

Označavanje čelika i osnove proračuna

METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

VEŽBE BR.1-1

1

Označavanje čelika

Označavanje čelika je visoko standardizovano.
Usvojen je Evropski sistem označavanja.

SRPS EN 10027-1:2003 Sistem za označavanje čelika-Deo
1: Označavanje, osnovne oznake;

SRPS EN 10027-2:2003 Sistem za označavanje čelika -
Deo 2: Brojčani sistem;

SRPS CR 10260:2003 Sistem za označavanje čelika -
Dodatne oznake;

2

OZNAČAVANJE ČELIKA

G liveni čelici	Granica razvlačenja u MPa
S konstrukcioni čelici	

S	355	J2	G3	+ Z35
Osnovna oznaka		Dodatna oznaka 1	Dodatna oznaka 2	Dopunska oznaka

Mehaničke karakteristike			
Energija loma prilikom udara (Charpy)			
Temp °C	27J	40J	60J
20	JR	KR	LR
0	JO	KO	LO
-20	J2	K2	L2
-30	J3	K3	L3
-40	J4	K4	L4
-50	J5	K5	L5
-60	J6	K6	L6

Fizičke karakteristike / grupa 1	
(Stanje isporuke)	
G1	Neumiren
G2	Umiren
G3	Uslovi isporuke opciono
G4	Uslovi isporuke po izboru proizvođača
M	Termomehaničko valjanje
N	Normalizovano valjanje

Fizičke karakteristike / grupa 2	
L	Za niske temperature
M	Termomehaničko oblikovanje
N	Normalizovani valjani
O	Za ofšor konstrukcije
W	Otporni na atmosferske uticaje

Specijalni zahtevi	
Z15	min 15% redukcije površine
Z25	min 25% redukcije površine
Z35	min 35% redukcije površine

3

Izbor vrste i kvaliteta čelika kao osnovnog materijala za noseću konstrukciju

Parametri koji utiču na izbor kvaliteta osnovnog materijala:

- otpornost na kruti lom i zamor materijala
- otpornost na lamelarno cepanje.

Zavisi od više faktora:

- vrste i značaja konstrukcije,
- intenziteta i prirode opterećenja,
- oblikovanja konstrukcije i njenih detalja,
- minimalne radne temperature,
- ekonomskih pokazatelja.

4

Novi sistem označavanja čelika		Stari sistem označavanja čelika prema JUS C. BO.002/1986
Oznake prema SRPS EN 10027-1	Oznake prema SRPS EN 10027-2	
S185	1.0035	C0130
S235JR	1.0037	C0370
S235JRG1	1.0036	C0371
S235JRG2	1.0038	C0361
S235J0	1.0114	C0362
SJ2G3	1.0116	C0363
S275JR	1.0044	C0451
S275J0	1.0143	C0452
S275J2G3	1.0144	C0453
S355JR	1.0045	C0561
S355J0	1.0553	C0562
S355J2G3	1.0570	C0563

5

Slovni simbol osnovne oznake kod specifičnih čelika

- G** za liveni čelik
- S** za konstrukcioni čelik (S235, S275, S355 ...)
- B** za betonske čelike (B500 ...)
- P** za čelik za opremu pod pritiskom (P265, P355)
- E** za čelik za mehaničke konstrukcije (E295, ...)
- Y** za čelik za prednaprezanje betona (Y1770 ...)

Za čelične konstrukcije u građevinarstvu koriste se pretežno konstrukcioni čelici (nelegirani, niskougljeni čelici).

6

Tehnički uslovi isporuke proizvoda

Obrađeni su u standardu **SRPS EN 10025:**

"Toplovaljani proizvodi od nelegiranih konstrukcionih čelika -
Tehnički zahtevi za isporuku"

U ovom standardu se definišu:

- vrsta čelika (mehaničke karakteristike, hemijski sastav),
- kvalitet čelika (žilavost na krti lom - energija loma na odgrovarajućoj temperaturi),
- način dezoksidacije i stanje isporuke.

7

Izbor vrste i kvaliteta čelika kao osnovnog materijala za noseću konstrukciju

Parametri koji utiču na izbor kvaliteta osnovnog materijala:

- otpornost na krti lom i zamor materijala
- otpornost na lamelarno cepanje.

Zavisi od više faktora:

- vrste i značaja konstrukcije,
- intenziteta i prirode opterećenja,
- oblikovanja konstrukcije i njenih detalja,
- minimalne radne temperature,
- ekonomskih pokazatelja.

8

Tehnicka regulativa za izbor kvaliteta čelika

JUS U.E7.010/1988: "Izbor osnovnog čeličnog materijala" - U koliziji sa novousvojenim standardom za označavanje čelika

Evrokod 3 Deo 1-10: "Izbor osnovnog materijala u pogledu otpornosti na krti lom i lamelarno cepanje" - Nije jos uvek usvojena definitivna verzija

9

Osnove proračuna čeličnih konstrukcija

Osnovni kriterijum je **pouzdanost** koja se ogleda kroz:

- **sigurnost** - konstrukcija sa odgovarajućim stepenom sigurnosti mora da bude sposobna da prihvati sva opterećenja koja će se javiti tokom njenog veka (kontrola napona, stabilnosti,...);
- **funkcionalost** - konstrukcija mora da omogući normalno funkcionisanje objekta shodno njegovoj nameni (kontrola deformacija i vibracija);
- **trajnost** - faktori od uticaja su izbor i kvalitet materijala, kvalitet izvođačkih radova, konstrukcijsko oblikovanje, nivo održavanja objekta (korozija, zamor materijala,)

10

Metode proračuna

Prema teoriji dopuštenih napona

- deterministički pristup;
zastupljen u domaćim propisima;
- **Prema teoriji graničnih stanja**
- poluprobabilistički pristup;
zastupljen u većini savremenih propisa (Evrokod);

11

Proračun prema teoriji dopuštenih napona

- Standardom se definišu (propisuju) određeni slučajevi (kombinacije) opterećenja i odgovarajući dopušteni naponi koji ne smeju biti prekoračeni!
- Kriterijum za iscrpljenje nosivosti je dostizanje granice razvlačenja (f_y).
- Dopušteni naponi se određuju (determinišu) na osnovu jedinstvenih koeficijenata sigurnosti (γ) kojima se deli napon na granici razvlačenja (f_y).
- Zasniva se na Teoriji elastičnosti i u pogledu proračuna uticaja u elementima konstrukcije (globalna analiza) i u pogledu dimenzionisanja preseka i elemenata (lokalna analiza).
- Pored kontrole napona obavezna je i kontrola deformacija.

12

Slučajevi opterećenja

I slučaj opterećenja - osnovno opterećenje
(sopstvena težina, stalno opterećenje, sneg, korisno opterećenje, saobraćajno opterećenje,...)

II slučaj opterećenja - osnovno + dopunsko opterećenje
(dopunska opterećenja su: vetar, temperatura, sile kočenja, bočni udari,...)

III slučaj opterećenja - osnovno + dopunsko + izuzetno opterećenje (izuzetna opterećenja su: udar vozila, seizmički uticaju, požar...)

13

Koeficijenti sigurnosti

	Slučaj opterećenja	Koeficijent sigurnosti
1	I slučaj opterećenja (osnovno)	$\gamma = 1,50$
2	II slučaj opterećenja (osnovno+dopunsko)	$\gamma = 1,33$
3	III slučaj opterećenja (osnovno+dopunsko+izuzetno)	$\gamma = 1,20$

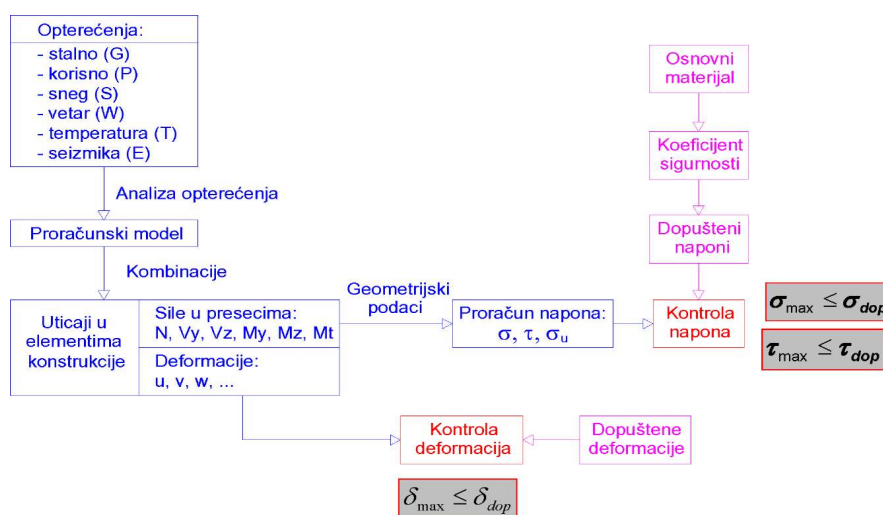
14

Tabela - *Dopušteni naponi [MPa]*

Oznaka čelika	I slučaj opterećenja		II slučaj opterećenja		III slučaj opterećenja	
	σ_{dop}	τ_{dop}	σ_{dop}	τ_{dop}	σ_{dop}	τ_{dop}
S235	160	90	180	100	200	115
S275	185	105	205	120	235	130
S355	240	140	265	155	300	175

15

Način proračuna konstrukcije



16

Proračun i konstruisanje elemenata konstrukcija

Osnovni slučajevi naprezanja elemenata

- Aksijalno zatezanje (N_t)
- Aksijalni pritisak (N_c)
- Savijanje (M i V)
- Ekscentrično zatezanje (savijanje+zatezanje)
- Ekscentričan pritisak (savijanje+pritisak)
- Torzija

17

Aksijalno opterećeni elementi

- Aksijalno (centrično) zategnuti elementi;
- Aksijalno (centrično) pritisnuti elementi;

Suštinska razlika u proračunu!

Zatezanje najjednostavniji vid naprezanja čelika
Pogoduje čeliku kao materijalu

18

Proračun aksijalno zategnutih elemenata

- Kontrola nosivosti poprečnog preseka – kontrola napona;
- Kontrola napona zavisi od načina ostvarivanja veze na kraju elementa;
- U vezi sa zavrtnjevima ili zakivcima treba uzeti u obzir slabljenje poprečnog preseka rupama za spojna sredstva!

19

Kontrola napona – bez slabljenja

- Ukoliko nema slabljenja poprečnog preseka, kontrola napona se vrši na sledeći način:

$$\sigma = \frac{N_t}{A} \leq \sigma_{dop} = \frac{f_y}{v}$$

- N_t sila zatezanja,
 A površina poprečnog preseka (bruto),
 σ_{dop} dopušten normalni napon,
 f_y granica razvlačenja,
 v koeficijent sigurnosti.

20

Kontrola napona – za oslabljen presek

- Ukoliko se presek slabi rupama za spojna sredstva, kontrola napona se vrši na sledeći način:

$$\sigma = \frac{N_t}{A_{\text{net}}} \leq \sigma_{\text{dop}} = \frac{f_y}{\gamma}$$

- N_t sila zatezanja,
 A_{net} površina poprečnog preseka (neto),
 σ_{dop} dopušten normalni napon,
 f_y granica razvlačenja,
 γ koeficijent sigurnosti.

21

Neto površina poprečnog preseka

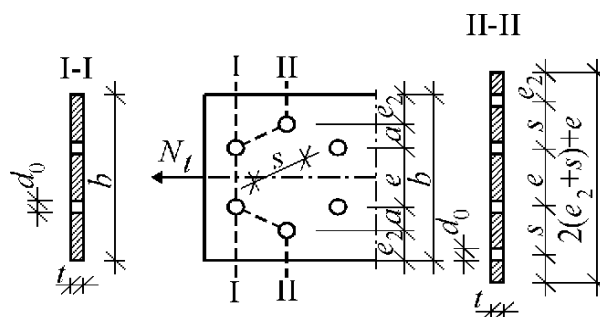
- Dobija se kada se od ukupne, bruto površine oduzme površina svih otvora (rupa za spojna sredstva) u istom preseku

$$A_{\text{net}} = A - \Delta A$$

- A bruto površina,
 ΔA ukupna površina otvora (rupa).

22

Opasan (merodavan) presek



$$A_{\text{net}}^{\text{I}} = (b - 2d_o) \cdot t \quad A_{\text{net}}^{\text{II}} = (e + 2e_2 + 2s - 4d_o) \cdot t$$

Merodavan presek je presek sa manjom neto površinom!

23

Vitkost zategnutih elemenata

Kod dinamički opterećenih konstrukcija

$$\lambda = l/i \leq 300$$

Kod statički opterećenih konstrukcija

$$\lambda = l/i \leq 400$$

l - dužina elementa,

i - minimalni poluprečnik inercije.

24

1. Zadatak

Dimenzionisati štao opterećen silom zatezanja od 1000 kN. Štap usvojiti od INP profila.

Za usvojeni profil štapa proveriti napone kada se profil oslabi sa po dve rupe na nožicama za maksimalni dozvoljeni prečnik zavrtnja.

Izvršiti ponovno dimenzionisanje ako usvojeni profil ne zadovoljava

Osnovni materijal: Č0361 (S235)

Slučaj opterećenja: I

Rešenje:

Osnovni materijal č0361 (I sl.o.) $\Rightarrow$

dopušten napon zatezanja : $\sigma_{dop} = 16 \text{ kN/cm}^2$

Potrebna površina profila:

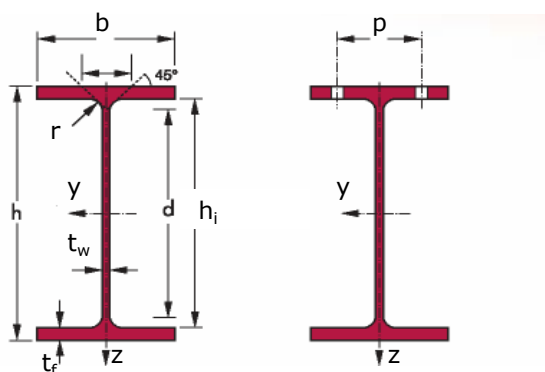
$$A_{pot} = N_f / \sigma_{dop} = 1000 / 16 = 62.5 \text{ cm}^2$$

Iz tablica za IPE profile usvajamo prvi profil koji ima veću površinu od potrebne, a to je IPE330

25

U tablicama su date geometrijske karakteristike profila IPE 330

	G	h	b	t _w	t _f	r	A	h _i	d	Ø	p _{min}	p _{max}	AL	AG
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	m ² /m	m ² /t
IPE 330	49,1	330	160	7,5	11,5	18	62,6	307	271	M 16	78	96	1,254	25,52



26

Napon u profilu

$$\sigma = N/A = 1000/62.60 = 15.97 \text{ kN/cm}^2 < 16 \text{ kN/cm}^2$$

usvojeni profil zadovoljava

Provera napona za oslabljeni profil

$$A_{\text{neto}} = A - 4 \cdot d_0 \cdot t_f = 62.6 - 4 \cdot 1.7 \cdot 1.15 = 62.6 - 7.82 = 54.78 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = N_f/A_{\text{net}} = 1000/54.78 = 18.25 \text{ kN/cm}^2 > \sigma_{\text{dop}}$$

Usvojeni profil ne zadovoljava, usvajamo novi profil IPE 360

G	h	b	t _w	t _f	r	A	h _i	d	∅	p _{min}	p _{max}	AL	AG
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm		mm	mm	m ² /m	m ² /t
IPE 360 57,1	360	170	8	12,7	18	72,7	334,6	298,6	M 22	88	88	1,353	23,70

$$A = 72.7 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{neto}} = A - 4 \cdot d_0 \cdot t_f = 72.7 - 4 \cdot 1.7 \cdot 1.27 = 72.7 - 8.64 = 64.06 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = N_f/A_{\text{net}} = 1000/64.06 = 15.61 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}} \text{ profil zadovoljava}$$

ako uzmemo da je za IPE 360 max zavrtanj M22 → d₀ = 24mm

$$A_{\text{neto}} = A - 4 \cdot d_0 \cdot t_f = 72,7 - 4 \cdot 2.4 \cdot 1,27 = 72,7 - 12,19 = 60,51 \text{ cm}^2$$

27

$$\sigma = N_f/A_{\text{net}} = 1000/60.51 = 16.52 \text{ kN/cm}^2 > \sigma_{\text{dop}} \text{ profil nezadovoljava}$$

Zaključak: Potrebno je povećati bruto površinu oslabljenog preseka za oko 20% u odnosu na potrebnu površinu neoslabljenog bruto preseka

Potrebna površina profila:

$$A_{\text{pot}} = N_f / (0.8 \cdot \sigma_{\text{dop}}) = 1000 / (0.8 \cdot 16) = 78.125 \text{ cm}^2$$

usvajamo IPE 400

G	h	b	t _w	t _f	r	A	h _i	d	∅	p _{min}	p _{max}	AL	AG
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm		mm	mm	m ² /m	m ² /t
IPE 400 66.3	400	180	8.6	13.5	21	84.5	373	331	M 22	96	98	1,467	22.12

$$A = 84.50 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{neto}} = A - 4 \cdot d_0 \cdot t_f = 84,5 - 4 \cdot 1,7 \cdot 1,35 = 84,5 - 12,96 = 71,54 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = N_f/A_{\text{net}} = 1000/71,54 = 13.97 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}} \text{ profil zadovoljava}$$

28

2. Zadatak

Odrediti maksimalnu silu zatezanja koju može da prenese štap zdatog poprečnog preseka. Veza štapa za čvorni lim ostvaruje se pomoću zavrtnjeva. Položaj zavrtnjeva usvojiti prema liniji zavrtnjeva, a za prečnik zavrtnjeva usvojiti maksimalan prečnik za zadati profil.

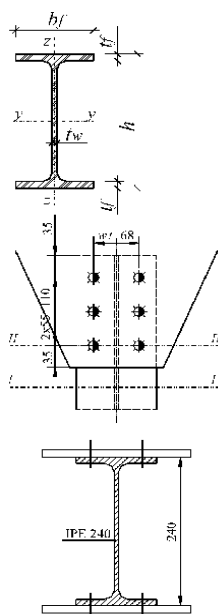
Rastojanje između susednih zavrtnjeva u podužnom pravcu jednako je $3d_0$.

Osnovni materijal: Č0361 (S235)

Slučaj opterećenja: I



29



Osnovni materijal č0361 (I sl.o.) $\Rightarrow$ dopušten napon zatezanja $\sigma_{dop} = 16 \text{ kN/cm}^2$

a) IPE 240

Geometrijske karakteristike poprečnog preseka:

$$A = 39,1 \text{ cm}^2$$

$$b_f = 120 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,8 \text{ mm}$$

Maksimalni dozvoljeni prečnik rupe za spojna sredstva

$$d_0 = 17 \text{ mm}$$

Usvajaju se zavrtnjevi M16

Proračun maksimalne sile zatezanja koju može da prenese profil IPE 240.
- Presek I-I (bruto poprečni presek)

$$N_I = A \cdot \sigma_{dop} = 39,1 \cdot 16 = 625,6 \text{ kN}$$

30

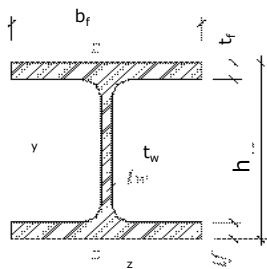
Presek II-II (neto poprečni presek)

$$A_{\text{net}} = A - n \cdot d \cdot t_f = 39,1 - 4 \cdot 1,7 \cdot 0,98 = 32,44 \text{ cm}^2$$

$$N_{\text{II}} = A_{\text{net}} \cdot \sigma_{\text{dop}} = 32,44 \cdot 16 = 519,0 \text{ kN}$$

$$N_{\text{max}} = \min(N_{\text{I}}, N_{\text{II}}) = 519,0 \text{ kN}$$

b) HEB 240

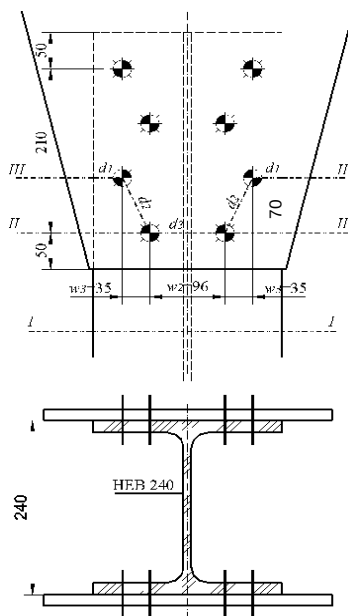


$$A = 106,0 \text{ cm}^2$$

$$b_f = 240 \text{ mm}$$

$$t_f = 17,0 \text{ mm}$$

31



Maksimalni dozvoljeni prečnik rupe za spojna sredstva $d_0 = 25 \text{ mm}$
Usvajaju se zavrtnjevi **M24**
 $3 d_0 = 75 \text{ mm}$

Proračun maksimalne sile zatezanja koju može da prenese profil HEB 240

-Presek I-I (bruto poprečni presek)

$$N_{\text{I}} = A \cdot \sigma_{\text{dop}} = 106,0 \cdot 16 = 1696,0 \text{ kN}$$

- Presek II-II (neto poprečni presek)

$$A_{\text{net,II}} = A - n \cdot d \cdot t_f = 106,0 - 4 \cdot 2,5 \cdot 1,7 = 89,0 \text{ cm}^2$$

$$N_{\text{II}} = A_{\text{net,II}} \cdot \sigma_{\text{dop}} = 89,0 \cdot 16 = 1424,0 \text{ kN}$$

32

- Presek III-III (neto poprečni presek)

$$d_1 = (240 - 96 - 2 \cdot 35) / 2 = 37 \text{ mm}$$

$$d_2 = \sqrt{70^2 + 35^2} = 78.26 \text{ mm}$$

$$d_3 = 96,0 \text{ mm}$$

$$A_w = A - 2 \cdot b_f \cdot t_f = 106 - 2 \cdot 24 \cdot 1.7 = 24.4 \text{ cm}^2 \quad \text{-Površina rebra}$$

$$A_{f,net,1} = (2 \cdot d_1 + 2 \cdot d_2 + d_3 - 4 \cdot d_0) \cdot t_f = (2 \cdot 3.7 + 2 \cdot 7.83 + 9.6 - 4 \cdot 2.5) \cdot 1.7 = 38.50 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,III} = 2 \cdot A_{f,net,1} + A_w = 2 \cdot 38.5 + 24.4 = 101.40 \text{ cm}^2$$

$$N_{III} = A_{net,III} \cdot \sigma_{dop} = 101.4 \cdot 16.0 = 1622.4 \text{ kN}$$

$$N_{max} = \min(N_I, N_{II}, N_{III}) = 1424.0 \text{ kN}$$

33

Nosači opterećeni na savijanje i smicanje

Uticaji u nosaču

M – momenat savijanja

T – transversalna sila

$$\sigma = \frac{M}{I_y} \cdot z \quad \text{Normalni napon u bilo kojoj tački preseka}$$

$$\tau = \frac{T \cdot S_y}{b_z \cdot I_y} \quad \text{Smičući napon u bilo kojoj tački preseka}$$

S_y – statički moment inercije
 b_z – širina preseka

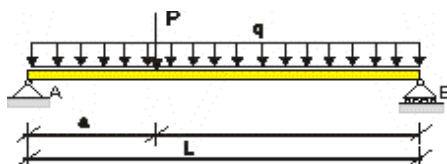
$$\sigma = \frac{M}{W_y} \leq \sigma_{dop} \quad \text{Uslov za dimenzionisanje nosača}$$

$$\tau = \frac{T \cdot S_y}{b_z \cdot I_y} \leq \tau_{dop}$$

34

4. Zadatak

- Dimenzionisati nosač sistema proste grede koji je opterećen prema skici. Nosač je kontinualno bočno pridržan.



$q = 7 \text{ kN/m}$
 $P = 20 \text{ kN}$
 $a = 2 \text{ m}$
 $L = 6 \text{ m}$

Poprečni presek nosača usvojiti iz asortimana vruće valjanih profila:
 IPE HEB HEM

Osnovni materijal: Č0361
 Slučaj opterećenja: II
 Dozvoljeni ugib nosača: $L/250$

35

Osnovni materijal Č0361 (II sl.o.)
 dopušten normalni napon $\sigma_{\text{dop}} = 18 \text{ kN/cm}^2$
 dopušten smičući napon $\tau_{\text{dop}} = 10 \text{ kN/cm}^2$

Dimenzionisanje nosača:

Uticaji u nosaču



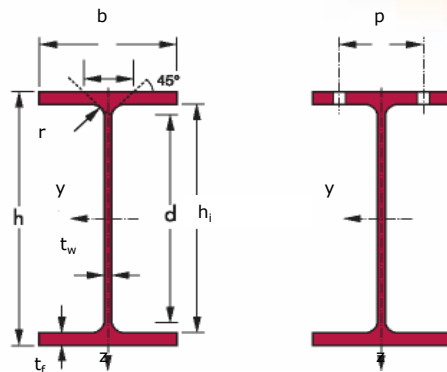
$$W_{\text{pot}} = M_{\text{max}} / \sigma_{\text{doz}}$$

$$W_{\text{pot}} = 54.67 \cdot 10^2 / 16 = 303.7 \text{ cm}^3$$

36

Usvajamo iz tablica profil sa većim otpornim momentom od potrebnog.
To je profil IPE 240

	G	h	b	t _w	t _f	r	A	i _y	d	∅	p _{min}	p _{max}	AL	AG
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm		mm	mm	m ² /m	m ² /t
IPE 240	30,7	240	120	6,2	9,8	15	39,1	220,4	190,4	M 12	66	68	0,922	30,02



37

Pored geometrijskih potrebni su nam i statički podaci za usvojeni profil

$S_y = 183 \text{ cm}^3$

S _y =183 cm ³													
G kg/m	I _y mm ⁴	W _{el.y} mm ³	W _{pl.y} mm ³	i _y mm	Avz mm ²	I _z mm ⁴	W _{el.z} mm ³	W _{pl.z} mm ³	i _z mm	s mm	I _t mm ⁴	I _w mm ⁶	
IPE 240	30,7	3892	324	366,6	9,97	19,14	283,6	47,27	73,92	2,69	43,37	12,88	37,39

Kontrola napona:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{54.67 \cdot 10^2}{324} = 16.87 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

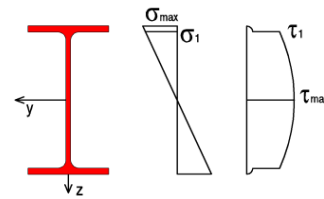
$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S_y}{t_w \cdot I_y} = \frac{34.33 \cdot 183}{0.62 \cdot 3890} = 2.6 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{\text{dop}} = 10 \text{ kN/cm}^2$$

38

Kontrola uporednog napona na mestu
Maksimalnog momenta savijanja

$$S_{y,0} = (b_f \cdot t_f) \frac{h - t_f}{2} = (12 \cdot 0.98) \frac{24 - 0.98}{2} = 135$$

$$T_{odg} = 34.33 - 2 \cdot 7 = 20.33 \text{ kN}$$



$$\sigma_1 = \frac{M_{MAX}}{I_y} \cdot \frac{h - 2t_f}{2} = \frac{54.67 \cdot 10^2}{3890} \cdot \frac{(24 - 2 \cdot 0.98)}{2} = 15.5 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{dop} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_1 = \frac{T \cdot S_{y,0}}{t_w \cdot I_y} = \frac{20.33 \cdot 135.4}{0.62 \cdot 3890} = 1.14 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{dop} = 10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = \sqrt{15.5^2 + 3 \cdot 1.14^2} = 15.60 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{dop} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

39

Kontrola ugiba:

$$f_{\max(q)} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 7 \cdot 10^{-2} \cdot 600^4}{384 \cdot 21000 \cdot 3890} = 1.4 \text{ cm}$$

$$f_{\max(P)} = \frac{P}{27 \cdot E \cdot I_y} \cdot \frac{a}{l} \cdot \sqrt{3 \cdot (l^2 - a^2)^3} = \frac{20}{27 \cdot 21000 \cdot 3890} \cdot \frac{200}{600} \sqrt{3 \cdot (600^2 - 200^2)^3} = 0.95 \text{ cm}$$

Položaj maksimalnog ugiba usled sile P=20 kN

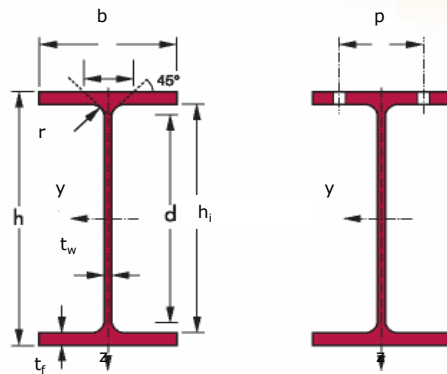
$$x = \sqrt{\frac{l^2 - a^2}{3}} = \sqrt{\frac{600^2 - 200^2}{3}} = 326 \text{ cm} = 300 \text{ cm} = \frac{l}{2}$$

$$f_{\max(q+P)} = 1.4 + 0.95 = 2.35 < 2.40 = \frac{l}{250} = f_{dop}$$

40

b) Poprečni presek HEB 180

	G	h	b	t _w	t _f	r	A	i _y	d	∅	p _{min}	p _{max}	AL	AG
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm		mm	mm	m ² /m	m ² /t
HEB 180	51.2	180	180	8.5	14	15	65.30	152	122	M 24	88	92	1.037	20.25



41

Pored geometrijskih potrebnih su nam i statički podaci za usvojeni profil

$S_y = 241 \text{ cm}^3$

S _y =241 cm ³													
G kg/m	I _y mm ⁴	W _{el.y} mm ³	W _{pl.y} mm ³	i _y mm	Av _z mm ²	I _z mm ⁴	W _{el.z} mm ³	W _{pl.z} mm ³	i _z mm	s mm	I _t mm ⁴	I _w mm ⁶	
HEB 180	51.2	3831	426	481	7.66	20.24	1363	151	231	4.57	54.07	42.16	93.75

Kontrola napona:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{54.67 \cdot 10^2}{426} = 12.80 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S_y}{t_w \cdot I_y} = \frac{34.33 \cdot 241}{0.85 \cdot 3830} = 2.54 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{\text{dop}} = 10 \text{ kN/cm}^2$$

42

Kontrola uporednog napona na mestu
Maksimalnog momenta savijanja

$$S_{y,0} = (b_f \cdot t_f) \frac{h - t_f}{2} = (18 \cdot 1.4) \frac{18 - 1.4}{2} = 209.2 \text{ cm}^3$$

$$T_{\text{odg}} = 34.33 - 2 \cdot 7 = 20.33 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_{\text{MAX}}}{I_y} \cdot \frac{h - 2t_f}{2} = \frac{54.67 \cdot 10^2}{3830} \cdot \frac{(18 - 2 \cdot 1.4)}{2} = 10.85 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_1 = \frac{T \cdot S_{y,0}}{t_w \cdot I_y} = \frac{20.33 \cdot 209.2}{0.85 \cdot 3830} = 1.31 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{\text{dop}} = 10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = \sqrt{10.85^2 + 3 \cdot 1.31^2} = 11.1 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

43

Kontrola ugiba:

$$f_{\text{max}(q)} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 7 \cdot 10^{-2} \cdot 600^4}{384 \cdot 21000 \cdot 3830} = 1.47 \text{ cm}$$

$$f_{\text{max}(P)} = \frac{P}{27 \cdot E \cdot I_y} \cdot \frac{a}{l} \cdot \sqrt{3 \cdot (l^2 - a^2)^3} = \frac{20}{27 \cdot 21000 \cdot 3830} \cdot \frac{200}{600} \sqrt{3 \cdot (600^2 - 200^2)^3} = 0.96 \text{ cm}$$

Položaj maksimalnog ugiba usled sile P=20 kN

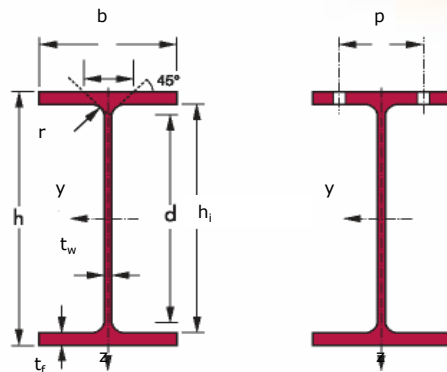
$$x = \sqrt{\frac{l^2 - a^2}{3}} = \sqrt{\frac{600^2 - 200^2}{3}} = 326 \text{ cm} = 300 \text{ cm} = \frac{l}{2}$$

$$f_{\text{max}(q+P)} = 1.47 + 0.96 = 2.43 \cong 2.40 = \frac{l}{250} = f_{\text{dop}}$$

44

b) Poprečni presek HEM 160

	G	h	b	t _w	t _f	r	A	i _y	d	∅	p _{min}	p _{max}	AL	AG
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	mm	mm		mm	mm	m ² /m	m ² /t
HEM 160	76.2	180	166	14.5	23	15	97.1	134	104	M 20	86	90	0.97	12.74



45

Pored geometrijskih potrebnih su nam i statički podaci za usvojeni profil

$$S_y = 337 \text{ cm}^3$$

S _y =337 cm ³													
G kg/m	I _y mm ⁴	W _{el.y} mm ³	W _{pl.y} mm ³	i _y mm	Avz mm ²	I _z mm ⁴	W _{el.z} mm ³	W _{pl.z} mm ³	i _z mm	s mm	I _t mm ⁴	I _w mm ⁶	
HEB 180	76.20	5100	566	675	7.25	30.81	1760	212	326	4.26	77.57	162.4	108.1

Kontrola napona:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{54.67 \cdot 10^2}{566} = 9.70 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S_y}{t_w \cdot I_y} = \frac{34.33 \cdot 337}{1.45 \cdot 5100} = 1.56 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{\text{dop}} = 10 \text{ kN/cm}^2$$

46

Kontrola uporednog napona na mestu
Maksimalnog momenta savijanja

$$S_{y,0} = (b_f \cdot t_f) \frac{h - t_f}{2} = (16.6 \cdot 2.3) \frac{18 - 2.3}{2} = 299.7 \text{ cm}^3$$

$$T_{\text{odg}} = 34.33 - 2 \cdot 7 = 20.33 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_{\text{MAX}}}{I_y} \cdot \frac{h - 2t_f}{2} = \frac{54.67 \cdot 10^2}{5100} \cdot \frac{(18 - 2 \cdot 2.3)}{2} = 7.2 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{\text{dop}} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_1 = \frac{T \cdot S_{y,0}}{t_w \cdot I_y} = \frac{20.33 \cdot 299.7}{1.45 \cdot 5100} = 0.82 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{\text{dop}} = 10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = \sqrt{7.2^2 + 3 \cdot 0.82^2} = 7.33 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{\text{dop}} = 18 \text{ kN/cm}^2$$

47

Kontrola ugiba:

$$f_{\text{max}(q)} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 7 \cdot 10^{-2} \cdot 600^4}{384 \cdot 21000 \cdot 5100} = 1.10 \text{ cm}$$

$$f_{\text{max}(P)} = \frac{P}{27 \cdot E \cdot I_y} \cdot \frac{a}{l} \cdot \sqrt{3 \cdot (l^2 - a^2)^3} = \frac{20}{27 \cdot 21000 \cdot 5100} \cdot \frac{200}{600} \cdot \sqrt{3 \cdot (600^2 - 200^2)^3} = 0.72 \text{ cm}$$

Položaj maksimalnog ugiba usled sile P=20 kN

$$x = \sqrt{\frac{l^2 - a^2}{3}} = \sqrt{\frac{600^2 - 200^2}{3}} = 326 \text{ cm} = 300 \text{ cm} = \frac{l}{2}$$

$$f_{\text{max}(q+P)} = 1.10 + 0.72 = 1.82 < 2.40 = \frac{l}{250} = f_{\text{dop}}$$

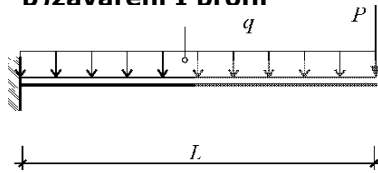
48

Dimenzionisati konzolni nosač, prema zatom opterećenju.

Za konzolu usvojiti

a) INP profil

b) zavareni I profil



$$q = 10,0 \text{ kN/m}$$

$$P = 25 \text{ kN}$$

$$L = 3,0 \text{ m}$$

Osnovni materijal:

S235

Slučaj opterećenja:

I

Podaci potrebni za proračun:

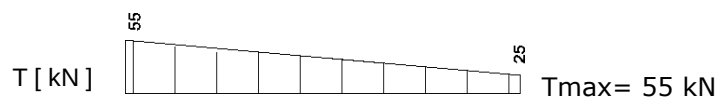
Osnovni materijal:

$$\sigma_{\text{dop}} = 16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{dop}} = 9 \text{ kN/cm}^2$$

49

Uticaji u nosaču



a) Dimenzionisanje INP nosača

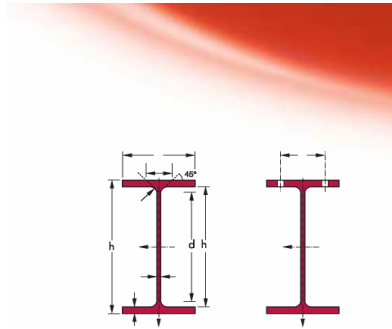
$$W_{\text{pot}} = M_{\text{max}} / \sigma_{\text{doz}}$$

$$W_{\text{pot}} = 120 \cdot 10^3 / 16 = 7500 \text{ cm}^3$$

50

Usvojen profil IPN 320

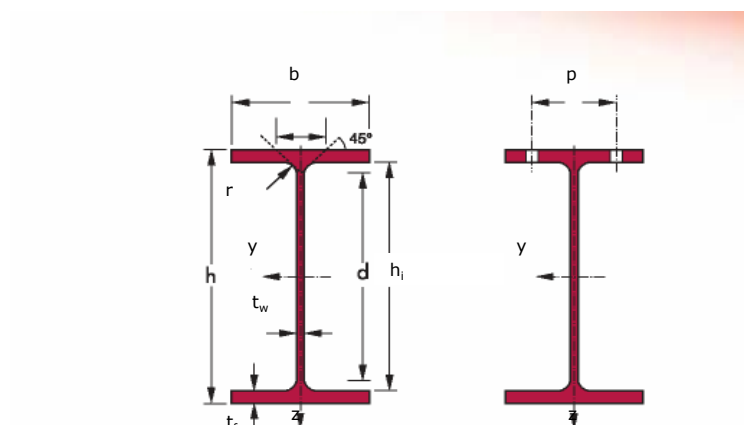
		G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r1 mm	A cm ²	r2 mm	d mm	∅	p _{min} mm	p _{max} mm	AL m ² /m	AG m ² /t
IPN 320	61	320	131	11.5	17.3	11.5	77.7	6.9	257.9	M 12	70	80	1.09	17.87	
	G kg/m	I _y cm ⁴	Wel.y cm ³	Wpl.y cm ³	i _y cm	Avz cm ²	I _z cm ⁴	Wel.z cm ³	Wpl.z cm ³	i _z cm	s s cm	I _t cm ⁴	I _w cm ⁶		
IPN 320	61	12510	782	914	12.7	39.26	555	84.7	143	2.67	63.9	72.5	129		



Kontrola napona:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{120 \cdot 10^2}{782} = 15.34 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{dop}} = 16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S_y}{t_w \cdot I_y} = \frac{34.33 \cdot 337}{1.45 \cdot 5100} = 1.56 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{\text{dop}} = 10 \text{ kN/cm}^2$$



Vrednosti vitkosti λ_v za različite vrste čelika i debljine lima

Kvalitet čelika	t < 40 mm		t > 40mm	
	f_y [kN/cm ²]	λ_v	f_y [kN/cm ²]	λ_v
Č 0361	24	92,9	21,6	98,0
Č 0561	36	75,9	32,4	80,0

λ_v -vitkost na granici tečenja

Vrednosti koeficijenta geometrijske nesavršenosti za različite krive izvijanja

Kriva izvijanja	Ao	A	B	C	D
α	0,125	0,206	0,339	0,489	0,756

