

STROPNI SUSTAV

# POROTHERM 60

Investitor-naručitelj: CIGLANE WINERBERGER - ILOVAC d.d. KARLOVAC

T. D. - 8/97 (broj projekta)

Sadržaj: Statički proračun Porotherm stropova sa razmakom gredica na 60 cm

Izradio: GRADNJA INŽENJERING R d.o.o. KARLOVAC, Skopska 27

Projektant: IMRE RADIČ, dipl. inž. građ., ovl. rev.

Suradnik: JOSIP BRAJDIĆ

u  
v  
Direktor:  
  
IMRE RADIČ, dipl. inž. građ., ovl. rev.

GRADNJA-INŽENJERING-R d.o.o.  
KARLOVAC, Skopska 27

Zagreb, 20. 5. 98,

<b>PREGLEDAO OVLAŠTENI REVIDENT</b> za mehaničku otpornost i stabilnost betonskih i zidanih konstrukcija  dr. DRAŽEN ANIČIĆ, dipl. inž. građ. Potpis: 
Izveštaj broj: <u>21-220/98</u> Datum: <u>25. 5. 1998.</u>
<b>INSTITUT GRAĐEVINARSTVA HRVATSKE</b> Zavod za betonske i zidane konstrukcije 

Prepared by GRADNJA INŽENJERING R d.o.o.

47000 KARLOVAC, Skopska 27, tel. 047/ 62 19 40

---

# SADRŽAJ

## I. TEHNIČKI OPIS.....1

## II. ULAZNI PODACI.....2

1. *Poprečni presjek i opis stropa.....2*
2. *Gradivo.....2*
3. *Parcijalni koeficijenti sigurnosti.....2*
4. *Računske čvrstoće materijala.....3*
5. *Statička shema sustava.....3*

## III. ANALIZA OPTEREĆENJA.....4

1. *Karakteristično opterećenje na jednu gredicu.....4*
2. *Mjerodavno računsko opterećenje.....5*
3. *Računske vrijednosti reznih sila.....5*

## IV. PRORAČUN PREDNAPETIH GREDICA.....7

1. *Poprečni presjek prednapetih opečnih gredica (POG).....7*
2. *Geometrijske karakteristike presjeka gredice POG.....7*
3. *Tipovi prednapetih opečnih gredica.....8*
4. *Naponi u čeliku i sila prednapinjanja.....8*
5. *Dopušteni naponi u betonu u fazi prednapinjanja.....9*
6. *Naponsko stanje u presjeku POG izazvano prednapinjanjem.....9*

## V. DIMENZIONIRANJE NA SAVIJANJE.....11

1. *Računski poprečni presjek jednog rebra stropa.....11*
2. *Postupak proračuna.....12*
3. *Proračun raspona L (m).....12*

## VI. DIMENZIONIRANJE NA POPREČNU SILU.....13

1. *Računski poprečni presjek jednog rebra stropa.....13*
2. *Postupak proračuna.....13*
3. *Proračun raspona L (m).....15*
4. *Proračun stremenova i nosivost na poprečnu silu.....15*

Prepared by **GRADNJA INŽENJERING R d.o.o.**

---

VII. GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI (progib).....18

1. *Provjera vitkosti elementa.....18*
2. *Postupak kontrole progiba.....18*
3. *Proračun konačnog progiba ( $\varphi = 1.0$ ).....19*

VIII. ZAKLJUČAK PRORAČUNA.....20

PRILOG 1 - REBRA ZA UKRUĆENJE STROPA.....21

PRILOG 2 - ARMIRANJE SERKLAŽA.....22

## I. TEHNIČKI OPIS

Iz nastojanja da se ostvare ekonomičnije stropne konstrukcije s ravnim podgledom razvijen je sustav montažnog stropa *Porotherm*. Sustav stropa sastoji se od prednapetih nosivih gredica i ispune od šuplje formirane opeke te od tanke betonske ploče. Naime, razvojem tehnologije opečnih proizvoda u modernom građevinarstvu, došlo se do ideje primjene prednapinjanja na nosače koji se sastoje od opekarskog proizvoda koji ujedno služi kao vanjski okvir odnosno oplata dok je unutrašnjost presjeka ispunjena visokokvalitetnim betonom u kojem su smještene i prethodno napete natege.

Takav strop ima obilježje dobrog zvučnog i toplinskog izolatora. Tipovi takvog stropa razlikuju se vezano za razmak između prednapetih gredica odnosno širinu opekarskog uloška za ispunu, zatim ovisno o marki betona za ploču i rebra te debljini tanke betonske ploče.

Ovaj projekt sadrži statički proračun *Porotherm* stropa sa razmakom gredica od 60 cm i betonskom pločom debljine 6 cm, MB 40 (C 32/40). Proračun sadrži analizu opterećenja koje se sastoji od stalnog opterećenja vlastitom težinom stropa te osam pretpostavljenih slučajeva promjenjivog, odnosno korisnog, opterećenja stropa (od 1.5 do 5.0 kN/m<sup>2</sup>). Zatim je proveden proračun naprezanja u prednapetoj opečnoj gredici koja su izazvana prednapinjanjem. Obuhvaćeno je jedanaest tipova prednapetih gredica ovisno o površini prednapete armatura (POG 6 - POG 19). Slijedi dimenzioniranje stropa na savijanje i poprečnu silu po metodi graničnog stanja sloma te zatim provjera graničnog stanja uporabivosti za progibe. Proračunom su obuhvaćeni različiti rasponi stropa od 3.00 m do 6.50 m.

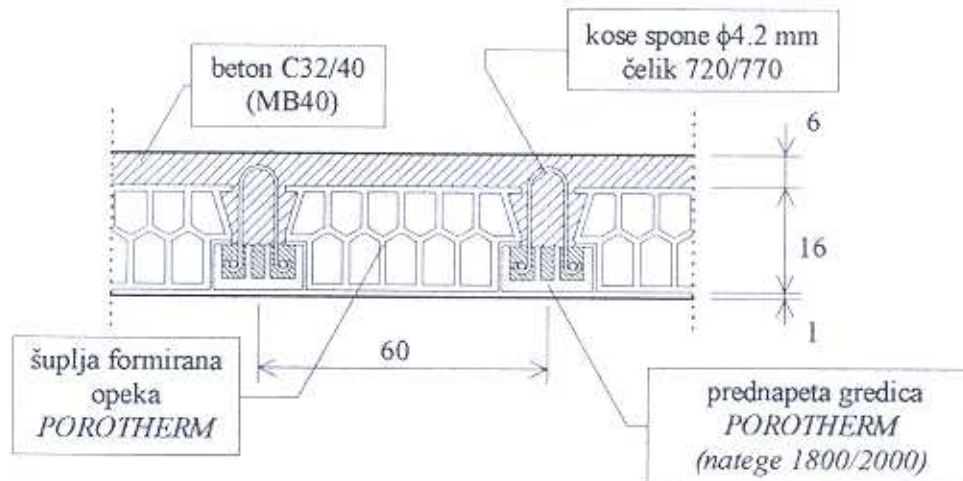
Na kraju su prezentirani rezultati proračuna sortirani prema rasponima stropa i tipu gredice tako da je vrlo jednostavno za određeni potrebni raspon stropa odabrati tip gredice s obzirom na prednapetu armaturu i kose spona za prihvaćanje poprečne sile. Također je za svaki pojedini raspon stropa navedeno maksimalno korisno opterećenje koje strop može nositi.

Proračun je rađen po Europskim propisima za armiranobetonske i prednapete konstrukcije EUROCODE 2 (ENV 1992-1).

Predviđeni način prednapinjanja je tzv. adhezijsko prednapinjanje, odnosno prednapinjanje prije stvrdnjavanja betona koje se izvodi na stazi za prednapinjanje. Kada beton dosegne barem 70 % predviđene čvrstoće te se uspostavi dovoljna prionjivost između betona i čelika, raskida se veza žica s ležajevima i veza između elemenata na duljinama željenih raspona gredica. Time se sila iz čeličnih žica adhezijom u obliku tlaka prenosi na beton.

## II. ULAZNI PODACI

### 1. POPREČNI PRESJEK I OPIS STROPA



Montažni strop sustava Porotherm sastoji se od prednapetih nosivih gredica i ispune od šuplje formirane opeke te tanke betonske ploče. Ciglarski uložak s nategama i betonom unutar ciglarskog elementa čini montažni dio nosivih gredica.

### 2. GRADIVO

- |  |  |
|--|--|
| - beton MB40 (po EC2 propisima $\Rightarrow$ C 32/40); | $f_{ck} = 32 \text{ MPa}$                                      |
| - čelik za natege 1800/2000;                           | $f_{pk} = 2000 \text{ MPa}$<br>$f_{p0.1,k} = 1800 \text{ MPa}$ |
| - čelik za kose spone 720/770;                         | $f_{yk} = 720 \text{ MPa}$                                     |
| - opeka MO45   | $f_{opeka,k} = 45 \text{ MPa}$                                 |

### 3. PARCIJALNI KOEFICIJENTI SIGURNOSTI

#### 3.1. ZA OTPORNOST (čvrstoće materijala)

- beton  $\Rightarrow \gamma_c = 1.5$
- čelik i prednapeti čelik  $\Rightarrow \gamma_s = 1.15$

#### 3.2. ZA DJELOVANJA (opterećenja ili rezne sile)

- stalno opterećenje  $\Rightarrow \gamma_G = 1.35$
- promjenjivo opterećenje  $\Rightarrow \gamma_Q = 1.5$

## 4. RAČUNSKÉ ČVRSTOĆE MATERIJALA

### 4.1. Beton

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{32}{1.5} = 21.33 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad f_{cd} = 2.13 \text{ kN/cm}^2$$

### 4.2. Opeka

$$f_{opeka,d} = \frac{f_{opeka,k}}{\gamma_M} = \frac{45}{1.5} = 30.0 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad f_{opeka,d} = 3.00 \text{ kN/cm}^2$$

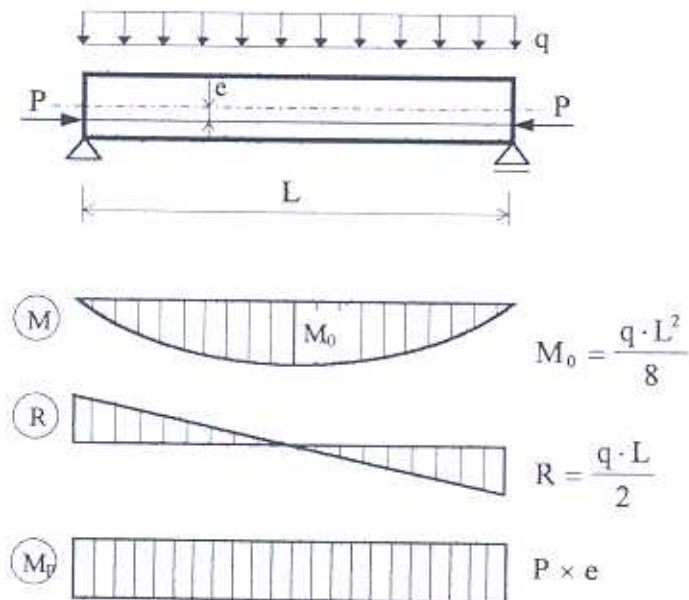
### 4.3. Čelik za prednapinjanje

$$f_{pd} = 0.9 \cdot \frac{f_{pk}}{\gamma_s} = 0.9 \cdot \frac{2000}{1.15} = 1565.2 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad f_{pd} = 156.52 \text{ kN/cm}^2$$

### 4.4. Čelik za kose spone

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{720}{1.15} = 626.09 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad f_{yd} = 62.61 \text{ kN/cm}^2$$

## 5. STATIČKA SHEMA SUSTAVA



### III. ANALIZA OPTEREĆENJA

#### 1. KARAKTERISTIČNO OPTEREĆENJE NA JEDNU GREVICU

##### 1.1. STALNO OPTEREĆENJE - VLASTITA TEŽINA

- vl. težina jedne gredice (15 kg/m)..... 0.150 kN/m'
- vl. težina opeke ispune (11.3 kg × 4 kom/m)..... 0.452 kN/m'
- vl. težina bet. ploče (0.06 × 0.6 × 2400 × 10)..... 0.864 kN/m'
- vl. težina bet. rebra (0.10 × 0.12 × 2400 × 10)..... 0.288 kN/m'

---

- vl. težina stropa na jednu nosivu gredicu..... **G<sub>k</sub> = 1.754 kN/m'**

##### 1.2. DODATNO STALNO OPTEREĆENJE

- žbuka plafona (2 × 0.18 × 0.6)..... 0.216 kN/m'
- sloj za izravnanje poda (2 × 0.22 × 0.6)..... 0.264 kN/m'
- zvučna izolacija (0.10 × 0.6)..... 0.060 kN/m'
- cementna glazura poda (2 × 0.22 × 0.6)..... 0.264 kN/m'
- parket (0.15 × 0.6)..... 0.090 kN/m'
- pregradni zidovi (0.50 × 0.6)..... 0.300 kN/m'

---

- dodatno stalno opterećenje na jednu gredicu..... **ΔG<sub>k</sub> = 1.194 kN/m'**

##### 1.3. KORISNO OPTEREĆENJE

- proračunom je obuhvaćeno osam slučajeva korisnog opterećenja stropa

<i>KORISNO OPTEREĆENJE STROPA</i>	<i>OPTEREĆENJE JEDNE GREVICE</i>
1.5 kN/m <sup>2</sup>	$Q_{k,1} = 1.5 \times 0.6 = 0.90 \text{ kN/m}$
2.0 kN/m <sup>2</sup>	$Q_{k,2} = 2.0 \times 0.6 = 1.20 \text{ kN/m}$
2.5 kN/m <sup>2</sup>	$Q_{k,3} = 2.5 \times 0.6 = 1.50 \text{ kN/m}$
3.0 kN/m <sup>2</sup>	$Q_{k,4} = 3.0 \times 0.6 = 1.80 \text{ kN/m}$
3.5 kN/m <sup>2</sup>	$Q_{k,5} = 3.5 \times 0.6 = 2.10 \text{ kN/m}$
4.0 kN/m <sup>2</sup>	$Q_{k,6} = 4.0 \times 0.6 = 2.40 \text{ kN/m}$
4.5 kN/m <sup>2</sup>	$Q_{k,7} = 4.5 \times 0.6 = 2.70 \text{ kN/m}$
5.0 kN/m <sup>2</sup>	$Q_{k,8} = 5.0 \times 0.6 = 3.00 \text{ kN/m}$



## 2. MJERODAVNO RAČUNSKO OPTEREĆENJE

$$q_{sd} = \gamma_G \times (G_k + \Delta G_k) + \gamma_Q \times Q_k = 1.35 \times (1.754 + 1.194) + 1.5 \times Q_k$$

$G_k + \Delta G_k$ (kN/m)	$Q_k$ (kN/m)	$q_{sd}$ (kN/m)
2.95	0.90	<b>5.33</b>
2.95	1.20	<b>5.78</b>
2.95	1.50	<b>6.23</b>
2.95	1.80	<b>6.68</b>
2.95	2.10	<b>7.13</b>
2.95	2.40	<b>7.58</b>
2.95	2.70	<b>8.03</b>
2.95	3.00	<b>8.48</b>

## 3. RAČUNSKE VRIJEDNOSTI REZNIH SILA

### 3.1. MOMENT SAVIJANJA U L/2

$$M_{sd} = \frac{q_{sd} \cdot L^2}{8} \text{ [kNm]}; L = L_{\text{eff}} = \text{računski raspon}$$

raspon L(m)	računsko opterećenje $q_{sd}$							
	5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
3.00	6.00	6.50	7.01	7.52	8.02	8.53	9.03	9.54
3.25	7.04	7.63	8.23	8.82	9.41	10.01	10.60	11.20
3.50	8.16	8.85	9.54	10.23	10.92	11.61	12.30	12.99
3.75	9.37	10.16	10.95	11.74	12.53	13.32	14.12	14.91
4.00	10.66	11.56	12.46	13.36	14.26	15.16	16.06	16.96
4.25	12.03	13.05	14.07	15.08	16.10	17.11	18.13	19.15
4.50	13.49	14.63	15.77	16.91	18.05	19.19	20.33	21.47
4.75	15.03	16.30	17.57	18.84	20.11	21.38	22.65	23.92
5.00	16.66	18.06	19.47	20.88	22.28	23.69	25.09	26.50
5.25	18.36	19.91	21.46	23.01	24.57	26.12	27.67	29.22
5.50	20.15	21.86	23.56	25.26	26.96	28.66	30.36	32.07
5.75	22.03	23.89	25.75	27.61	29.47	31.33	33.19	35.05
6.00	23.99	26.01	28.04	30.06	32.09	34.11	36.14	38.16
6.25	26.03	28.22	30.42	32.62	34.81	37.01	39.21	41.41
6.50	28.15	30.53	32.90	35.28	37.66	40.03	42.41	44.79

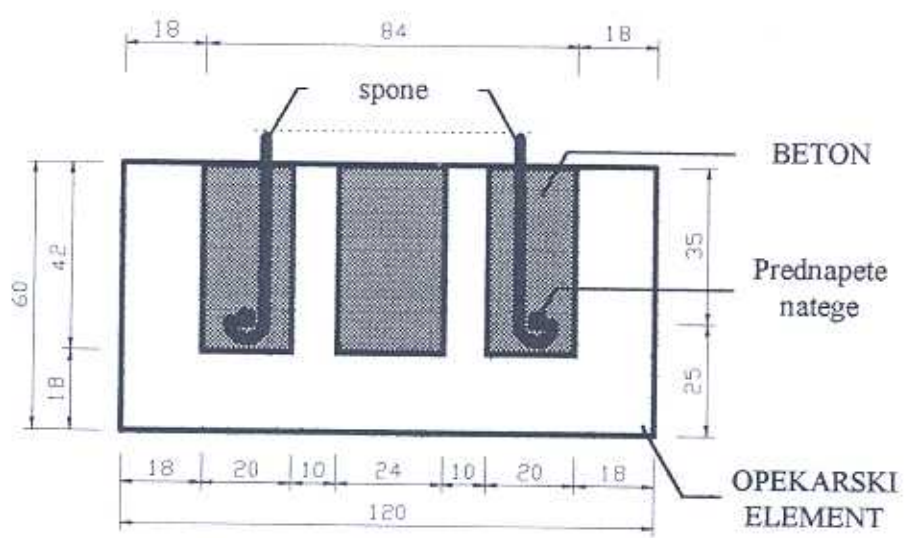
## 3.2. POPREČNA SILA NAD LEŽAJEM

$$V_{sd} = \frac{q_{sd} \cdot L}{2} \text{ [kN]}; L = L_{eff} = \text{računski raspon}$$

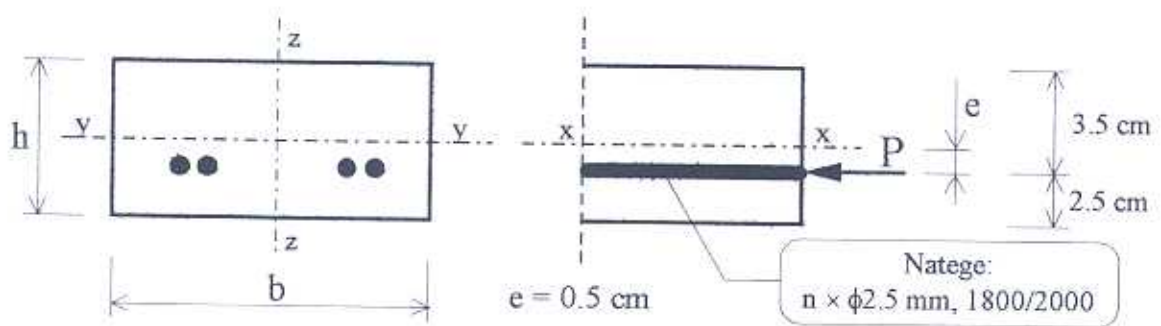
raspon L(m)	računsko opterećenje $q_{sd}$							
	5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
3.00	8.00	8.67	9.35	10.02	10.70	11.37	12.05	12.72
3.25	8.66	9.39	10.12	10.86	11.59	12.32	13.05	13.78
3.50	9.33	10.12	10.90	11.69	12.48	13.27	14.05	14.84
3.75	9.99	10.84	11.68	12.53	13.37	14.21	15.06	15.90
4.00	10.66	11.56	12.46	13.36	14.26	15.16	16.06	16.96
4.25	11.33	12.28	13.24	14.20	15.15	16.11	17.06	18.02
4.50	11.99	13.01	14.02	15.03	16.04	17.06	18.07	19.08
4.75	12.66	13.73	14.80	15.87	16.93	18.00	19.07	20.14
5.00	13.33	14.45	15.58	16.70	17.83	18.95	20.08	21.20
5.25	13.99	15.17	16.35	17.54	18.72	19.90	21.08	22.26
5.50	14.66	15.90	17.13	18.37	19.61	20.85	22.08	23.32
5.75	15.32	16.62	17.91	19.21	20.50	21.79	23.09	24.38
6.00	15.99	17.34	18.69	20.04	21.39	22.74	24.09	25.44
6.25	16.66	18.06	19.47	20.88	22.28	23.69	25.09	26.50
6.50	17.32	18.79	20.25	21.71	23.17	24.64	26.10	27.56

## IV. PRORAČUN PREDNAPETIH GREDICA

### 1. POPREČNI PRESJEK PREDNAPETIH OPEČNIH GREDICA (POG)



### 2. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA GREDICE POG



$b = 12 \text{ cm}; h = 6 \text{ cm}$   
 $A = b \times h = 12 \times 6 = 72 \text{ cm}^2$   
 $I_y = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{12 \times 6^3}{12} = 216 \text{ cm}^4$   
 $W_y = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{12 \times 6^2}{6} = 72 \text{ cm}^3$

### 3. TIPOVI PREDNAPETIH OPEČNIH GREDICA

Projekt obuhvaća jedanaest tipova prednapetih opečnih gredica ovisno o vrsti natega

$$A_p = n \times (2.5^2 \times \pi / 4)$$

TIP GREDICE	broj žica	POVRŠINA (mm <sup>2</sup> )
POG 6	6 $\phi$ 2.5 mm	29.46
POG 7	7 $\phi$ 2.5 mm	34.37
POG 8	8 $\phi$ 2.5 mm	39.28
POG 9	9 $\phi$ 2.5 mm	44.19
POG 10	10 $\phi$ 2.5 mm	49.10
POG 12	12 $\phi$ 2.5 mm	58.92
POG 13	13 $\phi$ 2.5 mm	63.83
POG 14	14 $\phi$ 2.5 mm	68.74
POG 16	16 $\phi$ 2.5 mm	78.56
POG 17	17 $\phi$ 2.5 mm	83.47
POG 19	19 $\phi$ 2.5 mm	93.29

### 4. NAPONI U ČELIKU I SILA PREDNAPINJANJA

- 4.1. Maksimalni dopušteni napon  $\sigma_{p0}$  registriran na preši za postizanje početne sile prednapinjanja  $P_0$

$$\sigma_{p0} = 0.7 \cdot 1950 = 1365 \text{ N/mm}^2$$

- 4.2. Maksimalni dopušteni napon neposredno nakon uklanjanja preše i unošenja sile u beton te nakon gubitaka sidrenjem (prednapinjanje prije stvrdnjavanja betona)

$$\sigma_{pm,0} = 0.94 \cdot \sigma_{p0} = 1280 \text{ N/mm}^2$$

- 4.3. Maksimalna sila prednapinjanja neposredno nakon unošenja sile u beton

$$P_{m,0} = \sigma_{pm,0} \times A_p$$

- 4.4. Maksimalna računaska veličina sile prednapinjanja za granično stanje nosivosti neposredno nakon unošenja sile u beton

$$P_d = \gamma_p \times P_{m,0} ; \quad \gamma_p = 1.0$$

TIP GREVICE	POVRŠINA (mm <sup>2</sup> )	P <sub>d</sub> (kN)
POG 6	29.46	37.71
POG 7	34.37	43.99
POG 8	39.28	50.28
POG 9	44.19	56.56
POG 10	49.10	62.85
POG 12	58.92	75.42
POG 13	63.83	81.70
POG 14	68.74	87.99
POG 16	78.56	100.56
POG 17	83.47	106.84
POG 19	93.29	119.41

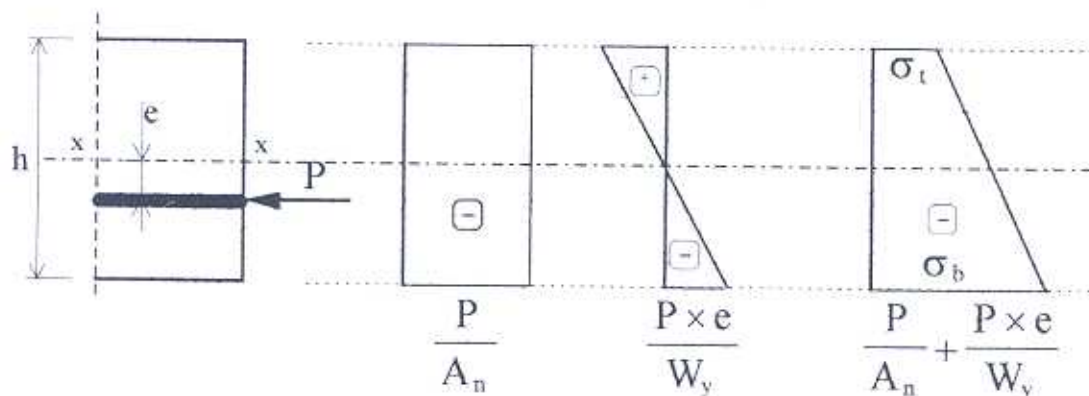
## 5. DOPUŠTENI NAPONI U BETONU U FAZI PREDNAPINJANJA

Vrijednost za dopušteni napon u betonu prednapete opečne gredice (unutar opečnog uložka) uzeta je iz tablice 10.3. u knjizi I. Tomičić BETONSKE KONSTRUKCIJE - ODABRANA POGLAVLJA (poglavlje 10, Prednapete konstrukcije). Vrijednosti iz tablice umanjuju se za 10% u skladu sa preporukom uz tablicu zbog specifičnosti presjeka.

Dopušteni tlačni napon na rubu presjeka za fazu prednapinjanja:

$$C32/40 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{cp} = 0.9 \times 2.0 = 1.80 \text{ kN/cm}^2$$

## 6. NAPONSKO STANJE U PRESJEKU POG IZAZVANO PREDNAPINJANJEM



Naprezanje na donjem (b - bottom) i gornjem(t - top) rubu izazvano prednapinjanjem

$$\sigma_b = \frac{P}{A} + \frac{P \times e}{W_y} = P \times \left( \frac{1}{A} + \frac{e}{W_y} \right) \leq \sigma_{cp} ; \text{ tlak}$$

$$\sigma_t = \frac{P}{A} - \frac{P \times e}{W_y} = P \times \left( \frac{1}{A} - \frac{e}{W_y} \right) \leq \sigma_{cp} ; \text{ tlak}$$

Provjera naprezanja na donjem i gornjem rubu presjeka POG:

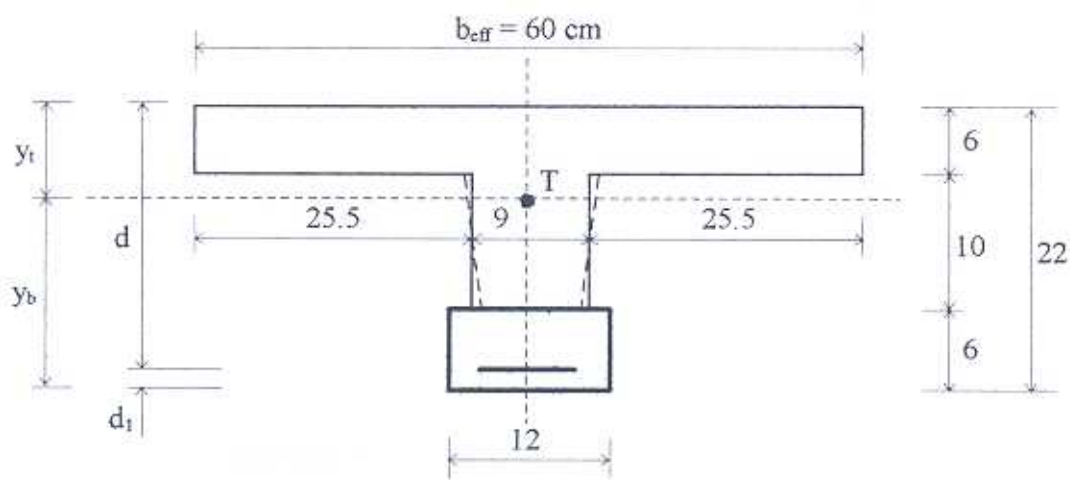
TIP GREDICE	POVRŠINA ŽICA (mm <sup>2</sup> )	P <sub>d</sub> (kN)	σ <sub>b</sub>	σ <sub>cp(opeka)</sub>	σ <sub>t</sub>	σ <sub>cp(beton)</sub>
POG 6	29.46	37.71	0.79	3.00	0.26	2.00
POG 7	34.37	43.99	0.92	3.00	0.31	2.00
POG 8	39.28	50.28	1.05	3.00	0.35	2.00
POG 9	44.19	56.56	1.18	3.00	0.39	2.00
POG 10	49.10	62.85	1.31	3.00	0.44	2.00
POG 12	58.92	75.42	1.57	3.00	0.52	2.00
POG 13	63.83	81.70	1.70	3.00	0.57	2.00
POG 14	68.74	87.99	1.83	3.00	0.61	2.00
POG 16	78.56	100.56	2.09	3.00	0.70	2.00
POG 17	83.47	106.84	2.23	3.00	0.74	2.00
POG 19	93.29	119.41	2.49	3.00	0.83	2.00

### ZAKLJUČAK:

Prilikom prednapinjanja gredice postiže se naponsko stanje potpunog tlaka u cijelom presjeku gredice. Pritom su najveći tlačni naponi na donjem rubu presjeka, a opeka i beton unutar gredice mogu izdržati te naponi u fazi prednapinjanja.

## V. DIMENZIONIRANJE NA SAVIJANJE

### 1. RAČUNSKI POPREČNI PRESJEK JEDNOG REBRA STROPA



- geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 60 \cdot 6 + 9 \cdot 10 + 12 \cdot 6 = 522 \text{ cm}^2$$

$$y_T = \frac{12 \cdot 6 \cdot 3 + 9 \cdot 10 \cdot 11 + 60 \cdot 6 \cdot 19}{522} = 15.4 \text{ cm}$$

$$y_b = 15.4 \text{ cm} ; y_t = 6.6 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{9 \cdot 22^3}{12} + 9 \cdot 22 \cdot (15.4 - 11)^2 + \frac{51 \cdot 6^3}{12} + 51 \cdot 6 \cdot (19 - 15.4)^2 + \frac{3 \cdot 6^3}{12} + 3 \cdot 6 \cdot (15.4 - 3)^2$$

$$I_y = 19525 \text{ cm}^4$$

$$W_b = 1267.86 \text{ cm}^3 ; W_t = 2958.33 \text{ cm}^3$$

$$d = h - d_1 = 22 - 2.5 = 19.5 \text{ cm}$$

## 2. POSTUPAK PRORAČUNA

$$M_{Sd} < M_{Rd} = A_p \cdot \sigma_{Rp} \cdot z$$

$$\sigma_{Rp} = 0.9 \cdot f_{pk} / 1.15 = 1565 \text{ MPa}$$

$$A_p = n \cdot \phi \cdot 2.5$$

$$z = 18.5 \text{ cm}$$

Proračun raspona:

$$L = \sqrt{\frac{8 \cdot M_{Rd}}{q_{Sd}}}$$

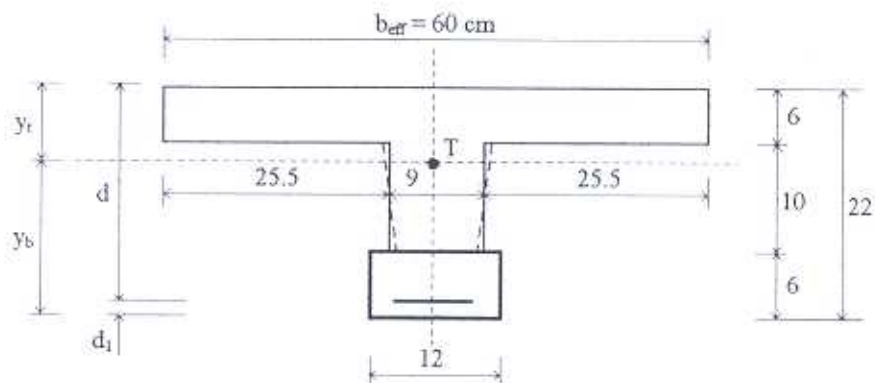
## 3. PRORAČUN RASPONA L (m)

				RASPONI GREDICA (ovisno o opterećenju stropa)							
TIP	Broj	Površina	$M_{Rd}$	opterećenje stropa $q_{Sd}$ (kN/m)							
GREVICE	žica	žica $A_p$	(kNm)	5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
POG6	6	29.46	8.53	3.58	3.44	3.31	3.20	3.09	3.00	2.92	2.84
POG7	7	34.37	9.95	3.86	3.71	3.57	3.45	3.34	3.24	3.15	3.06
POG8	8	39.28	11.37	4.13	3.97	3.82	3.69	3.57	3.46	3.37	3.28
POG9	9	44.19	12.79	4.38	4.21	4.05	3.91	3.79	3.67	3.57	3.47
POG10	10	49.10	14.22	4.62	4.44	4.27	4.13	3.99	3.87	3.76	3.66
POG12	12	58.92	17.06	5.06	4.86	4.68	4.52	4.37	4.24	4.12	4.01
POG13	13	63.83	18.48	5.27	5.06	4.87	4.70	4.55	4.42	4.29	4.18
POG14	14	68.74	19.90	5.47	5.25	5.06	4.88	4.73	4.58	4.45	4.33
POG16	16	78.56	22.75	5.84	5.61	5.40	5.22	5.05	4.90	4.76	4.63
POG17	17	83.47	24.17	6.02	5.78	5.57	5.38	5.21	5.05	4.91	4.77
POG19	19	93.29	27.01	6.37	6.11	5.89	5.69	5.51	5.34	5.19	5.05



## VI. DIMENZIONIRANJE NA POPREČNU SILU

### 1. RAČUNSKI POPREČNI PRESJEK JEDNOG REBRA STROPA



- geometrijske karakteristike presjeka:

$$A = 60 \cdot 6 + 9 \cdot 10 + 12 \cdot 6 = 522 \text{ cm}^2$$

$$d = h - d_1 = 22 - 2.5 = 19.5 \text{ cm}$$

### 2. POSTUPAK PRORAČUNA

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd}$$

- dio poprečne sile koji prihvaća beton:

$$V_{cd} = V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot 1.2] \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd} = 0.30 \text{ MPa} \quad ; \quad (\text{za C 25/30})$$

$$k = 1.6 - d = 1.6 - 0.195 = 1.405 \leq 1 \Rightarrow k = 1$$

- nosivost kosih spona (armature):

$$V_{wd} = A_{sw} \cdot z \cdot f_{yw,d} \cdot (1 + \text{ctg } \alpha) \cdot \sin \alpha / s_w$$

$A_{sw}$  - površina kose armature (spona) na razmaku  $s_w$

$$2 \phi 4.2 \text{ mm} \Rightarrow A_{sw} = 2 \cdot 4.2^2 \cdot \pi/4 = 27.71 \text{ mm}^2$$

$f_{yw,d}$  - računaska granica popuštanja kose armature

$$f_{yw,d} = 720/1.15 = 626.1 \text{ MPa}$$

$$z \approx 0.9 \cdot d = 0.9 \cdot 19.5 = 17.55 \text{ cm}$$

$$s_w < s_{w,max} = 0.6 \cdot d \cdot (1 + \text{ctg } \alpha) = 1.2 \cdot 19.5 = 23.4 \text{ cm}$$

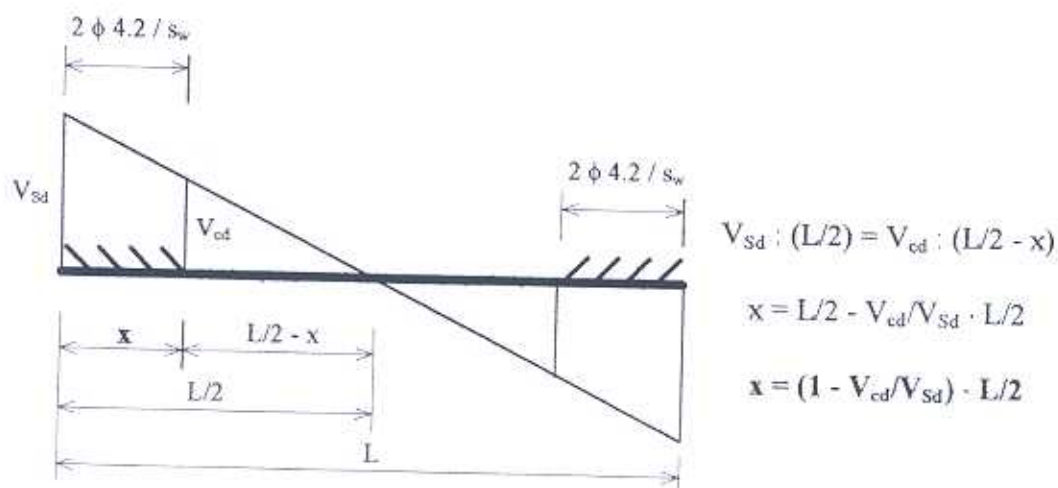
$$\alpha = 45^\circ \Rightarrow \text{ctg } \alpha = 1, \sin \alpha = 0.7071$$

- uzdužni razmak šipki:

$$s_w = \frac{A_{ew} \cdot z \cdot f_{yw,d} \cdot (1 + \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \sin \alpha}{V_{Sd} - V_{cd}}$$

- minimalna armatura iznosi  $2 \phi 4.2 \text{ mm} / 23.4 \text{ cm}$ , ali se iz praktičnih razloga usvaja razmak od  $25.0 \text{ cm}$  i  $20.0 \text{ cm}$  ovisno o veličini korisnog opterećenja.

- proračun duljine dijela raspona gredeice na kojem je potrebno ugraditi predviđene kose spone  $2 \phi 4.2 \text{ mm} / s_w$ :



### 3. PRORAČUN RASPONA L(m)

$$L = 2 \cdot V_{Rd} / q_{sd}$$

tip	$s_{w,max}$ (cm)	$s_{w,min}$ (cm)	$V_{Rd,25}$ (kN)	$V_{Rd,20}$ (kN)	$q_{sd}$ (kN/m)							
					5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
POG6	25.0		24.47		<b>9,18</b>	<b>8,47</b>	<b>7,86</b>	<b>7,33</b>	<b>6,87</b>	6.46	6.10	5.77
do POG19		20.0		29.01	10,89	10,04	9,31	8,69	8,14	<b>7,66</b>	<b>7,23</b>	<b>6,84</b>

Za gredice POG6 do POG19 s opterećenjem do 7.13 kN/m stremenovi su na razmaku 25 cm

Za gredice POG6 do POG19 s opterećenjem većim od 7.13 kN/m stremenovi su na razmaku 20 cm

### 4. PRORAČUN STREMEHOVA I NOSIVOST NA POPREČNU SILU

- stremenovi  $\phi$  4.2,  $f_y/f_{dk} = 720/770$  MPa

$$V_{sd} = q_{sd} \cdot L/2$$

$$V_{Rd} = V_{cd} + V_{wd}$$

#### 4.1. NOSIVOST BETONA

$$V_{cd} = V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot 1.2] \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd} = 0.30 \text{ MPa} \quad ; \quad (\text{za C 25/30})$$

$$k = 1.6 - d = 1.6 - 0.195 = 1.405 \leq 1 \Rightarrow k = 1$$

$$b_w = 9.0 \text{ cm}$$

$$d = 19.5 \text{ cm}$$

$$V_{cd} = 6318 \text{ N} = 6.318 \text{ kN}$$

#### 4.2. NOSIVOST STREMEHOVA za razmak od 25 cm i 20 cm

$$V_{wd} = A_{sw} \cdot z \cdot f_{yw,d} \cdot (1 + \text{ctg } \alpha) \cdot \sin \alpha / s_w$$

$$2 \phi 4.2 \text{ mm} \Rightarrow A_{sw} = 2 \cdot 4.2^2 \cdot \pi/4 = 27.71 \text{ mm}^2$$

$$f_{yw,d} = 720/1.15 = 626.1 \text{ MPa}$$

$$z \approx 0.95 \cdot d = 0.95 \cdot 19.5 = 18.5 \text{ cm}$$

$$s_{w,max} = 25 \text{ cm}$$

$$s_{w,min} = 20 \text{ cm}$$

$$\alpha = 45^\circ \Rightarrow \text{ctg } \alpha = 1, \sin \alpha = 0.707$$

$$\text{- za } s_{w,max} = 25 \text{ cm} \Rightarrow V_{wd} = 18156 \text{ N} = 18.16 \text{ kN}$$

$$\text{- za } s_{w,min} = 20 \text{ cm} \Rightarrow V_{wd} = 22695 \text{ N} = 22.69 \text{ kN}$$

#### 4.3. NOSIVOST STROPA NA POPREČNU SILU

$$V_{Rd,25} = 24.47 \text{ kN}, \text{ za } s_{w,max}$$

$$V_{Rd,20} = 29.01 \text{ kN}, \text{ za } s_{w,min}$$

Proračun  $V_{sd}$  (kN) za najveći raspon  $L = 6.50$  m

tip gređice	raspon L (m)	$q_{sd}$ (kN/m)							
		5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
POG6 do POG19	6.50	17.32	18.79	20.25	21.71	23.17	24.64	26.10	27.56

#### 4.4. PRORAČUN POTREBNOG BROJA VILICA (brojeći od ležaja prema sredini raspona)

Proračun udaljenosti od ležaja  $x$  (cm)

raspon L (m)	$q_{sd}$ (kN/m)							
	5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
3.00	0.31	0.41	0.49	0.55	0.61	0.67	0.71	0.75
3.25	0.44	0.53	0.61	0.68	0.74	0.79	0.84	0.88
3.50	0.56	0.66	0.74	0.80	0.86	0.92	0.96	1.00
3.75	0.69	0.78	0.86	0.93	0.99	1.04	1.09	1.13
4.00	0.81	0.91	0.99	1.05	1.11	1.17	1.21	1.25
4.25	0.94	1.03	1.11	1.18	1.24	1.29	1.34	1.38
4.50	1.06	1.16	1.24	1.30	1.36	1.42	1.46	1.50
4.75	1.19	1.28	1.36	1.43	1.49	1.54	1.59	1.63
5.00	1.31	1.41	1.49	1.55	1.61	1.67	1.71	1.75
5.25	1.44	1.53	1.61	1.68	1.74	1.79	1.84	1.88
5.50	1.56	1.66	1.74	1.80	1.86	1.92	1.96	2.00
5.75	1.69	1.78	1.86	1.93	1.99	2.04	2.09	2.13
6.00	1.81	1.91	1.99	2.05	2.11	2.17	2.21	2.25
6.25	1.94	2.03	2.11	2.18	2.24	2.29	2.34	2.38
6.50	2.06	2.16	2.24	2.30	2.36	2.42	2.46	2.50

Tip gredica, broj i razmak stremenova u odnosu na računsko opterećenje

Tip gredice	računsko opterećenje $q_{sd}$ (kN/m)							
	5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
POG6	3	3	3	3	3	3	3	3
POG7	3	3	3	3	3	4	4	4
POG8	4	3	4	4	4	5	4	4
POG9	4	4	4	4	5	5	5	5
POG10	4	4	5	4	5	6	5	5
POG12	5	5	5	5	6	6	6	6
POG13	5	5	6	5	7	7	7	6
POG14	6	6	6	6	7	7	7	7
POG16	6	6	7	6	8	8	8	-
POG17	7	7	7	-	-	-	-	-
stremenovi	razmak 25 cm					razmak 20 cm		

## VII. GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI (progib)

### 1. PROVJERA VITKOSTI ELEMENTA

- ako je  $L_{\text{eff}}/d \leq 0.8 \cdot 25 \leq 20 \Rightarrow$  nije potrebna posebna kontrola progiba

$$d = 19.5 \text{ cm} \Rightarrow L_{\text{eff}} \leq 20 \cdot 19.5 = 390 \text{ cm}$$

ZAKLJUČAK: Za gredice raspona  $L \geq 3.90 \text{ m}$  potrebno je provesti kontrolu progiba

### 2. POSTUPAK KONTROLE PROGIBA

$$f_{\text{tot}} < L_{\text{eff}} / 250$$

- mjerodavno opterećenje za granično stanje uporabivosti:

$$q'_{sd} = G_k + \Delta G_k + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} ; \quad \psi_{2,1} = 0.5$$

$$q'_{sd} = 1.754 + 1.194 + 0.5 \cdot Q_{k,1}$$

$G_k + \Delta G_k$ (kN/m)	$0.5 Q_{k,1}$ (kN/m)	$q'_{sd}$ (kN/m)
2.95	0.45	3.40
2.95	0.60	3.55
2.95	0.75	3.70
2.95	0.90	3.85
2.95	1.05	4.00
2.95	1.20	4.15
2.95	1.35	4.30
2.95	1.50	4.45

a) kratkotrajni progib slobodno oslonjene grede opterećene kontinuiranim opterećenjem  $q'_{sd}$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q'_{sd} \cdot L^4}{E \cdot I}$$

$$L = L_{\text{eff}} = \text{računski raspon}$$

$$I = 19525 \text{ cm}^4$$

$$E = E_{\text{cm}} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{\text{ck}} + 8} ; \text{ (MPa)}$$

$$\text{- za beton C25/30} \Rightarrow f_{\text{ck}} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 30471.58 \text{ N/mm}^2 = 3047.16 \text{ kN/cm}^2$$

b) konačni progib slobodno oslonjene grede opterećene kontinuiranim opterećenjem  $q'_{sd}$

Proračun konačnog progiba (od kratkotrajnih i dugotrajnih djelovanja) prema EN 1992 prema Dodatku 4 nije izravno primjenjiv.

Stoga provodimo pojednostavljeni proračun koji će se provjeriti rezultatima pokusa u IGH (siječanj - svibanj 1998.)

$$f_{tot} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q'_{sd} \cdot L^4}{E_{c,eff} \cdot I}$$

$$L = L_{eff} = \text{računski raspon}$$

$$I = 19525 \text{ cm}^4$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi)$$

$$\text{za } \varphi = 1.0 \quad \Rightarrow \quad E_{c,eff} = 3047 / (1 + 1.0) = 1523.50 \text{ kN/cm}^2$$

Preko koeficijenta  $\varphi$  uzeti su utjecaji skupljanja, puzanja i raspucavanja betona na konačne deformacije (progib). Napravljena je provjera progiba za pretpostavljenu vrijednost koeficijenta  $\varphi = 1,0$ .

### 3. PRORAČUN KONAČNOG PROGIBA ( $\varphi=1.0$ )

Raspon L(m)	$q'_{sd}$ (kN/m)								L/250 (cm)
	3.40	3.55	3.70	3.85	4.00	4.15	4.30	4.45	
4.00	<b>0.38</b>	<b>0.40</b>	<b>0.41</b>	<b>0.43</b>	<b>0.45</b>	<b>0.47</b>	<b>0.48</b>	<b>0.50</b>	1.60
4.25	<b>0.49</b>	<b>0.51</b>	<b>0.53</b>	<b>0.55</b>	<b>0.57</b>	<b>0.59</b>	<b>0.61</b>	<b>0.64</b>	1.70
4.50	<b>0.61</b>	<b>0.64</b>	<b>0.66</b>	<b>0.69</b>	<b>0.72</b>	<b>0.74</b>	<b>0.77</b>	<b>0.80</b>	1.80
4.75	<b>0.76</b>	<b>0.79</b>	<b>0.82</b>	<b>0.86</b>	<b>0.89</b>	<b>0.92</b>	<b>0.96</b>	<b>0.99</b>	1.90
5.00	<b>0.93</b>	<b>0.97</b>	<b>1.01</b>	<b>1.05</b>	<b>1.09</b>	<b>1.14</b>	<b>1.18</b>	<b>1.22</b>	2.00
5.25	<b>1.13</b>	<b>1.18</b>	<b>1.23</b>	<b>1.28</b>	<b>1.33</b>	<b>1.38</b>	<b>1.43</b>	<b>1.48</b>	2.10
5.50	<b>1.36</b>	<b>1.42</b>	<b>1.48</b>	<b>1.54</b>	<b>1.60</b>	<b>1.66</b>	<b>1.72</b>	<b>1.78</b>	2.20
5.75	<b>1.63</b>	<b>1.70</b>	<b>1.77</b>	<b>1.84</b>	<b>1.91</b>	<b>1.99</b>	<b>2.06</b>	<b>2.13</b>	2.30
6.00	<b>1.93</b>	<b>2.01</b>	<b>2.10</b>	<b>2.18</b>	<b>2.27</b>	<b>2.35</b>	2.44	2.52	2.40
6.25	<b>2.27</b>	<b>2.37</b>	<b>2.47</b>	2.57	2.67	2.77	2.87	2.97	2.50
6.50	2.66	2.77	2.89	3.01	3.13	3.24	3.36	3.48	2.60

napomene:

- $q'_{sd}$  (kN/m) je stalno opterećenje i polovica korisnog
- "bold" su označeni progibi manji od dopuštenih

## VIII. ZAKLJUČAK PRORAČUNA

Za praktičnu uporabu gredica vrijede niže navedene tablice koje daju:

- a) za pojedini tip gredice (POG6 do POG17) graničnu nosivost gredice ( $M_{Rd}$ ) te zavisnost računskog opterećenja  $q_{sd}$  (kN/m' gredice) i dopuštenog raspona u metrima.
- b) potreban broj stremenova

Veličina  $q_{sd} = 1.35 \cdot (G_k + \Delta G_k) + 1.50 \cdot Q_k$  gdje su opterećenja na jednu gredicu:

$G_k = 1.754$  kN/m' - vlastita težina stropa

$\Delta G_k = 1.194$  kN/m' - dodatno stalno opterećenje

$Q_k = 0.90$  do  $3.00$  kN/m' - korisno opterećenje

TIP GREDICA, MOMENTI NOSIVOSTI, DOPUŠTENI RASPONI U ODNOSU NA RAČUNSKO OPTEREĆENJE:

Tip gredica	Nosivost $M_{Rd}$ (kNm)	Ukupno računsko opterećenje $q_{sd}$ (kN/m gredice)							
		5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
POG6	8.53	3.58	3.44	3.31	3.20	3.09	3.00	2.92	2.84
POG7	9.95	3.86	3.71	3.57	3.45	3.34	3.24	3.15	3.06
POG8	11.37	4.13	3.97	3.82	3.69	3.57	3.46	3.37	3.28
POG9	12.79	4.38	4.21	4.05	3.91	3.79	3.67	3.57	3.47
POG10	14.22	4.62	4.44	4.27	4.13	3.99	3.87	3.76	3.66
POG12	17.06	5.06	4.86	4.68	4.52	4.37	4.24	4.12	4.01
POG13	18.48	5.27	5.06	4.87	4.70	4.55	4.42	4.29	4.18
POG14	19.90	5.47	5.25	5.06	4.88	4.73	4.58	4.45	4.33
POG16	22.75	5.84	5.61	5.40	5.22	5.05	4.90	4.76	
POG17	24.17	6.02	5.78	5.57					
		1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
		Korisno računsko opterećenje $Q_k$ (kN/m <sup>2</sup> stropa)							

TIP GREDICA, BROJ I RAZMAK STREMENOVA U ODNOSU NA RAČUNSKO OPTEREĆENJE:

Tip gredice	Raspon L (m)	Ukupno računsko opterećenje $q_{sd}$ (kN/m gredice)							
		5.33	5.78	6.23	6.68	7.13	7.58	8.03	8.48
POG6	4.00	3	3	3	3	3	3	3	3
POG7	4.25	3	3	3	3	3	4	4	4
POG8	4.50	4	3	4	4	4	5	4	4
POG9	4.75	4	4	4	4	5	5	5	5
POG10	5.00	4	4	5	4	5	6	5	5
POG12	5.25	5	5	5	5	6	6	6	6
POG13	5.50	5	5	6	5	7	7	7	6
POG14	5.75	6	6	6	6	7	7	7	7
POG16	6.00	6	6	7	6	8	8	8	-
POG17	6.25	7	7	7	-	-	-	-	-
stremenovi		razmak 25 cm				razmak 20 cm			

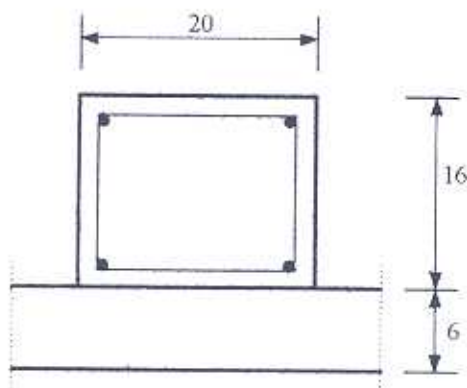
Broj stremenova brojeći od ležaja prema L/2



## PRILOG 1 - REBRA ZA UKRUĆENJE STROPA

Kod Porotherm stropova većih raspona potrebno je izvesti potreban broj rebara za ukrućenje koja se ugrađuju okomito na glavne nosive gređice stropa. Broj rebara, dimenzije i armatura rebara za ukrućenje ovisi o rasponu stropa kako slijedi:

1. Stropovi raspona manjih od 3.0 m  $\Rightarrow$  nije potrebno rebro za ukrućenje
2. Stropovi raspona od 3.0 do 6.0 m  $\Rightarrow$  potrebno je izvesti jedno rebro za ukrućenje u polovištu raspona stropa. Armatura rebra iznosi  $4 \phi 10 +$  vilice  $\phi 8 / 25\text{cm}$
3. Stropovi raspona većih od 6.0 m  $\Rightarrow$  potrebno je izvesti dva rebra za ukrućenje u trećinama raspona stropa. Armatura rebara iznosi  $4 \phi 12 +$  vilice  $\phi 8 / 20\text{cm}$



Širina rebra  $b_{\text{min}} = 20 \text{ cm}$

## PRILOG 2 - ARMIRANJE SERKLAŽA

- a) Objekti visine *podrum* + 2 *etaže*  $\Rightarrow$  armatura serklaža 4  $\phi$ 12 + vilice  $\phi$ 8 / 25 cm
  
- b) Objekti visine *podrum* + 4 *etaže*  $\Rightarrow$  armatura serklaža 4  $\phi$ 14 + vilice  $\phi$ 8 / 25 cm

(wienerberger\_revizijastropovi)

## IZVJEŠTAJ O KONTROLI GLAVNOG PROJEKTA

Ovlašteni revident: dr.sc.Dražen Aničić, dipl.inž.grad.

Tvrтка ovlaštenog revidenta: Institut građevinarstva Hrvatske, d.d., Zagreb

Predmet kontrole : Mehanička otpornost i stabilnost armirano-betonskih i zidanih konstrukcija (članak 36. stavak (1), točka 1 Zakona o građenju, NN 77/92)

Naziv dokumentacije: Glavni projekt, statički proračun Porotherm stropova (prednapete opečne gredice, POG), razmak gredica 60 cm

Investitor: Ciglane Wienerberger - Ilovac, d.d., Karlovac

Projektant: Gradnja inženjering R, d.o.o, Karlovac, Skopska 27 Imre Radić, d.i.g.

Predmet kontrole: Statički proračun Porotherm stropova s razmakom gredica 60 cm

Izjava ovlaštenog revidenta:

**Glavni projekt naveden u ovom dokumentu izrađen je u skladu sa Zakonom o građenju u pogledu mehaničke otpornosti i stabilnosti armiranobetonskih i zidanih konstrukcija.**

Datum provedbe kontrole: 20.5.1998.

Oznaka IGH: RN 2111-210031/98, IGH 21-220/98

Ovlašteni revident:  
*Aničić*  
dr.sc. Dražen Aničić, dipl.inž.grad.

