

*KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA*

BETONSKE KONSTRUKCIJE I

(god. 2007/2008.)

*Predmetni nastavnik:
V.pred. mr.sc. Vladica Herak-Marović, dipl.ing.građ.*

Nastavne jedinice kolegija:

- (1) **Fizikalno mehanička svojstva betona i čelika za armiranje; deformacije betona;**
- (2) Uvjeti zajedničkog rada betona i armature; prionljivost, sidrenje, nastavljanje, oblikovanje, zaštitni slojevi; razmaci šipki; odredbe propisa;
- (3) Osnove proračuna armiranobetonskih elemenata prema GSN;
- (4) Dimenzioniranje presjeka na savijanje (pravokutni presjeci, T-presjeci, jednostruko i dvostruko armirani presjeci);
- (5) Dimenzioniranje presjeka na centrični i ekscentrični tlak i vlak;
- (6) Dimenzioniranje na poprečne sile; dimenzioniranje na torziju;
- (7) Lokalni tlačni naponi;
- (8) Vitki elementi naprezani centričnom i ekscentričnom tlačnom silom; stupovi;
- (9) Osnove proračuna armiranobetonskih elemenata prema GSU (naprezanja, pukotine, progibi);
- (10) Konstruiranje armature u različitim elementima konstrukcija; neki detalji; odredbe propisa.

*Fizikalno mehanička svojstva čelika za
armiranje i čelika za prednapinjanje*

ARMATURA

Armatura je građevni proizvod koji se izrađuje:

- od čelika za armiranje (za armiranobetonske konstrukcije),
 - od čelika za prednapinjanje (prednapete betonske konstrukcije),
 - od kombinacije čelika za armiranje i čelika za prednapinjanje.
-
- Armatura se proizvodi u tvornici (centralna armiračnica), armiračnici pogona za predgotovljene betonske elemente ili u armiračnici na gradilištu.
 - Tehnička svojstva armature moraju ispunjavati opće i posebne zahtjeve bitne za namjenu, a koji su specificirani u nizu normi:
nHRN EN 1008-1 do 1008-6 za armaturni čelik i
nHRN EN 10138-1 do 10138-4 za čelik za prednapinjanje, te
odredbama TPBK (prilog B).
 - Tehnička svojstva armature specificiraju se u projektu betonske konstrukcije.

ČELIK ZA ARMIRANJE

Oznake i kratice:

- f_R svedena ploština rebra
- f_{Rk} karakteristična svedena ploština rebra
- $f_{0,2k}$ karakteristično naprezanje betonskog čelika pri trajnoj deformaciji od 0,2 %
- f_t vlačna čvrstoća betonskog čelika
- f_{tk} karakteristična vlačna čvrstoća betonskog čelika
- ε_u deformacija betonskog čelika pri najvećoj sili
- ε_{uk} karakteristična deformacija betonskog čelika pri najvećoj sili

Proizvodi se dijele prema:

- (i) vrsti čelika prema definiranoj karakterističnoj granici popuštanja (f_{yk} u N/mm^2)
- (ii) razredu s obzirom na duktilnost
- (iii) izmjerama
- (iv) svojstvima površine
- (v) zavarljivosti

Svakoj isporuci mora biti priložena potvrda koja sadrži sve podatke potrebne za identifikaciju s obzirom na (i) do (v) te prema potrebi i dodatne podatke.

Isporučuje se u obliku:

- šipki
- namota
- zavarenih armaturnih mreža
- zavarenih rešetkastih nosača

Karakteristike armaturnog čelika f_t (R_m), f_y (R_e), f_t/f_y , ϵ_u , f_R moraju biti navedeni u normama i moraju se dokazati normiranim postupcima ispitivanja.

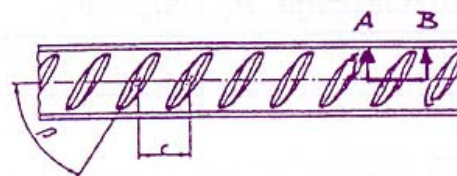
P.A.1 Svojstva čelika za armiranje prema normama nHRN EN 10080-2, nHRN EN 10080-3 i nHRN EN 10080-4, (BK•P, t.2.30)

Naziv i oznaka (broj) čelika	B500A (1.0438)		B500B (1.0439)		B450C (1.04..)
	Namot	Šipka	Namot	Šipka	Namot
Nazivni promjer, d (mm)	4-16	6-40	6-16	6-40	6-16
Granica razvlačenja, R_e (N/mm ²)	≥500		≥500		≥450
Omjer vlačne čvrstoće i granice razvlačenja, R_m/R_e	≥1,05 ¹⁾		≥1,08		≥1,15 ≤1,35
Omjer stvarne i nazivne vrijednosti granice razvlačenja, $R_{e,act}/R_{e,nom}$	-		-		≤1,20
Postotak ukupnog istežanja pri najvećoj sili A_{gt} (%)	≥2,5 ²⁾		≥5,0		≥7,5
Čvrstoća pri zamoru (N/mm ²); raspon naprežanja $2 \sigma_A$	≥150				
Dopušteno odstupanje od nazivne mase, %	±4,5				
¹⁾ $R_m/R_e \geq 1,03$ za $d=4,0$ do $5,0$ mm ²⁾ $A_{gt} \geq 2$ % za $d=4,0$ do $5,0$ mm					

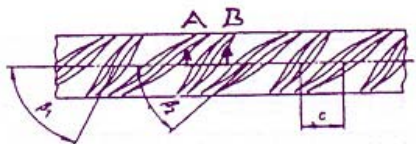
POVRŠINSKI IZGLED POJEDINIHZ RAZREDA ARMATURE:



a) B500A (3 reda poprečnih rebara)

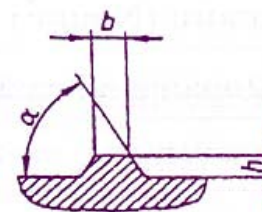


b) B500B (2 reda poprečnih rebara)



c) B450 C (2 reda poprečnih rebara)

A-B



d) kut nagiba kosine rebra α i visine rebra h (presjeci A-B prema slikama a) do c)

P.A.2 Svojstva zavarenih mreža prema nHRN EN 10080-5, (BK•P, t.2.33)

Naziv ili oznaka čelika	B500A (1.0438)	B500B (1.0439)	B450C (1.04..)
Nazivni promjer, d (mm)	5-16	6-16	6-16
Granica razvlačenja, R_e (N/mm ²)	≥500	≥500	≥450
Omjer vlačne čvrstoće i granice razvlačenja, R_m/R_e	≥1,05 ¹⁾	≥1,08	≥1,15 ≤1,35
Omjer stvarne i nazivne vrijednosti granice razvlačenja $R_{e,act}/R_{e,nom}$	-	-	≤1,20
Postotak ukupnog istežanja pri najvećoj sili A_{gt} (%)	≥2,5 ²⁾	≥5,0	≥7,5
Čvrstoća pri zamoru (N/mm ²)		≥100	
Dopušteno odstupanje od nazivne mase, %		±4,5	
¹⁾ $R_m/R_e \geq 1,03$ za $d=5,0$ do $5,5$ mm ²⁾ $A_{gt} \geq 2$ % za $d=5,0$ do $5,5$ mm			

FIZIKALNA SVOJSTVA

Računa se sa:

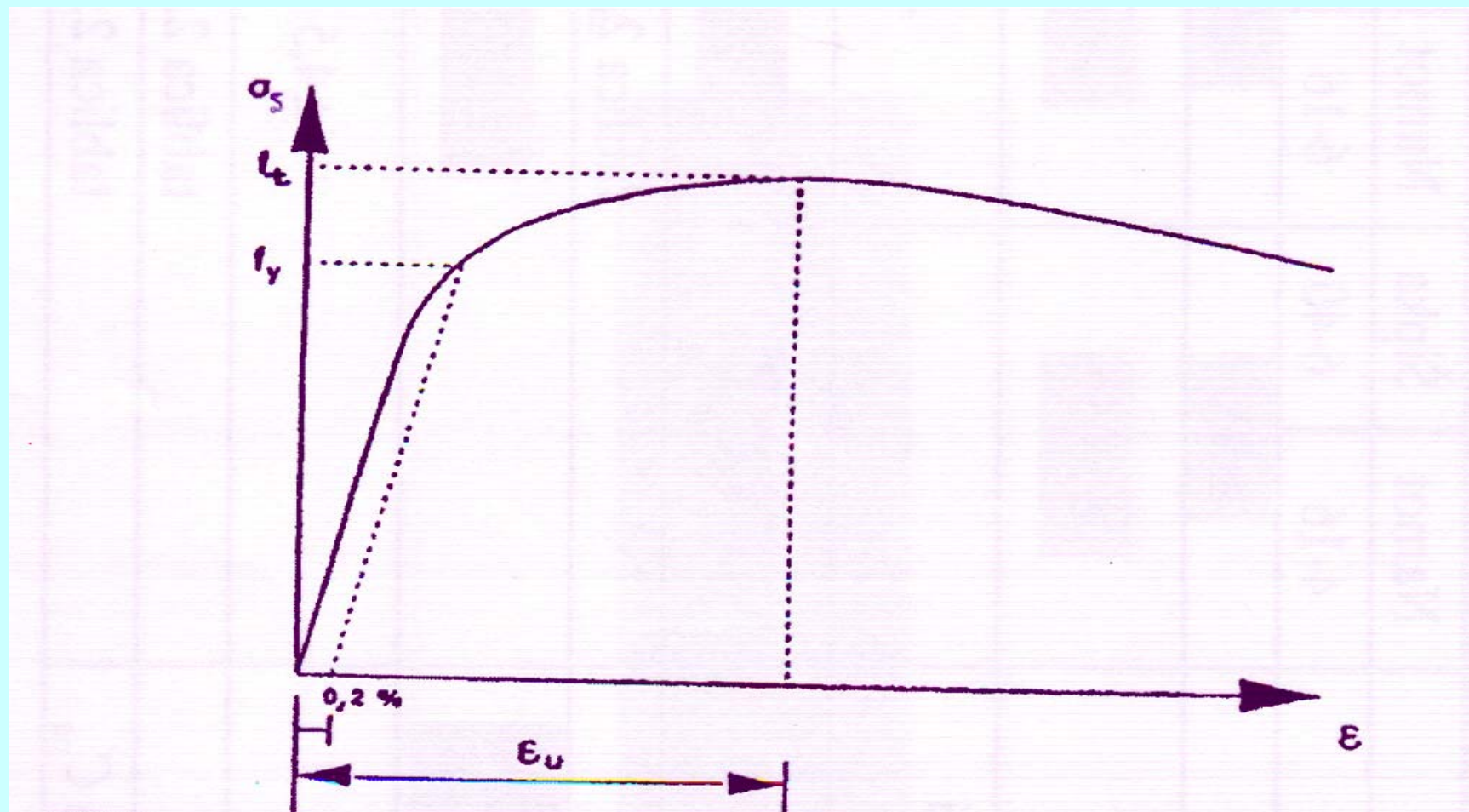
- gustoća $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- toplinski koeficijent $\alpha_t = 1.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

MEHANIČKA SVOJSTVA

ČVRSTOĆA

- Granica popuštanja i vlačna čvrstoća uvijek se definiraju kao karakteristične vrijednosti, f_{yk} i f_{tk} , a dobivaju se kao kvocijent sile pri dostignuću granice popuštanja odnosno najveće sile i nazivne ploštine presjeka.
- Za proizvode bez izražene granice popuštanja f_{yk} uzima se vrijednost $f_{0,2k}$
- Omjer stvarne f_y i karakteristične granice popuštanja f_{yk} (uzima se vrijednost $f_{0,2k}$) ne smije prijeći vrijednosti dane u odgovarajućim normama.

TIPIČNI DIJAGRAM NAPREZANJE – DEFORMACIJA ČELIKA ZA ARMIRANJE



DUKTILNOST

- Proizvodi moraju imati dokazanu primjerenu sposobnost deformacije, kako je dano u normama.
- Za dimenzioniranje se uzima:
 - H - visoka duktilnost $\varepsilon_{uk} > [5] \%$
vrijednost $(f_t / f_y)_k > [1,08]$
 - N - normalna duktilnost $\varepsilon_{uk} > [2,5] \%$
vrijednost $(f_t / f_y)_k > [1,05]$
- Proizvodi moraju za predviđenu namjenu biti **primjereno savitljivi**.

MODUL ELASTIČNOSTI

- Dopušteno je uzeti srednju vrijednost od **200 kN/mm²**.

ZAMOR

- Ako se zahtijeva proizvodi moraju imati primjerenu čvrstoću na zamor definiranu odgovarajućim normama.

TEHNIČKA SVOJSTVA

PRIONLJIVOST I SIDRENJE

- Svojstva površine čelika moraju osigurati dostatnu prionljivost s betonom tako da se ukupna sila koju prenosi armatura može predati betonu.
- Čvrstoća zavarenog spoja u području duljine sidrenja čeličnih mreža mora biti zadovoljavajuća.
- Čvrstoća zavarenih spojeva čeličnih mreža smatra se zadovoljavajućom kad pojedini zavareni spoj može preuzeti silu koja je jednaka najmanje 30 % one sile koja se dobiva kao umnožak karakteristične granice popuštanja i nazivne ploštine presjeka usidrene žice.

ZAVARLJIVOST

- Proizvodi moraju imati svojstva zavarljivosti u skladu s predviđenom namjenom.
- Ako se to zahtijeva i ako zavarljivost nije poznata treba provesti ispitivanja.
- Ako se to zahtijeva potrebno je da u kritičnim mjestima u blizini zavarenih mjesta bude postignuta duktilnost određena propisima.
- *Svojstvo zavarljivosti čelika je od velikog značaja jer se kod nastavljanja armature nekada primjenjuje postupak zavarivanja.*

OBILJEŽJA POVRŠINE

- rebrasti - visoka prionljivost
- glatki - umjerena prionljivost

KOROZIJA ARMATURE

Je elektrokemijski proces, *negativna* je pojava i može *ugroziti sigurnost konstrukcije*.

Može prouzročiti:

- fizički gubitak zaštitnog sloja betona (hrđom nastaje veći volumen što uzrokuje vlačna naprezanja u betonu i raspucavanje),
- kemijski gubitak lužnatosti zaštitnog sloja betona kao posljedica reakcije s ugljičnim dioksidom iz okoliša (karbonatizacija),
- onečišćenje zaštitnog sloja betona korozivnim učincima (ioni klora) koji su uključeni u beton u vrijeme miješanja ili su prodrli iz okoliša,
- uslijed vlage i klorida inducira se električna struja koja uzrokuje kemijske i fizikalne promjene metala.

ISPITIVANJE

Ispitivanje svojstava čelika za armiranje i čelika za prednapinjanje provodi se prema nizu normi.

P.A.4 Svojstva čelika za armiranje, (BK•P, t.2.34)

Razred čelika za armiranje	A		B		C		
	Karakt. vrijed.	Min. vrijed.	Karakt. vrijed.	Min. vrijed.	Karakt. vrijed.	Min. vrijed.	Maks. vrijed.
Svojstvo / karakteristične, najmanje i najveće vrijednosti							
Granica razvlačenja, R_e (N/mm ²)	≥500	≥475	≥500	≥475	≥450	≥425	≤550
Omjer vlačne čvrstoće i granice razvlačenja, R_m/R_e	≥1,05 ¹⁾	≥1,03 ³⁾	≥1,08	≥1,06	≥1,15 ≤1,35	≥1,13	≤1,37
Omjer stvarne i nazivne vrijednosti granice razvlačenja $R_{e,act}/R_{e,nom}$	-	-	-	-	≤1,20	-	≤1,22
Postotak ukupnog izduljenja kod maksimalne sile A_{gt} (%)	≥2,5 ²⁾	≥2,0 ⁴⁾	≥5,0	≥4,5	≥7,5	≥7,0	

¹⁾ $R_m/R_e \geq 1,03$ za $d=4,0$ do $5,5$ mm

²⁾ $A_{gt} \geq 2$ % za $d=4,0$ do $5,5$ mm

³⁾ $R_m/R_e \geq 1,02$ za rebraste proizvode promjera $5,0$ i $5,5$ mm te za profilirani i glatki čelik za armiranje promjera $5,0 - 16,0$ mm, ako je $R_{e,act} \geq 550$ N/mm². Za profilirani i glatki čelik za armiranje promjera $4,0$ i $4,5$ mm ne zadaje se minimalna vrijednost.

⁴⁾ $A_{gt} \geq 1,5$ % za rebraste proizvode promjera 5 i $5,5$ mm, te za profilirani i glatki čelik za armiranje promjera $5,0 - 16,0$ mm, ako je $R_{e,act} \geq 550$ N/mm².

UGRADNJA ARMATURE

- Pri ugradnji armature primjenjuju se pravila iz područja izvođenja i održavanja betonskih konstrukcija, a prema pojedinostima iz projekta betonske konstrukcije, te prema tehničkim uputama.

KONTROLA ARMATURE PRIJE BETONIRANJA

- *Armatura izrađena prema projektu betonske konstrukcije* smije se ugraditi u konstrukciju ako je **potvrđena sukladnost svih materijala i elemenata** (čelika, zavara, mehaničkih spojeva, spojki cijevi za natege, morta za injektiranje), ili je ispitana.
- *Armatura proizvedena prema tehničkoj specifikaciji* (normi ili tehničkom dopuštenju), za koju je potvrđena sukladnost određena TPBK, smije se ugraditi u betonsku konstrukciju ako **ispunjava zahtjeve projekta betonske konstrukcije**.
- *Prije ugradnje armature predviđa se provođenje normama propisanih nadzornih i kontrolnih radnji*.

ČELIK ZA PREDNAPINJANJE

Oznake i kratice:

- f_p vlačna čvrstoća čelika za prednapinjanje
- f_{pk} karakteristična vlačna čvrstoća čelika za prednapinjanje
- $f_{p0,1}$ naprezanje čelika za prednapinjanje pri zaostaloj deformaciji od 0,1 % (skraćeno: granica popuštanja 0,1 %)
- $f_{p0,1k}$ karakteristično naprezanje čelika za prednapinjanje pri zaostaloj deformaciji od 0,1% (skraćeno: karakteristična granica popuštanja 0,1%)
- ε_u deformacija čelika za prednapinjanje kod najveće sile
- ε_{uk} karakteristična deformacija čelika za prednapinjanje kod najveće sile

Proizvodi se dijele na razrede prema:

- (i) vrsti, tj. s obzirom na karakterističnu granicu popuštanja pri zaostaloj deformaciji od 0,1% ($f_{p0,1k}$) i karakterističnu vlačnu čvrstoću (f_{pk}) u N/mm^2
- (ii) razredu s obzirom na relaksacijsko ponašanje
- (iii) izmjerama
- (iv) obilježjima površine

Isporučuje se u obliku:

- žica
 - užadi
 - šipki
-
- Karakteristike čelika za prednapinjanje f_p , $f_{p0,1}$, $f_p/f_{p0,1}$, ϵ_u , moraju biti navedeni u normama i moraju se dokazati normiranim postupcima ispitivanja.

**P.A.5 Svojstva i označivanje čelika za prednapinjanje prema nizu norma
nHRN EN 10138, (BK•P, t.2.33b)**

Norma	Naziv	Ime	Broj	Promjer <i>d</i> (mm)	Vlačna čvrstoća R_m (MPa)	Karakt. vrijednost najveće sile F_m
nHRN EN 10138-2	žica	Y1860C	1.1353	3	1860	13,3
				4		23,4
				5		36,5
	žica	Y1770C	1.1352	3,2	1770	14,2
5,0				34,8		
žica	Y1670C	1.1351	6,0	1670	50,0	
			6,9		62,4	
žica	Y1570C	1.1350	7,0	1570	64,3	
			7,5		73,8	
nHRN EN 10138-3	uže	Y1960S3	1.1361	9,4	1960	109
				9,5		111
	uže	Y1860S3	1.1360	10,0	1860	123
				5,2		26,7
	uže	Y1860S7	1.1366	6,5	1860	39,2
				6,8		43,5
				7,5		54,0
				7,0		56
				9,0		93
				11,0		140
uže	Y1770S7	1.1365	12,5	1770	173	
			13,0		186	
uže	Y1860S7C	1.1372	15,2	1860	248	
			16,0		265	
uže	Y1820S7C	1.1371	18,0	1820	354	
			12,7		209	
uže	Y1700S7C	1.1370	15,2	1700	300	
			18,0		380	
nHRN EN 10138-4	šipka	Y1100H	1.1381	15	1100	194
				20		346
	šipka	Y1030H	1.1380	25,5	1030	526
				26		547
				26,5		568
				27		590
				32		828
				36		1048
	šipka	Y1230H	1.1382	40	1230	1294
				50		2022
26				653		
26,5				678		
šipka	Y1230H	1.1382	32	1230	989	
			36		1252	
šipka	Y1230H	1.1382	40	1230	1546	
			36		1252	

FIZIKALNA SVOJSTVA

Računa se sa:

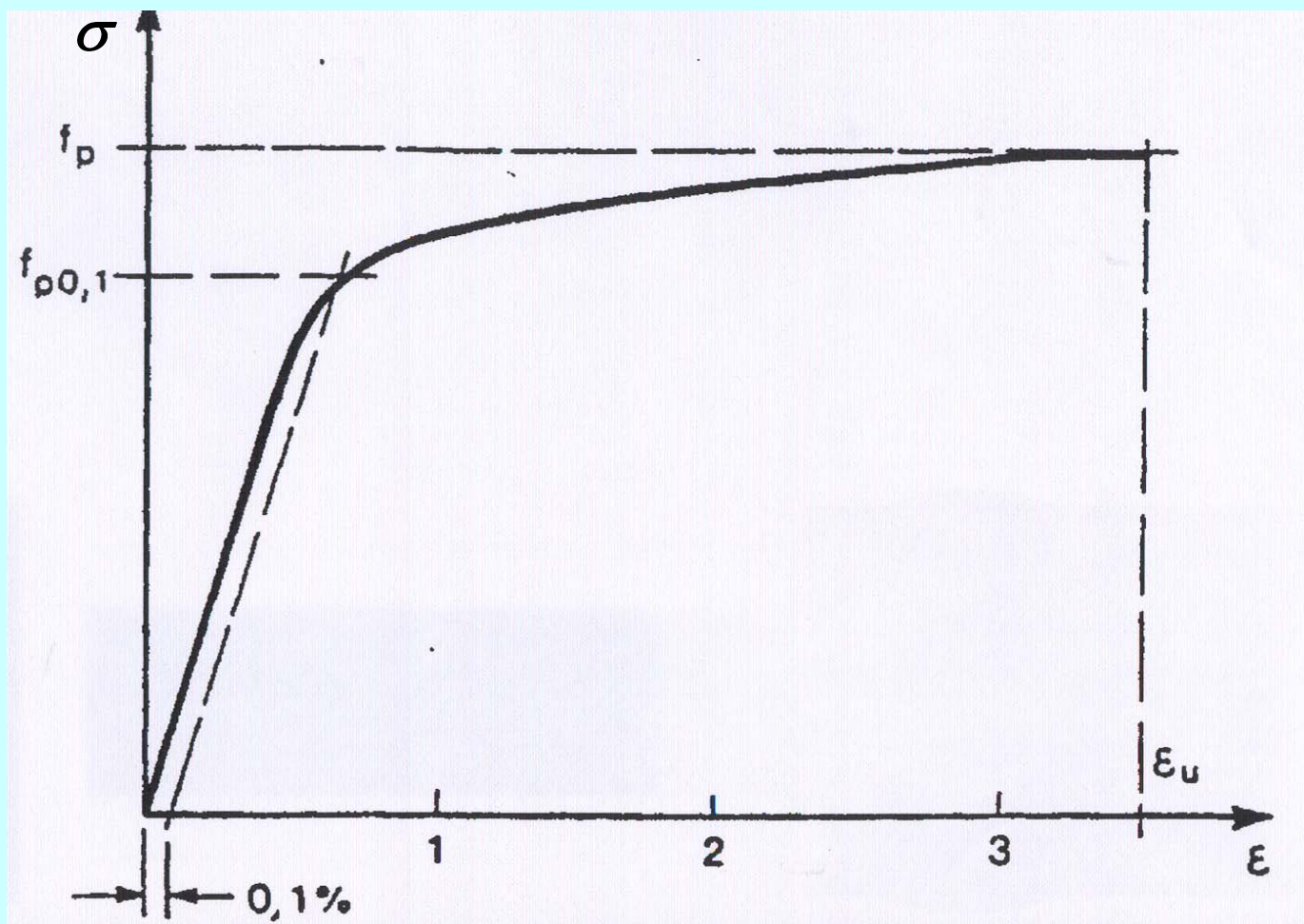
- gustoća $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- toplinski koeficijent $\alpha_t = 1.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

MEHANIČKA SVOJSTVA

ČVRSTOĆA

- Granica popuštanja pri zaostaloj deformaciji od 0,1 % i vlačna čvrstoća uvijek se definiraju kao karakteristične vrijednosti, $f_{p0,1k}$ i f_{pk} , a dobivaju se kao kvocijent sile koja odgovara 0,1 % - tnoj trajnoj deformaciji odnosno najveće sile u vlačnom pokusu i nazivne ploštine presjeka

TIPIČNI DIJAGRAM NAPREZANJE – DEFORMACIJA ČELIKA ZA PREDNAPINJANJE



DUKTILNOST

- Proizvodi moraju biti primjereno duktilni, kako je utvrđeno u odgovarajućim normama.
- Smatra se da je duktilnost zadovoljavajuća ako prema određenim normama proizvodi zadovoljavaju zahtjeve za karakterističnom deformacijom kod najveće sile, ε_{uk}
- Proizvodi moraju biti dostatno duktilni pri savijanju te zadovoljavati zahtjeve savitljivosti prema odgovarajućim normama.

MODUL ELASTIČNOSTI

- Za **žice i šipke** može se prihvatiti srednja vrijednost od **200 kN/mm²**. Ovisno o postupku proizvodnje, stvarna vrijednost može biti između 195 i 205 kN/mm².
- Za **užad** se uzima vrijednost od **190 kN/mm²**. Ovisno o postupku izradbe, stvarna vrijednost može biti između 175 i 195 kN/mm².

Dokumenti koji prate isporuku trebaju sadržavati ove podatke.

ZAMOR

- Proizvodi moraju imati primjerenu čvrstoću na zamor definiranu odgovarajućim normama.

TEHNIČKA SVOJSTVA

STANJE POVRŠINE

- Ne smije imati nedostatke koji utječu na ponašanje.
- Uzdužni zarez ne smatraju se nedostatkom ako su dubine manje od dopuštene po propisima.

OPUŠTANJE - RELAKSACIJA

- Proizvodi se dijele prema najvećem gubitku naprezanja u %.

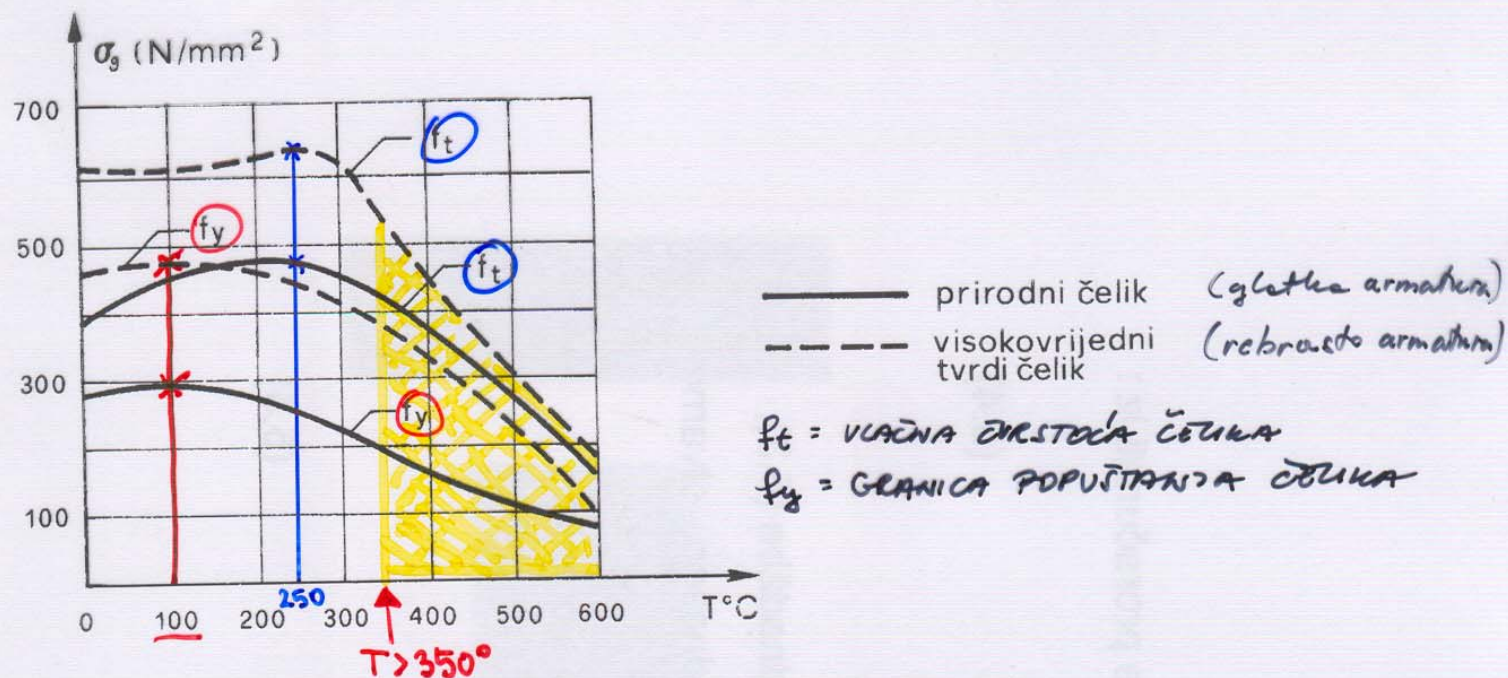
Tri razreda:

- razred 1: žice i užad visokog opuštanja
- razred 2: žice i užad niskog opuštanja
- razred 3: šipke

OSJETLJIVOST NA NAPONSKU KOROZIJU

- Mora biti primjerena.

UTJECAJ VISOKE TEMPERATURE NA ČVRSTOĆU I GRANICU POPUŠTANJA ČELIKA:



Ovisnost čvrstoće i granice popuštanja o temperaturi

- do $T \approx 250^\circ\text{C}$ ne smanjuje se vlačna čvrstoća čelika
- do $T \approx 100^\circ\text{C}$ ne smanjuje se granica popuštanja čelika
- $T > 350^\circ\text{C}$ vrlo su opasne za a.b. konstrukcije