2 Konstitutivni zakon betona – σ - ε diagram betona, v katerem je zanemarjena nosilnost betona v nategu. Pozitivni osi v σ - ε diagramu betona ponavadi predstavljata tlačne napetosti in deformacije.



Slika 3 Običajna oblika porušitve betonskega vzorca obteženega z enosno tlačno silo.

1.1.2 Trdnostni razred betona

Tlačne trdnosti betonov določamo na standardnih preizkušancih: na valjih, s premerom osnovne ploskve 15 cm in višino 30 cm, na kockah, s stranico, dolžine 15 cm.

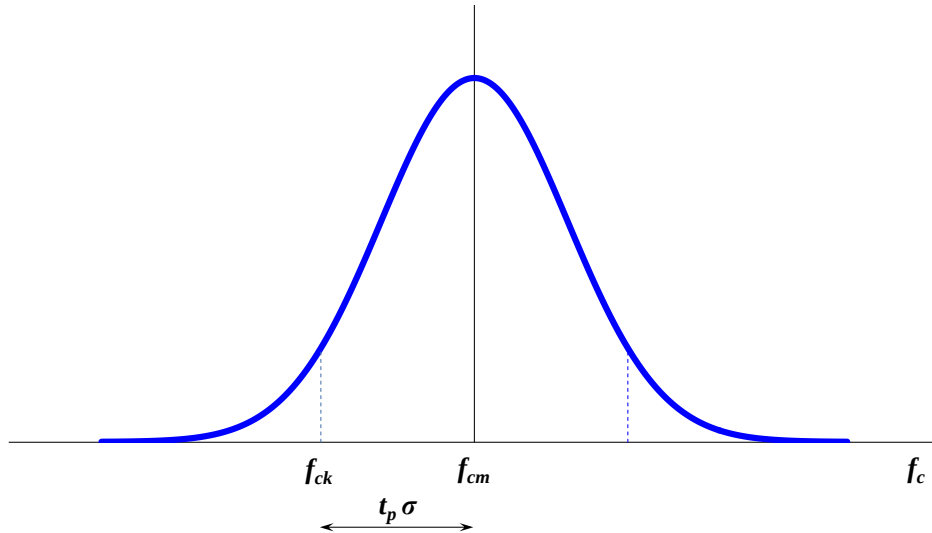
C30/37

Slika 4 Trdnostni razred betona.

Trdnostni razred betona označimo s črko C (concrete) in dvema številka. Prva številka predstavlja karakteristično tlačno trdnost betona v MPa, starega 28 dni, na standardnem preizkušancu v obliki valja; druga pa karakteristično tlačno trdnost betona v MPa, starega 28 dni, na standardnem preizkušancu v obliki kocke.

1.1.3 Porazdelitev izmerjenih vrednosti tlačne trdnosti betona

Predpostavljamo, da se tlačne trdnosti v betonih enake sestave oziroma mešanice *normalno porazdelijo*.



Slika 5 Tlačne trdnosti betona enake sestave se ponavadi normalno porazdelijo.

Verjetnost, da bo imel beton tlačno trdnost f_c je

$$p(f_c) = e^{-\frac{(f_c - f_{cm})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.1)$$

verjetnost, da bo imel beton tlačno trdnost do vključno f_c je

$$P(f_c) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{f_c} e^{-\frac{\bar{u}^2}{2}} d\bar{u} = \frac{t_p}{(f_{cm} - f_{ck}) \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{f_c} e^{-\frac{(u - f_{cm})^2}{2}} du, \quad (2.2)$$

pri čemer so

f_{cm} srednja ali povprečna tlačna trdnost betona,

f_{ck} nazivna ali karakteristična tlačna trdnost betona,

t_p koeficient normalne porazdelitve,

σ standardna deviacija populacije tlačnih trdnosti betona.

Pod krivuljo na sliki 16 je zajeta celotna populacija. Teoretično velja

$$P(f_c = -\infty) = 0, \quad (2.3)$$

$$P(f_c = \infty) = 1. \quad (2.4)$$

Verjetnost, da ne bo dosežena karakteristična tlačna trdnost betona je

$$P(f_c = f_{ck}) = 0,05 = 5\%, \quad (2.5)$$

verjetnost, da bo dosežena tlačna trdnost betona manjša ali enaka povprečni pa je

$$P(f_c = f_{cm}) = 0,50 = 50\%. \quad (2.6)$$

Pri po Evrokod 2 zahtevani 5% fraktili je koeficient normalne porazdelitve enak

$$t_p(5\% \text{ fraktila}) = \text{NORMSINV}(0,05)_{\text{EXCEL}} = 1,645. \quad (2.7)$$

Če fraktilo povečamo na 10%, se spremeni koeficient normalne porazdelitve

$$t_p(10\% \text{ fraktila}) = \text{NORMSINV}(0,10)_{EXCEL} = 1,282 \quad (2.8)$$

Standardna deviacija σ predstavlja odklon od povprečne vrednosti f_{cm} in je pri dovolj velikem številu preizkušancev enaka

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cm} - f_{ci})^2}{n}} \quad (2.9)$$

Kadar je naš vzorec majhen v primerjavi s celotno populacijo, je za opis rezultatov primernejša *Studentova t porazdelitev*, ker upošteva število preizkušancev v obliki števila prostostnih stopenj n

$$p_t(x) = \frac{1}{\sqrt{n} \cdot B\left(\frac{n}{2}, \frac{1}{2}\right)} \cdot \left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}} \quad (2.10)$$

pri čemer je Eulerjeva funkcija beta enaka

$$B(a, b) = \int_0^1 t^{a-1} \cdot (1-t)^{b-1} dt = B\left(\frac{n}{2}, \frac{1}{2}\right) = \int_0^1 \sqrt{\frac{t^{n-2}}{1-t}} dt \quad (2.11)$$

Napaka se v majhnem, omejenem vzorcu pojavi že pri oceni povprečne tlačne trdnosti betona

$$f_{cm} \cong f_{cm,oc} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \quad (2.12)$$

ki ni enaka dejanski povprečni tlačni trdnosti betona.

Na vzorcu preizkušancev, ki predstavlja del populacije, se standardna deviacija izračuna z izrazom

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cm,oc} - f_{ci})^2}{n-1}} \quad (2.13)$$

Kadar imamo majhno število preizkušancev v vzorcu, uporabimo enačbo

$$f_{ck} = f_{cm,oc} - t_n \cdot S_n \quad (2.14)$$

pri čemer je

t_n Studentov koeficient porazdelitve za stopnjo prostosti n .

Pri zahtevani 5% fraktili in desetih preizkušancih je Studentov koeficient enak

$$t_n(5\% \text{ fraktila}; n=10) = \text{TINV}(0,1;10)_{EXCEL} = 1,812 \quad (2.15)$$

Če fraktilo, pri enakem številu preizkušancev, povečamo na 10%, se spremeni Studentov koeficient

$$t_n(10\% \text{ fraktila}; n=10) = \text{TINV}(0,2;10)_{EXCEL} = 1,372 \quad (2.16)$$

1.1.4 Velikost in oblika betonskega preizkušanca

Tlačne trdnosti, izmerjene na preizkušancih iz enakega materiala – iz betona iste mešanice, se med seboj razlikujejo. Tlačna trdnost je odvisna od oblike in velikosti preizkušanca. Razmerje med vrednostmi izrazimo s koeficientom k_0

$$k_0 = \frac{f_{ck, \text{standardni preizkušarec}}}{f_{ck, \text{poljubni preizkušarec}}} = \frac{f_{ck, \text{valj}}}{f_{ck, \text{poljubni preizkušarec}}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck, \text{poljubni preizkušarec}}}, \quad (2.17)$$

$$f_{ck} = k_0 \cdot f_{ck, \text{poljubni preizkušarec}}. \quad (2.18)$$

Oblikovni pretvorbeni koeficient k_0 najdemo v ustrezni literaturi ali pa izvedemo primerjalne študije, s katerimi določimo njegovo velikost.

V vaji, kjer bomo obremenjevali betonske preizkušance v obliki pravokotnih prizm, z merami $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$, bomo upoštevali grob približek

$$k_0 \cong 1. \quad (2.19)$$

1.1.5 Časovni razvoj tlačne trdnosti betona

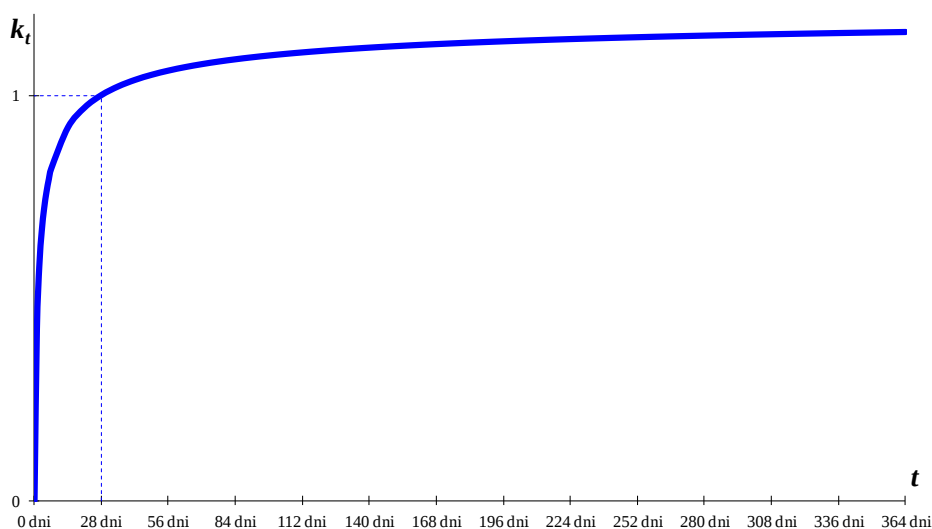
Tlačna trdnost se začne po zamešanju sestavin betona povečevati. Časovni razvoj tlačne trdnosti je opisan z izrazom (2.20)

$$f_c(t) = f_c(28 \text{ dni}) \cdot e^{s \left(1 - \sqrt{\frac{28-t_1}{t}} \right)}, \quad (2.20)$$

pri čemer je koeficient s odvisen od vrste cementa. Pri hitrovezočih cementih je $s = 0,2$, pri običajnih $s = 0,25$, pri počasivezočih pa $s = 0,38$.

Časovni pretvorbeni koeficient k_t je

$$k_t = \frac{f_c(t)}{f_c(28 \text{ dni})} = e^{s \left(1 - \sqrt{\frac{28-t_1}{t}} \right)}. \quad (2.21)$$



Slika 6 Časovni razvoj tlačne trdnosti betona.

Sedem dni star beton, ki vsebuje hitrovezoči cement, ima

$$k_t = e^{0,2 \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right)} = 0,819 \quad (2.22)$$

Preglednica 1 Časovni pretvorbeni koeficient k_t .

čas (dni)	$k_t(s=0,2)$	$k_t(s=0,25)$	$k_t(s=0,38)$
0	0,000	0,000	0,000
1	0,424	0,342	0,196
2	0,578	0,504	0,353
3	0,663	0,598	0,458
4	0,720	0,663	0,535
5	0,761	0,711	0,595
6	0,793	0,748	0,643
7	0,819	0,779	0,684
14	0,920	0,902	0,854
21	0,970	0,962	0,943
28	1,000	1,000	1,000
56	1,060	1,076	1,118
63	1,069	1,087	1,135
280	1,147	1,186	1,297
365	1,156	1,198	1,316

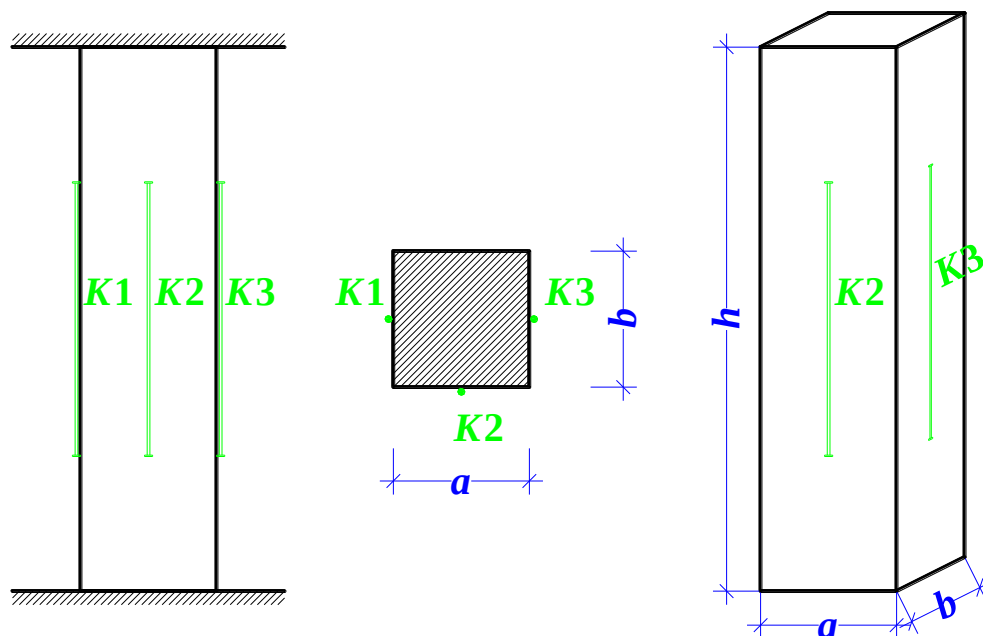
1.1.6 Delovni diagram betona

Evrokod 2 loči:

- zvezo σ - ε za analizo konstrukcij,
- zvezo σ - ε za dimenzioniranje prerezov.

1.1.7 Potek dela v laboratoriju

Na vajah pri enoosnem tlačnem preizkusu preizkušamo dve betonski prizmi, z nazivnimi merami $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 40\text{ cm}$, z oznakama V1 in V2. Preizkušanca obremenimo z osno tlačno silo. Dejanske mere preskušancev, katerih oznake so prikazane na sliki 7, in ploščina prečnega prereza v sredini višine so podane v preglednici 2



Slika 7 Skica betonskega preskušanca z oznakami dimenzij.

Preglednica 2 Mere preskušancev in ploščine prečnih prerezov v sredini višine preskušancev.

Preskušanec	a [cm]	b [cm]	h [cm]	A [cm ²]
V1	-	-	-	-
V2				

Preskušanci so bili zabetonirani _____ in so na dan preizkusa _____ stari ____ dni.

Predhodno je bilo preizkušenih že ____ preskušancev enakih dimenzij. Eksperimentalno dobljene tlačne trdnosti so podane v preglednici 3.

Preglednica 3 Eksperimentalno dobljene tlačne trdnosti.

Preskušane	Tlačna trdnost $\left[\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right]$	Preskušane	Tlačna trdnost $\left[\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right]$
V3		V7	
V4		V8	
V5		V9	
V6		V10	

Preskušane V1 obremenjujemo monotono do porušitve. Merimo silo in specifične deformacije na treh mestih, kot je prikazano na sliki 7. Med preiskavo dobimo zvezo med napetostjo in deformacijo, σ/ε -diagram, tlačno trdnost f_{c1} , in sekantni modul elastičnosti E_c , ki ga določata napetosti $\sigma = 0$ in $\sigma = 0,4 \cdot f_{c1}$.

Preskušane V2 uporabimo za določanje statičnega modula elastičnosti E po navodilih standarda ISO 6784.

Kot oceno tlačne trdnosti betona $f_{c,oc}$ upoštevamo srednjo vrednost tlačne trdnosti preskušancev V3 do V10

$$f_{c,oc} = \frac{\sum f_{ci}}{n} \quad (1)$$

Preskušane večkrat obremenimo in razbremenimo med napetostima $\sigma = 0,05 \text{ kN/cm}^2$ in $\sigma = f_{c,oc} / 3$. Statični modul elastičnosti določamo pri petem razbremenjevanju. Po določitvi modula elastičnosti obremenimo preskušane do porušitve. Glede na odstopanje dosežene tlačne trdnosti preskušanca f_{c2} proti ocenjeni trdnosti $f_{c,oc}$ se odločimo ali rezultat E sprejmemo ali ne, pri čemer sprejemljivo odstopanje rezultata znaša 20%.

Opomba: Zaradi časovne in prostorske stiske opravimo vse meritve le na vzorcu V2, najprej statični elastični modu E_c in nato σ/ε diagram.

1.1.8 Rezultati preiskav

Rezultati, izapisani na izhodnih datotekah, so v naslednjih enotah:

sila P v kN,
specifične deformacije $K1$, $K2$, $K3$ v promilih.

Predpostavimo homogeno napetostno stanje po prerezu. Napetost izračunamo po izrazu (2).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Preskušalec V1

ima prečni prerez enak

$$A = \quad \text{cm}^2,$$

največja izmerjena tlačna sila je

$$P_{max} = \quad \text{kN},$$

tlačna trdnost pa

$$f_{c1} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}.$$

Preskušalec V2

ima prečni prerez enak

$$A = \quad \text{cm}^2.$$

Ocenimo tlačno trdnost preskušane betona na vzorcih V3 do V10

$$f_{c,oc} = \frac{\sum_{i=3}^{10} f_{ci}}{8} = \frac{\quad}{8} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}. \quad (3)$$

Napetosti in sile za določanje statičnega modula elastičnosti pri preskušancu V2 so

$$\sigma_b = 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \Rightarrow \quad P_b = A \cdot \sigma_b = \quad \text{cm}^2 \cdot 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \quad \text{kN},$$

$$\sigma_a = \frac{f_{c,oc}}{3} = \frac{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{3} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \Rightarrow \quad P_a = A \cdot \sigma_a = \quad \text{cm}^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \quad \text{kN}.$$

Tlačno trdnost določimo iz največje izmerjene tlačne sile $P_{max} = \quad \text{kN}$ in je enaka

$$f_{c2} = \frac{P_{max}}{A} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}.$$

Srednja tlačna trdnost betona določena na prizmah je

$$f_{cm}(t = \quad \text{dni}) = \frac{\sum_{i=2}^{10} f_{ci}}{9} = \frac{\quad}{9} \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (4)$$

Ocena standardne deviacije tlačne trdnosti ($n=9$)

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{10} (f_{cm} - f_{ci})^2}{n-1}} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}. \quad (5)$$

Karakteristična tlačna trdnost betona, določena na prizmah, pri 5% fraktili in $n=9$ velja $t_n=1,833$, je

$$f_{ck}(t = \quad \text{dni}) = f_{cm}(t = \quad \text{dni}) - t_n \cdot S_n(t = \quad \text{dni}) = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} - 1,833 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}. \quad (6)$$

Karakteristična tlačna trdnost betona, določena na prizmah, pri starosti betona 28 dni, upoštevajoč razmerje

$$k_t = \frac{f_{ck}(t = \text{dni})}{f_{ck}(t = 28\text{dni})} = \quad , \quad (7)$$

ki ga za hitrovezoče cemente razberemo v standardu SIST EN 1992-1-1, je

$$f_{ck} = f_{ck}(t = 28\text{dni}) = \frac{f_{ck}(t = \text{dni})}{k_t} = \frac{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\quad} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} . \quad (8)$$

1.1.9 Obdelava rezultatov preiskav

Obdelavo rezultatov opravi vsak študent s pomočjo programske opreme za delo s preglednicami (Excel).

- a) Narišite zvezo σ/ε za preskušanec V2. Za deformacijo ε upoštevajte vrednost izmerjenih deformacij. Določite tlačno trdnost f_{c2} in sekantni modul betona E_{c2} , ki ga določata napetosti $\sigma = 0$ in $\sigma \cong 0,4 \cdot f_{c2}$,

$$E_{c2} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\quad} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \quad \text{MPa} . \quad (9)$$

Izmerjeni zvezi σ/ε dodajte, na isti sliki, še konstitutivni zakon betona za analizo konstrukcij po standardu SIST EN 1992-1-1, v poglavju 3.1.5, ki ga določa izraz (10)

$$\sigma_c = f_{c2} \frac{k \cdot \eta - \eta^2}{1 + (k - 2) \cdot \eta} , \quad (10)$$

pri čemer so tlačne napetosti negativne,

$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} , \quad (11)$$

računska deformacija pri ekstremni vrednosti napetosti je

$$\varepsilon_{c1} = 0,7 \cdot (f_{c2} [\text{MPa}])^{0,31} = 0,7 \cdot (\quad \text{MPa})^{0,31} = \quad \% < 2,8\% , \quad (12)$$

$$k = 1,05 \cdot E_{c2} \frac{|\varepsilon_{c1}|}{f_{c2}} . \quad (13)$$

Računski diagram zrišite v območju deformacij $-3,5\% \leq \varepsilon_c \leq 0$.

- b) Na sliko skupaj z izmerjeno zvezo σ/ε za preskušanec V2 narišite še projektni konstitutivni zakon betona, sestavljen iz kvadratne parabole in premice, po standardu SIST EN 1992-1-1, v poglavju 3.1.7 za dimenzioniranje prereзов. V vaji upoštevajte, da je tlačna trdnost določena na preizkušanih prizmah, dimenzij $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$, enaka tlačni trdnosti določeni na valju, dimenzij $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$. V splošnem je to precej groba predpostavka. Če želimo rezultate čim bolj približati dejanskemu stanju, lahko v ustrezni literaturi poiščemo razmerja trdnosti, izmerjenih na vzorcih različnih dimenzij, ali pa sami izvedemo primerjalne preiskave.

Računsko tlačno trdnost betona $\alpha_{cc} \cdot f_{cd}$ določimo glede na trdnostni razred C.

Ker je trdnostni razred betona določen kot karakteristična tlačna trdnost betonskega valja, s premerom 15 cm in višino 30 cm, pri starosti betona 28 dni, in ob upoštevanju navedene predpostavke, je

$$"C" = f_{ck}(t = 28 \text{ dni}) = \frac{f_{ck}(t = \text{dni})}{k_t} = \frac{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \quad (14)$$

$$\alpha_{cc} \cdot f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,5} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \quad (15)$$

pri čemer sta $\alpha_{cc}=1,0$ in $\gamma_c=1,5$.

c) Za preskušane V2 določite statični modul elastičnosti pri 5. razbremenitvi preskušanca.

Napetosti $\sigma_b = 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ odčitajte pripadajočo deformacijo $\varepsilon_{cb} = \quad \text{‰}$,

napetosti $\sigma_a = \frac{f_{c,oc}}{3} = \frac{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{3} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ pa deformacijo $\varepsilon_{ca} = \quad \text{‰}$.

Statični modul elastičnosti preskušanca V2 je enak

$$E_{c2} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_{ca} - \varepsilon_{cb}} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \text{MPa} \quad (16)$$

Slika 8 Zveza σ/ε za preskušane V2 in zakon betona za analizo konstrukcij
ter projektni konstitutivni zakon betona, sestavljen iz kvadratne parabole in premice,
po standardu SIST EN 1992-1-1.

1.1.10 Domača naloga

Izrišite projektne konstitutivne zakone betona za štiri v standardu navedene trdnostne razrede betonov (C30/37, C50/60, C70/85, C90/105).

Slika 9 *Projektne konstitutivne zakone betona.*

1.2 Jeklo

Na vajah opravimo standardni natezni preizkus jekla za armiranje iz rebraste armature, trdnostnega razreda S 500.

1.2.1 Potek dela v laboratoriju

Preiskujemo vzorec z lastnostmi, podanimi v preglednici 10.

Preglednica 4 Lastnosti preskušanca.

Preskušanec	ϕ_{nom}	L_t	L_0	m	L_u	$d = 12,74 \sqrt{\frac{m}{L_t}}$	$A = 1,274 \cdot m \cdot L_t$
	[mm]	Cela dolžina [mm]	Merska dolžina ($\approx 10\phi$) [mm]	masa [g]	Dolžina po pretrgu [mm]	Računski premer [mm]	Računski prečni prerez [cm ²]
S 500							

Vzorca obremenjujemo do porušitve in pri tem beležimo silo v kN in specifično deformacijo v promilih na datoteko. Po preiskavi ročno izmerimo raztezek vzorca L_u , začetne merske dolžine L_0 , po pretrgu.

Za armaturo, trdnostnega razreda S 500, velja $f_{yk} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$.

1.2.2 Obdelava rezultatov preiskav

Obdelavo rezultatov opravi vsak študent s pomočjo programske opreme za delo s preglednicami (Excel).

- a) Narišite izmerjeni zvezi σ/ε skupaj z računskima konstitutivnima zakonoma armature, brez upoštevanja utrditve, po SIST EN 1992-1-1 za dimenzioniranje prereзов, v poglavju 3.2.7

$$\sigma = \frac{P}{A}. \quad (17)$$

Projektna meja elastičnosti jekla je določena z izrazom (2.18)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,15} = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \quad (18)$$

pri čemer je $\gamma_s = 1,15$.

- b) Določite napetost na meji elastičnosti, natezno trdnost in pripadajoči deformaciji za preskušanca.

Preskušanec S 500

$$f_y = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, f_t = \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \varepsilon_y = \quad \text{‰}, \varepsilon_u = \quad \text{‰}$$

- c) Določite raztezek v odstotku, po pretrgu preskušanca, dolžine 10ϕ .

$$A_{10} = \frac{L_u - L_0}{L_0} = \quad \quad \quad (19)$$

Preskušanec S 500

$$A_{10} = \frac{\text{mm} - \text{mm}}{\text{mm}} = \quad \quad \quad \%$$

Slika 10 *Eksperimentalno pridobljena zveza σ - ε za jeklena preskušanca S 500
ter ustrezen računski konstitutivni zakon armature.*

1.3 Trdnostne in deformacijske lastnosti materialov po EC 2 – SIST EN 1992-1-1

1.3.1 Beton

- f_c ... tlačna trdnost betona
- f_{cd} ... projektna vrednost tlačne trdnosti betona
- f_{ck} ... karakteristična tlačna trdnost 28 dni starega betona, določena na valju
- f_{cm} ... srednja vrednost tlačne trdnosti betona, določena na valju
- f_{ctk} ... karakteristična osna natezna trdnost betona
- f_{ctm} ... srednja vrednost osne natezne trdnosti betona
- ε_c ... tlačna deformacija betona
- ε_{c1} ... tlačna deformacija betona pri največji napetosti f_c
- ε_{cu} ... mejna tlačna deformacija betona
- E_c ... tangentni modul elastičnosti normalno težkega betona pri napetosti $\sigma_c = 0$ in starosti 28 dni
- $E_{c,eff}$... učinkoviti modul elastičnosti betona
- E_{cd} ... projektna vrednost modula elastičnosti betona
- E_{cm} ... sekantni modul elastičnosti betona

Preglednica 5

Trdnostne in deformacijske lastnosti betona

Trdnostni razredi betona														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk, 0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk, 0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ε_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
ε_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
ε_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ε_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ε_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ε_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

1.3.2 Jeklo

- f_t ... natezna trdnost jekla
 f_{tk} ... karakteristična natezna trdnost jekla
 f_y ... meja elastičnosti jekla
 f_{yd} ... projektna meja elastičnosti jekla
 f_{yk} ... karakteristična meja elastičnosti jekla
 f_{ywd} ... projektna meja elastičnosti strižne jekla
 ε_u ... deformacija jekla pri največji obremenitvi
 ε_{uk} ... karakteristična deformacija jekla pri največji obremenitvi
 E_s ... projektna vrednost modula elastičnosti jekla za armiranje

Preglednica 6 Trdnostne in deformacijske lastnosti jekla

Proizvod	Palice in armatura razvita iz kolobarjev			Armaturne mreže			Zahteva ali kvantila (%)
Razred	A	B	C	A	B	C	-
Karakteristična meja elastičnosti f_{yk} ali $f_{0,2k}$ (MPa)	400 do 600						5,0
Najmanjša vrednost $k = (f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Karakteristična deformacija pri največji sili, ε_{uk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Upogljivost	Upogibni preskus/ preskus povratnega upogiba			-			
Strižna trdnost	-			$0,3 A f_{yk}$ (A je ploščina žice)			Najnižja
Največje odstopanje od nazivne mase (posamezna palica ali žica) (%)	Nazivni premer palice (mm) ≤ 8 > 8			$\pm 6,0$ $\pm 4,5$			5,0