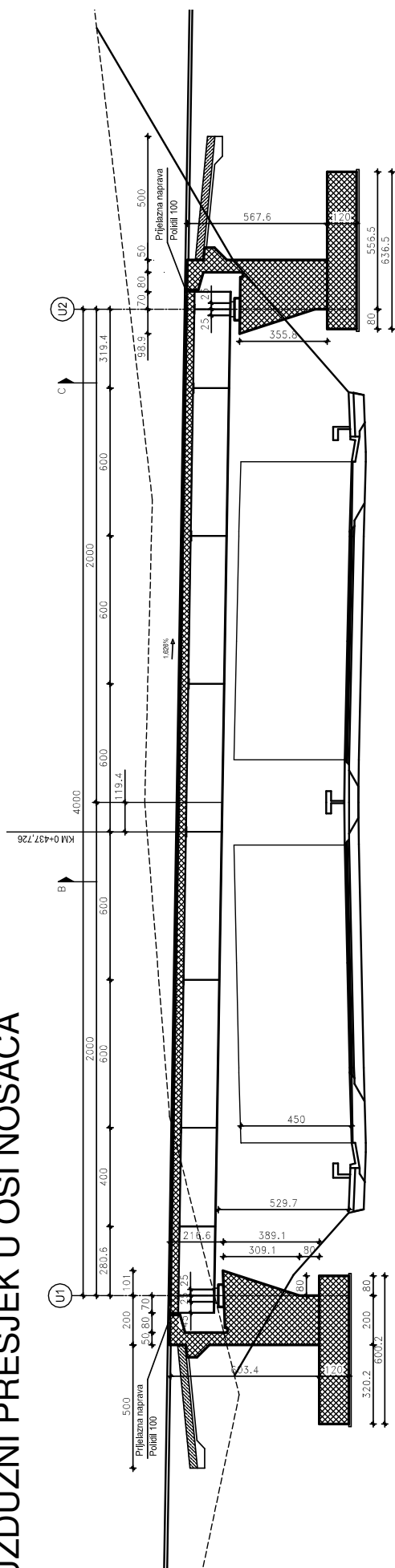
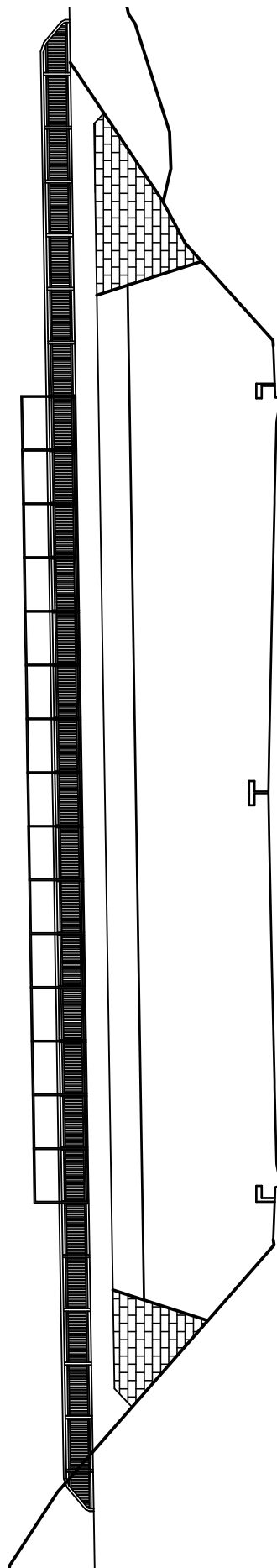


UZDUŽNI PRESJEK U OSI NOSAČA



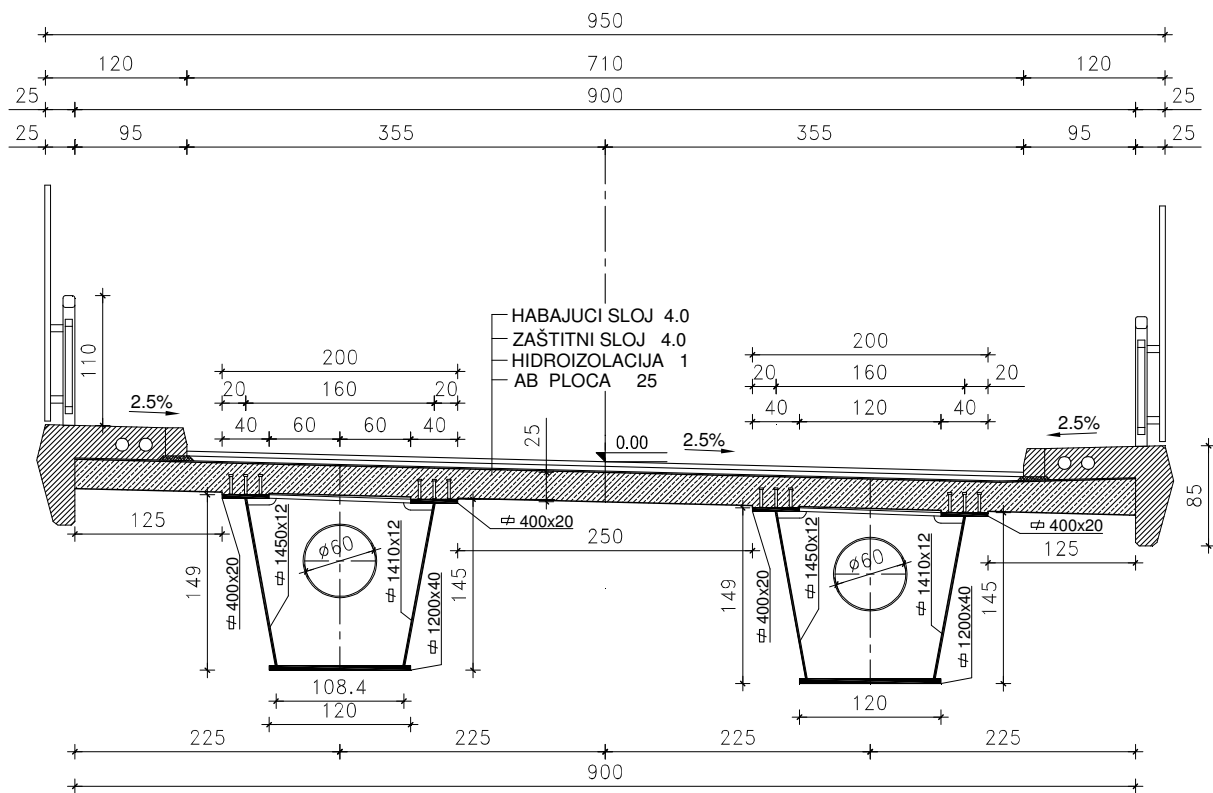
POGLED NA MOST



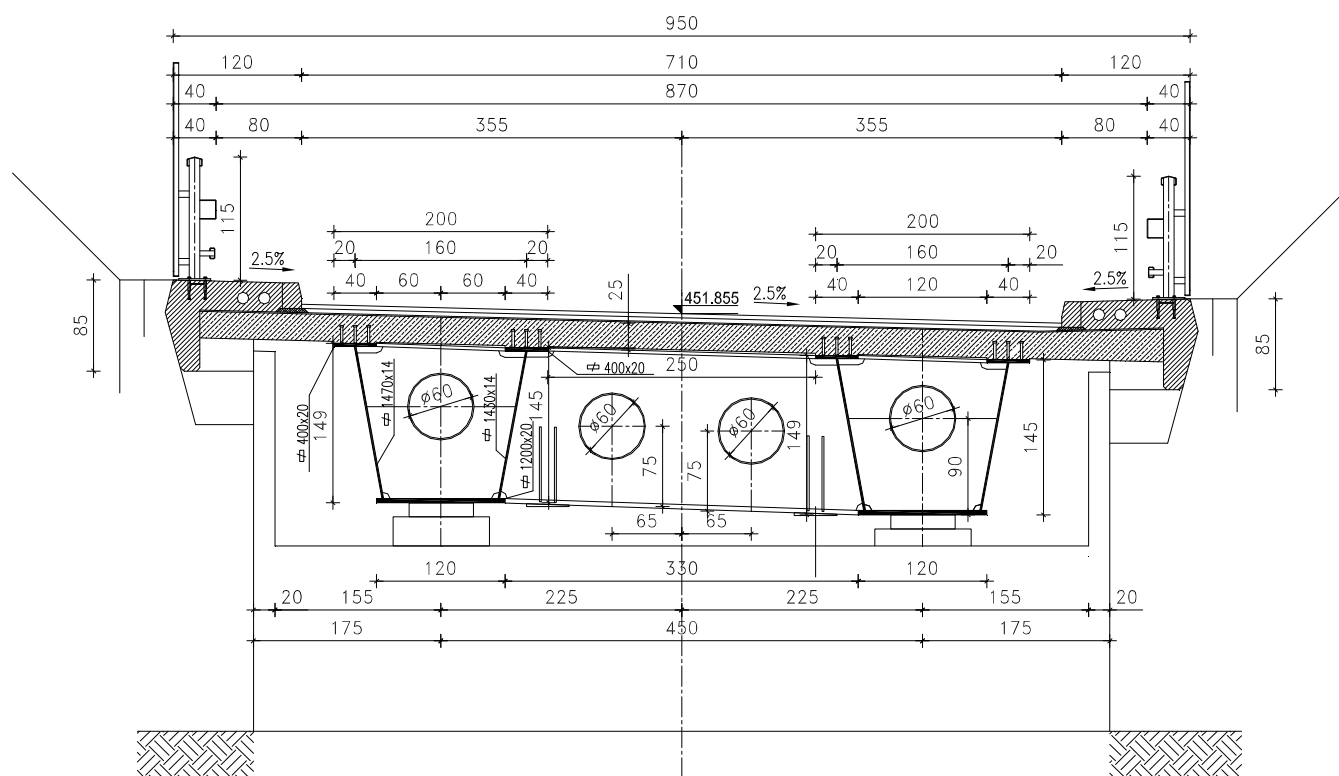
1. ANALIZA OPTEREĆENJA

1.1. Vlastita težina

POPREČNI PRESJEK



POPREČNI PRESJEK NAD UPORNJAKOM



Poprečni presjek mosta je simetričan. Promatramo polovicu širine mosta.

ZA JEDAN NOSAČ

- Težina nosača:

$$78.50 \times (2 \times 0.400 \times 0.020 + 2 \times 1.440 \times 0.012 + 1.200 \times 0.040) \dots\dots\dots = 7.74 \text{ kN/m'}$$

- Poprečna ukrućenja i dijafragme po m' nosača:

$$\begin{aligned} & 1/40 \times 78.50 \times ((9 \times ((0.50 \times (1.600 + 1.200) \times 1.450 \times 0.014) - 0.600^2 \times 3.14 \times \\ & 0.014 / 4) + (3.300 \times 0.040 \times 0.300 + 2.500 \times 0.040 \times 0.300 + \\ & + 0.50 \times (2.500 + 3.300) \times 0.020 \times 1.450)) = \dots\dots\dots = 0.73 \text{ kN/m'} \\ & \text{UKUPNO} = 8.47 \text{ kN/m'} \end{aligned}$$

- Kolnička ploča = $0.250 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 4.50 \text{ m} \dots\dots\dots = 28.125 \text{ kN/m'}$

Prilikom betoniranja čelični nosači su nepoduprti.

Težina oplata koja se vješa za izradu kolničke ploče: cca $1,00 \text{ kN/m}^2$

Težina oplata na 1 nosač: $G = 1,00 \times 4,50 = 4,5 \text{ kN/m'}$

1.2. Dodatno stalno-ΔG

ZA CIJELI MOST

- Pješačka staza + rubnjak = $0.275 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.95 \text{ m} \times 2 \dots\dots = 13.06 \text{ kN/m'}$
- Hidroizolacija = $0.5 \text{ kN/m}^2 \times 9.0 \text{ m} \dots\dots\dots = 4.5 \text{ kN/m'}$
- Zastor = $0.08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 7.1 \text{ m} \dots\dots\dots = 14.2 \text{ kN/m'}$
- Ograda = $0.5 \text{ kN/m' } \times 2 \dots\dots\dots = 1.0 \text{ kN/m'}$
- Betonski vijenac = $0.22 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 2 \dots\dots\dots = 11.0 \text{ kN/m'}$
- Dodatno opterećenje = $0.50 \text{ kN/m}^2 \times 9.00 \dots\dots\dots = 4.50 \text{ kN/m'}$
- UKUPNO = 48.26 kN/m'**

ZA JEDAN NOSAČ

- Pješačka staza + rubnjak = $0.275 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.95 \text{ m} \dots\dots\dots = 6.53 \text{ kN/m'}$
- Hidroizolacija = $0.5 \text{ kN/m}^2 \times 9.0 \text{ m} / 2 \dots\dots\dots = 2.25 \text{ kN/m'}$
- Zastor = $0.08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \times 7.1 \text{ m} / 2 \dots\dots\dots = 7.1 \text{ kN/m'}$
- Ograda = $0.5 \text{ kN/m' } \dots\dots\dots = 0.5 \text{ kN/m'}$
- Betonski vijenac = $0.22 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 \dots\dots\dots = 5.5 \text{ kN/m'}$
- Dodatno opterećenje = $0.50 \text{ kN/m}^2 \times 9.00 \text{ m} / 2 \dots\dots\dots = 2.25 \text{ kN/m'}$
- UKUPNO = 24.13 kN/m'**

1.3. Prometno opterećenje

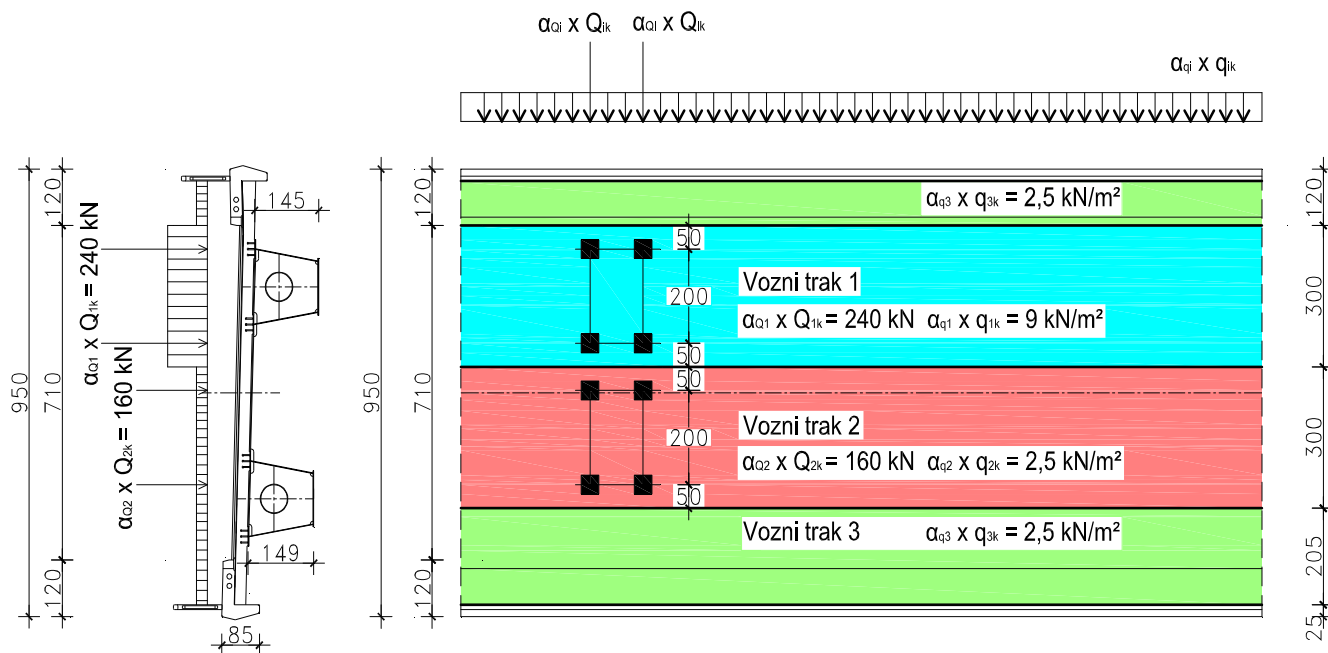
1.3.1. Model opterećenja 1

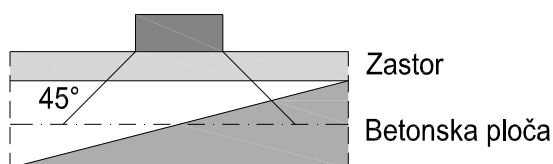
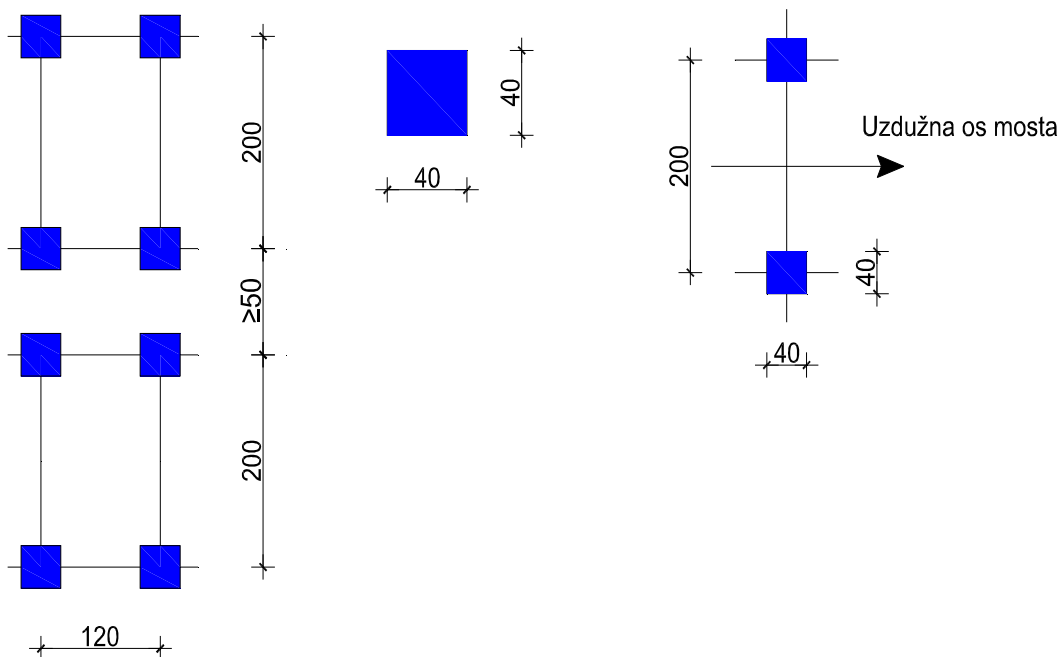
Broj i širina trakova ovisno o širini kolnika

Širina kolnika w	Broj prometnih trakova	Širina prometnih trakova (m)	Preostala širina kolnika (m)
$< 5,4$ m	$n=1$	3 m	$w - 3$ m
$5,4 \text{ m} \leq w < 6$ m	$n=2$	$w/2$	0
$w \geq 6$ m	$n = \text{Int}(w / 3)$	3 m	$w - 3 \times n$

Cestovno opterećenje i koeficijenti prema DIN – Fachbericht 101

Položaj	Dvoosovinsko opterećenje			Jednoliko rasprostranjeno opterećenje
	Osnovno opterećenje Osovinsko opterećenje Q_{ik} (kN)	α_{Qi}	Faktorizirano opterećenje Osovinsko opterećenje $\alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ (kN)	
Vozni trak 1	300	0,8	240	9,0
Vozni trak 2	200	0,8	160	2,5
Vozni trak 3	0	-	0	2,5
Ostali vozni trakovi	0	-	0	2,5
Preostala površina	0	-	0	2,5





Prometno opterećenje - kočenje

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{Q1} \times (2Q_{1k}) + 0,10\alpha_{q1} \times q_{1k} \times w_l \times L$$

$$360 \cdot \alpha_{Q1} \leq Q_{lk} \leq 900 \text{ u kN}$$

α_{Q1}	-	koeficijent redukcije opterećenja teškog vozila	= 0,80
α_{q1}	-	koeficijent redukcije opterećenja kontinuiranog opterećenja	= 1,00
q	-	kontinuirano opterećenje u 1. traci	= 9,00 kN/m ²
Q _{1k}	-	osovinsko opterećenje u 1. traci	= 300 kN
w _l	-	širina 1. trake	
L	-	duljina mosta	

1.3.2. Model opterećenja 4

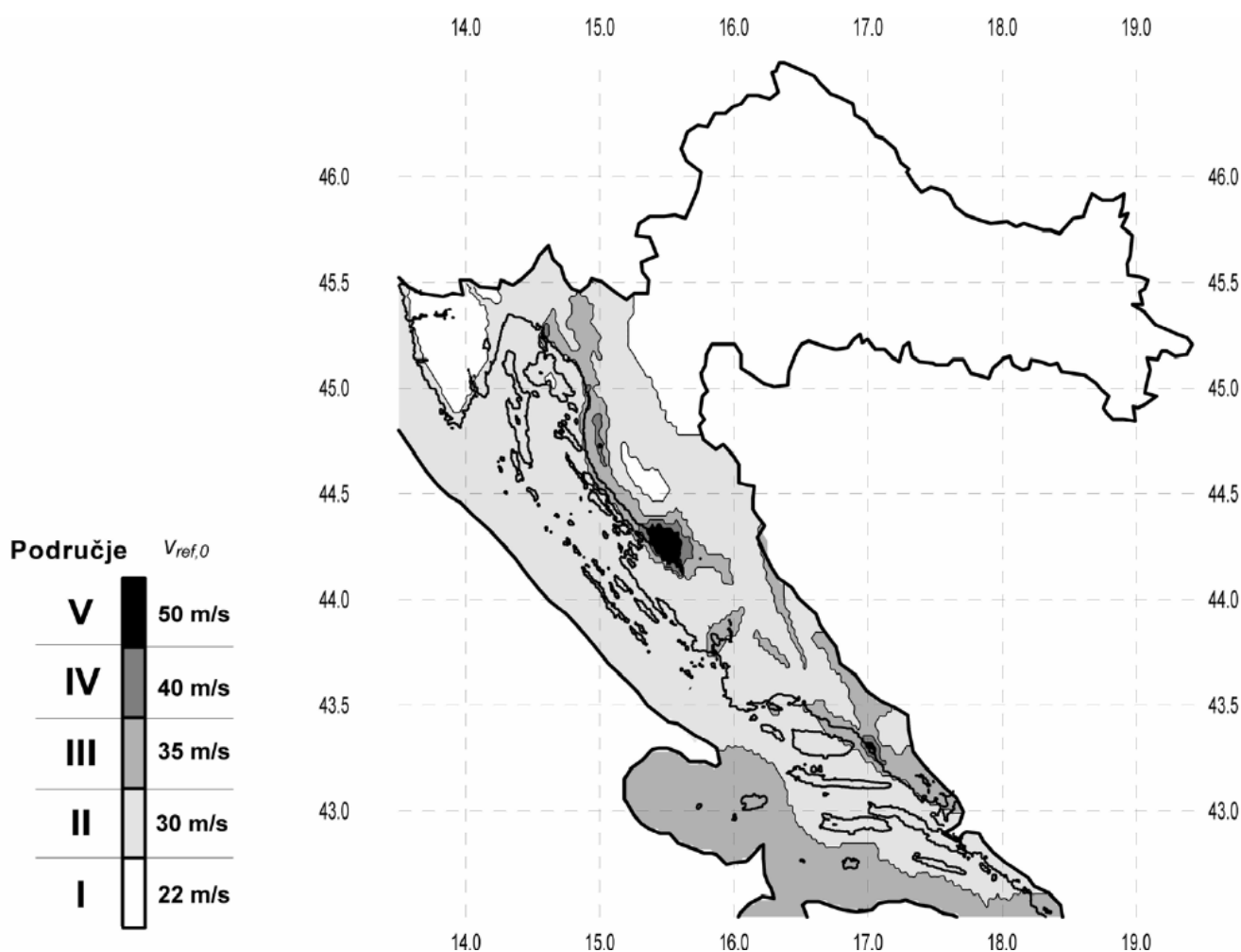
Model opterećenja 4 predstavlja navalu ljudi na most:
 Nanosi se opterećenje između ograda od $q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Za dimenzioniranje konstrukcije mjerodavno je opterećenje Model 1 te se stoga Model 4 ne razmatra dalje.

1.4. Vjetar

NAPOMENA: DJELOVANJE VJETRA PRORAČUNAVA SE PREMA TRENUTNO VAŽEĆOJ VJETROVNOJ KARTI HRVATSKE KOJA ĆE SE NAJVJEROJATNIJE U VRLO SKOROJ BUDUĆNOSTI MIJENJATI.

Uz pretpostavku da se nadvožnjak nalazi u okolini Knina



Rezultirajuća sila vjetra na rasponski sklop određuje se na osnovi sljedećeg izraza:

$$F_w = q_b \times c_e \times c_f \times A_{ref} \quad [\text{kN}]$$

$$w = q_b \times c_e \times c_f \quad [\text{kN/m}']$$

q_b	-	referentni pritisak srednje brzine vjetra
c_e	-	koeficijent izloženosti
c_f	-	aerodinamički koeficijent sile vjetra

- referentni pritisak vjetra na neopterećeni most za brzinu 30 m/s:

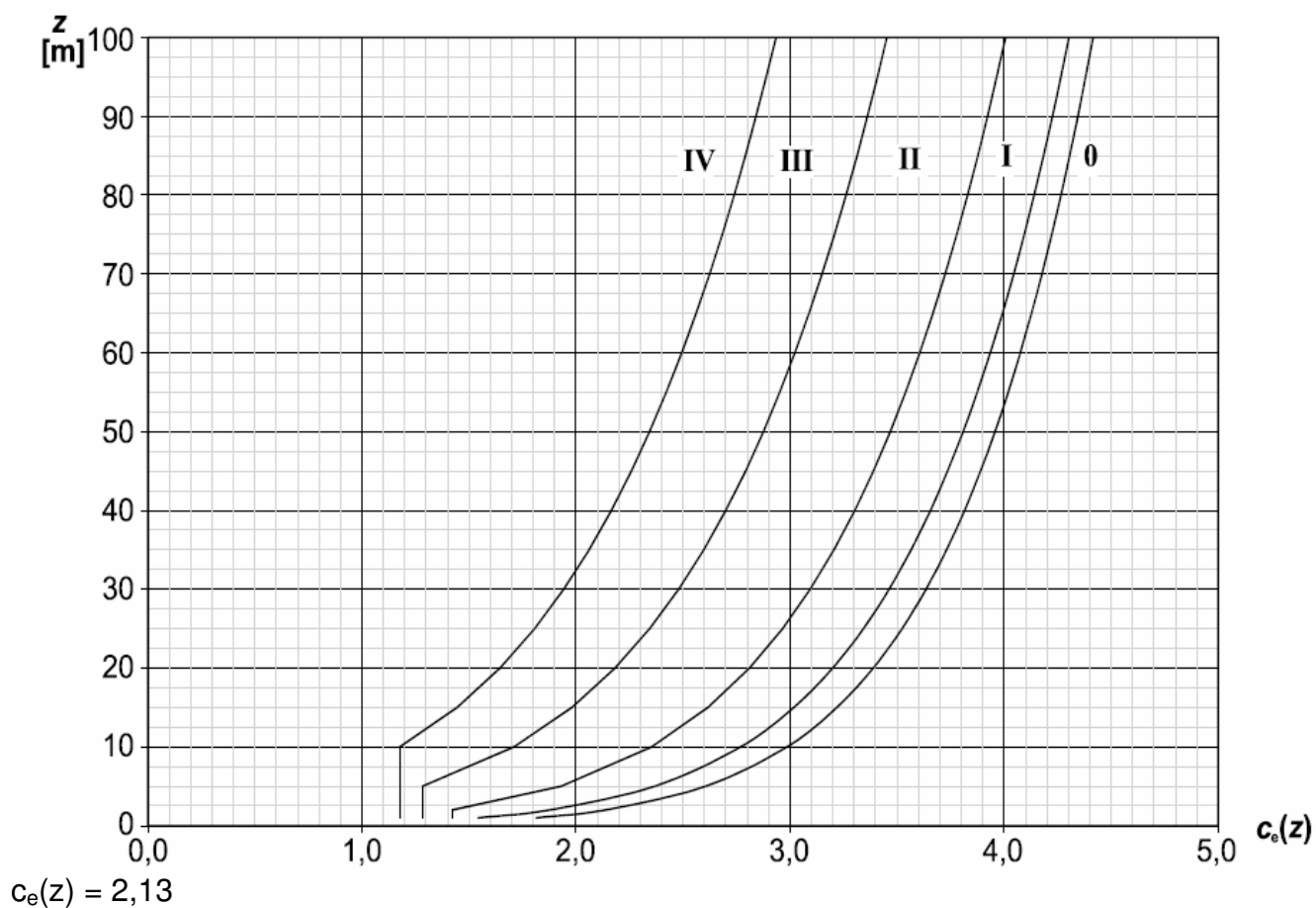
$$q_b = \frac{\rho}{2} \cdot v_b^2 = \frac{1,25}{2 \cdot 1000} \cdot 30^2 = 0,5625 \text{ kN/m}^2$$

-

- referentni pritisak vjetra na opterećeni most za brzinu 23 m/s:

$$q_d = \frac{\rho}{2} \cdot v_d^2 = \frac{1,25}{2 \cdot 1000} \cdot 23^2 = 0,33 \text{ kN/m}^2$$

- koeficijent izloženosti
 - II. kategorija hrapavosti terena
 - Visina mosta 7,5 m



Kategorije terena:

Kategorija terena 0

More, obalno područje izloženo otvorenom moru



Kategorija terena I

Jezero ili površina bez prepreka sa zanemarivom vegetacijom.



Kategorija terena II

Površina sa niskom vegetacijom kao što je trava i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s minimalnim razmakom od 20 visina prepreke.



Kategorija terena III

Površina redovito pokrivena vegetacijom, zgradama ili izoliranim preprekama sa maksimalnim razmakom od 20 visina prepreke (kao što su sela, predgrađa, stalne šume).

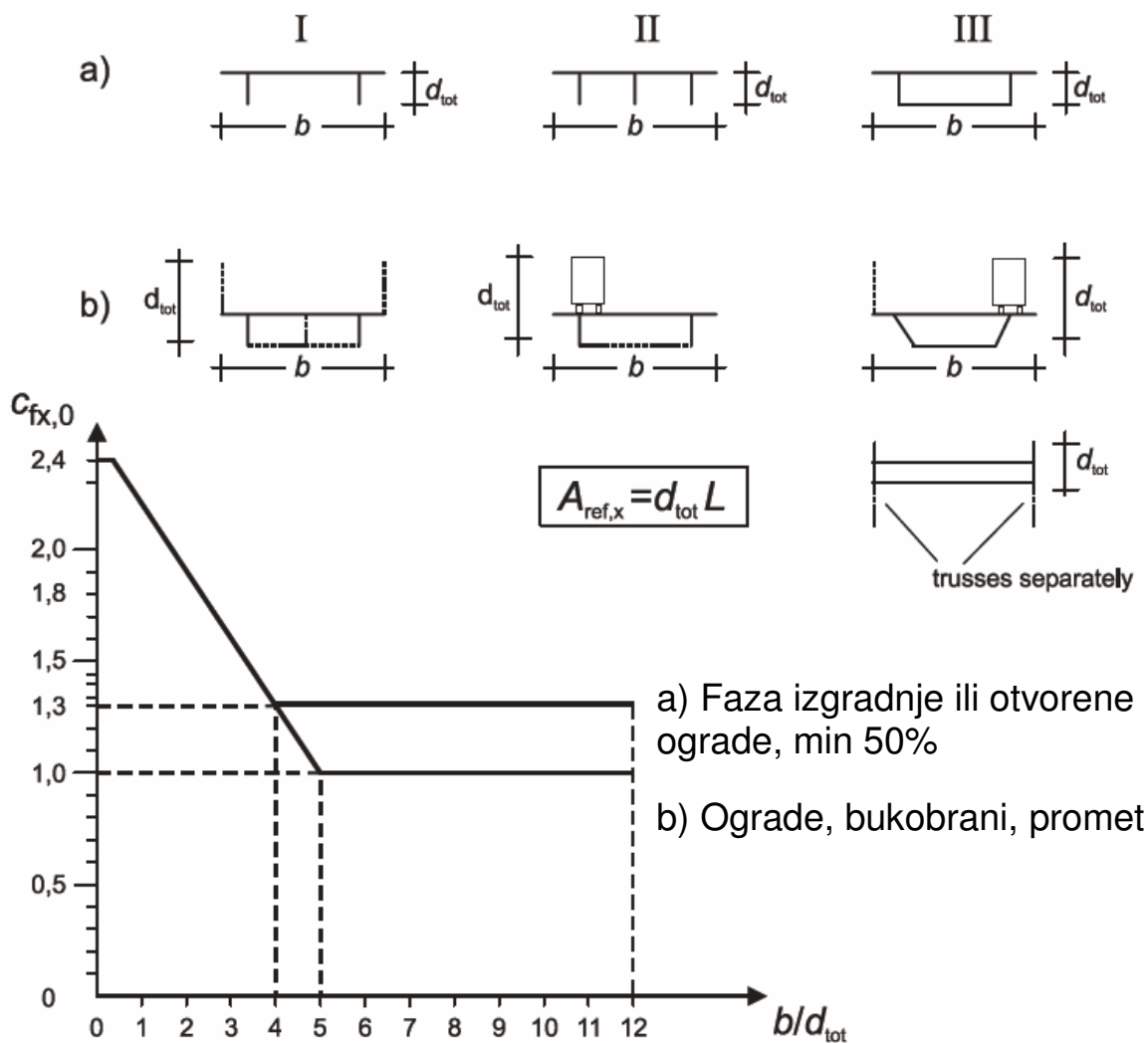


Kategorija terena IV

Površine u kojima je najmanje 15% površine pokriveno zgradama čija je srednja visina veća od 15 m.



aerodinamički koeficijent sile vjetra:



Visine koje se koriste za određivanje A_{ref} :

Tip ograde	Na jednoj strani	Na obje strane
Otvorena ogradna ili otvorena zaštitna ogradna	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Puna ogradna ili puna zaštitna ogradna	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Otvorena ogradna i otvorena zaštitna ogradna	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

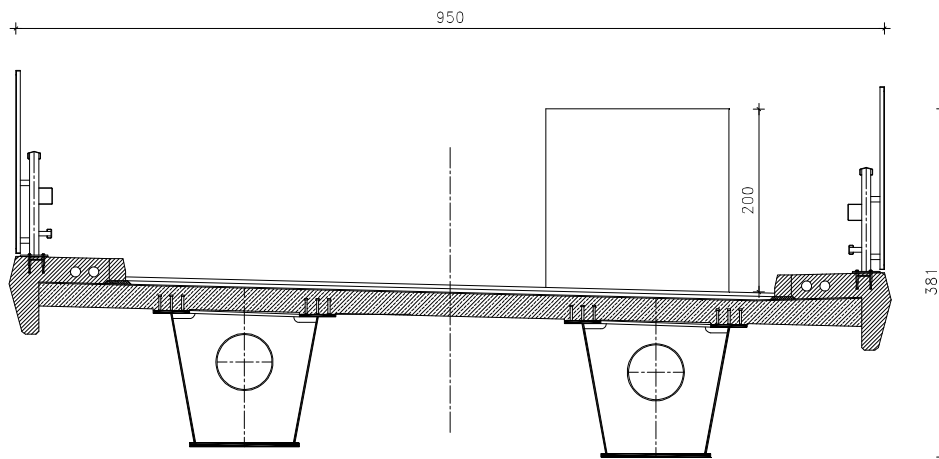
$$C_{fx} = C_{fx,0}$$

- **ZA OPTEREĆENI MOST**

- slučaj b)
- $b = 9,5 \text{ m}$
- $d = 3,81 \text{ m}$

$$b/d = 9,5 / 3,81 = 2,49;$$

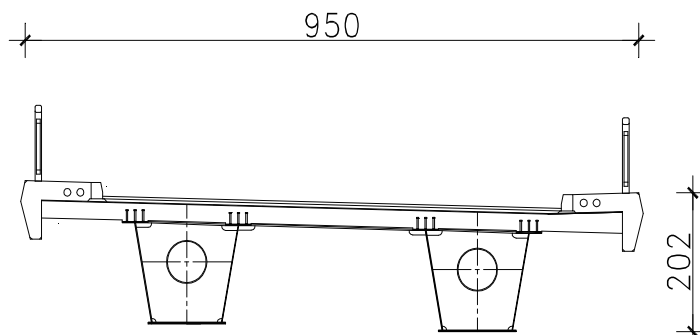
$$C_{fx,0} = 1,75$$



$$C_{fx} = C_{fx,0} = 1,75$$

ZA NEOPTEREĆENI MOST

- slučaj a)
 - $b=9.5$ m
 - $d=2,02$ m
- $b/d = 9,5 / 2,02 = 4,70;$
 $C_{fx,0} = 1,3$



$$C_{fx} = C_{fx,0} = 1,3$$

- opterećeni most: $w = q_{ref} \times c_e \times c_f = 0,33 \times 2,13 \times 1.75 = 1.23 \text{ kN/m}^2$
 (visina na kojoj se rasprostire opterećenje $h = 3.81$ m)

- neopterećeni most: $w = q_{ref} \times c_e \times c_f = 0,5625 \times 2,13 \times 1.3 = 1.56 \text{ kN/m}^2$
 (visina na kojoj se rasprostire opterećenje $h = 2.08 + 0.60 = 2.68$ m)

1.5. Temperatura



Slika 4.8 Zemljovid Hrvatske s najvišim temperaturama zraka



Slika 4.9 Zemljovid Hrvatske s najnižim temperaturama zraka

Nadmorska visina do (m)	I. područje	II. područje	III. područje	IV. područje
100	39	38	42	39
400	36	36	39	39
800	33	34	36	39
1200	30	32	34	--
1600	28	30	31	--

Tablica 4.7 Promjena najviše temperature $T_{max,50}$ s nadmorskom visinom

Nadmorska visina do (m)	I. područje	II. područje	III. područje	IV. područje	V. područje
100	-26	-26	-17	-10	-16
400	-23	-26	-19	-13	-18
800	-20	-26	-21	-17	-19
1200	-17	-26	-23	-20	-21
1600	---	-26	-24	-24	-23
>1600	---	-26	---	-26	-24

Tablica 4.8 Promjena najniže temperature $T_{min,50}$ s nadmorskom visinom

- jednolika temperatura:

Prema lokaciji odgovara V. zoni najvećih temperatura zraka s linearnom promjenom temperature zraka prema izrazu $41,9 - 0,007h$. Uz visinu nivelete (h) približno 452 m nad morem maksimalna temperatura zraka iznosi:

$$T_{\max} = 41,9 - 0,007 \times 452 = 38,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

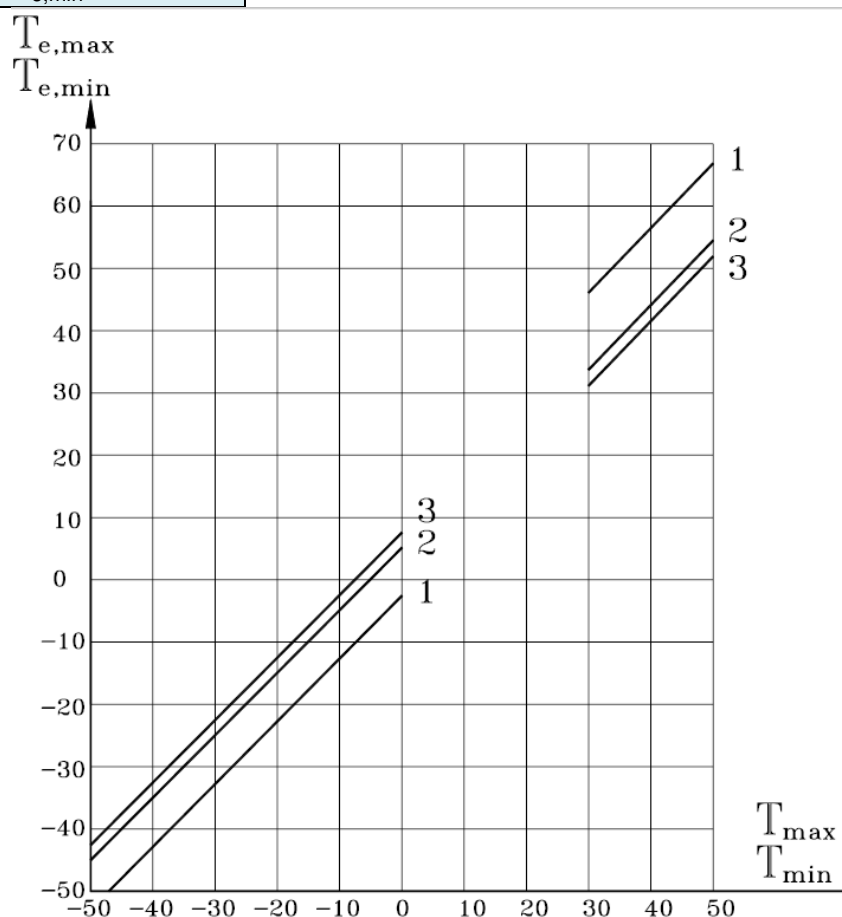
Prema lokaciji odgovara VI. zoni najmanjih temperatura zraka s linearnom promjenom temperature zraka prema izrazu $-15,9 - 0,004h$. Uz visinu nivelete (h) približno 452 m nad morem minimalna temperatura zraka iznosi:

$$T_{\min} = -15,9 - 0,004 \times 452 = -17,89 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Korištenjem dijagrama (*Konstruiranje mostova, str. 160, slika 103*) očitane su maksimalne i minimalne temperature mosta:

$$T_{e,\max} = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,\min} = -12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



Linija 1 – čelična kolnička ploča na čeličnim sandučastim nosačima, rešetkastom ili punostijenom nosaču

Linija 2 – betonska kolnička ploča na čeličnim sandučastim ili rešetkastim nosačima ili na punostijenim nosačima

Linija 3 – betonska ploča ili betonska kolnička ploča na betonskim gredama ili sandučastim nosačima

T_0 – vjerojatna računska temperatura mosta u vrijeme kad je konstrukcija djelotvorno upeta. U nedostatku točnih vrijednosti uzima se $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Najveća razlika negativne računske temperature mosta je:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 10 - (-12) = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Najveća razlika pozitivne računske temperature mosta je:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 42 - 10 = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Za proračun pomaka prijelaznih naprava i ležajeva mjerodavne su ove vrijednosti temperatura sa još dodatnih $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, dakle, mjerodavne temperature će biti:

$$\Delta T_{N,con} = 22 + 20 = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = 32 + 20 = 52\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- nejednolika linearno promjenjiva temperatura:

Za betonsku ploču na čeličnom sanduku mjerodavne su slijedeće linearne promjene u temperaturi između gornjeg i donjeg ruba konstrukcije:

- pozitivna temperaturna razlika $\Delta T_{M,heat} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

- negativna temperaturna razlika $\Delta T_{M,cool} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$

(Konstruiranje mostova, str. 164, tbl. 48)

(vrijednosti u tablici dane su za debljinu zastora od 50 mm , pa je vrijednosti potrebno korigirati sa faktorima utjecaja debljine zastora k_{sur} (tbl. 49). Za ovaj primjer $k_{sur} = 1$. Dozvoljena je linearna interpolacija).

Prema „Leitfaden zum DIN Fachbericht 104 Verbundbrücken, Ausgabe 2003“ str.8, moguće je zanemariti razlike u koeficijentu temperaturnog izduženja čelika i betona te je moguće pojednostavljen proračun nosivosti sa jednakim $\alpha_T = 10 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{K}$

Za proračun utjecaja temperature na deformacije ležajeva i prijelaznih naprava koristi se $\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{K}$

Stoga se u danjem proračunu koristi $\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{K}$ u svim slučajevima.

DJELOVANJE JEDNOLIKE I LINEARNE TEMPERATURNE KOMPONENTE:

U nekim slučajevima potrebno je uzeti u obzir istodobno djelovanje jednolike i nejednolike temperaturne komponente (npr. okviri) pa se koristi nepovoljniji od sljedećih učinaka:

$$\Delta T_{M,heat} + \omega_N \Delta T_{N,exp} \quad \text{ili} \quad \Delta T_{M,cool} + \omega_N \Delta T_{N,con} \quad \omega_N = 0.35$$

$$\omega_M \Delta T_{M,heat} + \Delta T_{N,exp} \quad \text{ili} \quad \omega_M \Delta T_{M,cool} + \Delta T_{N,con} \quad \omega_M = 0.75$$

Proračunati će se osam kombinacija opterećenja temperaturom:

A/ Jednolika temperaturna komponenta:

1. Ljeto- gornji rub konstrukcije se zagrijava

$$\Delta T_{N,exp} = +32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\omega_M \Delta T_{M,heat} = 0,75 \cdot 15 = 11,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2. Ljeto- gornji rub konstrukcije se hladi

$$\Delta T_{N,exp} = +32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\omega_M \Delta T_{M,cool} = -0,75 \cdot 18 = -13,50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3. Zima- gornji rub konstrukcije se zagrijava

$$\Delta T_{N,con} = -22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\omega_M \Delta T_{M,heat} = 0,75 \cdot 15 = 11,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4. Zima- gornji rub konstrukcije se hladi

$$\Delta T_{N,con} = -22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\omega_M \Delta T_{M,cool} = -0,75 \cdot 18 = -13,50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

B/ Linearna temperaturna komponenta:

5. Ljeto- gornji rub konstrukcije se zagrijava

$$\omega_N \Delta T_{N,exp} = +0,35 \cdot 32 = 11,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,heat} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

6. Ljeto- gornji rub konstrukcije se hladi

$$\omega_N \Delta T_{N,exp} = +0,35 \cdot 32 = 11,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,cool} = -18 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

7. Zima- gornji rub konstrukcije se zagrijava

$$\omega_N \Delta T_{N,con} = -0,35 \cdot 22 = -7,70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,heat} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

8. Zima- gornji rub konstrukcije se hladi

$$\omega_N \Delta T_{N,con} = -0,35 \cdot 22 = -7,70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,cool} = -18 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Promjena duljine konstrukcije:

Ukupno skraćenje konstrukcije uslijed promjene temperature (-22°C) iznosi:

$$\Delta l = \Delta T_{N,con} \cdot \alpha_T \cdot l = -22 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 40,00 = -10,56 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -10,56 \text{ mm}$$

Ukupno produljenje konstrukcije uslijed promjene temperature ($+32^{\circ}\text{C}$) iznosi:

$$\Delta l = \Delta T_{N,exp} \cdot \alpha_T \cdot l = 32 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 40,0 = 15,36 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 15,36 \text{ mm}$$

Ukupna promjena duljine konstrukcije iznosi : 25,92 mm = 2,59 cm.

Promjena duljine za dimenzioniranje ležajeva:

Ukupno skraćenje konstrukcije uslijed promjene temperature (-42°C) iznosi:

$$\Delta l = (\Delta T_{N,con} - 20) \cdot \alpha_T \cdot l = -42 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 40,0 = 0,02016 \text{ m} = -20,16 \text{ mm}$$

Ukupno produljenje konstrukcije uslijed promjene temperature ($+52^{\circ}\text{C}$) iznosi:

$$\Delta l = (\Delta T_{N,exp} + 20) \cdot \alpha_T \cdot l = 52 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 40,0 = 0,02496 \text{ m} = 24,96 \text{ mm}$$

Ukupna promjena duljine konstrukcije iznosi : $45,12 \text{ mm} = 4,51 \text{ cm}$.

Linearna promjena temperature po visini poprečnog presjeka

Na statički određenim nosačima uslijed linearne promjene temperature po visini poprečnog presjeka dolazi do promjene progiba proste grede uslijed promjene zakrivljenosti nosača:

$$\kappa = \frac{\alpha_T \cdot \Delta T_M}{h}$$

Progibna linija za prostu gredu uslijed linearne promjene temperature po visini poprečnog presjeka

$$w = \frac{\alpha_T \cdot (T_2 - T_1)}{2 \cdot h} \cdot (l \cdot x - x^2)$$

T_2 – temperatura s donje strane nosača

T_1 – temperatura s gornje strane nosača

l – raspon grede

h – visina spregnutog nosača

x – udaljenost poprečnog presjeka od početka grede

Maksimalni progib uslijed promjene temperature nalazi se u sredini proste grede:

$$w(l/2) = \frac{\alpha_T \cdot (T_2 - T_1) \cdot l^2}{8 \cdot h}$$

Progib u sredini grede uslijed pozitivne promjene temperature (gornja površina toplija) :

$$w(40/2) = \frac{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 15 \cdot 40^2}{8 \cdot 1,735} = 0,021 \text{ m} = 2,1 \text{ cm} \text{ – smanjenje progiba za } 2,1 \text{ cm}$$

Progib u sredini grede uslijed negativne promjene temperature (gornja površina hladnija):

$$w(40/2) = \frac{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 18 \cdot 40^2}{8 \cdot 1,735} = 0,0249 \text{ m} = 2,49 \text{ cm} \text{ – povećanje progiba za } 2,49 \text{ cm}$$

1.6. Potres

Most je u 9. Potresnoj zoni → računsko ubrzanje tla $a=0,3g$

Tlo kvalitete A

Vlastitu težinu računalni program računa samostalno na temelju površina zadanih poprečnih presjeka i specifične težine gradiva.

Dodatno stalno opterećenje u računalnom modelu bit će raspoređeno kao koncentrirane mase po čvorovima konstrukcije.

a) Horizontalni elastični spektar odgovora konstrukcije

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \times S \times \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \times \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \times S \times \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \times a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \left[\frac{T_C \times T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \times a_g \end{cases}$$

$S_e(T)$ – ordinata spektra odgovora u jedinici ubrzanja tla

T – osnovni period osciliranja linearnog sustava

a_g – osnovno računsko ubrzanje tla

T_B, T_C – granice intervala konstantnog spektralnog ubrzanja

T_D – granica koja definira početak područja spektra s konstantnim pomacima

S – modificirani faktor tla

η – korekcijski faktor prigušenja (=1 za viskozno prigušenje 5%)

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$$

$\beta = 0,2$

$q = 1,0$

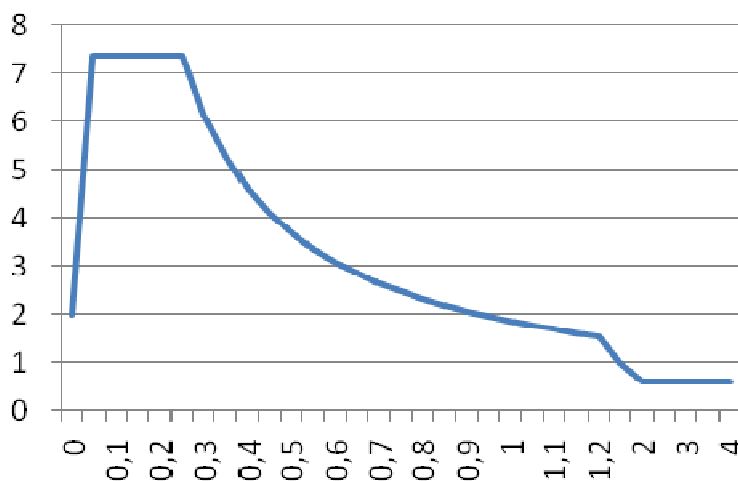
Tablica 1. Seizmički parametri za kategorije tla

Kategorija tla	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

Tablica 2. Računsko ubrzanje tla za različita seizmička područja

Područje intenziteta	VII.	VIII.	IX.	X.
Računsko ubrzanje tla	0,1g	0,2g	0,3g	Prema posebnim istraživanjima

	T	a_g (0,3g)	S	q	$S_e(T)$
$0 \leq T \leq T_B$	0	2,943	1	1	1,962
	0,05	2,943	1	1	7,3575
$T_B \leq T \leq T_C$	0,1	2,943	1	1	7,3575
	0,15	2,943	1	1	7,3575
	0,2	2,943	1	1	7,3575
	0,25	2,943	1	1	7,3575
$T_C \leq T \leq T_D$	0,3	2,943	1	1	6,13125
	0,35	2,943	1	1	5,25536
	0,4	2,943	1	1	4,59844
	0,45	2,943	1	1	4,0875
	0,5	2,943	1	1	3,67875
	0,55	2,943	1	1	3,34432
	0,6	2,943	1	1	3,06563
	0,65	2,943	1	1	2,82981
	0,7	2,943	1	1	2,62768
	0,75	2,943	1	1	2,4525
	0,8	2,943	1	1	2,29922
	0,85	2,943	1	1	2,16397
	0,9	2,943	1	1	2,04375
	0,95	2,943	1	1	1,93618
	1	2,943	1	1	1,83938
	1,05	2,943	1	1	1,75179
	1,1	2,943	1	1	1,67216
	1,15	2,943	1	1	1,59946
	1,2	2,943	1	1	1,53281
$T_D \leq T \leq 4s$	1,5	2,943	1	1	0,981
	2	2,943	1	1	0,5886
	2,5	2,943	1	1	0,5886
	3	2,943	1	1	0,5886
	3,5	2,943	1	1	0,5886
	4	2,943	1	1	0,5886



— Ordinata
horizontalnog spektra
odgovora u jedinici
ubrzanja tla

b) Vertikalni elastični spektar odgovora konstrukcije

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \times \left[1 + \frac{T}{T_B} \times (\eta \times 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \times \eta \times 3,0$$

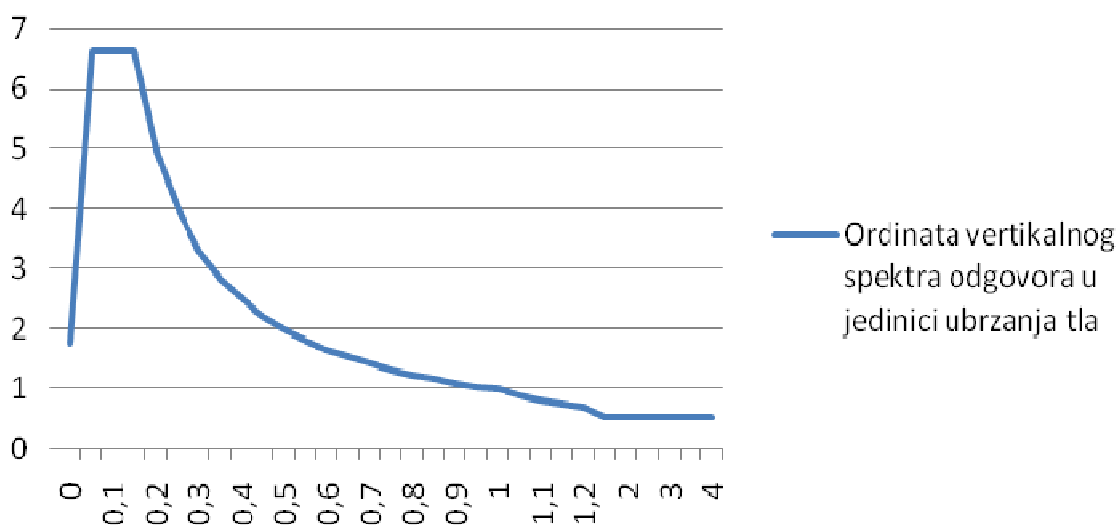
$$T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = a_{vg} \times \eta \times 3,0 \times \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_{ve}(T) = a_{vg} \times \eta \times 3,0 \times \left[\frac{T_C \times T_D}{T^2} \right]$$

$S_{ve}(T)$ – ordinata spektra odgovora u jedinici ubrzanja tla

a_{vg} – osnovno računsko ubrzanje tla

Spektar	a_{vg}/a_g	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
Tip 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Tip 2	0,45	0,05	0,15	1,0



	T	a_{vg} ($0,9a_g$)	S	q	$S_e(T)$
$0 \leq T \leq T_B$	0	2,649	1	1	1,7658
	0,05	2,649	1	1	6,62175
$T_B \leq T \leq T_C$	0,1	2,649	1	1	6,62175
	0,15	2,649	1	1	6,62175
$T_C \leq T \leq T_D$	0,2	2,649	1	1	4,96631
	0,25	2,649	1	1	3,97305
	0,3	2,649	1	1	3,31088
	0,35	2,649	1	1	2,83789
	0,4	2,649	1	1	2,48316
	0,45	2,649	1	1	2,20725
	0,5	2,649	1	1	1,98653
	0,55	2,649	1	1	1,80593
	0,6	2,649	1	1	1,65544
	0,65	2,649	1	1	1,5281
	0,7	2,649	1	1	1,41895
	0,75	2,649	1	1	1,32435
	0,8	2,649	1	1	1,24158
	0,85	2,649	1	1	1,16854
	0,9	2,649	1	1	1,10363
	0,95	2,649	1	1	1,04554
	1	2,649	1	1	0,99326
$T_D \leq T \leq 4s$	1,05	2,649	1	1	0,90092
	1,1	2,649	1	1	0,82088
	1,15	2,649	1	1	0,75105
	1,2	2,649	1	1	0,68977
	1,5	2,649	1	1	0,52974
	2	2,649	1	1	0,52974
	2,5	2,649	1	1	0,52974
	3	2,649	1	1	0,52974
	3,5	2,649	1	1	0,52974
	4	2,649	1	1	0,52974

1.7. Puzanje i skupljanje betona

Kolnička ploča :

Za kolničke ploče se u pravilu koristi **beton C 35/45**.

Za veću klasu betona potrebno je odobrenje investitora (prema Fachbericht 104 – Verbundbrücken).

Ovo ograničenje je uvedeno jer se žele vlačna naprezanja u ploči uslijed skupljanje i hidratacijske topline svesti na najmanju moguću granicu.

Vrsta i količina cementa u betonu se određuje prema vanjskoj temperaturi (treba izbjegavati cimente CEM I), a vodocementi faktor mora biti $w/c < 0,45$.

Materijal:

Beton klase C 35 / 45

Armaturni čelik B 500 B.

Širina kolničke ploče $b = 900 \text{ cm}$

Debljina kolničke ploče $h = 25 \text{ cm}$

Površina betonske ploče :

Srednji polumjer presjeka: $h_0 = \frac{2 \cdot A_C}{U}$

A_C – površina betonske pojasnice

u – opseg betonske pojasnice koja je u izravnom dodiru sa zrakom

$$A_C = b \cdot h = 900 \times 25 = 22500 \text{ cm}^2$$

Utjecaj kolničkog zastora na betonskoj pojasnici uzima se u obzir uzimajući samo 50 % duljine betonske pojasnice pokrivene zastorom.

$$U = 900 + 1/2 \cdot (900 + 2 \cdot 25) = 1375 \text{ cm}$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_C}{U} = \frac{2 \cdot 22500}{1375} = 32,73 \text{ cm} = 327,3 \text{ mm}$$

Skupljanje i puzanje betona ovise o relativnoj vlažnosti okoline, dimenzijama elementa i sastavu betona. Puzanje dodatno ovisi i o starosti betona u trenutku nanošenja opterećenja te o trajanju i iznosu opterećenja.

NAPOMENA: Proračun puzanja i skupljanja provest će se prema Fachbericht 104 – Verbundbrücken (izdanje 2003. godina) - određeni faktori za određivanje puzanja i skupljanja betona su bitno promijenjeni u odnosu na europsku prednormu ENV koja je usvojena u Hrvatskoj. Europska norma BS EN 1992-1-1:2004 (izdanje 2004.) uvodi dodatne promjene određenih faktora – ali je vrlo slična Fachberichtu 104.

Nova norma usvojit će se u Hrvatskoj do 2010. godine.

Zanimljivo je da FIB – state of the art report: Constitutive modelling of high strength / high performance concrete iz siječnja 2008. za puzanje i skupljanje PONOVO koristi formule kao i Fachbericht 104.

Skupljanje betona:

Ukupni iznos skupljanja betona sastoji se od dvije komponente: autogeno skupljanje i skupljanje od sušenja.

Autogeno skupljanje beton se odvija tijekom očvršćavanja betona – to znači tokom prvih dana od izrade betonskog elementa. Autogeno skupljanje je linearna funkcija čvrstoće betona.

Skupljanje od sušenja odvija se sporo tijekom dužeg vremenskog perioda, budući da ovisi o migraciji vode kroz očvršli beton.

Proračun koeficijenta skupljanja:

- pretpostavke:

- za normalno ili brzo stvrdnjavajući beton

- vlažnost okoliša:

RH = 80 %

Ukupna deformacija od skupljanja: $\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{c,as}(t) + \varepsilon_{c,ds}(t, t_0)$

$\varepsilon_{cs}(t, t_0)$ - ukupna deformacija od skupljanja

$\varepsilon_{c,as}(t)$ - autogeno skupljanje

$\varepsilon_{c,ds}(t, t_0)$ - skupljanje od sušenja

Autogeno skupljanje :

$$\varepsilon_{c,as}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{c,aso}$$

gdje je

$$\varepsilon_{c,aso} = -\alpha_{as} \left[\frac{f_{cm} / f_{cm0}}{6 + f_{cm} / f_{cm0}} \right]^{2,5} \cdot 10^{-6}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp[-0,2 \cdot (t / t_1)^{0,5}]$$

Vrijednosti za: α_{as} , $\alpha_{ds,1}$ i $\alpha_{ds,2}$

Cement	CEM 32,5	CEM 32,5 R i 42,5	CEM 42,5 R i 52,5
α_{as}	800	700	600
$\alpha_{ds,1}$	3	4	6
$\alpha_{ds,2}$	0,13	0,12	0,12

Odabrani cement spada u klasu CEM 32,5 R i 42,5

Srednja vrijednost tlačne čvrstoće betona starog 28 dana [N/mm²]

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 35 + 8 = 43 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$$

$$t_1 = 1 \text{ dan}$$

$$\varepsilon_{c,as0} = -\alpha_{as} \cdot \left[\frac{f_{cm} / f_{cm0}}{6 + f_{cm} / f_{cm0}} \right]^{2,5} \cdot 10^{-6} = -700 \cdot \left[\frac{43/10}{6 + 43/10} \right]^{2,5} \cdot 10^{-6} = -78 \cdot 10^{-6}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp[-0,2 \cdot (t/t_1)^{0,5}] = 1 - \exp[-0,2 \cdot (\infty/1)^{0,5}] = 1$$

$$\text{Za } t = \text{beskonačno } \varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(\infty) \cdot \varepsilon_{c,as0} = 1 \cdot -78 \cdot 10^{-6} = -0,078 \text{ ‰}$$

Skupljanja od sušenja: $\varepsilon_{c,ds}(t, t_0) = \varepsilon_{c,ds0} \cdot \beta_{RH} \cdot \beta_{ds}(t - t_s)$

$$\varepsilon_{c,ds0} = 10^{-6} \cdot [220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}] \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right)$$

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] & \text{za } 40 \leq RH \leq 99\% \beta_{s1} \\ 0,25 & \text{za } RH \geq 99\% \beta_{s1} \end{cases}$$

$$\beta_{ds}(t - t_s) = \left[\frac{(t - t_s)/t_1}{350 \cdot (h_0/h_1)^2 + (t - t_s)/t_1} \right]^{0,3}$$

$$\beta_{s1} = \left(\frac{3,5 \cdot f_{cm0}}{f_{cm}} \right)^{0,1} \leq 1,0$$

- gdje je :

RH – relativna vlažnost u %

RH₀ = 100 %

h₀ – srednji polumjer presjeka u [mm]

h₁ = 100 mm

f_{cm0} = 10 MPa

t_s - starost betona u trenutku početka isušivanja – najčešće je to vrijeme prestanka njegovanja betona

β_{ds}(t - t_s) - funkcija koja opisuje vremenski tijek isušivanja betona

$$\begin{aligned} \varepsilon_{c,ds0} &= 10^{-6} \cdot [220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}] \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) = 10^{-6} \cdot [220 + 110 \cdot 4] \cdot \exp\left(-0,12 \cdot \frac{43}{10}\right) = \\ &= 0,394 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\beta_{RH} = -1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = -1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{80}{100} \right)^3 \right] = -0,7564$$

$$\beta_{ds}(t-t_s) = \left[\frac{(t-t_s)/t_1}{350 \cdot (h_0/h_1)^2 + (t-t_s)/t_1} \right]^{0,3} = \left[\frac{(t-t_s)/t_1}{350 \cdot (h_0/h_1)^2 + (t-t_s)/t_1} \right]^{0,3} = 1,0$$

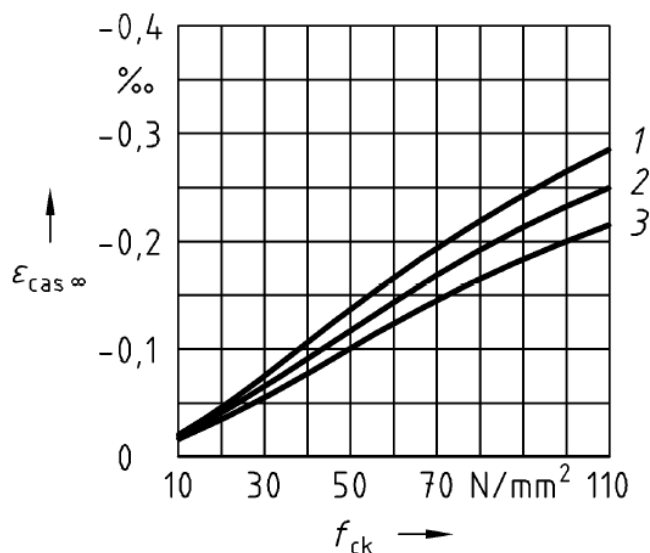
Konačno: skupljanje od sušenja iznosi:

$$\varepsilon_{c,ds}(t, t_0) = \varepsilon_{c,ds0} \cdot \beta_{RH} \cdot \beta_{ds}(t-t_s) = 0,394 \cdot 10^{-3} \cdot (-0,7564) \cdot 1,0 = -0,298 \text{ ‰}$$

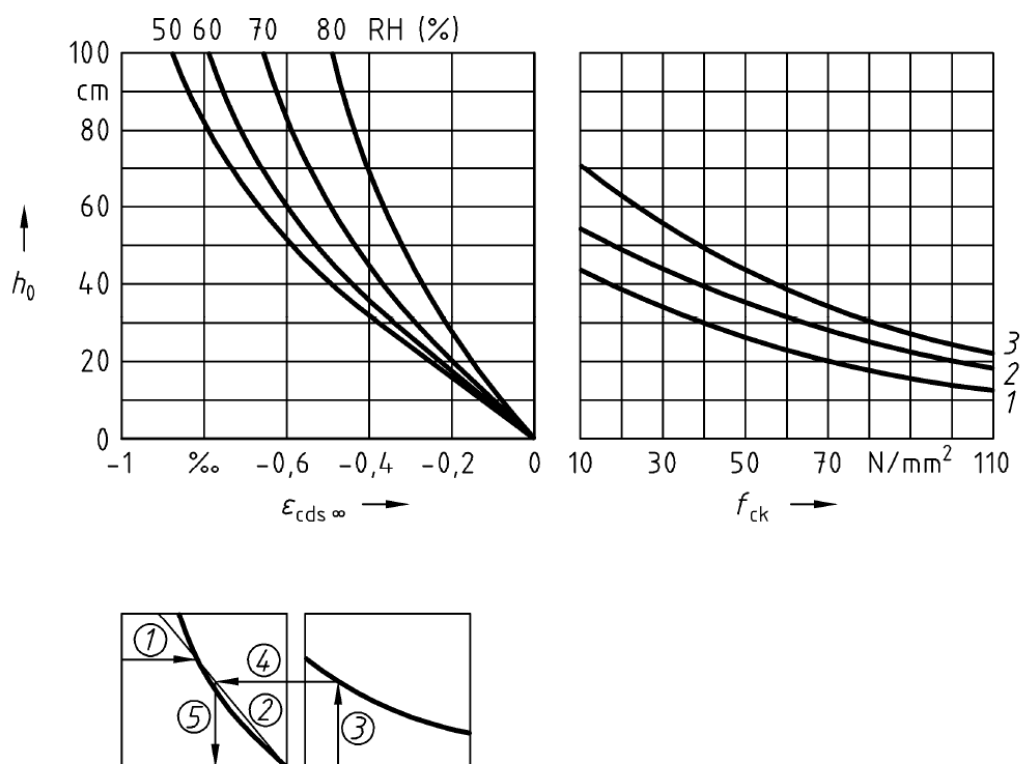
Ukupna deformacija od skupljanja:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{c,as}(t) + \varepsilon_{c,ds}(t, t_0) = -0,078 \text{ ‰} - 0,298 \text{ ‰} = -0,376 \text{ ‰}$$

DIJAGRAMI ZA ODREĐIVANJE KOEFICIJENATA SKUPLJANJA:



Dijagram: Autogeno skupljanje



Dijagram: Skupljanje od sušenja

Oznake:

- 1 – klasa cementa 32,5 N
- 2 – klasa cementa 32,5 R i 42,5 N
- 3 – klasa cementa 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R

Puzanje betona:

Koeficijent puzanja: $\varphi(t, t_0) = \beta_c(t, t_0) \cdot \varphi_0$

Osnovna vrijednost koeficijenta puzanja: $\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$

Koeficijenti $\alpha_i = \left[\frac{3,5 \cdot f_{cm0}}{f_{cm}} \right]^{n_i}$ $n_1=0,70$; $n_2=0,20$; $n_3=0,50$

$$\alpha_1 = \left[\frac{3,5 \cdot f_{cm0}}{f_{cm}} \right]^{0,70} = \left[\frac{3,5 \cdot 10}{43} \right]^{0,70} = 0,867$$

$$\alpha_2 = \left[\frac{3,5 \cdot f_{cm0}}{f_{cm}} \right]^{0,20} = \left[\frac{3,5 \cdot 10}{43} \right]^{0,20} = 0,960$$

$$\alpha_3 = \left[\frac{3,5 \cdot f_{cm0}}{f_{cm}} \right]^{0,50} = \left[\frac{3,5 \cdot 10}{43} \right]^{0,50} = 0,902$$

Koeficijent koji u obzir uzima relativnu vlažnost zraka:

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{RH_0}}{\sqrt[3]{0,1 \cdot h_0 / h_1}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 = \left[1 + \frac{1 - 0,8}{\sqrt[3]{0,1 \cdot 327,3 / 100}} \cdot 0,867 \right] \cdot 0,960 = 1,20$$

Koeficijent kojim se u obzir uzima učinak čvrstoće betona:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{5,3}{\sqrt{f_{cm} / f_{cm0}}} = \frac{5,3}{\sqrt{43 / 10}} = 2,556$$

Tlačna čvrstoća betona starog 28 dana [N/mm²]

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 35 + 8 = 43 \text{ N / mm}^2$$

Koeficijent koji uzima u obzir utjecaj starosti betona u trenutku početka djelovanja opterećenja – skela se otpušta $t_0 = 28$ dana

Djelotvorna starost betona u trenutku nanošenja opterećenja:

$$t_{0,eff} = t_0 \left[\frac{9}{2 + (t_0 / t_1)^{1,2}} + 1 \right]^\alpha \geq 0,5 \text{ dana}$$

CEMENT	CEM 32,5	CEM 32,5 R i 42,5	CEM 42,5 R i 52,5
α	-1	0	1

$$t_{0,eff} = t_o \left[\frac{9}{2 + (t_o / t_1)^{1,2}} + 1 \right]^\alpha = 28 \left[\frac{9}{2 + (28/1)^{1,2}} + 1 \right]^0 = 28 \geq 0,5$$

$$\beta(t_o) = \frac{1}{0.1 + [t_{0,eff} / t_1]^{0.2}} = \frac{1}{0.1 + [28/1]^{0.2}} = 0.488$$

Osnovna vrijednost koeficijenta puzanja:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_o) = 1,20 \cdot 2.556 \cdot 0.488 = 1,497$$

Vremenska funkcija puzanja: $\beta_c(t, t_o) = \left(\frac{(t - t_o) / t_1}{\beta_H + (t - t_o) / t_1} \right)^{0.3}$

Koeficijent ovisan o relativnoj vlažnosti i h_0 :

$$\beta_H = 150 \cdot \left[1 + 1,2 \cdot \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^{18} \right] \cdot \frac{h}{h_0} + 250 \cdot \alpha_3 < 1500 \cdot \alpha_3$$

$$\beta_H = 150 \cdot \left[1 + 1,2 \cdot \left(\frac{80}{100} \right)^{18} \right] \cdot \frac{250}{327,3} + 250 \cdot 0,902 = 342,7 < 1500 \cdot 0,902 = 1353$$

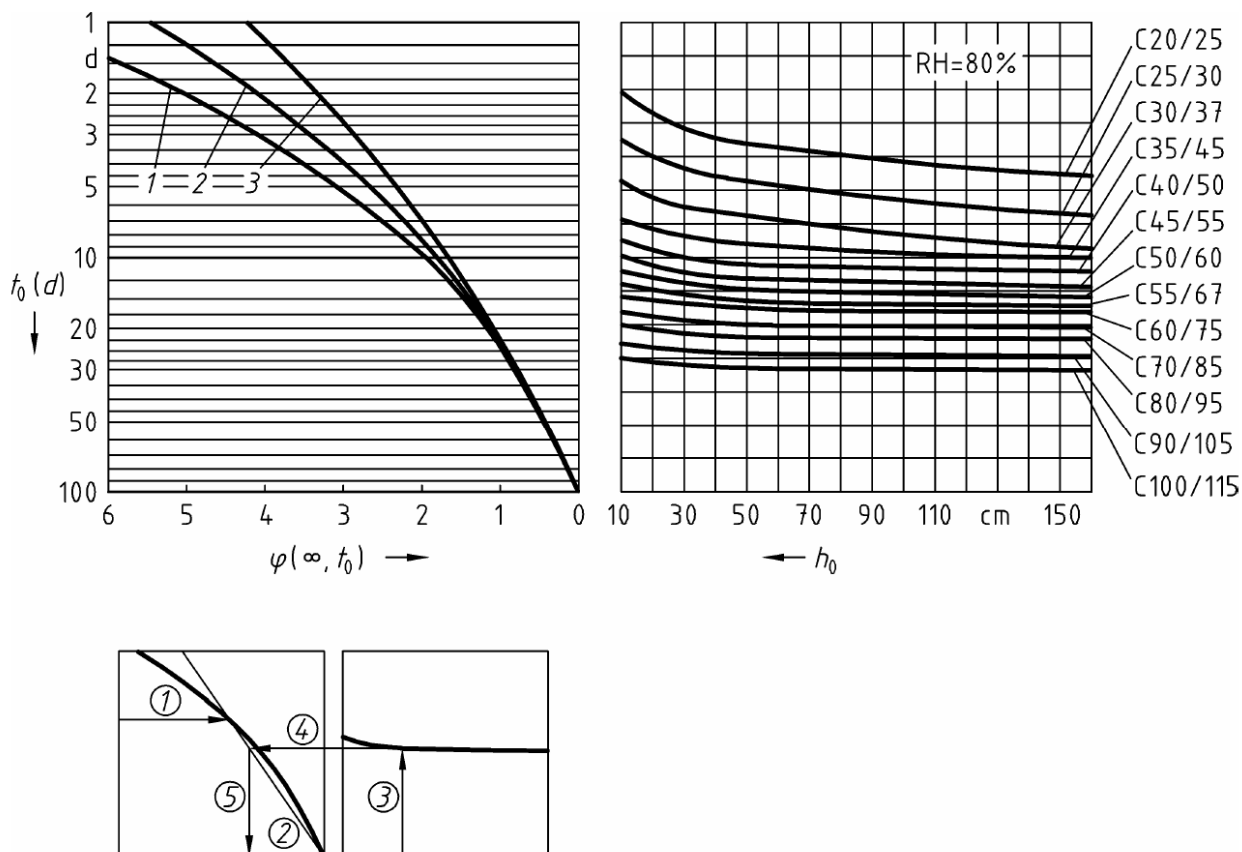
Vremenska funkcija puzanja:

$$\beta_c(t, t_o) = \left(\frac{(t - t_o) / t_1}{\beta_H + (t - t_o) / t_1} \right)^{0.3} = \left(\frac{(\infty) / 1}{342,7 + (\infty) / 1} \right)^{0.3} = 1,00$$

Koeficijent puzanja: $\varphi(t, t_o) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_o) = 1,497 \cdot 1,00 = 1,497 = 1,50$

DIJAGRAM ZA ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA PUZANJA:

Keoficijent puzanja moguće je odrediti iz sljedećeg dijagrama za 80 % vlažnosti okoline.



Oznake:

- 1 – klasa cementa 32,5 N
- 2 – klasa cementa 32,5 R i 42,5 N
- 3 – klasa cementa 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R

Koeficijenti puzanja betona:

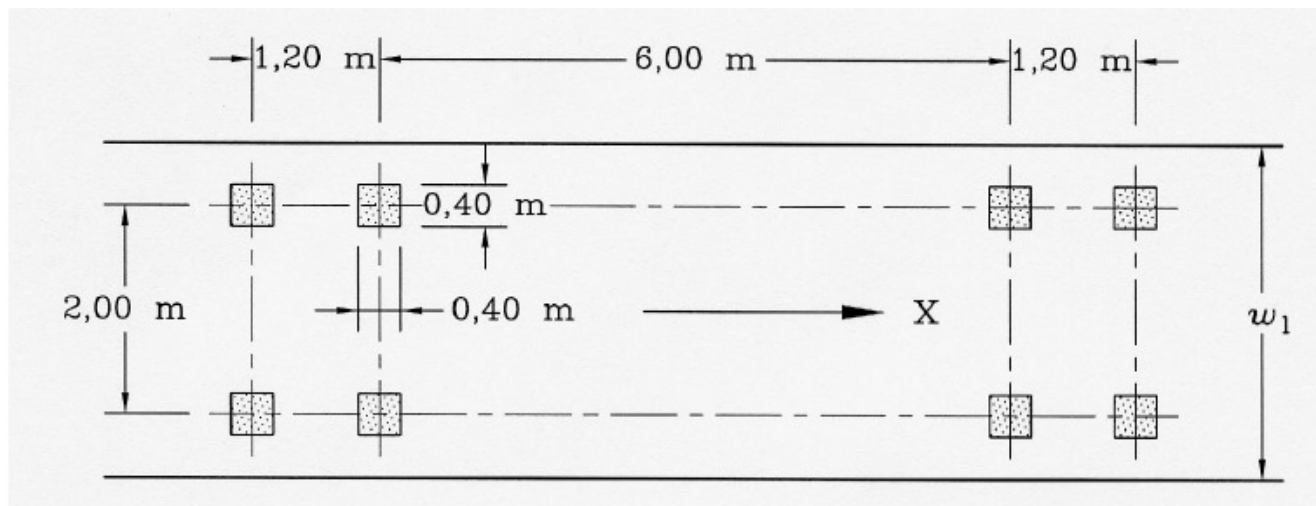
Kolnička ploča na čeličnom nosaču: $\phi(t, t_0 = 28 \text{ d}) = 1,50$

Skupljanje betona: $\phi(t, t_0 = 1 \text{ d}) = 2,80$

1.8. Umornost

Zamor na spregnutim cestovnim mostovima određuje se prema Modelu 3:

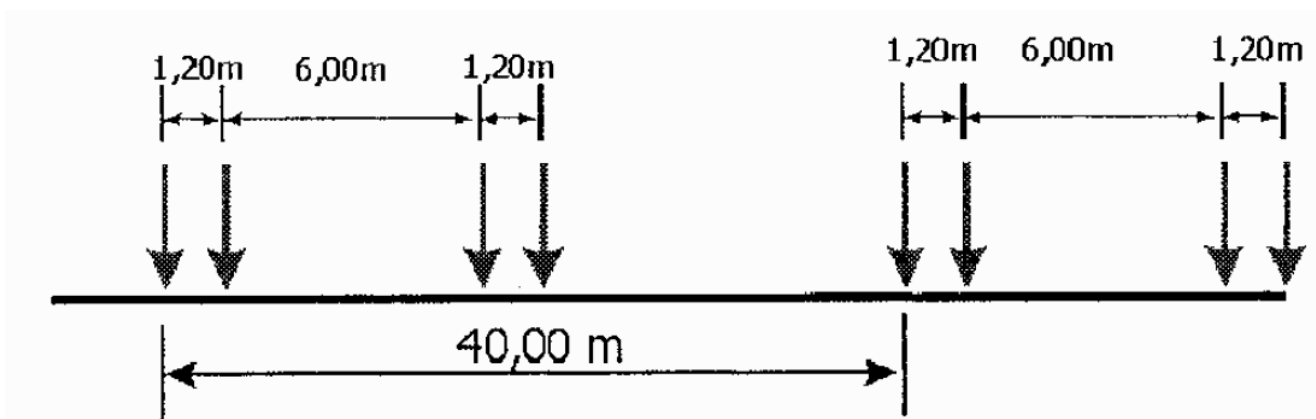
Djeluju 4 osovine, svaka osovinu sa silom od 120 kN



w_1 – širina vozne trake = 3,00 m

X – uzdužna os mosta

Kod kontinuiranih greda raspona većeg od 40 m, koriste se 2 ovakva vozila na razmaku od 40,00 m u smjeru uzduž mosta.



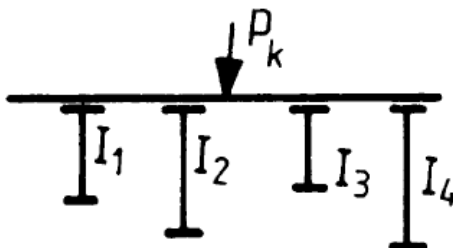
1.9. Poprečna preraspodjela opterećenja (prema Corneliusu)

Pretpostavke:

- poprečni nosači su beskonačno kruti
- krutost uzdužnih nosača je otprilike konstantna duž čitavog mosta

a) Spregnuti kolnik sa čeličnim I nosačima (otvoreni čelični nosači)

Broj nosača $n \geq 2$

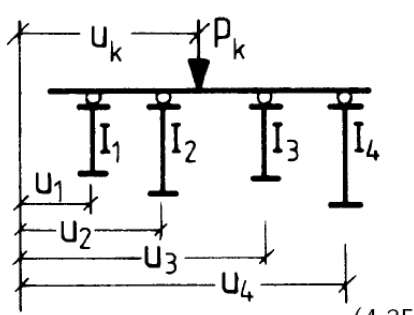


Utjecajna linija za poprečnu preraspodjeu opterećenja:

$$\eta_{ik} = \frac{I_i}{\sum_{j=1}^n I_j} + \frac{x_i \cdot I_i}{\sum_{j=1}^n (x_j^2 \cdot I_j)} \cdot \frac{\alpha}{\varphi} \cdot x_k$$

Faktor $\frac{\alpha}{\varphi}$ uzima u obzir povećanu torzijsku krutost poprečnog presjeka

φ - zakretanje poprečnog presjeka pod pretpostavkom zglobne veze između kolničke ploče i nosača ili su nosači torzijski mekani

$\varphi = \frac{L^3}{48 \cdot E_a \cdot A_{ww}^0} = \frac{L^3}{48 \cdot E_a \cdot \sum_{j=1}^n (x_j^2 \cdot I_j)}$	 (4.35)
$A_{ww}^0 = \sum_{j=1}^n (x_j^2 \cdot I_j)$	

α - zakretanje poprečnog presjeka uzimajući u obzir krutost kolničke ploče

$$\alpha = \frac{L}{4 \cdot G_a \cdot I_T} \cdot \left(1 - \frac{\tanh\left(\frac{\lambda \cdot L}{2}\right)}{\frac{\lambda \cdot L}{2}} \right) = \frac{L}{4 \cdot E_a \cdot A_{ww} \cdot \lambda^2} \cdot \left(1 - \frac{\tanh\left(\frac{\lambda \cdot L}{2}\right)}{\frac{\lambda \cdot L}{2}} \right)$$

gdje je $\lambda = \sqrt{\frac{G_a \cdot I_T}{E_a \cdot A_{ww}}}$

$$E_a \cdot A_{ww} = E_a \cdot A_{ww} - \overline{y_M} \cdot E_a \cdot A_{wx}$$

Točniji rezultat dobivamo uzimajući u obzir i torzijsku krutost čeličnog nosača i pripadnog dijela kolničke ploče.

$$G_a \cdot I_T = \frac{G_a}{3} \cdot \left(\sum_a (s \cdot t^3) + \frac{1}{n_G} \cdot \sum_c (s \cdot t^3) \right)$$

s – duljina čeličnog ili betonskog elementa

t – debljina promatranog elementa (pojasnica, hrbat ili ploča)

G_a – modul posmika čelika

G_c – modul posmika betona

$\nu_a = 1/3$ – Poissonov koeficijent za čelik

$\nu_c = 1/6$ – Poissonov koeficijent za beton

$$n_G = \frac{G_a}{G_c} = \frac{E_a \cdot 2 \cdot (1 - \nu_a)}{E_{cm} \cdot 2 \cdot (1 - \nu_c)} = 0,875 \cdot n_0 = 0,875 \cdot \frac{21000}{3330} = 0,875 \cdot 6,3 = 5,51$$

Za malu torzijsku krutost glavnih nosača (čelični I nosači) tj. $G \cdot I_T \approx 0$ slijedi

$$\alpha = \frac{L^3}{48 \cdot E_a \cdot A_{ww}}$$

Tada dobivamo **Engesserov izraz** za poprečnu preraspodjelu opterećenja:

$$\eta_{ik} = \frac{I_i}{\sum_{j=1}^n I_j} + \frac{x_i \cdot I_i}{\sum_{j=1}^n (x_j^2 \cdot I_j)} \cdot x_k$$

Ako su svi nosači iste krutosti $I = I_i$ tada se Engesserov izraz može dodano pojednostaviti:

$$\eta_{ik} = \frac{1}{n} + \frac{x_i}{\sum_{j=1}^n (x_j^2)} \cdot x_k$$

b) Spregnuti kolnik sa čeličnim sandučastim nosačima (zatvoreni čelični nosači)

Broj nosača $n \geq 2$

Utjecajna linija poprečne preraspodjele određena je zanemarivanjem ograničene torzije.

Kod većine mostova koji imaju poprečne dijafragme ili poprečne okvire na standardnim razmacima, zanemarivanje ograničene torzije uzrokuje podcjenjivanje ukupnih normalnih i posmičnih naprezanja manje od 5 %.

Dijafragme ili poprečna ukrućenja se postavljaju na razmaku cca $2,50 \times \text{VISINA SANDUKA}$ (kod visokih sanduka).

Proračun naprezanja:

Normalna naprezanja:

$$\sigma_{\text{egzaktno}} = \frac{M_X}{I_X} \cdot y + \frac{M_Y}{I_Y} \cdot x + \frac{M_{\omega}}{I_{\omega}} \cdot \omega = \sigma_{\text{približno}} + \frac{M_{\omega}}{I_{\omega}} \cdot \omega$$

Posmična naprezanja:

$$\sigma_{\text{egzaktno}} = \frac{V_Y}{t \cdot I_X} \cdot S_X(s) + \frac{V_X}{t \cdot I_Y} \cdot S_Y(s) + \frac{T_s}{2 \cdot A_c \cdot t} + \frac{T_{\omega}}{t \cdot I_{\omega}} \cdot S_{\omega}(s) = \tau_{\text{približno}} + \frac{T_{\omega}}{t \cdot I_{\omega}} \cdot S_{\omega}(s)$$

Utjecajna linija za poprečnu preraspodjelu opterećenja:

Utjecajne ordinate roštiljne komponente: (Metalni mostovi 118 str.)

$$\eta_{ik} = \frac{I_i}{\sum_{j=1}^n I_j} + \frac{x_i \cdot I_i}{\sum_{j=1}^n (x_j^2 \cdot I_j)} \cdot \left[\frac{\alpha_g}{\varphi + \alpha_g} \right] \cdot x_k$$

α_g - zakretanje poprečnog presjeka uzimajući u obzir krutost kolničke ploče

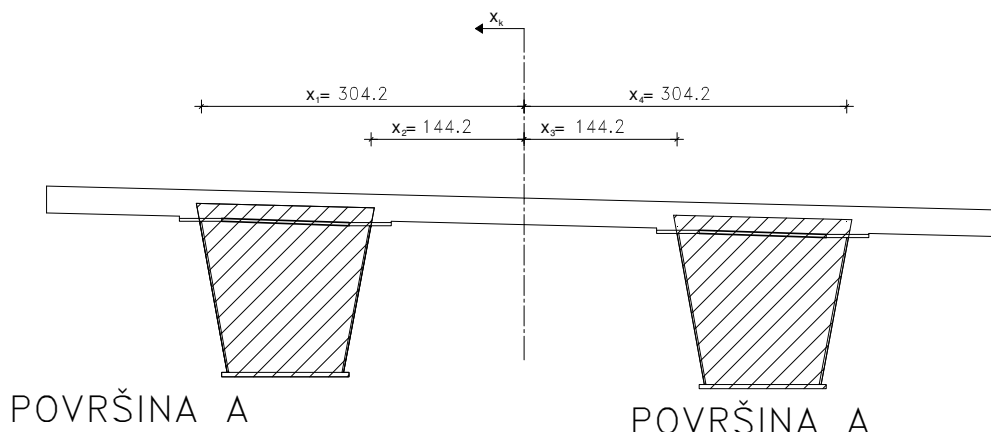
$$\alpha_g = \frac{L}{4 \cdot G_a \cdot I_T}$$

$$\varphi = \frac{L^3}{48 \cdot E_a \cdot A_{ww}^0} = \frac{L^3}{48 \cdot E_a \cdot \sum_{j=1}^n (x_j^2 \cdot I_j)}$$

Torzijska krutost zatvorenog presjeka koji se sastoji od armiranobetonske kolničke ploče i čeličnog korita:

$$G_a \cdot I_T = \frac{4 \cdot G_a \cdot A^2}{\sum_a \left(\frac{s}{t} \right) + n_G \cdot \sum_c \left(\frac{s}{t} \right)}$$

A – površina koju zatvara spregnuti sanduk (u betonskoj ploči je to srednja linija ploče)



Svi nosači imaju jednaku savojnu krutost te je stoga moguće pojednostaviti izraz:

$$\eta_{ik} = \frac{1}{n} + \frac{x_i}{\sum_{j=1}^n (x_j^2)} \cdot \left[\frac{\alpha_g}{\varphi + \alpha_g} \right] \cdot x_k$$

$$A = (1,68 + 1,10)/2 \cdot 1,40 = 1,946 \text{ m}^2$$

Torzijska krutost jednog sanduka:

$$G_a \cdot I_T = \frac{4 \cdot G_a \cdot A^2}{\sum_a \left(\frac{s}{t} \right) + n_G \cdot \sum_c \left(\frac{s}{t} \right)} = \frac{4 \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,946^2}{(1,1/0,04) + 2 \cdot (1,43/0,012) + 5,51 \cdot (1,68/0,25)} =$$

$$= 1,227 \cdot 10^9 / 302,83 = 4,05 \cdot 10^6 \text{ kNm}^2$$

Torzijska krutost dva sanduka: $2 \cdot 4,05 \cdot 10^6 = 8,10 \cdot 10^6 \text{ kNm}^2$

$$\alpha_g = \frac{L}{4 \cdot G_a \cdot I_T} = \frac{40}{4 \cdot 8,10 \cdot 10^6} = 1,235 \cdot 10^{-6} \text{ /(kN m)}$$

$$\varphi = \frac{L^3}{48 \cdot E_a \cdot \sum_{j=1}^n (x_j^2 \cdot I_j)} = \frac{4000^3}{48 \cdot 21000 \cdot (2 \cdot 5547284,18 \cdot (304^2 + 144^2))} = \frac{6,4 \cdot 10^{10}}{1,265 \cdot 10^{18}} =$$

$$= 5,06 \cdot 10^{-8} \text{ /(cm kN)} = 5,06 \cdot 10^{-6} \text{ /(kNm)}$$

$$\eta_{11} = \frac{1}{4} + \frac{304}{2 \cdot (304^2 + 144^2)} \cdot \left[\frac{1,235 \cdot 10^{-6}}{5,06 \cdot 10^{-6} + 1,235 \cdot 10^{-6}} \right] \cdot 304 = 0,25 + 0,20 \cdot 0,408 = 0,25 + 0,09 =$$

$$0,34$$

Utjecajne ordinate torzijske komponente:

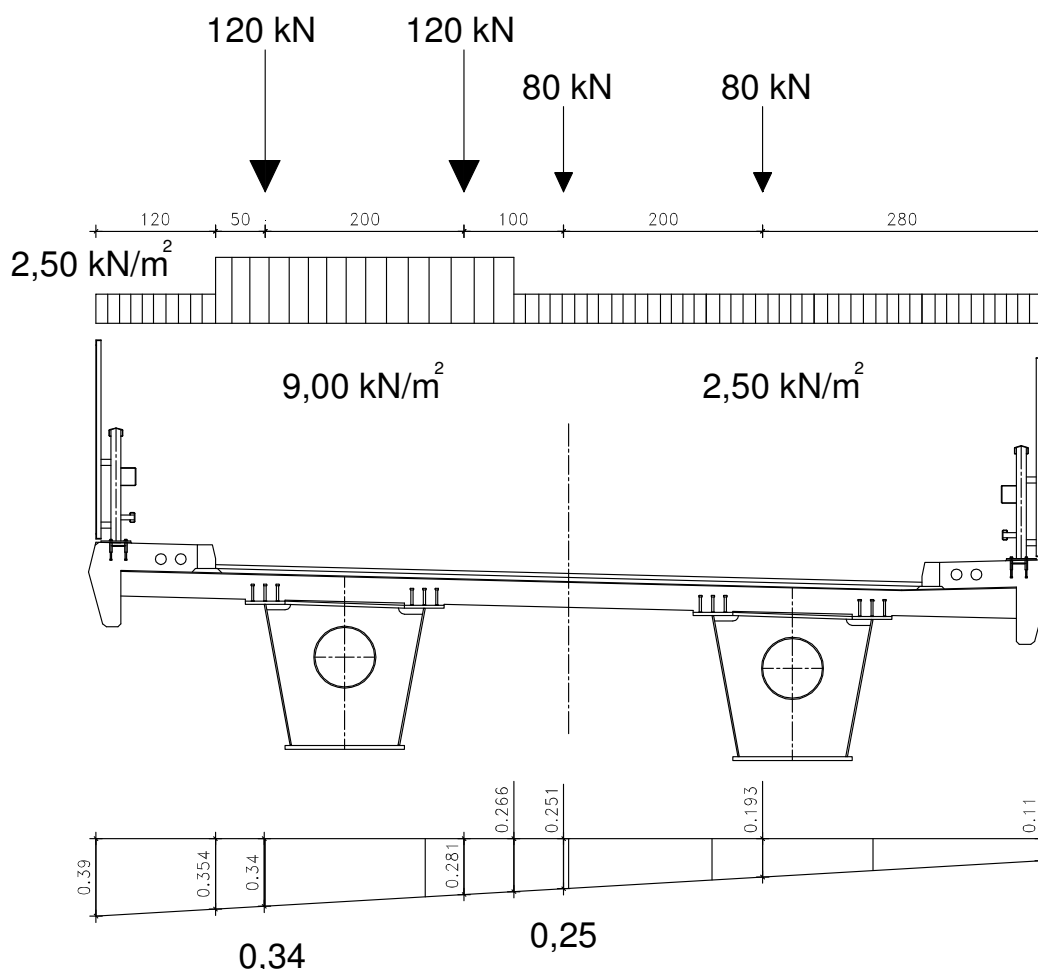
$$\eta_{ik} = \frac{\varphi}{\varphi + \alpha_g} \cdot x_K = \frac{5,06 \cdot 10^{-6}}{5,06 \cdot 10^{-6} + 1,235 \cdot 10^{-6}} \cdot x_K = 0,80 \cdot x_K$$

Korekcija roštiljne komponente:

$$K_R = \frac{\alpha_g}{\varphi + \alpha_g} = \frac{1,235 \cdot 10^{-6}}{5,06 \cdot 10^{-6} + 1,235 \cdot 10^{-6}} = 0,20$$

Korekcija torzijske komponente:

$$K_T = \frac{\varphi}{\varphi + \alpha_g} = \frac{5,06 \cdot 10^{-6}}{5,06 \cdot 10^{-6} + 1,235 \cdot 10^{-6}} = 0,80$$



Roštiljna preraspodjela daje vertikalnu komponentu prometnog opterećenja koje otpada na rubni čelični I nosač tj. vanjsku polovicu čeličnog sanduka i uzrokuje savijanje.

Potrebno je odrediti moment torzije koji djeluje na poprečni presjek u odnosu na vertikalnu os koja prolazi težištem poprečnog presjeka. Korekcija torzijske komponente pokazuje da 20 % momenta prenosi se roštiljnom komponentom koja je obuhvaćena poprečnom preraspodjelom, a 80 % torzijom.

Torzijski dio momenta raspodjeljuje na pojedine dijelove poprečnog presjeka u odnosu njihove torzijske krutosti.

NAPOMENA:

Prikazana poprečna preraspodjela opterećenja je dobra aproksimacija za odnose $L/B > 2$ (Duljina / širina raspona > 2) za koncentrirano prometno opterećenje nanoseno u sredini raspona.

U izvode je unesen izraz za roštiljni kut zaokreta

$$\varphi = \frac{L^3}{48 \cdot E_a \cdot \sum_{j=1}^n (x_j^2 \cdot I_j)}$$

Progib u sredini proste grede pod jediničnom koncentriranom silom iznosi

$$y = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

što ukazuje na promatranje presjeka u sredini raspona.

Navedena poprečna preraspodjela lošije aproksimira poprečnu preraspodjelu u blizini ležajeva.

Unatoč toj činjenici u ovom pojednostavljenom proračunu pretpostavlja se da navedena poprečna preraspodjela vrijedi za čitav raspon.

ČELIČNI SANDUK NA KOJEM SE BETONIRA KOLNIČKA PLOČA:

U izrazu za torzijsku krutost sanduka, $G_a \cdot I_T = \frac{4 \cdot G_a \cdot A^2}{\sum_a \left(\frac{s}{t} \right) + n_G \cdot \sum_c \left(\frac{s}{t} \right)}$

potrebno je odrediti u brojniku odnos duljine dijela sanduka i debljine čeličnog lima promatranog elementa. Zadnji član u nazivniku je debljina betonske ploče svedena na debljinu čeličnog lima.

$$n_G \cdot \sum_c \left(\frac{s}{t} \right) = \sum_c \left(\frac{s}{\frac{t}{n_G}} \right)$$

Ako imamo zatvoren čelični sanduk, tada je potrebno zbrojiti njegovu debljinu i svedenu debljinu betonske ploče

$$n_G \cdot \sum_c \left(\frac{s}{t} \right) = \sum_c \left(\frac{s}{\frac{t_{\text{beton}}}{n_G} + t_{\text{čelik}}} \right)$$