

Projekt jednorasponskog grednog pješačkog mosta

Sinčić, Elvis

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:607049>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Elvis Sinčić

Projekt jednorasponskog grednog pješačkog mosta

Diplomski rad

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo
Konstrukcije
Masivni mostovi**

**Elvis Sinčić
0114025750**

Projekt jednorasponskog grednog pješačkog mosta

Diplomski rad

Rijeka, veljača 2021.

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema diplomskog rada

**PROJEKT JEDNORASPONSKOG GREDNOG PJEŠAČKOG MOSTA
DESIGN OF SINGLE SPAN BEAM PEDESTRIAN BRIDGE**

Kandidat: **ELVIS SINČIĆ**

Kolegij: **MASIVNI MOSTOVI**

Diplomski rad broj: **K-2020-43**

Zadatak:

U radu je potrebno osmisliti konstrukciju armiranobetonskog jednorasponskog pješačkog mosta raspona 16 m smještenog na području središnje Istre. Rasponsku grednu konstrukciju, upornjake i temelje potrebno je dimenzionirati i izraditi nacрте na razini glavnog projekta.

Tema rada je uručena: 25. veljače 2020.

Mentorica:

prof. dr. sc. Ivana Štimac Grandić,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Elvis Sinčić

U Rijeci, 22. veljače 2021.

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu provedeno je dimenzioniranje i analiza konstrukcije armiranobetonskog pješačkog mosta raspona 16 m smještenog na području središnje Istre. Na temelju odabranih dimenzija rebrastog poprečnog presjeka mosta odabrane su dimenzije upornjaka za koje je obrađen proračun u računalnom programu GEO5. Svi proračuni provedeni su prema normama HRN EN 1990, HRN EN 1991 i HRN EN 1992. Za sve dimenzionirane elemente izrađeni su nacrti armature.

Ključne riječi: pješački most, dimenzioniranje, rebrasti poprečni presjek, upornjak

ABSTRACT

In this master thesis design and analysis of a reinforced concrete pedestrian bridge construction spanning 16 m located in central Istria is conducted. Based on specified dimensions of the ribbed cross section of the bridge, dimensions of an abutment designed in GEO5 computer programme are chosen. All analysis and design are conducted based on standards HRN EN 1990, HRN EN 1991 and HRN EN 1992. Reinforcement plans are made for all designed elements.

Key words: pedestrian bridge, design, ribbed cross section, abutment

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Tehnički opis	1
2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	2
2.1. Stalno opterećenje	2
2.1.1. Vlastita težina nosača	2
2.1.2. Slojevi kolničke konstrukcije.....	4
2.2. Snijeg.....	7
2.3. Vjetar	9
2.3.1. Proračun pritiska i brzine vjetra	9
2.3.2. Djelovanje vjetra na glavni nosač.....	12
2.4. Prometno opterećenje.....	16
3. DIMENZIONIRANJE GLAVNOG NOSAČA - PRORAČUNSKE KOMBINACIJE DJELOVANJA	18
3.1. Slučaj 1.....	19
3.2. Slučaj 2.....	20
3.3. Slučaj 3.....	21
3.4. Slučaj 4.....	22
4. PRORAČUN GLAVNOG NOSAČA	23
4.1. Karakteristike materijala	23
4.2. Potreban zaštitni sloj betona.....	25
4.3. Dimenzioniranje na moment savijanja	27
4.3.1. Slučaj 1.....	27
4.3.2. Slučaj 2.....	27
4.3.3. Slučaj 3.....	28
4.3.4. Slučaj 4.....	28
4.3.5. Proračun sudjelujuće širine	29
4.3.6. Glavna armatura	30
4.4. Dimenzioniranje na poprečnu silu	38
4.4.1. Slučaj 2.....	38
4.4.2. Slučaj 4.....	40
4.5. Dimenzioniranje na torziju	42
4.5.1. Slučaj 2.....	42
4.5.2. Slučaj 4.....	43
4.6. Određivanje razmaka oslonaca	47

4.6.1.	Ležajna reakcija od momenta torzije	47
4.6.2.	Reakcija od vlastite težine	48
5.	POMAK USLIJED PROMJENE TEMPERATURE	50
6.	ODABIR POTREBNOG LEŽAJA	53
7.	PRIJELAZNE NAPRAVE.....	55
8.	DIMENZIONIRANJE I PRORAČUN UPORNJAKA	56
8.1.	Analiza opterećenja	57
8.2.	Provjera stabilnosti na prevrtanje i klizanje	61
8.3.	Dimenzioniranje upornjaka	61
8.3.1.	Dimenzioniranje krila upornjaka	61
8.3.2.	Dimenzioniranje zida upornjaka	62
8.3.3.	Dimenzioniranje temelja upornjaka.....	65
9.	ZAKLJUČAK	66
10.	LITERETURA	67
11.	NACRTI	68

POPIS SLIKA

Slika 1: Poprečni presjek nosača visine 80 cm.....	2
Slika 2: Poprečni presjek nosača visine 70 cm.....	3
Slika 3: Poprečni presjek nosača visine 60 cm.....	3
Slika 4: Poprečni presjek nosača visine 70 cm sa plastičnim cijevima	4
Slika 5: Slojevi na kolniku	4
Slika 6: Opterećenje na rubu nosača.....	6
Slika 7: Karta snježnih područja RH	7
Slika 8: Karta osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ Republike Hrvatske.....	9
Slika 9: Visina d za određivanje površine $A_{ref,x}$	13
Slika 10: Koeficijent sile $c_{fx,0}$	13
Slika 11: Statički sustav glavnoga nosača.....	18
Slika 12: Dijagram momenata za slučaj 1.....	27
Slika 13: Dijagram momenata za slučaj 2.....	27
Slika 14: Dijagram momenata za slučaj 3.....	28
Slika 15: Dijagram momenata za slučaj 4.....	28
Slika 16: Širina presjeka	29
Slika 17: Statička visina presjeka za slučaj 1.....	30
Slika 18: Statička visina presjeka za slučaj 2.....	32
Slika 19: Statička visina presjeka za slučaj 3.....	34
Slika 20: Statička visina presjeka za slučaj 4.....	36
Slika 21: Dijagram poprečnih sila za slučaj 2.....	38
Slika 22: Dijagram poprečnih sila za slučaj 4.....	40
Slika 23: Skica armature poprečnog presjeka za slučaj 2.....	45
Slika 24: Skica armature poprečnog presjeka za slučaj 4.....	45
Slika 25: Reakcije na osloncu.....	47
Slika 26: Odabrani razmak između ležajeva glavnog nosača.....	49
Slika 27: Karta Hrvatske s maksimalnim temperaturama zraka.....	50
Slika 28: Karta Hrvatske s minimalnim temperaturama zraka	51
Slika 29: Asfaltna ili elastobitumenska prijelaznica	55
Slika 30: Prikaz geometrijskih karakteristika i opterećenja	59
Slika 31: Prikaz geometrijskih karakteristika i opterećenja u softveru GEO5.....	60

Slika 32: Kontrola stabilnosti na prevrtanje i klizanje	61
Slika 33: Potrebna količina armature za krilo upornjaka	61
Slika 34: Skica modela zida upornjaka	62
Slika 35: Količina armature za presjek 1-1.....	63
Slika 36: Količina armature za presjek 2-2.....	63
Slika 37: Količina armature za presjek 3-3.....	64
Slika 38: Naprezanje na tlo ispod temelja.....	65
Slika 39: Količina armature za temelj.....	65

POPIS TABLICA

Tablica 1: Karakteristične vrijednosti opterećenja snijegom na tlu.....	8
Tablica 2: Kategorije terena.....	11
Tablica 3: Preporučene vrijednosti koeficijenta kombinacije ψ za pješačke mostove	18
Tablica 4: Preporučeni razredi konstrukcije	26
Tablica 5: Najmanja debljina zaštitnog sloja $c_{(min,dur)}$ prema kriteriju trajnosti.....	26
Tablica 6: Dimenzije elastomernog ležaja	54
Tablica 7: Parcijalni faktori za strukturna (A1) i geotehnička (A2) granična stanja ...	56
Tablica 8: Parcijalni faktori svojstva materijala	56
Tablica 9: Parcijalni faktori otpora.....	56

1. UVOD

1.1. Tehnički opis

Na području Pazina potrebno je dimenzionirati pješački most koji prolazi preko ceste E751. Na temelju dobivenih opterećenja i raspona mosta treba definirati optimalne dimenzije rebrastog poprečnog presjeka s jednim glavnim nosačem. Statički sustav mosta je slobodno oslonjena greda raspona 16 m. Širina pješačke staze iznosi 2,4 m dok je ukupna širina mosta 3 m. Most je definiran isključivo za prijelaz pješaka pa se opterećenje od vozila ne uzima u obzir.

S obzirom na zadano opterećenje proveden je proračun za četiri varijante poprečnog presjeka mosta kako bi se odabrao najpovoljniji oblik presjeka s obzirom na količinu armature, betona i načina izvedbe.

Most se sastoji od gornjeg i donjeg ustroja. Glavni nosač sa kolničkom konstrukcijom te rubnjak, ograda i vijenac pripadaju gornjem ustroju, dok su ležajevi i upornjaci dijelovi donjeg ustroja mosta. Kolnička ploča izvedena je od jednog sloja asfalta debljine 4 cm ispod kojeg se nalazi hidroizolacija. Odvodnja je riješena poprečnim nagibom od 1,3% te uzdužnim od 2,5%.

Glavni nosač oslanja se na zid upornjaka preko elastomernih ležajeva. Opterećenje se na tlo prenosi preko upornjaka s ovješanim krilima. Tlo na kojem se predviđa gradnja mosta je fliš.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. Stalno opterećenje

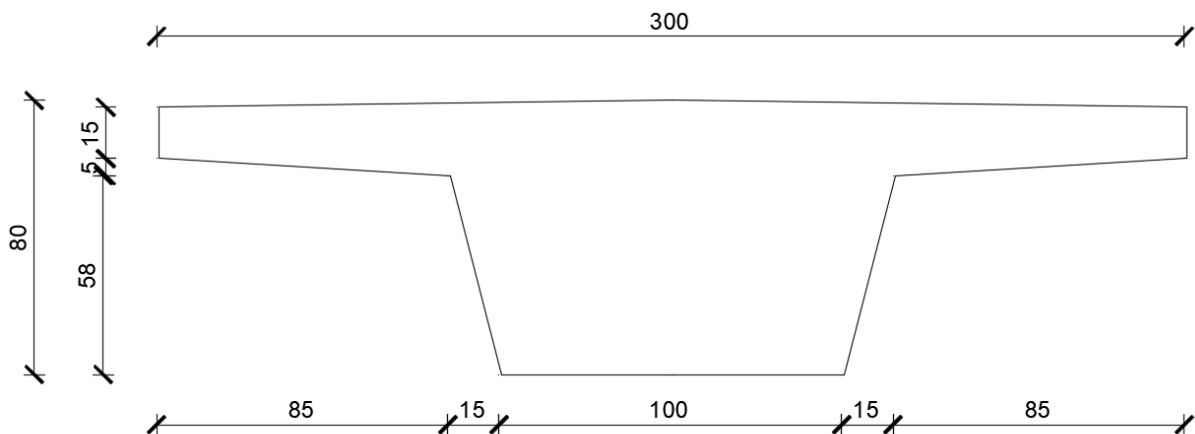
2.1.1. Vlastita težina nosača

Slučaj 1

$$A = 1,25 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G = A \cdot \gamma = 1,25 \text{ m}^2 \cdot 25,0 \text{ kN/m}^3 = 31,25 \text{ kN/m}^3$$



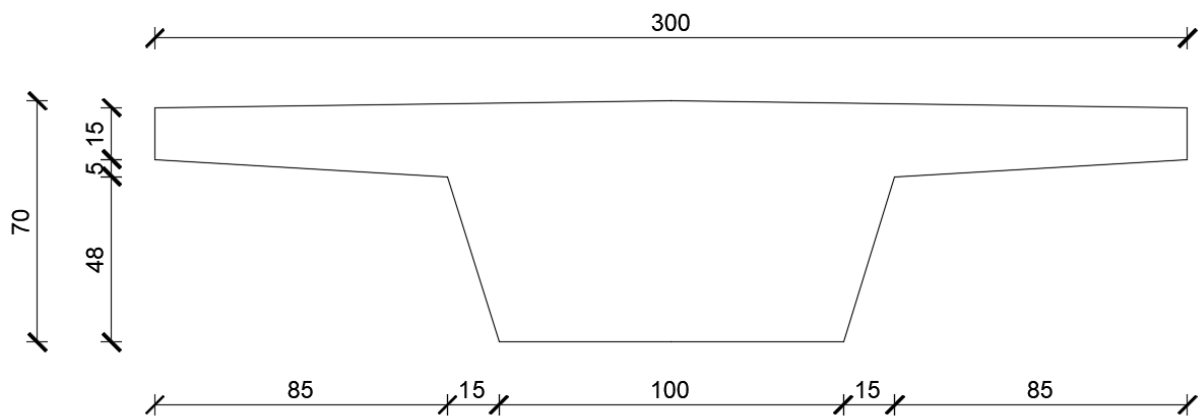
Slika 1: Poprečni presjek nosača visine 80 cm

Slučaj 2

$$A = 1,14 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G = A \cdot \gamma = 1,14 \text{ m}^2 \cdot 25,0 \text{ kN/m}^3 = 28,5 \text{ kN/m}^3$$



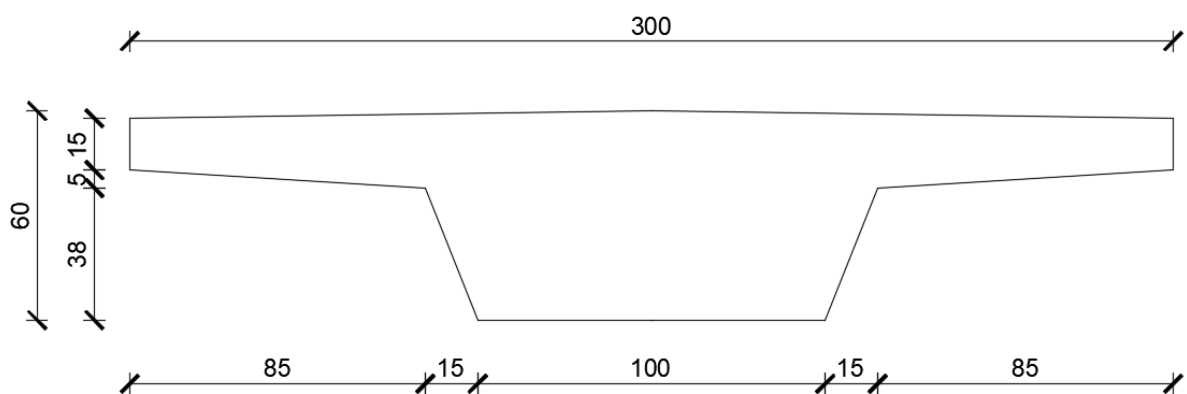
Slika 2: Poprečni presjek nosača visine 70 cm

Slučaj 3

$$A = 1,02 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G = A \cdot \gamma = 1,02 \text{ m}^2 \cdot 25,0 \text{ kN/m}^3 = 25,6 \text{ kN/m}$$



Slika 3: Poprečni presjek nosača visine 60 cm

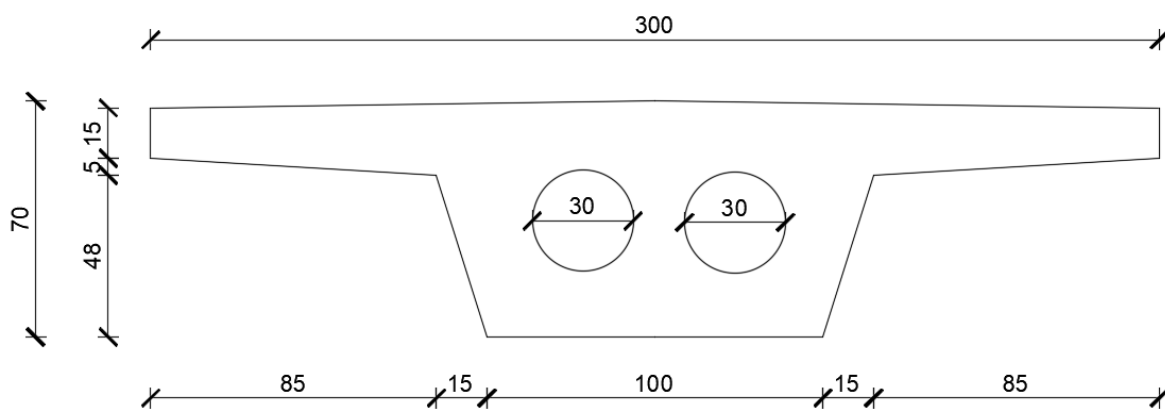
Slučaj 4

Postavljanje plastičnih cijevi promjera 300mm radi olakšanja konstrukcije.

$$A = 1,00 \text{ m}^2$$

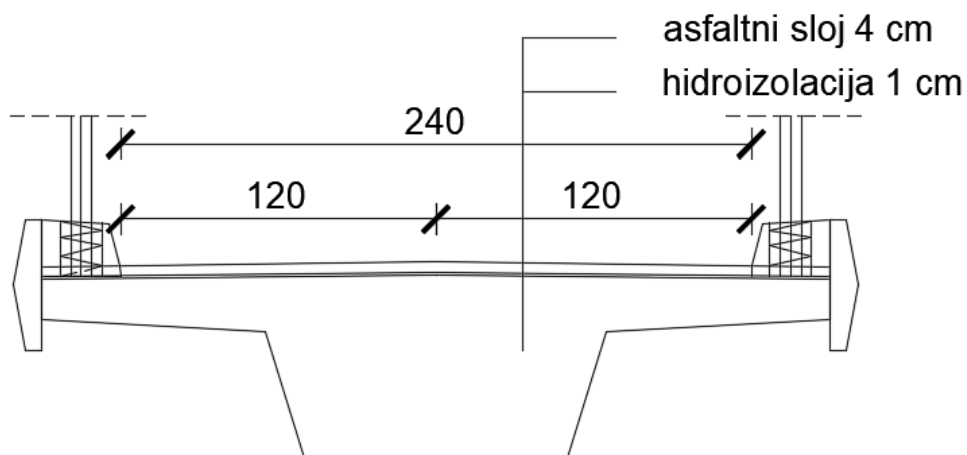
$$\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G = A \cdot \gamma = 1,00 \text{ m}^2 \cdot 25,0 \text{ kN/m}^3 = 25 \text{ kN/m}^3$$



Slika 4: Poprečni presjek nosača visine 70 cm sa plastičnim cijevima

2.1.2. Slojevi kolničke konstrukcije



Slika 5: Slojevi na kolniku

- Hidroizolacija

$$d = 0,01 \text{ m}$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

- Asfalt

$$d = 0,04 \text{ m}$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$G_{kolnik} = \sum(d * L * \gamma) = 0,01\text{m} * 2,4\text{m} * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 0,04\text{m} * 2,4\text{m} * \frac{25\text{kN}}{\text{m}^3} = 3,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}'}$$

2.1.3. Rubni dio

- Rubnjak

$$A = 0,059 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{rubnjak} = A * \gamma = 0,06 \text{ m}^2 * 25,0 \text{ kN/m}^3 = 1,50 \text{ kN/m}'$$

- Montažni vijenac

$$A = 0,043 \text{ m}^2$$

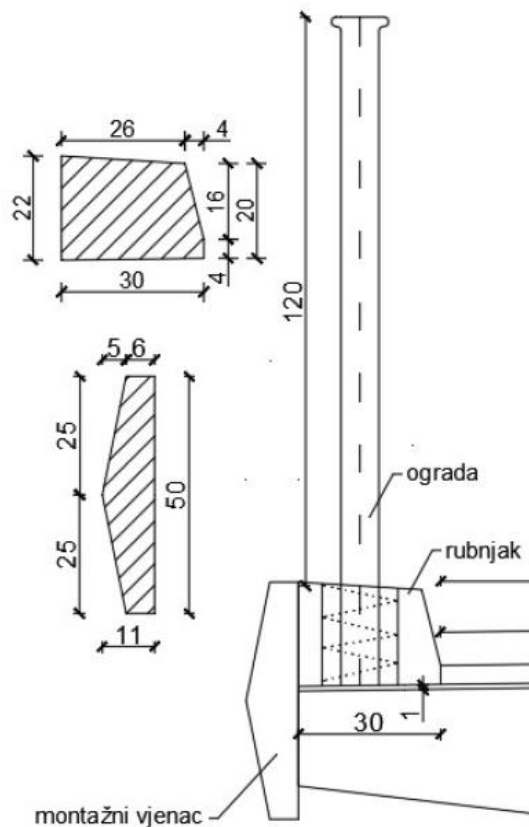
$$\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{rubnjak} = A * \gamma = 0,04 \text{ m}^2 * 25,0 \text{ kN/m}^3 = 1,0 \text{ kN/m}'$$

- Ograda [4]

$$W = 40,9 \text{ kg/m}'$$

$$G_{ograda} = 0,40 \text{ kN/m}'$$



Slika 6: Opterećenje na rubu nosača

- Hidroizolacija

$$d = 0,01 \text{ m}$$

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

$$\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{\text{hidroizolacija}} = \sum(d * L * \gamma) = 0,01 \text{ m} * 0,3 \text{ m} * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0,075 \text{ kN/m}'$$

Ukupno dodatno stalno opterećenje ΔG :

$$\Delta G = G_{\text{kolnik}} + 2 * (G_{\text{rubnjak}} + G_{\text{vijenac}} + G_{\text{ograda}} + G_{\text{hidroizolacija}})$$

$$\Delta G = 3,0 \text{ kN/m}' + 2 * (1,5 + 1,00 + 0,4 + 0,075) \text{ kN/m}' = 8,95 \text{ kn/m}'$$

2.2. Snijeg

Grad Pazin nalazi se u drugoj zoni prema karti snježnih područja (Slika 7).

Karakteristična vrijednost opterećenja snijegom za područje Pazin i nadmorsku visinu od 270 MNM iznosi (Tablica 1) :

$$S_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$$



Slika 7: Karta snježnih područja RH [1]

Tablica 1: Karakteristične vrijednosti opterećenja snijegom na tlu [1]

Nadmorska visina (m)	Karakteristične vrijednosti s_k (kN/m ²)			
	<i>priobalje i otoci</i>	<i>zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre</i>	<i>kontinentalna Hrvatska</i>	<i>gorska Hrvatska</i>
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200			1,25	1,50
300			1,50	1,75
400		1,00	1,75	2,00
500		1,25	2,00	2,50
600		1,50	2,25	3,00
700		2,00	2,50	3,50
800		2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1000	2,00	4,00	3,50	5,00
1100	3,00	5,00	4,00	5,50
1200	4,00	6,00	4,50	6,00

Opterećenje snijegom [1]:

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

$$S_k = 0,75 \text{ kN/m}^2 \quad \text{karakteristična vrijednost opterećenja na tlu}$$

$$\mu_i = 0,8 \quad \text{koeficijent oblika za nagib } \alpha = 0^\circ \text{ (Nagib mosta je manji od 4\% te se u proračunu može smatrati ravnim)}$$

$$C_e = 1,0 \quad \text{koeficijent izloženosti}$$

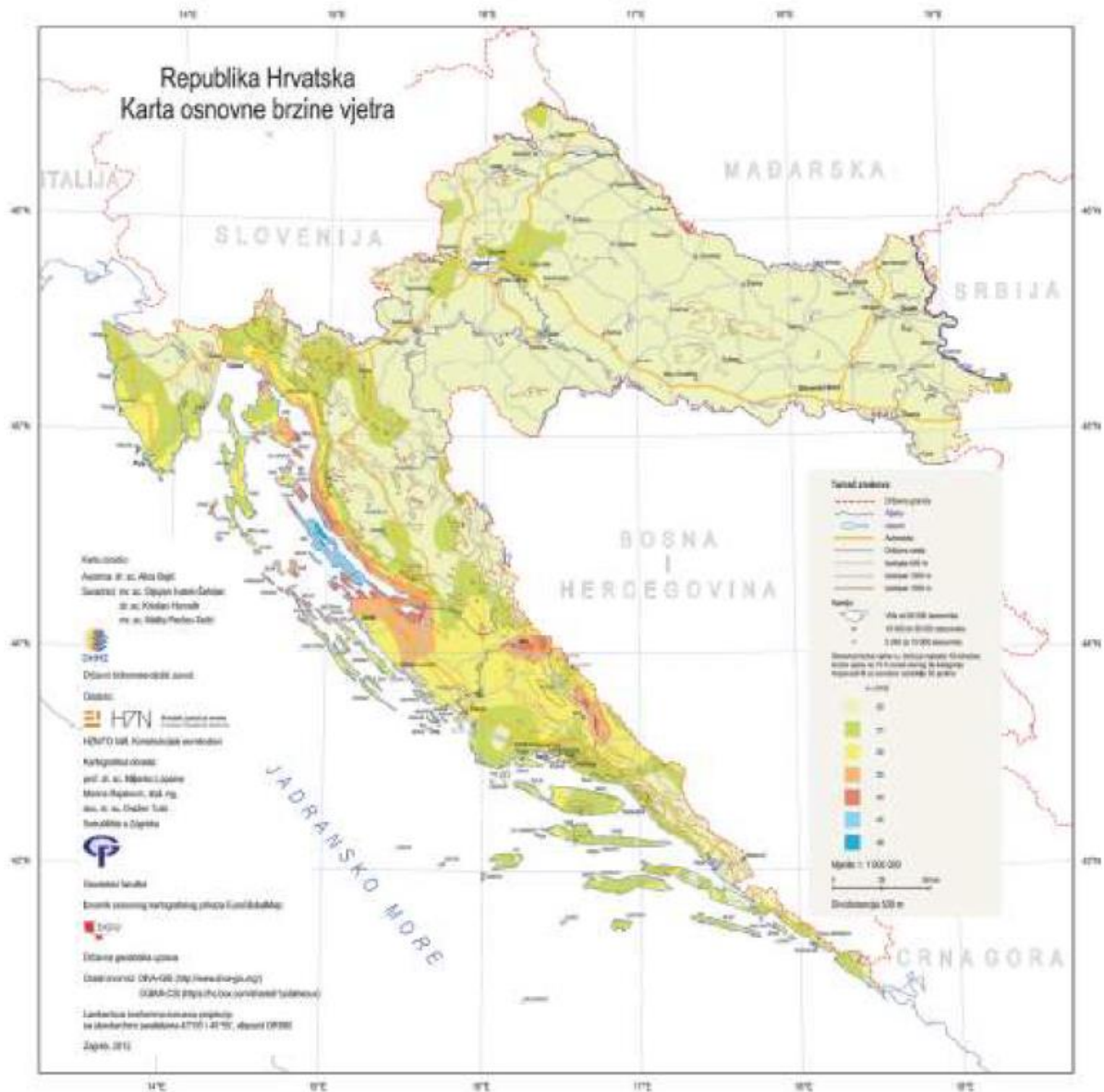
$$C_t = 1,0 \quad \text{koeficijent temperature}$$

$$S = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,75 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0,6 \text{ kN/m}^2 * 3,0 \text{ m} = 1,8 \text{ kN/m}' \quad \text{opterećenje po m' mosta za širinu od 3 m.}$$

2.3. Vjetar

2.3.1. Proračun pritiska i brzine vjetra [1]



Slika 8: Karta osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ Republike Hrvatske [1]

Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ za područje grada Pazina iznosi 25 m/s.

Osnovna brzina vjetra:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 25,0 = 25,0 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,0 \quad \text{koeficijent smjera vjetra}$$

$$c_{season} = 1,0 \quad \text{koeficijent ovisan o godišnjem dobu}$$

$$v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s} \quad \text{temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra}$$

Osnovni tlak vjetra:

$$q_b = 0,5 * \rho * v_b^2 = 0,5 * 1,25 \text{ kg/m}^3 * (25,0 \text{ m/s})^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{gustoća zraka}$$

Srednja brzina vjetra:

$$V_m(z) = C_r(z) * C_0(z) * v_b = 0,62 * 1,0 * 25,0 = 15,5 \text{ m/s}$$

Koeficijent hrapavosti terena:

$$C_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,22 * \ln\left(\frac{5,03}{0,3}\right) = 0,62$$

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,22$$

$$c_{0(z)} = 1,0 \quad \text{koeficijent orografije}$$

Visina konstrukcije:

$$z = \max(z_{min}, z_e) = \max(5, 5,03) = 5,03m$$

Vrijednosti z_0 i z_{min} dobivaju se ovisno o kategoriji terena. Most se nalazi u III. kategoriji terena (Tablica 2) [1].

Tablica 2: Kategorije terena [1]

KATEGORIJA TERENA		z_0 (m)	z_{min} (m)
II	<i>površine s niskom vegetacijom (trava) i izdvojene prepreke (drveće, zgrade) s razmacima od najmanje 20 visina prepreka</i>	0,05	2
III	<i>područja s jednolikim pokrovom vegetacije ili zgrada ili izdvojenih prepreka s razmacima od najviše 20 visina prepreka (sela, predgrađa, stalne šume)</i>	0,3	5

Intenzitet turbulencije:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{5,03}{0,3}\right)} = 0,35$$

Koeficijent turbulencije:

$$k_l = 1,0$$

Vršni tlak vjetra:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,35] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 15,5^2 = 0,52 \frac{kN}{m^2}$$

Koeficijent izloženosti:

$$C_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{0,52}{0,39} = 1,33$$

2.3.2. Djelovanje vjetra na glavni nosač [1]

Smjer x

$$F_{w,x} = C_s * C_d * C_f * q_p(z) * A_{ref,x}$$

Faktor konstrukcije:

$$C_s * C_d = 1,0$$

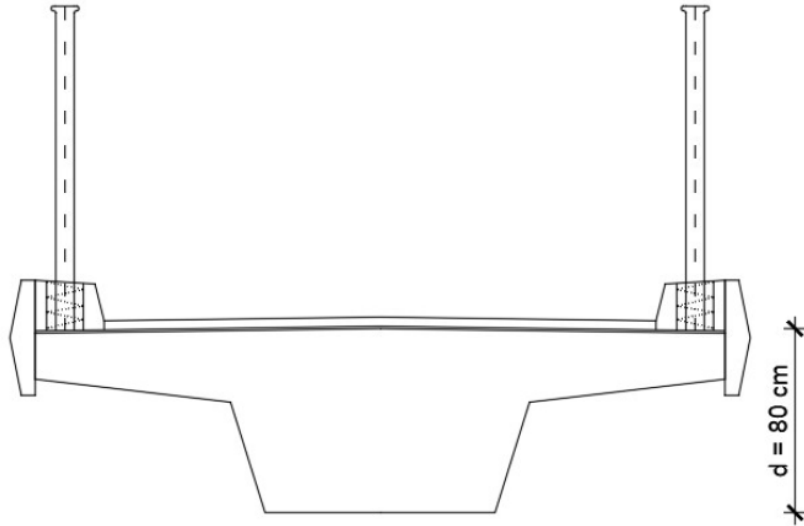
Koeficijent sile za djelovanje vjetra na glavni nosač mosta

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

$$b = 300 \text{ cm}$$

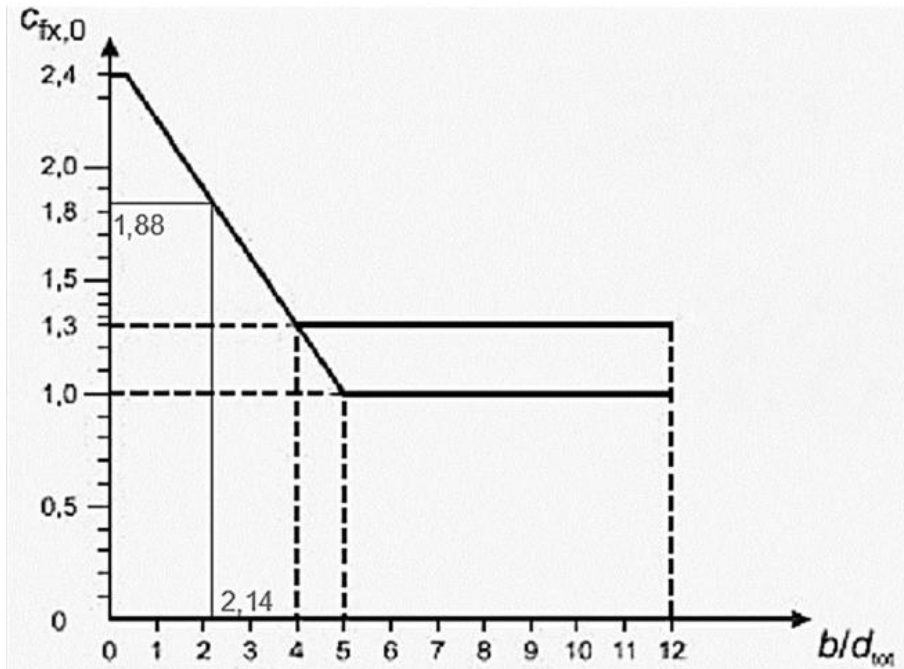
$$d = 80 \text{ cm}$$

$$d_{tot} = d + 0,6 = 0,8 + 0,6 = 1,4 \text{ m} \quad (\text{za otvorenu ogradu})$$



Slika 9: Visina d za određivanje površine $A_{ref,x}$

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{300}{140} = 2,14$$



Slika 10: Koeficijent sile $c_{fx,0}$ [1]

$$C_{fx,0} = 1,88$$

Vršni pritisak vjetra:

$$q_p(z) = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

Referentna površina konstrukcije:

$$A_{ref,x} = d_{tot} * L = 1,40 \text{ m} * 16,0 \text{ m} = 22,40 \text{ m}^2$$

Ukupna sila koja djeluje na glavni nosač mosta u x smjeru:

$$F_{w,x} = C_s * C_d * C_f * q_p(z) * A_{ref,x} = 1,0 * 1,88 * 0,52 \text{ kN/m}^2 * 22,40 \text{ m}^2 = 21,90 \text{ kN}$$

Opterećenje na glavni nosač mosta u x smjeru:

$$\frac{F_{w,x}}{A_{ref,x}} = \frac{21,90 \text{ kN}}{22,40 \text{ m}^2} = 0,98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Opterećenje po m' glavnog nosača u x smjeru:

$$q_{w,x} = \frac{F_{w,x}}{A_{ref,x}} * d_{tot} = 0,98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1,40 \text{ m} = 1,37 \text{ kN/m'}$$

Smjer y

Za gredne mostove sila u smjeru y može se uzeti kao 25% vrijednosti sile u smjeru x [1].

Ukupna sila koja djeluje na glavni nosač mosta u y smjeru:

$$F_{w,y} = 0,25 * F_{w,x} = 0,25 * 21,90 = 5,48 \text{ kN}$$

Opterećenje po m' glavnog nosača u y mjeru:

$$q_{w,y} = \frac{F_{w,y}}{L} = \frac{5,48 \text{ kN}}{16,0 \text{ m}} = 0,34 \text{ kN/m'}$$

Smjer z

$$F_{w,z} = C_s * C_d * C_f * q_p(z) * A_{ref,z}$$

Faktor konstrukcije:

$$C_s * C_d = 1,0$$

Koeficijent sile za djelovanje vjetra na glavni nosač mosta [1]:

$$C_{f,x} = C_{f,x,0} = \pm 0,9 \quad (\text{pritisak i odizanje})$$

Vršni tlak vjetra:

$$q_p(z) = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

Referentna površina konstrukcije:

$$A_{ref,z} = b * L = 3,0 \text{ m} * 16,0 \text{ m} = 48,0 \text{ m}^2$$

Ukupna sila koja djeluje na glavni nosač mosta u z smjeru:

$$F_{w,z} = C_s * C_d * C_f * q_p(z) * A_{ref,z} = 1,0 * (\pm 0,9) * 0,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 48 \text{ m}^2 = \pm 22,46 \text{ kN}$$

Opterećenje na glavni nosač mosta u z smjeru:

$$\frac{F_{w,z}}{A_{ref,z}} = \frac{22,46 \text{ kN}}{48,0 \text{ m}^2} = \pm 0,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Opterećenje po m' glavnog nosača u z smjeru:

$$q_{w,z} = \frac{F_{w,z}}{A_{ref,z}} * b = \pm 0,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 3,0 \text{ m} = \pm 1,41 \text{ kN/m'}$$

2.4. Prometno opterećenje

Vertikalno opterećenje koje djeluje na pješački most uzima se kao jednoliko kontinuirano opterećenje q_{fk} i vertikalna koncentrirana sila Q_{fwk} koja se koristi za lokalne provjere [1].

Jednoliko kontinuirano opterećenje q_{fk}

Za vrijednost vertikalnog kontinuiranog opterećenja q_{fk} uzima se 5,0 kN/m².

Ta se vrijednost može reducirati za mostove čiji raspon ne prelazi 10 m odnosno za one mostove kod kojih se ne očekuje stalni prolazak velikog broja ljudi [1].

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L+30} = 2,0 + \frac{120}{16+30} = 4,61 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq q_{fk} \leq 5,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Usvojena vrijednost :

$$q_{fk} = 4,61 \frac{kN}{m^2}$$

Opterećenje po m' glavnog nosača:

$$q_{fk,z} = q_{fk} * b = 4,61 \frac{kN}{m^2} * 2,40 m = 11,06 kN/m'$$

Koncentrirana sila Q_{fwk}

Iz norme HRN EN 1991-2 uzima se vrijednost [1]:

$$Q_{fwk} = 10 kN \quad (\text{djeluje na površini } 0,1 m * 0,1 m)$$

Horizontalna sila Q_{flk}

Horizontalna sila Q_{flk} iznosi 10% vrijednosti vertikalnog kontinuiranog opterećenja i djeluje y smjeru u razini kolnika [1].

$$q_{flk} = 0,1 * 4,61 \frac{kN}{m^2} = 0,46 \frac{kN}{m^2}$$

$$Q_{flk} = q_{flk} * A = 0,46 \frac{kN}{m^2} * 1,02 m^2 = 0,47 kN$$

3. DIMENZIONIRANJE GLAVNOG NOSAČA - PRORAČUNSKE KOMBINACIJE DJELOVANJA

Proračunska kombinacija [2]:

$$E_d = \sum_{j>1} (\gamma_{G,j} * G_{k,j}) + \gamma_Q * Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i})$$

$\gamma_{G,j}$ – parcijalni faktor sigurnosti za stalno djelovanje

$G_{k,j}$ – karakteristična vrijednost stalnog djelovanja

γ_Q – parcijalni faktor sigurnosti za glavno promjenjivo djelovanje

$Q_{k,1}$ – karakteristična vrijednost glavnog promjenjivog djelovanja

$\gamma_{Q,i}$ – parcijalni faktor sigurnosti za ostala promjenjiva djelovanja

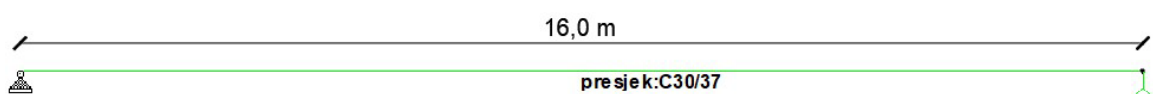
$\psi_{0,i}$ – koeficijent kombinacije

$Q_{k,i}$ – karakteristična vrijednost ostalih promjenjivih djelovanja

Tablica 3: Preporučene vrijednosti koeficijenta kombinacije ψ za pješačke mostove [2]

Action	Symbol	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Traffic loads	gr1	0,40	0,40	0
	Q_{fck}	0	0	0
	gr2	0	0	0
Wind forces	F_{Wk}	0,3	0,2	0
Thermal actions	T_k	0,6 ¹⁾	0,6	0,5
Snow loads	$Q_{Ss,k}$ (during execution)	0,8	-	0
Construction loads	Q_c	1,0	-	1,0

1) The recommended ψ_0 value for thermal actions may in most cases be reduced to 0 for ultimate limit states EQU, STR and GEO. See also the design Eurocodes.



Slika 11: Statički sustav glavnoga nosača

3.1. Slučaj 1

1. Kombinacija: Stalno djelovanje + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka + vjetar (prateće djelovanje) - MJERODAVNA KOMBINACIJA

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{fk,z} + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)} \\ &= (1,35 * 31,25 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 11,06 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 72,84 \text{ kN}/ \\ & \text{m}' \end{aligned}$$

2. Kombinacija: Stalno djelovanje + vjetar + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{w,z(+)} + 1,5 * 0,4 * q_{fk,z} \\ &= (1,35 * 31,25 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * (+)1,41 + 1,5 * 0,4 * 11,06 = 64,36 \text{ kN}/ \\ & \text{m}' \end{aligned}$$

3. Kombinacija: Stalno djelovanje + vjetar + snijeg (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{w,z(+)} + 1,5 * 0,8 * S \\ &= (1,35 * 31,25 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * (+)1,41 + 1,5 * 0,8 * 1,8 = 59,89 \text{ kN}/\text{m}' \end{aligned}$$

4. Kombinacija: Stalno djelovanje + snijeg + vjetar (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * S + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)} \\ &= (1,35 * 31,25 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 1,8 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 58,95 \text{ kN}/\text{m}' \end{aligned}$$

3.2. Slučaj 2

1. Kombinacija: Stalno djelovanje + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka + vjetar (prateće djelovanje) - MJERODAVNA KOMBINACIJA

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{fk,z} + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)} \\ &= (1,35 * 28,5 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 11,06 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 69,12 \text{ kN}/ \\ & \text{m}' \end{aligned}$$

2. Kombinacija: Stalno djelovanje + vjetar + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{w,z(+)} + 1,5 * 0,4 * q_{fk,z} \\ &= (1,35 * 28,5 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * (+)1,41 + 1,5 * 0,4 * 11,06 = 60,65 \text{ kN}/ \\ & \text{m}' \end{aligned}$$

3. Kombinacija: Stalno djelovanje + vjetar + snijeg (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{w,z(+)} + 1,5 * 0,8 * S \\ &= (1,35 * 28,5 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * (+)1,41 + 1,5 * 0,8 * 1,8 = 56,18 \text{ kN}/\text{m}' \end{aligned}$$

4. Kombinacija: Stalno djelovanje + snijeg + vjetar (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * S + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)} \\ &= (1,35 * 28,5 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 1,8 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 55,23 \text{ kN}/\text{m}' \end{aligned}$$

3.3. Slučaj 3

1. Kombinacija: Stalno djelovanje + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka + vjetar (prateće djelovanje) - MJERODAVNA KOMBINACIJA

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{fk,z} + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)} \\ &= (1,35 * 25,6 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 11,06 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 65,21 \text{ kN}/ \\ & \text{m}' \end{aligned}$$

2. Kombinacija: Stalno djelovanje + vjetar + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{w,z(+)} + 1,5 * 0,4 * q_{fk,z} \\ &= (1,35 * 25,6 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * (+)1,41 + 1,5 * 0,4 * 11,06 = 56,74 \text{ kN}/ \\ & \text{m}' \end{aligned}$$

3. Kombinacija: Stalno djelovanje + vjetar + snijeg (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{w,z(+)} + 1,5 * 0,8 * S \\ &= (1,35 * 25,6 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * (+)1,41 + 1,5 * 0,8 * 1,8 = 52,26 \text{ kN}/\text{m}' \end{aligned}$$

4. Kombinacija: Stalno djelovanje + snijeg + vjetar (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * S + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)} \\ &= (1,35 * 25,6 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 1,8 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 51,32 \text{ kN}/\text{m}' \end{aligned}$$

3.4. Slučaj 4

1. Kombinacija: Stalno djelovanje + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka + vjetar (prateće djelovanje) - MJERODAVNA KOMBINACIJA

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{fk,z} + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)} \\ &= (1,35 * 25 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 11,06 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 64,4kN/m' \end{aligned}$$

2. Kombinacija: Stalno djelovanje + vjetar + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{w,z(+)} + 1,5 * 0,4 * q_{fk,z} \\ &= (1,35 * 25 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * (+)1,41 + 1,5 * 0,4 * 11,06 = 55,93kN/m' \end{aligned}$$

3. Kombinacija: Stalno djelovanje + vjetar + snijeg (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{w,z(+)} + 1,5 * 0,8 * S \\ &= (1,35 * 25 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * (+)1,41 + 1,5 * 0,8 * 1,8 = 51,45kN/m' \end{aligned}$$

4. Kombinacija: Stalno djelovanje + snijeg + vjetar (prateće djelovanje)

$$\begin{aligned} E_{d1} &= (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * S + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)} \\ &= (1,35 * 25 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 1,8 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 50,51kN/m' \end{aligned}$$

4. PRORAČUN GLAVNOG NOSAČA

4.1. Karakteristike materijala [3]

Beton

Na temelju lokacije konstrukcije razredi izloženosti za koje treba odabrati razred čvrstoće betona su XC3, XD1 i XF2.

XC3 – 2.razred izloženosti

- umjerena vlažnost
- razred čvrstoće betona koji se preporuča je C30/37

XD1 – 3.razred izloženosti

- umjerena vlažnost, površine betona izložene kloridima iz zraka
- razred čvrstoće betona koji se preporuča je C30/37

XF2 – 5.razred izloženosti

- umjerena zasićenost vodom, sa sredstvom za odmrzavanje
- razred čvrstoće betona koji se preporuča je C25/30

Odabire se beton kvalitete C30/37.

Karakteristična tlačna čvrstoća betona:

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska tlačna čvrstoća betona:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 * \frac{30}{1,5} = 17 \frac{N}{mm^2} = 1,7 kN/cm^2$$

γ_c – parcijalni faktor sigurnosti za beton

α_{cc} – koeficijent redukcije; preporučena vrijednost za mostove je 0,85

Čelik

Odabire se armaturni čelik kvalitete B500B.

Karakteristična granica popuštanja čelika:

$$f_{yk} = 500 N/mm^2$$

Proračunska granica popuštanja čelika:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \frac{N}{mm^2} = 43,48 kN/cm^2$$

γ_s – parcijalni faktor sigurnosti za čelik

4.2. Potreban zaštitni sloj betona [3]

Minimalna vrijednost debljine zaštitnog sloja betona određuje se prema normi HRN EN 1992-1-1:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

c_{min} – najmanja debljina zaštitnog sloja

Δc_{dev} – proračunsko dopušteno odstupanje zaštitnog sloja $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b} \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$c_{min,b}$ – najmanji zaštitni sloj s obzirom na prionljivost između armature i betona

$c_{min,dur}$ – najmanji zaštitni sloj s obzirom na uvjete okoliša (trajnost)

$\Delta c_{dur,\gamma}$ – dodatni sloj sigurnosti $\Delta c_{dur,\gamma} = 0$

$\Delta c_{dur,st}$ – smanjenje zaštitnog sloja u slučaju uporabe nehrđajućeg čelika $\Delta c_{dur,st} = 0$

$\Delta c_{dur,add}$ – smanjenje zaštitnog sloja u slučaju izvedbe dodatne zaštite $\Delta c_{dur,add} = 0$

Odabire se razred izloženosti koji ovisi o uvjetima okoliša:

XC3 – 2. razred izloženosti

Preporuka je da se za sve elemente čiji vijek trajanja iznosi 100 godina za razred izloženosti XC3, razred konstrukcije poveća sa S4 na S6.

Tablica 4: Preporučeni razredi konstrukcije [3]

Kriterij	Razred izloženosti						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Vijek trajanja 100 god	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2
Razred čvrstoće	≥ C30/37 smanjiti razred za 1	≥ C30/37 smanjiti razred za 1	≥ C35/45 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C45/55 smanjiti razred za 1
Element pločaste geometrije	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1
Osigurana posebna kontrola proizvodnje betona	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1

Najmanja debljina zaštitnog sloja $c_{min,dur}$ za razred konstrukcije S6 je 3,5 mm (Tablica 5).

Tablica 5: Najmanja debljina zaštitnog sloja $c_{min,dur}$ prema kriteriju trajnosti [3]

Razred konstrukcije	Razred izloženosti						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

* Preporučeni razred konstrukcije je S4 (proračunski uporabni vijek konstrukcije 50 godina)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 45 \text{ mm} = 4,5 \text{ cm}$$

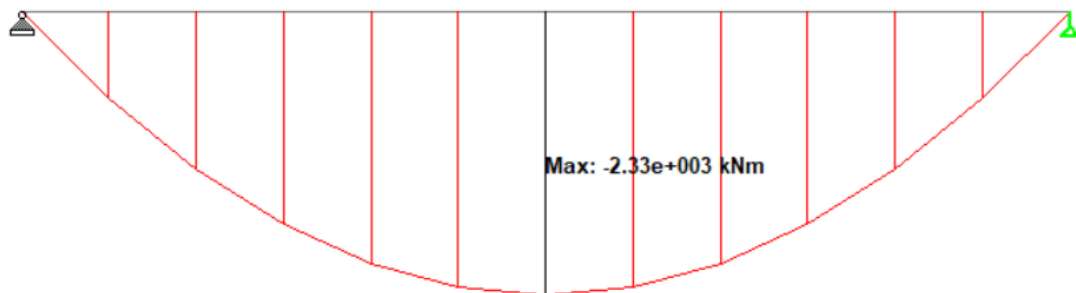
$$d_1 = 4,5 + 1,2 + \frac{2,5}{2} = 7 \text{ cm}$$

4.3. Dimenzioniranje na moment savijanja

4.3.1. Slučaj 1

$$E_{d1} = 72,84 \text{ kN/m'}$$

$$M = \frac{E_{d1} \cdot l^2}{8} = \frac{72,84 \cdot 16^2}{8} = 2330,88 \text{ kNm}$$

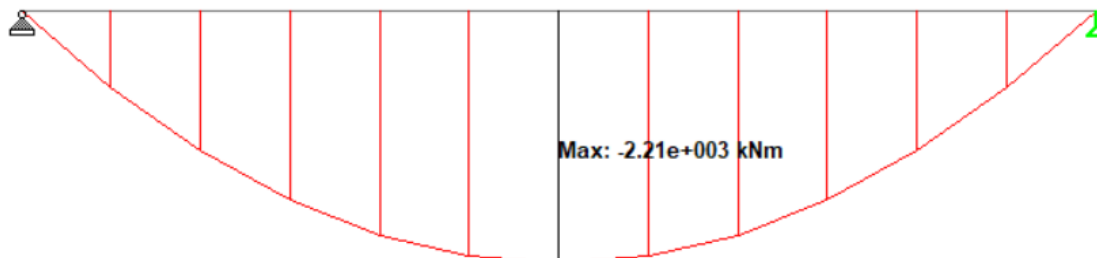


Slika 12: Dijagram momenata za slučaj 1

4.3.2. Slučaj 2

$$E_{d1} = 69,12 \text{ kN/m'}$$

$$M = \frac{E_{d1} \cdot l^2}{8} = \frac{69,12 \cdot 16^2}{8} = 2211,84 \text{ kNm}$$

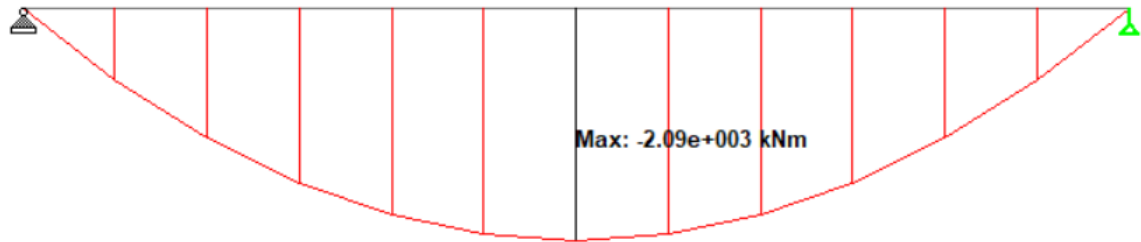


Slika 13: Dijagram momenata za slučaj 2

4.3.3. Slučaj 3

$$E_{d1} = 65,21 \text{ kN/m'}$$

$$M = \frac{E_{d1} \cdot l^2}{8} = \frac{65,21 \cdot 16^2}{8} = 2086,72 \text{ kNm}$$

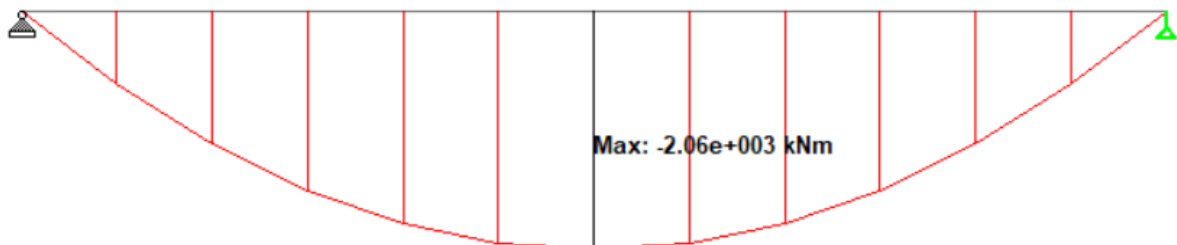


Slika 14: Dijagram momenata za slučaj 3

4.3.4. Slučaj 4

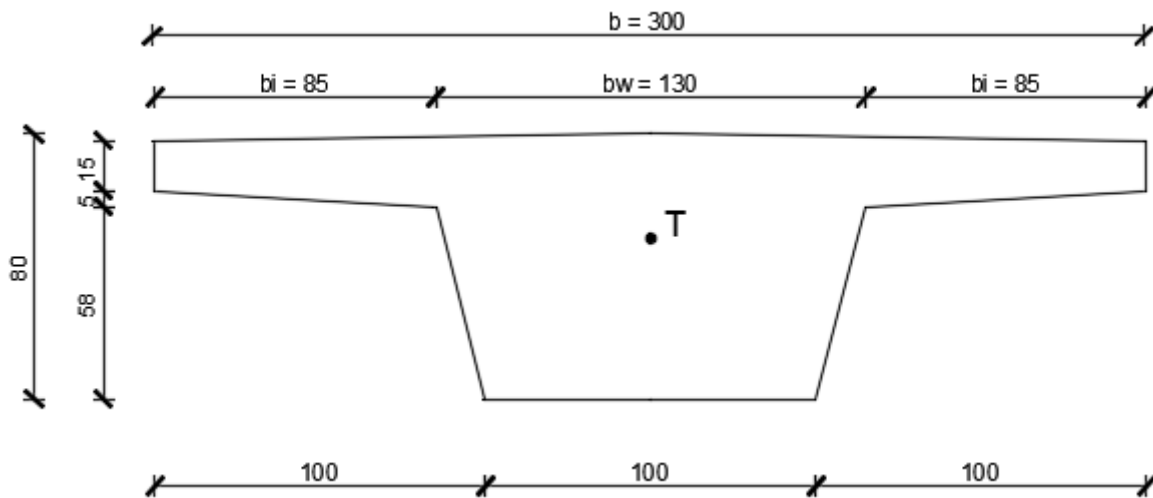
$$E_{d1} = 64,4 \text{ kN/m'}$$

$$M = \frac{E_{d1} \cdot l^2}{8} = \frac{64,4 \cdot 16^2}{8} = 2060,8 \text{ kNm}$$



Slika 15: Dijagram momenata za slučaj 4

4.3.5. Proračun sudjelujuće širine



Slika 16: Širina presjeka

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

$$b_{eff,i} = 0,2 * b_i + 0,1 * l_0 \leq \frac{0,2 * l_0}{b_i}$$

$$l_0 = 16m$$

$$b_{eff,i} = 0,2 * 0,85 + 0,1 * 16 \leq \frac{0,2 * 16}{0,85}$$

$$= 1,77 \leq \frac{3,2}{0,85}$$

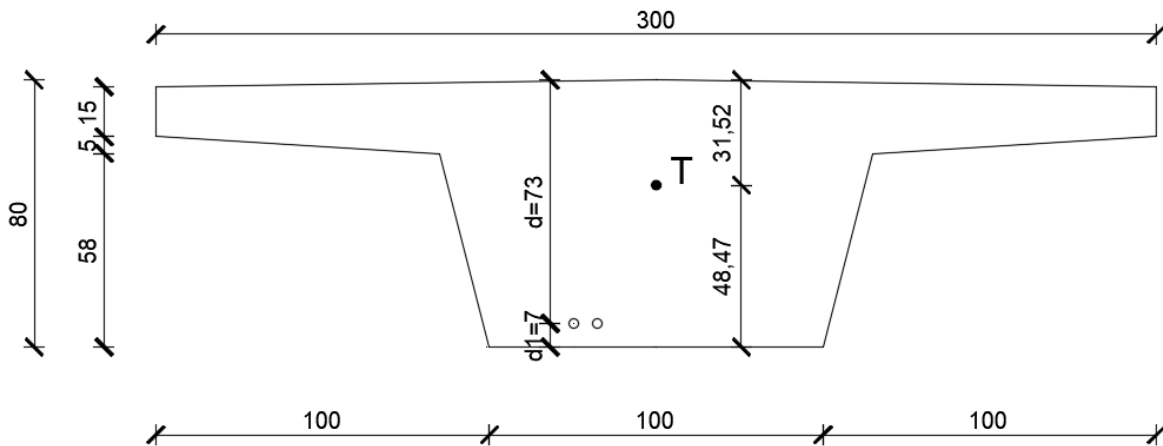
$$= 0,85$$

$$b_{eff} = 0,85 + 0,85 + 1,3 = 3 m$$

Sudjelujuća širina je ista za sva četiri slučaja: $b_{eff} = b = 3,0 m$

4.3.6. Glavna armatura

Slučaj 1



Slika 17: Statička visina presjeka za slučaj 1

$$M_{Eds} = 2330,88 \text{ kNm}$$

$$d = h - d_1 = 80\text{cm} - 7\text{cm} = 73\text{cm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{233088}{300 \cdot 73^2 \cdot 1,7} = 0,08$$

$$\xi = 0,115$$

$$\zeta = 0,955$$

$$x = \xi \cdot d = 0,115 \cdot 73 = 8,4\text{cm} \rightarrow \text{neutralna os prolazi kroz ploču}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{233088}{0,955 \cdot 73 \cdot 43,48} = 76,90 \text{ cm}^2$$

Minimalna površina armature

Moment tromosti presjeka:

$$I_x = 0,068 \text{ m}^4$$

Srednja osna vlačna čvrstoća betona

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

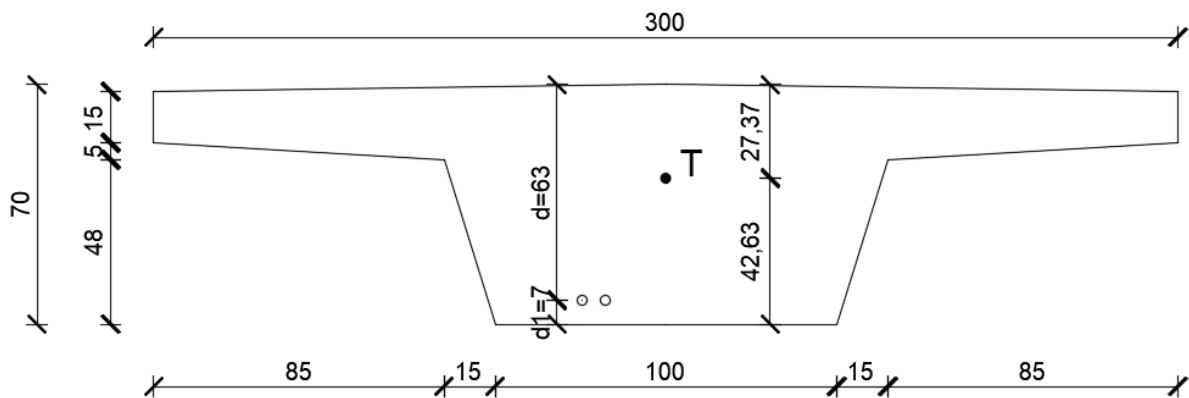
$$y_t = 48,5 \text{ cm}$$

$$A_{s1,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_{ct}}{f_{yk} \cdot z} = \frac{f_{ctm} \cdot I_x}{f_{yk} \cdot y_t \cdot 0,9 \cdot d}$$

$$A_{s1,min} = \frac{2,9 \text{ MPa} \cdot 0,068 \text{ m}^4}{500 \cdot 0,485 \cdot 0,9 \cdot 0,73} = 12,38 \text{ cm}^2 < 76,90 \text{ cm}^2$$

Odabire se: 13Ø28 (80,05 cm²) → Ø28/7,5 cm

Slučaj 2



Slika 18: Statička visina presjeka za slučaj 2

$$M_{Eds} = 2211,84 \text{ kNm}$$

$$d = h - d_1 = 70 \text{ cm} - 7 \text{ cm} = 63 \text{ cm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{221184}{300 \cdot 63^2 \cdot 1,7} = 0,109$$

$$\xi = 0,145$$

$$\zeta = 0,940$$

$$x = \xi \cdot d = 0,145 \cdot 63 = 9,14 \text{ cm} \rightarrow \text{neutralna os prolazi kroz ploču}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{221184}{0,940 \cdot 63 \cdot 43,48} = 85,90 \text{ cm}^2$$

Minimalna površina armature

Moment tromosti presjeka:

$$I_x = 0,046 \text{ m}^4$$

Srednja osna vlačna čvrstoća betona

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

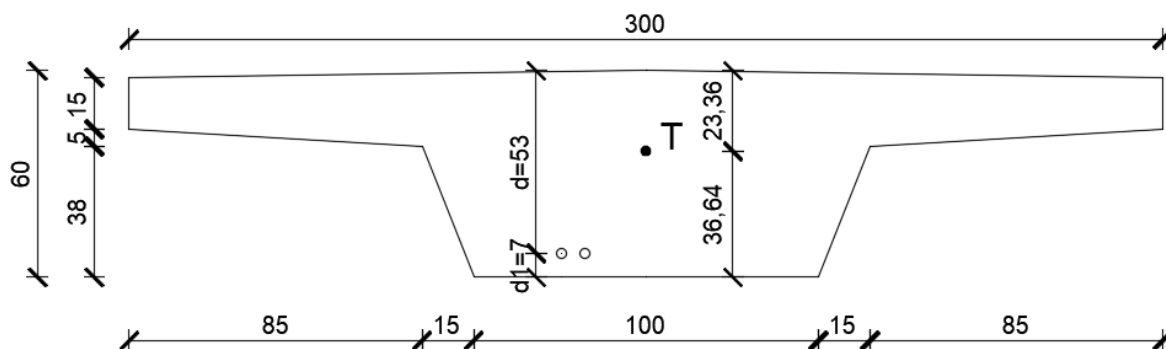
$$y_t = 42,6 \text{ cm}$$

$$A_{s1,min} = \frac{f_{ctm} * W_{ct}}{f_{yk} * z} = \frac{f_{ctm} * I_x}{f_{yk} * y_t * 0,9 * d}$$

$$A_{s1,min} = \frac{2,9 \text{ MPa} * 0,046 \text{ m}^4}{500 * 0,426 * 0,9 * 0,63} = 11,04 \text{ cm}^2 < 85,9 \text{ cm}^2$$

Odabire se: 14Ø28 (86,21 cm²) → Ø28/7cm

Slučaj 3



Slika 19: Statička visina presjeka za slučaj 3

$$M_{Eds} = 2086,72 \text{ kNm}$$

$$d = h - d_1 = 60\text{cm} - 7\text{cm} = 53\text{cm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{208672}{300 \cdot 53^2 \cdot 1,7} = 0,146$$

$$\xi = 0,200$$

$$\zeta = 0,917$$

$$x = \xi \cdot d = 0,200 \cdot 53 = 10,6\text{cm} \rightarrow \text{neutralna os prolazi kroz ploču}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{208672}{0,917 \cdot 53 \cdot 43,48} = 98,75\text{cm}^2$$

Minimalna površina armature

Moment tromosti presjeka:

$$I_x = 0,029 \text{ m}^4$$

Srednja osna vlačna čvrstoća betona

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

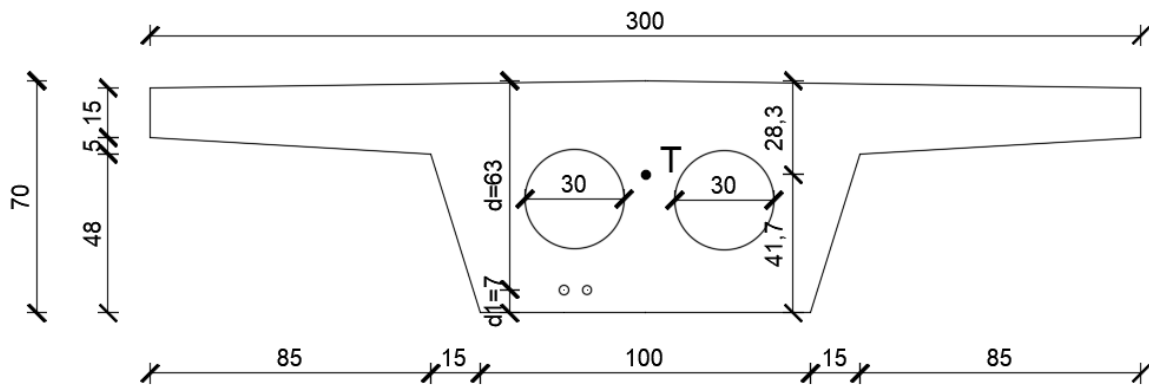
$$y_t = 36,6 \text{ cm}$$

$$A_{s1,min} = \frac{f_{ctm} * W_{ct}}{f_{yk} * z} = \frac{f_{ctm} * I_x}{f_{yk} * y_t * 0,9 * d}$$

$$A_{s1,min} = \frac{2,9 \text{ MPa} * 0,029 \text{ m}^4}{500 * 0,366 * 0,9 * 0,53} = 9,63 \text{ cm}^2 < 98,75 \text{ cm}^2$$

Odabire se: 13Ø32 (104,55 cm²)

Slučaj 4



Slika 20: Statička visina presjeka za slučaj 4

$$M_{Eds} = 2060,80 \text{ kNm}$$

$$d = h - d_1 = 70 \text{ cm} - 7 \text{ cm} = 63 \text{ cm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{206080}{300 \cdot 63^2 \cdot 1,7} = 0,102$$

$$\xi = 0,135$$

$$\zeta = 0,944$$

$$x = \xi \cdot d = 0,135 \cdot 63 = 8,5 \text{ cm} \rightarrow \text{neutralna os prolazi kroz ploču}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{206080}{0,944 \cdot 63 \cdot 43,48} = 79,70 \text{ cm}^2$$

Minimalna površina armature

Moment tromosti presjeka:

$$I_x = 0,047 \text{ m}^4$$

Srednja osna vlačna čvrstoća betona

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$y_t = 41,7 \text{ cm}$$

$$A_{s1,min} = \frac{f_{ctm} * W_{ct}}{f_{yk} * z} = \frac{f_{ctm} * I_x}{f_{yk} * y_t * 0,9 * d}$$

$$A_{s1,min} = \frac{2,9 \text{ MPa} * 0,047 \text{ m}^4}{500 * 0,417 * 0,9 * 0,63} = 11,52 \text{ cm}^2 < 79,70 \text{ cm}^2$$

Odabire se: 13Ø28 (80,05 cm²) → Ø28/7,5 cm

Nakon dobivenih rezultata glavne armature za sva 4 slučaja, najracionalniji rezultati su za slučaj 2 i slučaj 4. Dalje će se proračunavati samo za ta dva slučaja.

Postavlja se i dodatna minimalna armatura Ø10/20cm iz konstrukcijskih razloga na svim površinama.

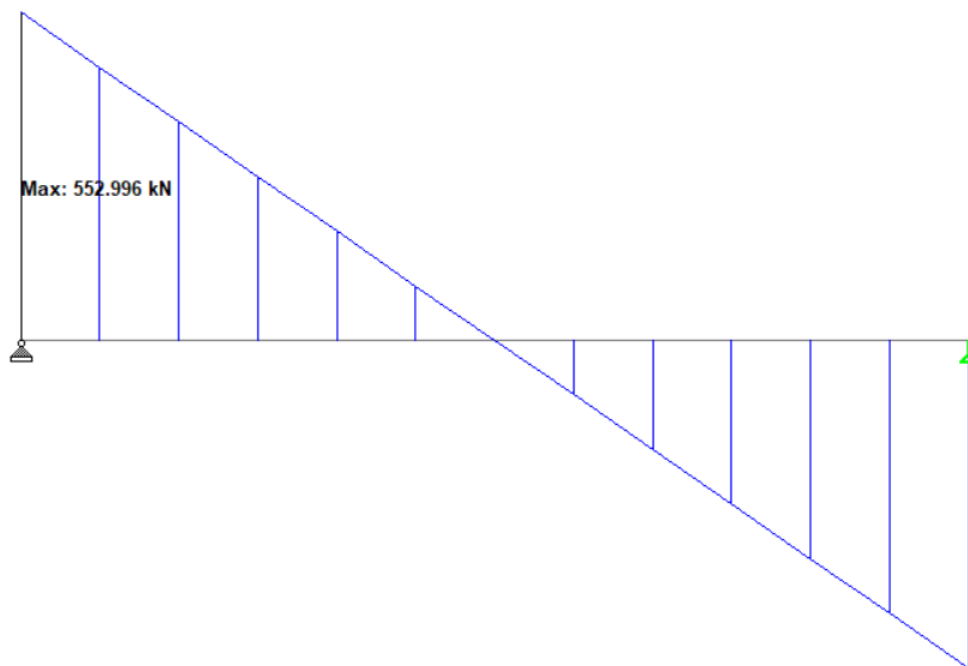
Glavna armatura postavlja se na maksimalnom razmaku s=15cm [7].

4.4. Dimenzioniranje na poprečnu silu

4.4.1. Slučaj 2

$$E_{d1} = 69,12 \text{ kN/m'}$$

$$V_{Ed} = \frac{E_{d1} * l}{2} = \frac{69,12 * 16}{2} = 553,00 \text{ kN}$$



Slika 21: Dijagram poprečnih sila za slučaj 2

1. Provjera nosivosti tlačnih štapova [3]

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1,00$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 63 = 56,7 \text{ cm}$$

$$v_1 = 0,6 * \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$$

$$b_w = 100 \text{ cm}$$

$$\text{ctg}\theta = 1,2$$

$$V_{Rd,max} = 1 * 100 * 56,7 * 0,528 * 1,7 * \frac{1}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = 2503,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 553,00 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 2503,00 \text{ kN}$$

2.Minimalna poprečna armatura [3]

$$\frac{A_{sw,min}}{s} = \rho_{v,min} * b_w = 0,0010 * 100 = 0,1 \text{ cm} * \frac{100}{100} = 10 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

$$\rho_{v,min} = 0,0010 \text{ za beton C30/37}$$

$$S_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 * d \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 * 63 \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 47,25 \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

3.Potrebna poprečna armatura [3]

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z * f_{yd} * \text{ctg}\theta} = \frac{553,00}{(0,9 * 63) * 43,48 * 1,2} = 0,187 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} = 18,7 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

Maksimalna djelotvorna površina poprečne armature za $\text{ctg } \theta = 1$

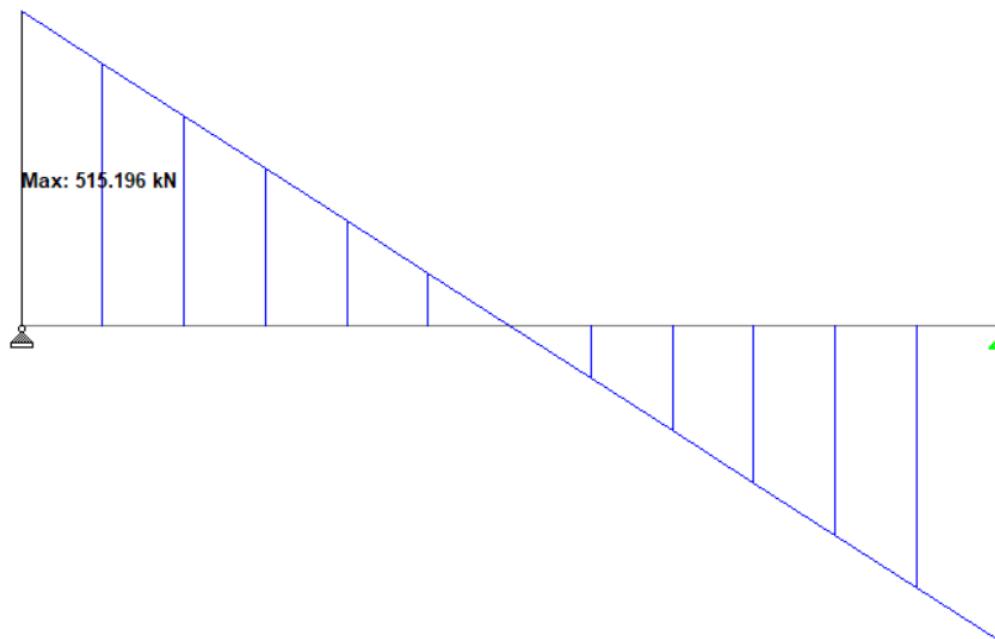
$$\begin{aligned} \frac{A_{sw,max}}{s} &\leq \frac{1}{2} * (\alpha_{cw} * v_1 * f_{cd}) * \frac{b_w}{f_{yd}} \\ &\leq \frac{1}{2} * (1,0 * 0,528 * 1,7) * \frac{100}{43,48} = 1,03 \text{ cm} * \frac{100}{100} = 103 \text{ cm}^2 / \text{m}' \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = 18,7 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}'} < \frac{A_{sw,max}}{s} = 103 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

4.4.2. Slučaj 4

$$E_{d1} = 64,4 \text{ kN/m'}$$

$$V_{Ed} = \frac{E_{d1} * l}{2} = \frac{64,4 * 16}{2} = 515,20 \text{ kN}$$



Slika 22: Dijagram poprečnih sila za slučaj 4

1. Provjera nosivosti tlačnih štapova [3]

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1,00$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 63 = 56,7 \text{ cm}$$

$$v_1 = 0,6 * \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$$

$$b_w = 100 \text{ cm}$$

$$\text{ctg}\theta = 1,2$$

$$V_{Rd,max} = 1 * 100 * 56,7 * 0,528 * 1,7 * \frac{1}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = 2503,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 515,20 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 2503,00 \text{ kN}$$

2. Minimalna poprečna armatura [3]

$$\frac{A_{sw,min}}{s} = \rho_{v,min} * b_w = 0,0010 * 100 = 0,1 \text{ cm} * \frac{100}{100} = 10 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

$$\rho_{v,min} = 0,0010 \text{ za beton C30/37}$$

$$S_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 * d \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 * 63 \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 47,25 \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

3. Potrebna poprečna armatura [3]

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z * f_{yd} * \text{ctg}\theta} = \frac{515,20}{(0,9 * 63) * 43,48 * 1,2} = 0,174 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} = 17,4 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

Maksimalna djelotvorna površina poprečne armature za $\text{ctg}\theta = 1$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sw,max}}{s} &\leq \frac{1}{2} * (\alpha_{cw} * v_1 * f_{cd}) * \frac{b_w}{f_{yd}} \\ &\leq \frac{1}{2} * (1,0 * 0,528 * 1,7) * \frac{100}{43,48} = 1,03 \text{ cm} * \frac{100}{100} = 103 \text{ cm}^2 / \text{m}' \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = 17,4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}'} < \frac{A_{sw,max}}{s} = 103 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

4.5. Dimenzioniranje na torziju

4.5.1. Slučaj 2

$$m_t = 4,61 \frac{kN}{m^2} * 1,2 * 0,6 = 3,32 kNm/m'$$

$$T_{Ed} = 1,5 * \left(\frac{m_t * L}{2} \right) = 1,5 * \left(\frac{3,32 * 16}{2} \right) = 39,84 kNm$$

$$A_k = 1,14 m^2$$

Potrebna uzdužna armatura [3]

$$a_{sl} = \frac{\sum A_{sl}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2 * A_k * f_{yd}} * ctg\theta = \frac{39,84 * 100}{2 * 11400 * 43,48} * 1,2 = 0,0048 * \frac{100}{100} = 0,48 cm^2/m'$$

Potrebna poprečna armatura [3]

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s} = \frac{T_{Ed}}{2 * A_k * f_{yd}} * tg\theta = \frac{39,84 * 100}{2 * 11400 * 43,48} * \frac{1}{1,2} = 0,0033 cm * \frac{100}{100} = 0,33 cm^2/m'$$

Nosivost tlačnih štapova [3]

interakcija $T_{Ed} + V_{Ed}$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1$$

$$T_{Rd,max} = \frac{2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \alpha_{cw} \cdot A_k \cdot t_{eff,i}}{ctg\theta + tg\theta} = \frac{2 \cdot 0,528 \cdot 1,7 \cdot 1,0 \cdot 11400 \cdot 100}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = 10064,9 \text{ kNm}$$

$$\frac{39,84}{10064,9} + \frac{553}{2503} \leq 1$$

$$0,22 < 1$$

Ukupna potrebna poprečna armatura

$$\frac{A_{sw}}{s} + a_{sw} = 18,7 + 0,33 = 19,03$$

Odabrana armatura: $\emptyset 14/8,0 \text{ cm}$ (19,24 cm²)

4.5.2. Slučaj 4

$$m_t = 4,61 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,2 \cdot 0,6 = 3,32 \text{ kNm/m'}$$

$$T_{Ed} = 1,5 \cdot \left(\frac{m_t \cdot L}{2} \right) = 1,5 \cdot \left(\frac{3,32 \cdot 16}{2} \right) = 39,84 \text{ kNm}$$

$$A_k = 1,00 \text{ m}^2$$

Potrebna uzdužna armatura [3]

$$a_{sl} = \frac{\sum A_{sl}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k \cdot f_{yd}} \cdot ctg\theta = \frac{39,84 \cdot 100}{2 \cdot 10000 \cdot 43,48} \cdot 1,2 = 0,0055 \cdot \frac{100}{100} = 0,55 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Potrebna poprečna armatura [3]

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k \cdot f_{yd}} * tg\theta = \frac{39,84 \cdot 100}{2 \cdot 10000 \cdot 43,48} * \frac{1}{1,2} = 0,0038 \text{ cm} * \frac{100}{100} = 0,38 \text{ cm}^2/m'$$

Nosivost tlačnih štapova [3]

interakcija $T_{Ed} + V_{Ed}$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1$$

$$T_{Rd,max} = \frac{2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \alpha_{cw} \cdot A_k \cdot t_{eff,i}}{ctg\theta + tg\theta} = \frac{2 \cdot 0,528 \cdot 1,7 \cdot 1,0 \cdot 10000 \cdot 100}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = 8828,85 \text{ kNm}$$

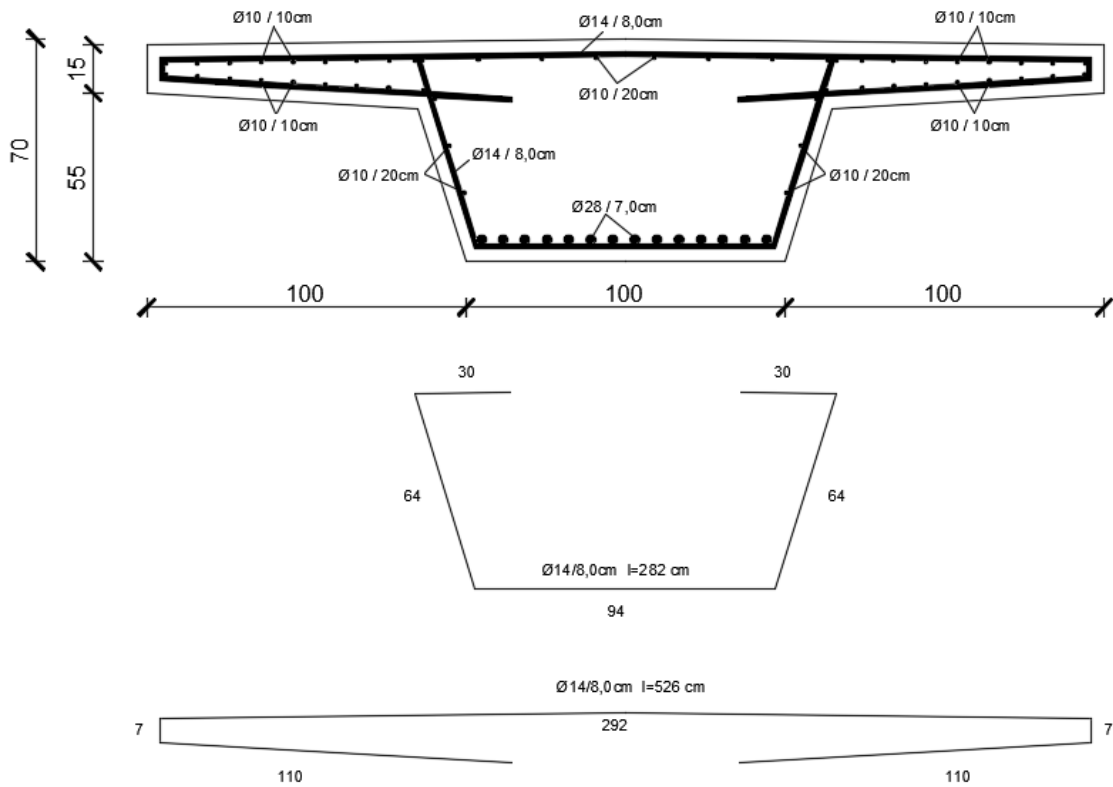
$$\frac{39,84}{8828,85} + \frac{515,2}{2503} \leq 1$$

$$0,23 < 1$$

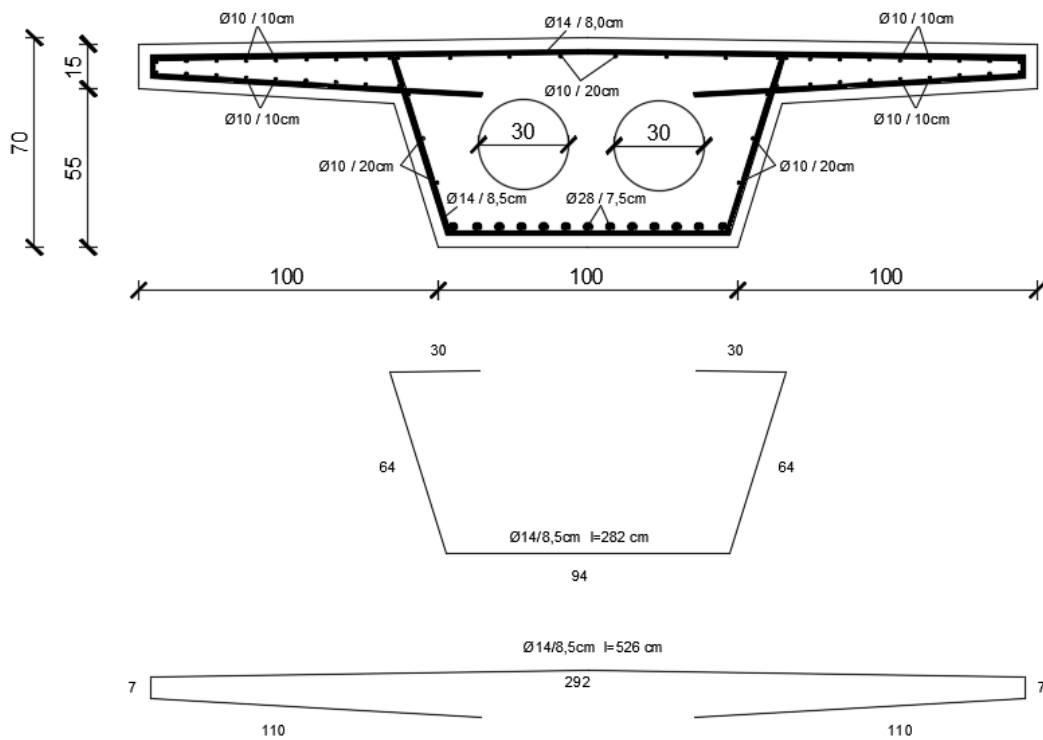
Ukupna potrebna poprečna armatura

$$\frac{A_{sw}}{s} + a_{sw} = 17,4 + 0,38 = 17,78$$

Odabrana armatura: $\emptyset 14/8,5 \text{ cm}$ (18,11 cm²)



Slika 23: Skica armature poprečnog presjeka za slučaj 2



Slika 24: Skica armature poprečnog presjeka za slučaj 4

Iskaz materijala za slučaj 2 i slučaj 4:

Slučaj 2:

$$\text{Količina betona: } A * l = 1,14m^2 * 16m = 18,24m^3$$

$$\text{Količina armature: } \emptyset 14: 8,08m * 200kom = 1952kg$$

$$\emptyset 10: 16,6m * 50kom = 512kg$$

$$\emptyset 28: 17m * 14kom = 1150kg$$

$$\Sigma = 3614kg$$

Slučaj 4:

$$\text{Količina betona: } A * l = 1,00m^2 * 16m = 16,00 m^3$$

$$\text{Količina armature: } \emptyset 14: 8,08m * 189kom = 1845 kg$$

$$\emptyset 10: 16,6m * 50kom = 512 kg$$

$$\emptyset 28: 17m * 13kom = 1068 kg$$

$$\Sigma = 3425 kg$$

Nakon dobivenih rezultata odabire se slučaj 2 kao najbolje rješenje zbog lakše izvedbe iako ima nešto više količine betona i armature.

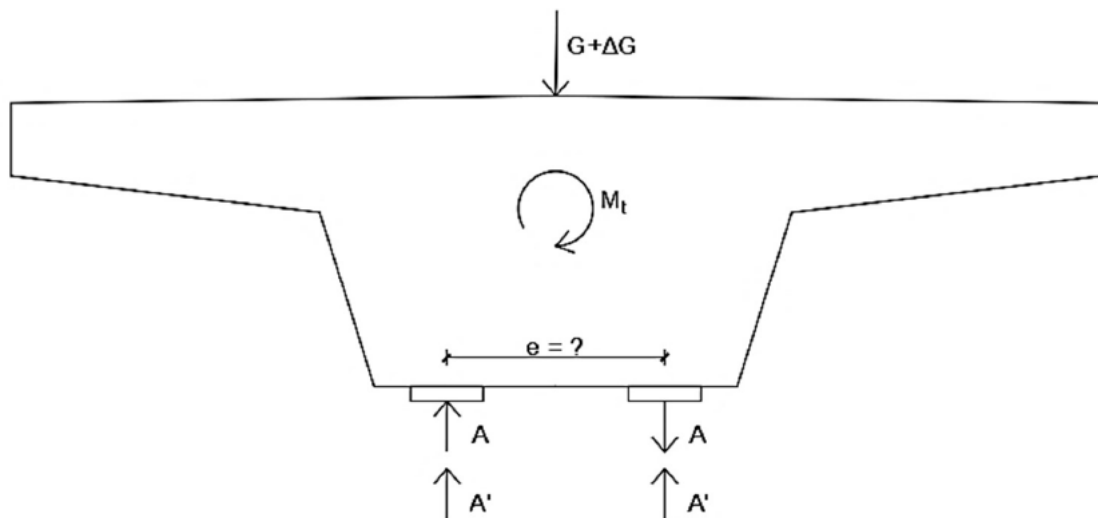
4.6. Određivanje razmaka oslonaca

Da bi se ostvario uvjet sigurnosti protiv odizanja ležajne reakcije od torzije moraju biti dvostruko manje od reakcije od vlastite težine.

$$\frac{A'}{A} \geq 2,0$$

A' – reakcija od vlastite težine

A – ležajna reakcija od momenta torzije



Slika 25: Reakcije na osloncu

4.6.1. Ležajna reakcija od momenta torzije

$$A = \frac{M_t}{e} = \frac{39,84 \text{ kNm}}{e}$$

M_t – max. moment torzije od pokretnog opterećenja na pola nosača

e – razmak ležajeva

4.6.2. Reakcija od vlastite težine

$$2 * A' = (\gamma_G * G + \gamma_G * \Delta G) * \frac{L}{2} = (1,35 * 28,5 + 1,5 * 8,95) * \frac{16}{2} = 415,20 \text{ kN}$$

$$A' = \frac{415,20 \text{ kN}}{2} = 207,6 \text{ kN}$$

γ_G – parcijalni faktor sigurnosti za stalno i dodatno stalno opterećenje

G – stalno opterećenje

ΔG – dodatno stalno opterećenje

L –raspon glavnog nosača

Uvjet:

$$A' \geq 2 * A$$

$$207,6 \geq 2 * \frac{39,84}{e}$$

$$e \geq \frac{39,84}{207,6}$$

$$e \geq 0,20$$

Minimalan potreban razmak oslonca $e = 20 \text{ cm}$ manji je od širine donjeg pojasa $b = 100 \text{ cm}$ stoga ne treba izvoditi poprečne nosače na krajevima glavnog nosača.

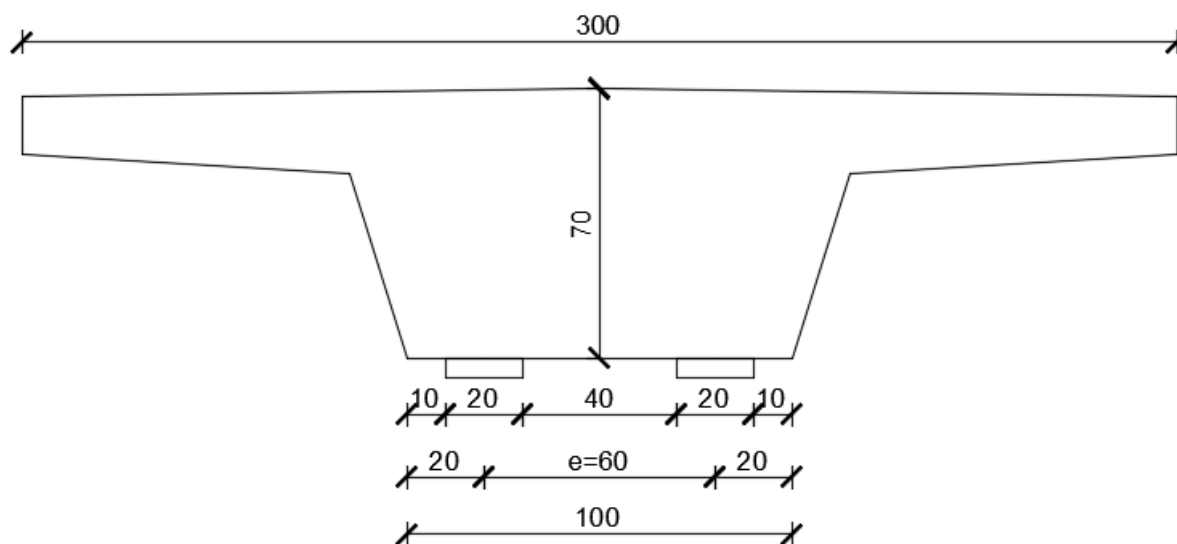
Odabrani razmak između oslonca je $e = 60 \text{ cm}$.

$$A' \geq 2 * A$$

$$207,6 \text{ kN} \geq 2 * \frac{39,84 \text{ kNm}}{0,60 \text{ m}}$$

$$207,6 \text{ kN} \geq 132,8 \text{ kN}$$

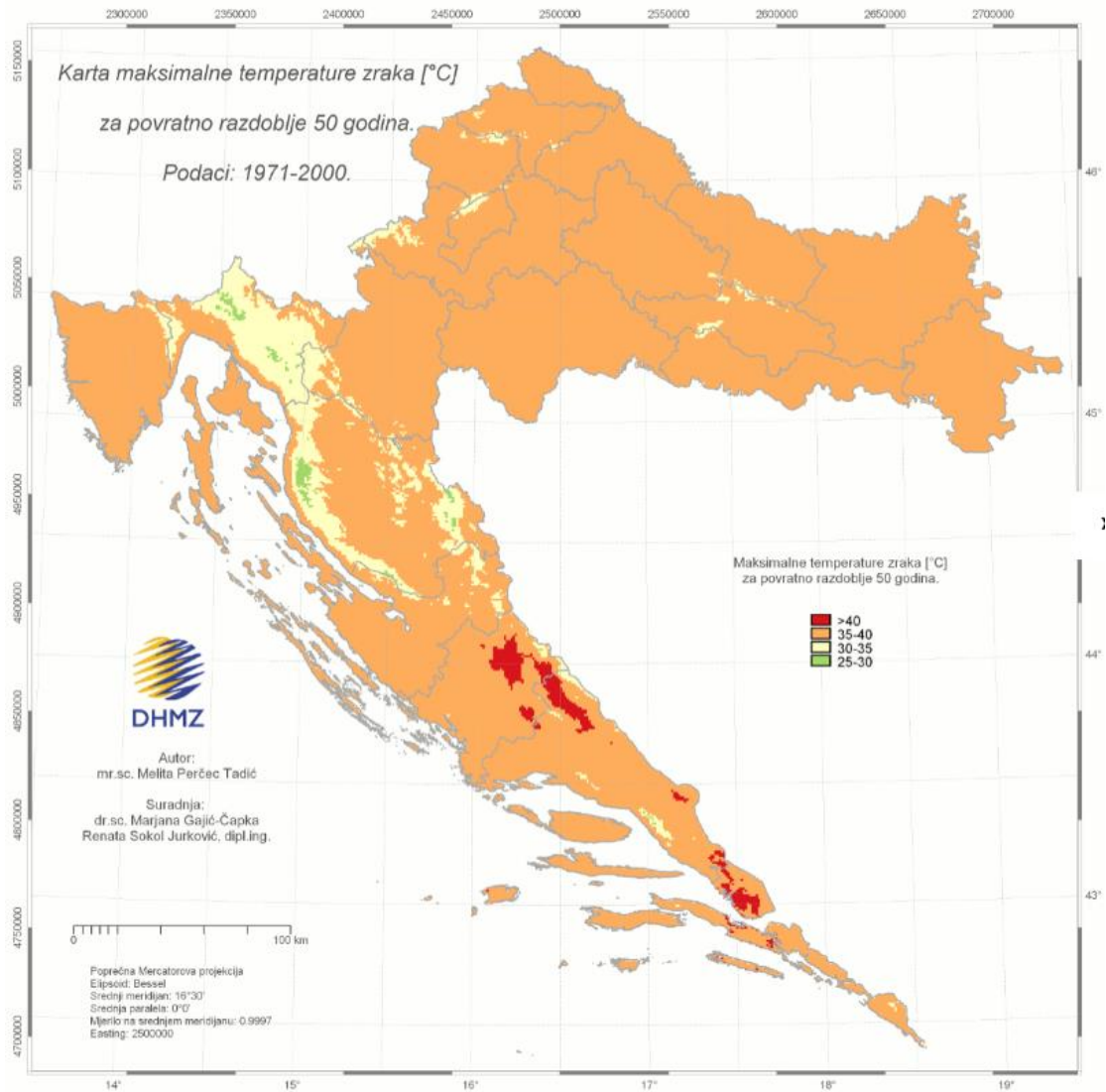
Uvjet $A' \geq 2 * A$ je zadovoljen te neće doći do odizanja, nije potrebno postavljati dodatnu armaturu.



Slika 26: Odabrani razmak između ležajeva glavnog nosača

5. POMAK USLIJED PROMJENE TEMPERATURE

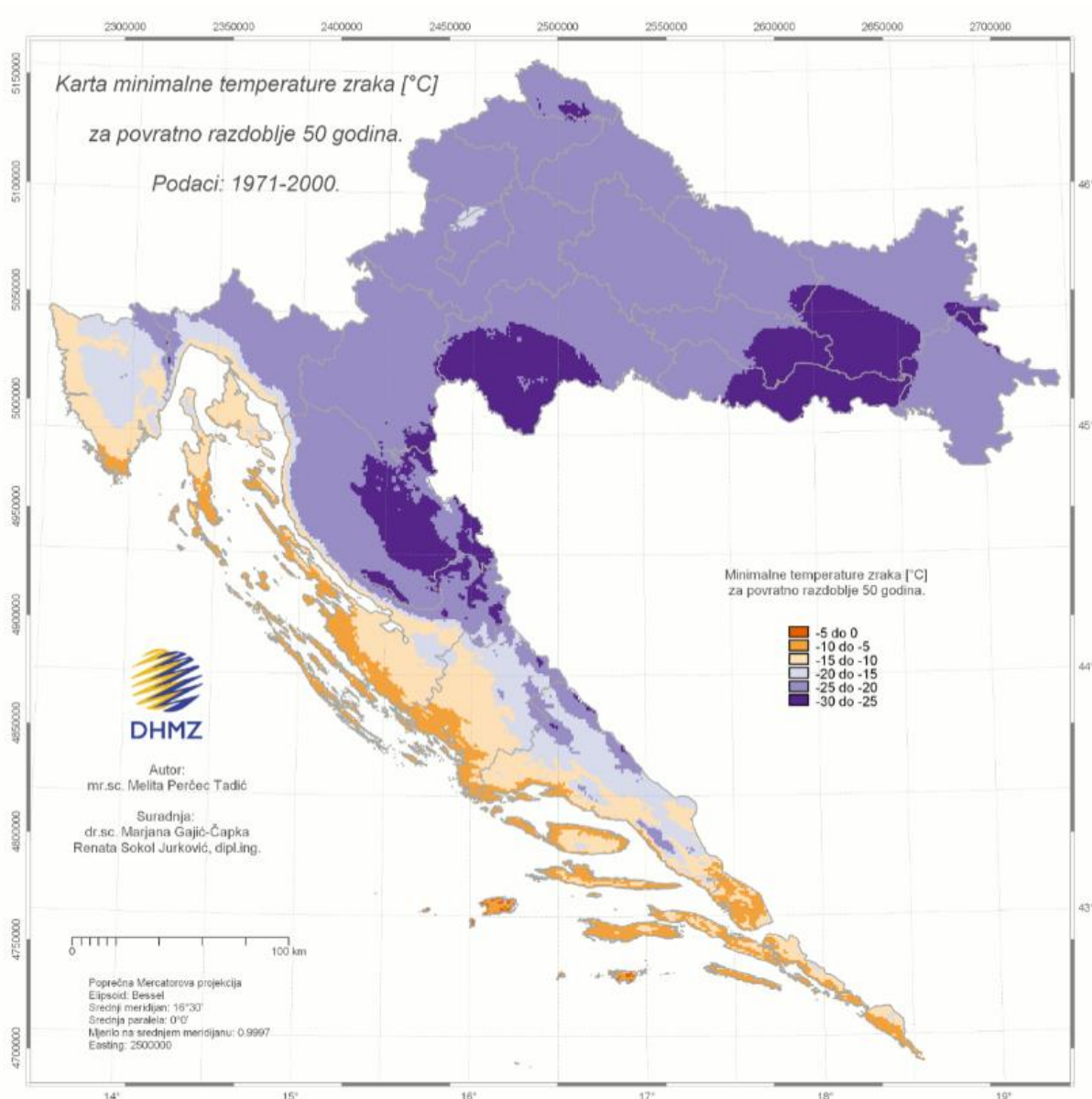
Prema normi HRN EN 1991-1-5 očitana je minimalna i maksimalna temperatura u hladu za područje Pazina [2].



Slika 27: Karta Hrvatske s maksimalnim temperaturama zraka [8]

Vrijednosti maksimalne temperature za 50-godišnji povratni period očitane su iz priložene karte (Slika 27).

$$T_{max} = 40^{\circ}C$$



Slika 28: Karta Hrvatske s minimalnim temperaturama zraka [8]

Vrijednosti minimalne temperature za 50-godišnji povratni period očitane su iz priložene karte (Slika 28).

$$T_{min} = -20^{\circ}\text{C}$$

Promjena temperature računa se prema formuli:

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} = 40^{\circ}\text{C} - (-20^{\circ}\text{C}) = 60^{\circ}\text{C}$$

Maksimalni pomak

$$\Delta L = \alpha_t * L_0 * \Delta T = 12 * 10^{-6} \frac{1}{^\circ C} * 1600 \text{ cm} * 60 \text{ }^\circ C = 1,15 \text{ cm}$$

Koeficijent toplinskog širenja za beton C30/37

$$\alpha_t = 12 * 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$$

Početna duljina mosta

$$L_0 = 1600 \text{ cm}$$

Odabir prijelazne naprave određuje se na temelju pomaka od promjene temperature pri izvođenju same konstrukcije.

Uzima se da je temperatura zatvaranja konstrukcije $T_0 = 10^\circ C$.

Maksimalna temperatura zbog koje dolazi do širenja konstrukcije definira se po formuli:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{max} - T_0 = 40^\circ C - 10^\circ C = 30^\circ C$$

Maksimalna temperatura zbog koje dolazi do skraćanja konstrukcije definira se po formuli:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{min} = 10^\circ C - (-20^\circ C) = 30^\circ C$$

Promjena temperature za koju će se računati pomak uzima se $\Delta T = 30^\circ C$

Pomak

$$\Delta L = \alpha_t * L_0 * \Delta T = 12 * 10^{-6} \frac{1}{^\circ C} * 1600 \text{ cm} * 30 \text{ }^\circ C = 0,58 \text{ cm}$$

Potrebno je odabrati prijelaznu napravu koja će osiguravati veće pomake od 5,8 mm.

6. ODABIR POTREBNOG LEŽAJA

Ležajevi mostova imaju zadaću da opterećenje s rasponskog sklopa prenose na potpore odnosno u ovom slučaju na upornjake. Ležajevi trebaju omogućiti odnosno spriječiti određene pomake i zakretanja rasponskog sklopa [6]. Kod jednorasponskih mostova treba postaviti jedan nepomični i jedan pomični ležaj, a u ovom slučaju odabiru se elastomerni ležajevi. Oni su jednostavne konstrukcije čija je primjena danas vrlo česta uglavnom na mostovima manjih raspona. Elastomerni ležajevi su napravljeni od elastomernog bloka odnosno umjetne gume koja se ponaša slično prirodnoj gumi ali je mnogo otpornija na temperaturna djelovanja. Nearmirana guma može izdržati samo ograničena ležajna naprezanja pa se zbog toga u nju dodaje nekoliko slojeva čeličnog lima velike čvrstoće što će znatno doprinijeti smanjenim pomacima gume. Ležajevi su opremljeni gornjom i donjom čeličnom pločom zbog lakšeg popravka ili njihove izmjene [5].

Elastomerni ležajevi se odabiru s obzirom na vrijednosti vertikalnih reakcija na ležajevima, rotacije i horizontalnog pomaka.

Pomak glavnog nosača događa se samo od pomaka uslijed promjene temperature zbog toga što su horizontalne sile od pješaka te od vjetra zanemarivo male.





Horizontalni pomak: $v_{xyd} = 11,5 \text{ mm}$

Rotacija: $\alpha_{ab} = 0 \text{ rad}$

Maksimalna poprečna sila: $V_{Ed} = 553 \text{ kN}$

Sila koja djeluje na jednom elastomernom ležaju: $\frac{V_{Ed}}{2} = \frac{553}{2} = 276,5 \text{ kN}$

Tablica 6: Dimenzije elastomernog ležaja [9]

Širina x dužina promjer	Dopušteno opterećenje	Visina ležaja				Debljina elastomera		Broj slojeva elast.	Debljina elast.	Debljina lima	Dopušteni pomak		Dopušteni kut zakretanja			
		Tip 1	Tip 2	Tip 4	Tip 5	Tip 1	Tip 2,4,5				Tip 1	Tip 2,4,5				
a x b, D	Fz	d				T		n	t	s	V=±		n, α			
[mm]	[kN]	[mm]				[mm]		kom	[mm]	[mm]	[mm]		‰			
100 x 100 100 x 150 100 x 200	100 150 200	14				10	5	1	5	2	7,0		4,0	3,0	5,0	
		21	42	72	32	15	10	2	5	2	10,5	7,0	8,0	6,0	10,0	
		28	49	79	39	20	15	3	5	2	14,0	10,5	12,0	9,0	15,0	
		35	56	86	46	25	20	4	5	2	16,3	14,0	16,0	12,0	20,0	
		42	63	93	53	30	25	5	5	2	18,0	16,3	20,0	15,0	25,0	
			70	100	60	35	30	6	5	2	19,3	18,0	24,0	18,0	30,0	
150 x 200	300	14				10	5	1	5	2	7,0	3,5	3,0	3,0	4,0	
		21	42	72	32	15	10	2	5	2	10,5	7,0	6,0	6,0	8,0	
		28	49	79	39	20	15	3	5	2	14,0	10,5	9,0	9,0	13,0	
		35	56	86	46	25	20	4	5	2	17,5	14,0	12,0	12,0	17,0	
		42	63	93	53	30	25	5	5	2	21,0	17,5	15,0	15,0	21,0	
		49	70	100	60	35	30	6	5	2	23,3	21,0	18,0	18,0	25,0	
		56	77	107	67	40	35	7	5	2	25,3	23,3	21,0	21,0	29,0	
		63	84	114	74	45	40	8	5	2	27,0	25,3	24,0	24,0	33,0	
	91	121	81	50	45	9	5	2	28,3	27,0	27,0	27,0	37,0			

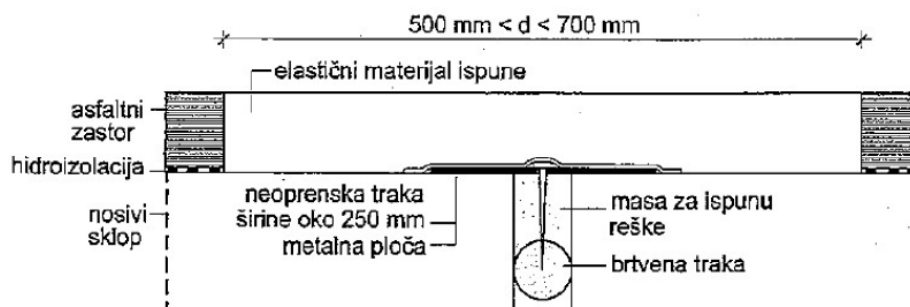
Odabran je ležaj dimenzija: 150 x 200 x 49 mm (Tablica 6).

7. PRIJELAZNE NAPRAVE

Pomaci rasponskog sklopa uzrokuju dilatacije između rasponskog sklopa i upornjaka. Na tim se mjestima ugrađuju prijelazne naprave čija je funkcija omogućiti međusobne pomake dijelova rasponskog sklopa bez narušavanja udobnosti prometovanja. Svrha prijelazne naprave je da osigura kontinuitet prijelaza u kolniku na mjestima prekida u konstrukciji [5].

Proračunom pomaka konstrukcije dobivena je vrijednost pomaka $\Delta L = 5,80 \text{ mm}$, potrebno je odabrati prijelaznu napravu za male pomake koja omogućava pomake do 50 mm ($\pm 25 \text{ mm}$).

Za preuzimanje malih pomaka uglavnom se izvode naprave sa ispunom od modificiranog asfalta i naprave sa čeličnim profilima koji su povezani elastomernim brtvenim uloškom. Asfaltne prijelaznice koje su izvedene od polimeriziranog bitumena u prednosti su pred prijelaznicama sa čeličnim profilima zbog jednostavnosti ugradnje. S druge strane, u eksploataciji se često pokazuju manje trajnima i pouzdanima što se donekle kompenzira jednostavnom zamjenom. Asfaltne prijelaznice se izvode ulijevanjem posebne asfaltne smjese u utor koji je napravljen u prethodno izvedenom asfaltnom zastoru tako da postanu sastavnim dijelom kolničke konstrukcije. Njihovo pričvršćenje osigurava slijepljenost s podlogom i opiranje o slojeve asfaltnog zastora. Ispod sloja mase za ispunu korita postavlja se metalna ploča, preko nje neoprenska gumena traka. Da bi se spriječilo eventualno ispadanje brtvene trake, ona se pričvršćuje za metalnu ploču posebnim čavličima [5].



Slika 29: Asfaltna ili elastobitumenska prijelaznica [5]

8. DIMENZIONIRANJE I PRORAČUN UPORNJAKA

Proračun upornjaka se provodi prema Eurocodu 7. Postoje 3 projektna pristupa unutar Eurocoda 7 prema kojima se može računati. U Hrvatskoj je usvojena primjena projektnog pristupa 3, u kojem se parcijalni faktori istovremeno primjenjuju na značajke materijala i strukturalna djelovanja. Geotehnička djelovanja i otpornost računaju se bez parcijalnih faktora. U projektnom pristupu 3 parcijalni faktori unose se na ulazu u proračunski model [10].

Tablica 7: Parcijalni faktori za strukturalna (A1) i geotehnička (A2) granična stanja [10]

(1) Parcijalni faktori djelovanja (γ_F) i učinka djelovanja (γ_E)				
Djelovanja		simbol	A1	A2
trajna	nepovoljna	γ_G	1.35	1.0
	povoljna	γ_G	1.0	1.0
promjenjiva	nepovoljna	γ_Q	1.5	1.3
	povoljna	γ_Q	0	0

Tablica 8: Parcijalni faktori svojstva materijala [10]

Svojstvo	simbol	M1	M2
tangens efektivnog kuta trenja	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
nedrenirana i jednoosna čvrstoća	γ_{cu} ili γ_{qu}	1.0	1.4
težinska gustoća	γ_γ	1.0	1.0

Tablica 9: Parcijalni faktori otpora [10]

Otpornost [†]	simbol	R1	R2	R3
<u>Potporne konstrukcije</u> nosivost	$\gamma_{R;v}$	1.0	1.4	1.0
klizanje	$\gamma_{R;h}$	1.0	1.1	1.0
otpor tla	$\gamma_{R;e}$	1.0	1.4	1.0

Upornjaci mostova se proračunavaju kao potporni zidovi, preuzimaju potisak tla materijala iza sebe i opterećenje rasponskog sklopa te ga prenose na temeljno tlo [4]. Proračun upornjaka mosta uključuje kontrolu naprezanja ispod temeljne stope te provjeru upornjaka na prevrtanje i klizanje [4].

Most se nalazi na određenoj lokaciji gdje nisu provedena ispitivanja tla, stoga su sve karakteristike tla pretpostavljene. Za materijal na kojem se temelji upornjak odabran je fliš, dok je za nasip iza zida upornjaka odabran krupni kameni nabačaj zbog dobre vodopropusnosti.

8.1. Analiza opterećenja

1) Vlastita težina upornjaka

$$G_1 = A_1 * d_1 * \gamma = 0,27m^2 * 3,0m * \frac{25kN}{m^3} = 20,25 kN$$

$$G_2 = A_2 * d_2 * \gamma = \left(0,24m^2 * 0,5m * \frac{25kN}{m^3}\right) * 2 = 6,00 kN$$

$$G_3 = A_3 * d_3 * \gamma = \left(3,00m^2 * 0,35m * \frac{25kN}{m^3}\right) * 2 = 75,00 kN$$

$$G_4 = A_4 * d_4 * \gamma = 2,45m^2 * 3,0m * \frac{25kN}{m^3} = 183,75 kN$$

$$G_5 = A_5 * d_5 * \gamma = 1,19m^2 * 4,0m * \frac{25kN}{m^3} = 119,00 kN$$

2) Težina tla na izloženim dijelovima temelja

$$G = [(0,5 m * 4,0 m * 4,4 m - 1,20 m^2 * 0,35 m * 2)] * \gamma = 7,96 m^3 * 21 \frac{kN}{m^3} = 167,16 kN$$

3) Stalno opterećenje na krilu upornjaka

- opterećenje od rubnjaka, vijenca, ograde, hidroizolacije i slojeva na kolniku

$$G_{kolnik} = (0,04 + 0,01)m * 0,2m * \frac{25kN}{m^3} = 0,25 kN/m'$$

$$G_{rubnjak} = 1,50 kN/m'$$

$$G_{vijenac} = 1,00 kN/m'$$

$$G_{ograda} = 0,40 kN/m'$$

$$G_{hidroizolacija} = 0,075 kN/m'$$

$$G_{s,k,u} = \gamma_G * 2 * (G_{kolnik} + G_{rubnjak} + G_{vijenac} + G_{ograda} + G_{hidroizolacija})$$

$$G_{s,k,u} = 1,35 * 2 * (0,25 + 1,5 + 1,0 + 0,4 + 0,075)$$

$$G_{s,k,u} = 8,70 \frac{kN}{m'} * 2,3m = 20,0 kN$$

$\gamma_G = 1,35$ parcijalni koeficijent sigurnosti za nepovoljno djelovanje

4) Opterećenje na upornjak od rasponske konstrukcije

Stalno djelovanje + jednoliko kontinuirano opterećenje od pješaka + vjetar (prateće djelovanje)

$$E_{d1} = (1,35 * G + 1,5 * \Delta G) + 1,5 * q_{fk,z} + 1,5 * 0,3 * q_{w,z(+)}$$

$$= (1,35 * 28,5 + 1,5 * 8,95) + 1,5 * 11,06 + 1,5 * 0,3 * (+)1,41 = 69,12kN/m'$$

$$R = V_{Ed} = \frac{E_{d1} * l}{2} = \frac{69,12 * 16}{2} = 553,00 kN$$

5) Opterećenje od pješaka iza zida upornjaka

$$q_{fd,z} = \gamma_Q * q_{fk} * b = 1,5 * 4,61 \frac{kN}{m^2} * 2,0 m = 13,83 kN/m'$$

6) Opterećenje od asfalta i hidroizolacije iza zida upornjaka

$$g_d = \gamma_G * g_k = 1,35 * (0,04 + 0,01)m * 2,0 \text{ m} * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 3,38 \text{ kN/m'}$$

7) Horizontalno opterećenje od pješaka

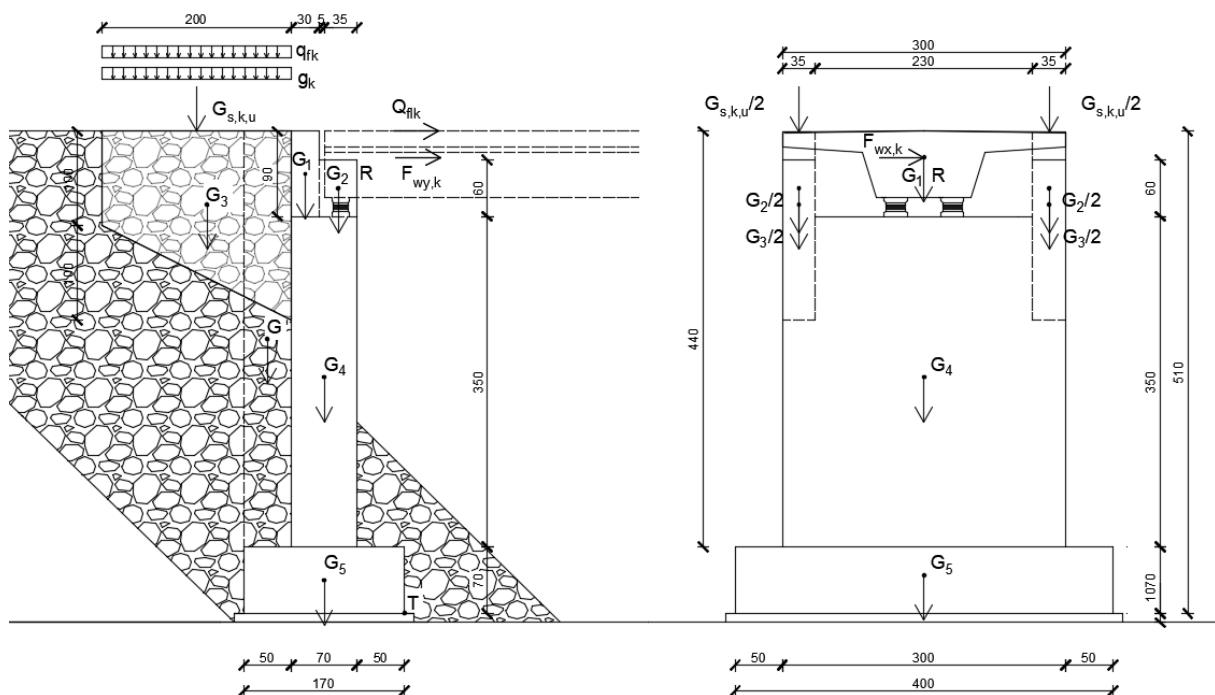
$$Q_{fld} = \gamma_Q * Q_{flk} = 1,5 * 0,47 \text{ kN} = 0,71 \text{ kN}$$

8) Horizontalno opterećenje od vjetra u x smjeru

$$F_{wx,d} = \gamma_Q * \psi_{0,l} * F_{wx} = 1,5 * 0,3 * 21,90 = 9,86 \text{ kN}$$

9) Horizontalno opterećenje od vjetra u y smjeru

$$F_{wy,d} = \gamma_Q * \psi_{0,l} * F_{wy} = 1,5 * 0,3 * 5,84 = 2,47 \text{ kN}$$



Slika 30: Prikaz geometrijskih karakteristika i opterećenja

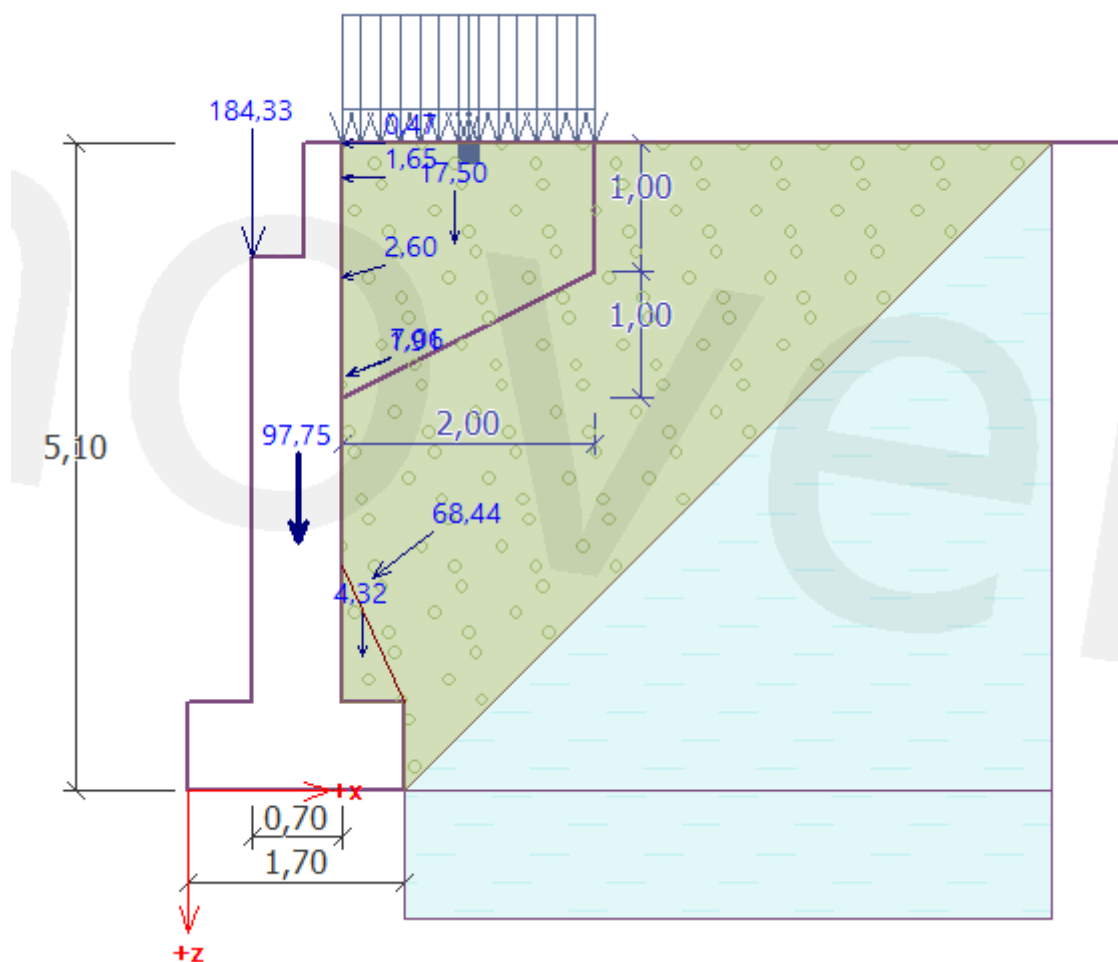
Proračun i dimenzioniranje upornjaka računa se u geotehničkom softveru GEO5. U softver se unosi geometrija upornjaka, karakteristike materijala i opterećenja.

Karakteristike materijala iza upornjaka:

kut trenja: $\varphi = 40^\circ$

kohezija: $c = 0 \text{ kPa}$

zapreminska težina: $\gamma = 21,0 \text{ kN/m}^3$



Slika 31: Prikaz geometrijskih karakteristika i opterećenja u softveru GEO5

8.2. Provjera stabilnosti na prevrtanje i klizanje

— Kontrola —

MOMENT PREVRTANJA : **ZADOVOLJAVAJUĆE** (52,4%)
KLIZ : **ZADOVOLJAVAJUĆE** (42,2%)

Slika 32: Kontrola stabilnosti na prevrtanje i klizanje

8.3. Dimenzioniranje upornjaka

Beton kvalitete C30/37

Čelik kvalitete B500B

Zaštitni sloj betona $d_1 = 6,0 \text{ cm}$

8.3.1. Dimenzioniranje krila upornjaka

— Dimenzija —

Bok zida Predopterećenje: [kPa]

Armiranobetonski

Pokrivač : [mm] Br. šipke: [pcs]
Poprečni-pres. širina : [m] Promj.šipke: [mm]

Potrebna površina armature : 425,3 mm²
Unesena površina armature : 603,2 mm²

— Dimenzioniranje —

DELITI: **ZADOVOLJAVAJUĆE** (4,5%)
SAVIJANJE: **ZADOVOLJAVAJUĆE** (6,6%)
NAČELA OBLIKOVANJA : **ZADOVOLJAVAJUĆE** (70,5%)

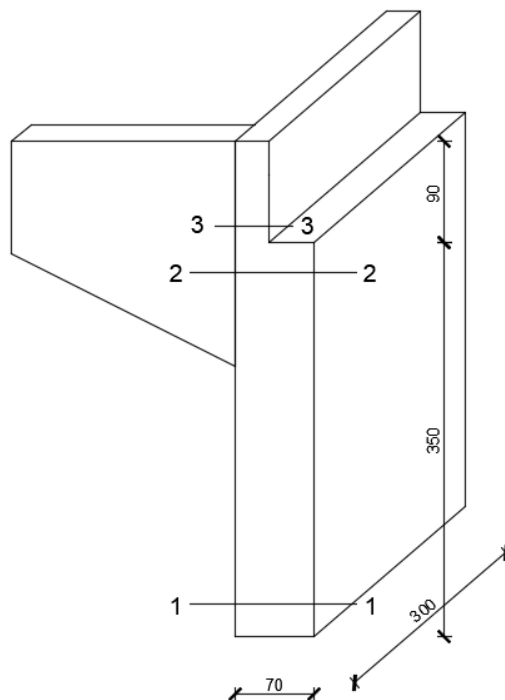
Slika 33: Potrebna količina armature za krilo upornjaka

Odabrana je armatura $3\varnothing 16$ ($60,32 \text{ cm}^2$)

Postavlja se i dodatna minimalna armatura na krilo upornjaka $\varnothing 10/20\text{cm}$ iz konstrukcijskih razloga.

8.3.2. Dimenzioniranje zida upornjaka

Zid upornjaka proračunava se za 3 karakteristična presjeka. Jedan na donjoj strani zida, jedan na gornjoj strani zida i na mjestu zidića upornjaka.



Slika 34: Skica modela zida upornjaka

Dimenzioniranje zida upornjaka u presjeku 1-1

— Dimenzija —

konstrukcijski spoj ▾ Dubina : 3,50 [m]

Armiranobetonski

Pokrivač : 60,0 [mm] Br. šipke: 6,00 [pcs]

Poprečni-pres. širina : 1,00 [m] Promj.šipke: 25,0 [mm]

— Dimenzioniranje —

DELITI: ZADOVOLJAVAJUĆE (10,3%)

SAVIJATI+PRITISAK: ZADOVOLJAVAJUĆE (1,2%)

NAČELA OBLIKOVANJA : ZADOVOLJAVAJUĆE (87,0%)

Slika 35: : Količina armature za presjek 1-1

Odabrana je armatura $\varnothing 25/17cm$

Dimenzioniranje zida upornjaka u presjeku 2-2

— Dimenzija —

konstrukcijski spoj ▾ Dubina : 0,10 [m]

Armiranobetonski

Pokrivač : 60,0 [mm] Br. šipke: 6,00 [pcs]

Poprečni-pres. širina : 1,00 [m] Promj.šipke: 20,0 [mm]

— Dimenzioniranje —

DELITI: ZADOVOLJAVAJUĆE (3,4%)

SAVIJATI+PRITISAK: ZADOVOLJAVAJUĆE (3,3%)

NAČELA OBLIKOVANJA : ZADOVOLJAVAJUĆE (56,0%)

Slika 36: Količina armature za presjek 2-2

Odabrana je armatura $\varnothing 20/17cm$

Dimenzioniranje zidića upornjaka u presjeku 3-3

— Dimenzija —

Zatvoren zid ▾ Dubina : 0,10 [m]

Armiranobetonski

Pokrivač : 60,0 [mm] Br. šipke: 3,00 [pcs]

Poprečni-pres. širina : 1,00 [m] Promj.šipke: 16,0 [mm]

— Dimenzioniranje —

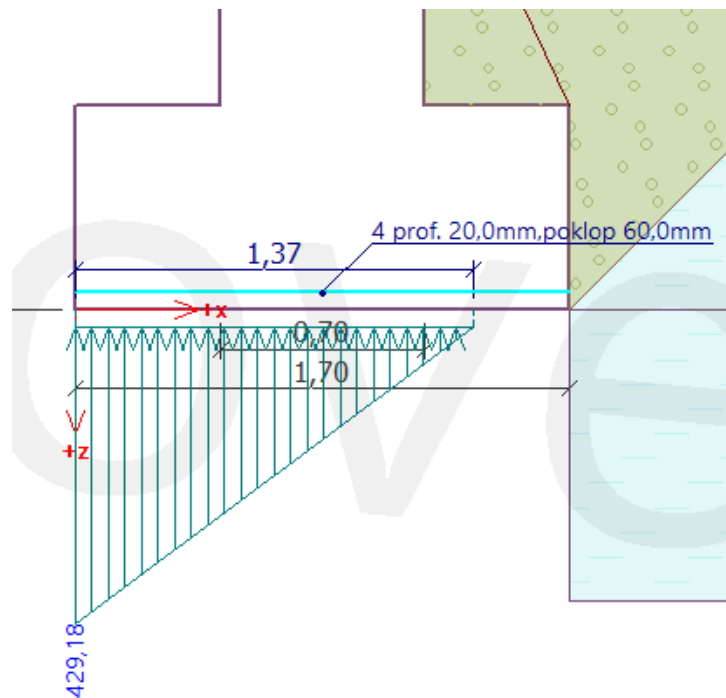
DELITI:	ZADOVOLJAVAJUĆE	(6,9%)
SAVIJATI+PRITISAK:	ZADOVOLJAVAJUĆE	(4,2%)
NAČELA OBLIKOVANJA :	ZADOVOLJAVAJUĆE	(75,0%)

Slika 37: Količina armature za presjek 3-3

Odabrana je armatura $\varnothing 16/32cm$

Postavlja se i dodatna minimalna armatura $\varnothing 10/20cm$ iz konstrukcijskih razloga.

8.3.3. Dimenzioniranje temelja upornjaka



Slika 38: Naprezanje na tlo ispod temelja

— Dimenzija —

Skok zida Dubina : [m]

Armiranobetonski

Pokrivač : [mm] Br. šipke: [pcs]

Poprečni-pres. širina : [m] Promj.šipke: [mm]

Potrebna površina armature : 950,0 mm²

Unesena površina armature : 1256,6 mm²

— Dimenzioniranje —

DELITI: ZADOVOLJAVAJUĆE (74,3%)

SAVIJANJE: ZADOVOLJAVAJUĆE (14,0%)

NAČELA OBLIKOVANJA : ZADOVOLJAVAJUĆE (75,6%)

Slika 39: Količina armature za temelj

Odabrana je armatura $\varnothing 20/25cm$

Postavlja se i dodatna minimalna armatura $\varnothing 10/20cm$ iz konstrukcijskih razloga.

9. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu dimenzioniran je armiranobetonski pješački most raspona 16 m. Dimenzionirana su 4 slučaja poprečnog presjeka mosta od kojih jedan nije zadovoljavao zbog prekoračenja maksimalnog promjera šipki uzdužne armature odnosno zbog prevelikog momenta savijanja u nosaču. Od preostala tri slučaja odabran je slučaj 2 zbog racionalnog utroška materijala i najlakše izvedbe.

Nakon dimenzioniranja glavnog nosača proveden je proračun upornjaka sa pretpostavljenim dimenzijama koji je izrađen u računalnom programu GEO5. Na temelju geometrijskih karakteristika upornjaka i vanjskog opterećenja zadovoljene su provjere stabilnosti na prevrtanje i klizanje te je dobivena količina uzdužne armature za upornjak.

Za definiran raspon mosta i zadano opterećenje potrebno je oblikovati most na način da se postigne što racionalnije rješenje s obzirom na količinu materijala i način izvedbe.

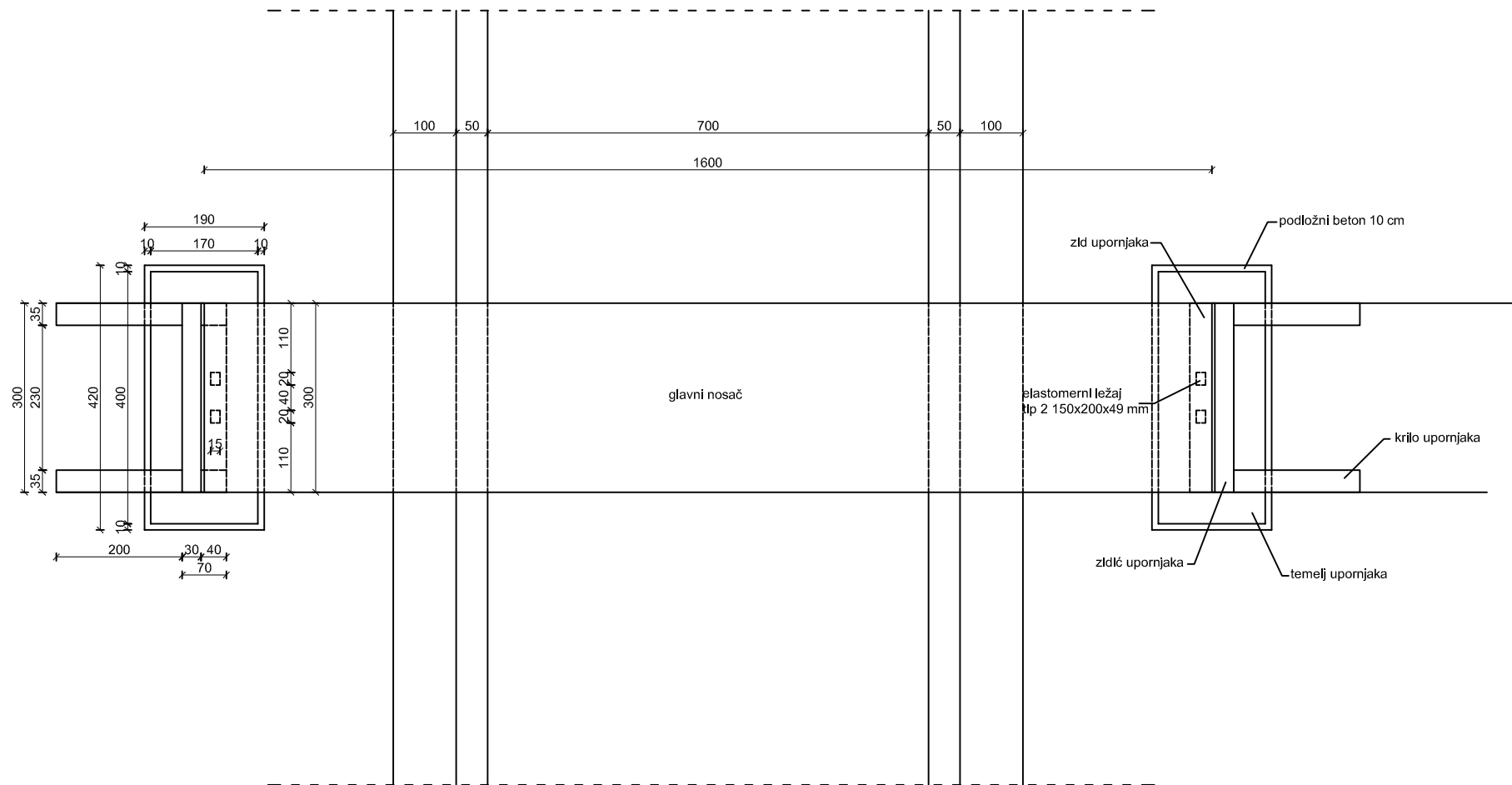
10. LITERATURA

- [1] HRN EN 1991: 2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije
- [2] HRN EN 1990: 2011 Eurokod : Osnove projektiranja konstrukcija
- [3] HRN EN 1992: 2013 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija
- [4] Radić, J. : Masivni mostovi, Zagreb 2007.
- [5] Radić, J. , Mandić, A. , Puž, G. : Konstruiranje mostova, Zagreb 2005.
- [6] Marić, Z. : Mostovi 1
- [7] Štimac Grandić, I. : Materijali sa predavanja, kolegij: Masivni mostovi
- [8] DHMZ, <https://meteo.hr/index.php>, pristup 11.10.2020.
- [9] <https://polirol.com>, pristup 8.1.2021.
- [10] Szavits-Nossan, A. , Ivšić, T. : Novi Eurokod 7: geotehničko projektiranje, Zagreb 2006.

11. NACRTI

Situacija	M 1:100
Uzdužni presjek mosta	M 1:100
Poprečni presjek glavnog nosača	M 1:50
Nacrt armature glavnog nosača	M 1:25
Poprečni presjek upornjaka	M 1:50
Nacrt armature upornjaka	M 1:50

SITUACIJA
M 1:100



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI
Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

Diplomski rad:
Projekt jednorasponskog
grednog pješačkog mosta

Sadržaj :
Situacija

Student :
Elvis Sinčić

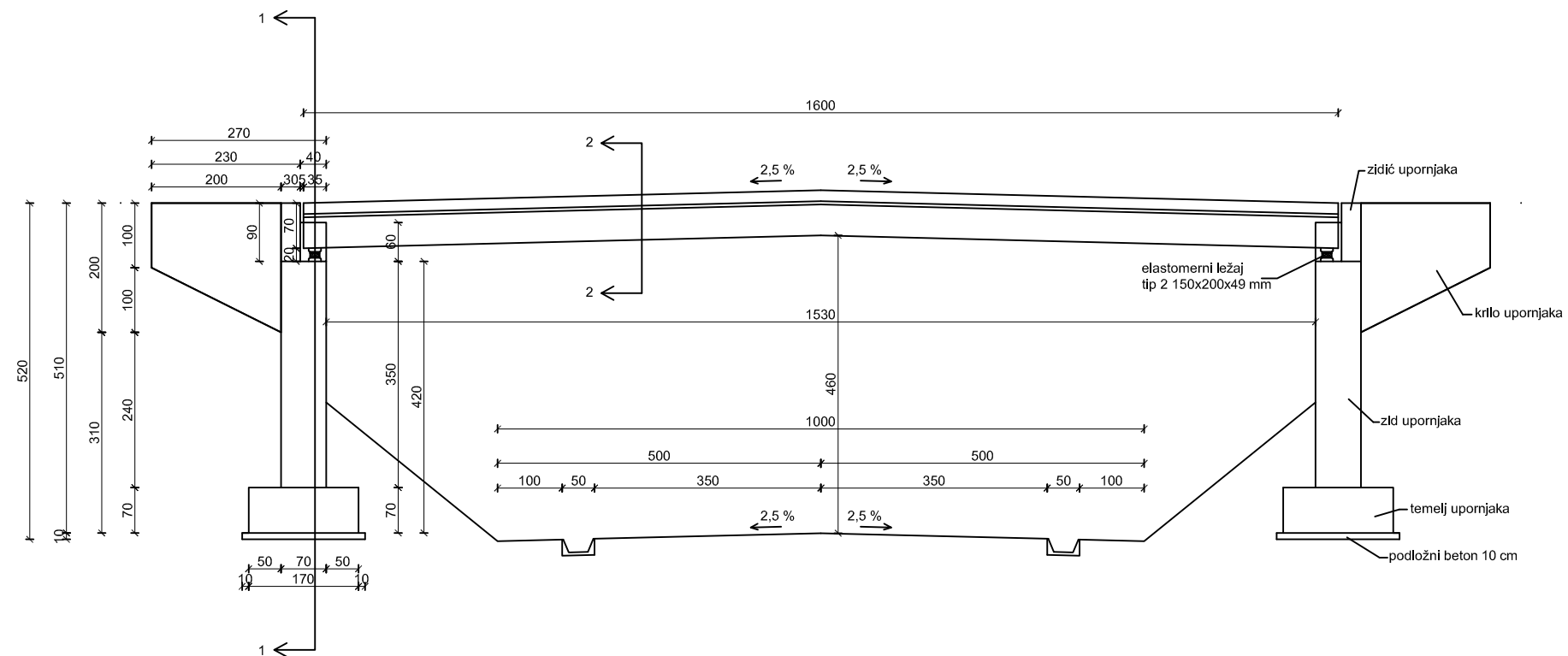
Kolegij :
Masivni mostovi

Mentor: Izv.prof.dr.sc.
Ivana Štimac Grandić dipl.ing.građ.

Datum :	Mjerilo :	List :
23.02.2021.	1:100	1

UZDUŽNI PRESJEK MOSTA

M 1:100

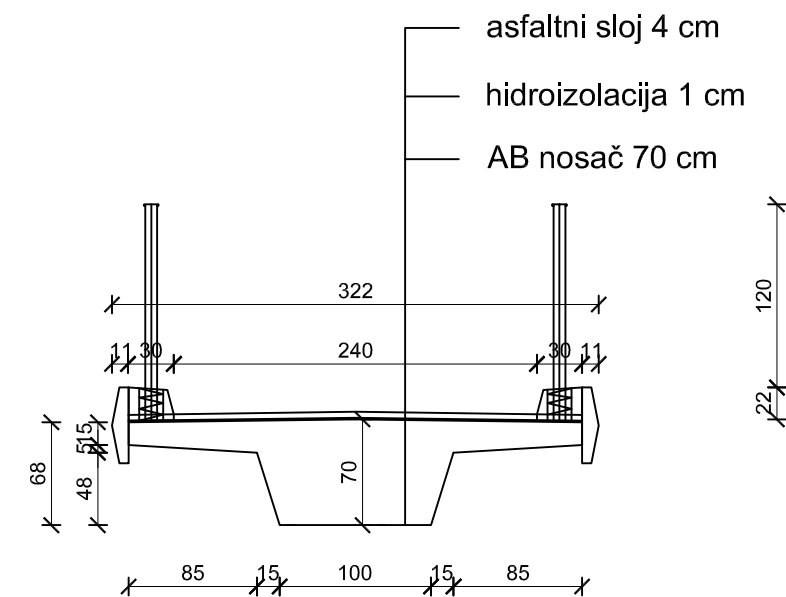
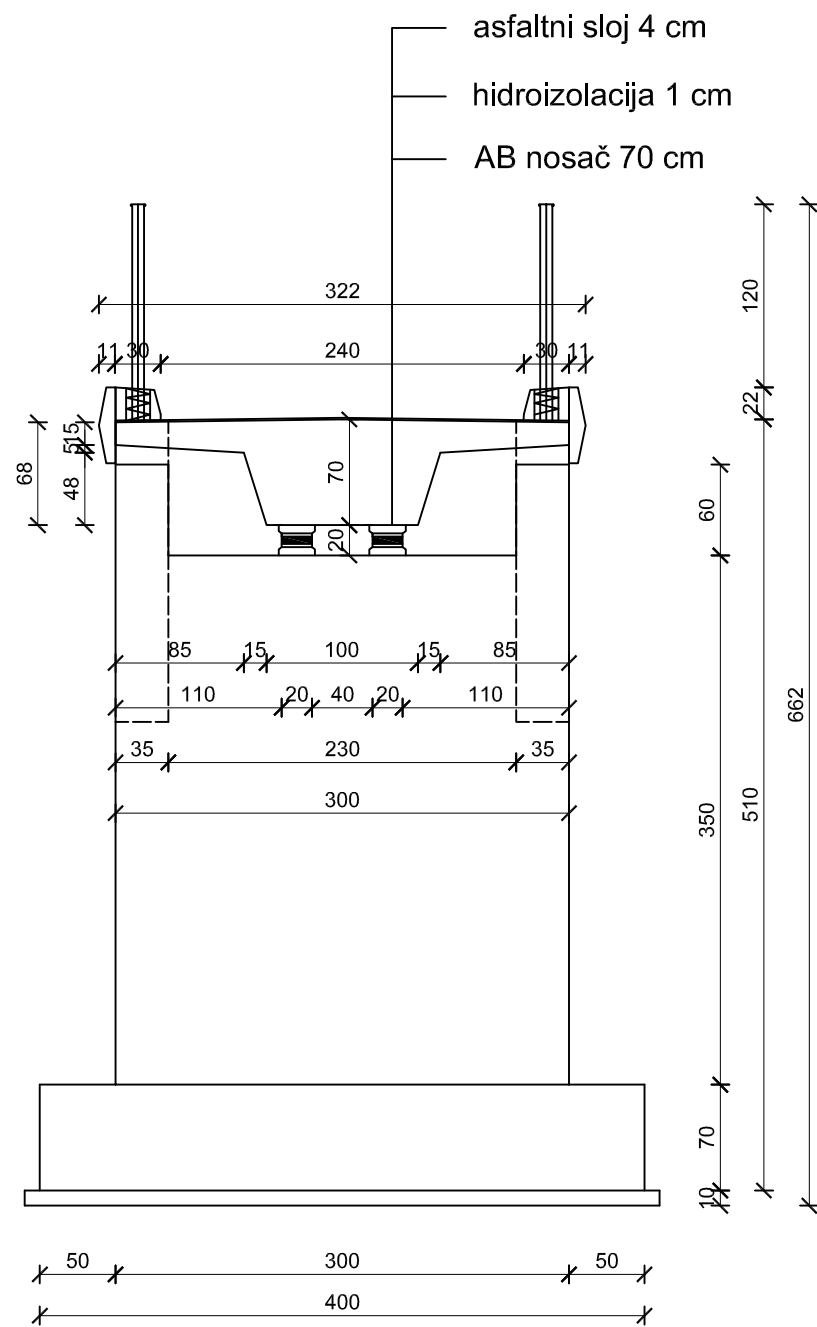


GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI
Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

Diplomski rad: Projekt jednorasponskog grednog pješačkog mosta	Sadržaj : Uzdužni presjek mosta		
Student : Elvis Sinčić	Kolegij : Masivni mostovi		
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Ivana Štimac Grandić dipl.ing.građ.	Datum : 23.02.2021.	Mjerilo : 1:100	List : 2

POPREČNI PRESJEK GLAVNOG NOSAČA

1:50

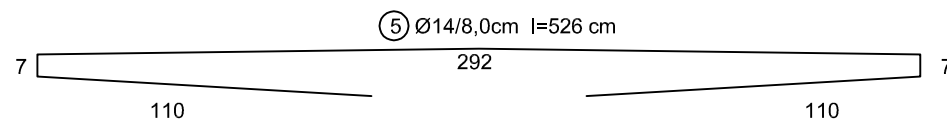
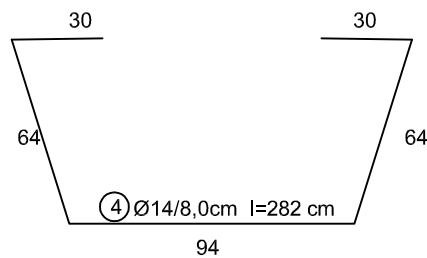
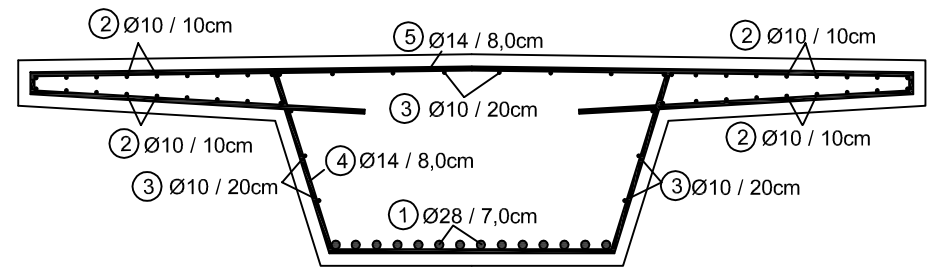
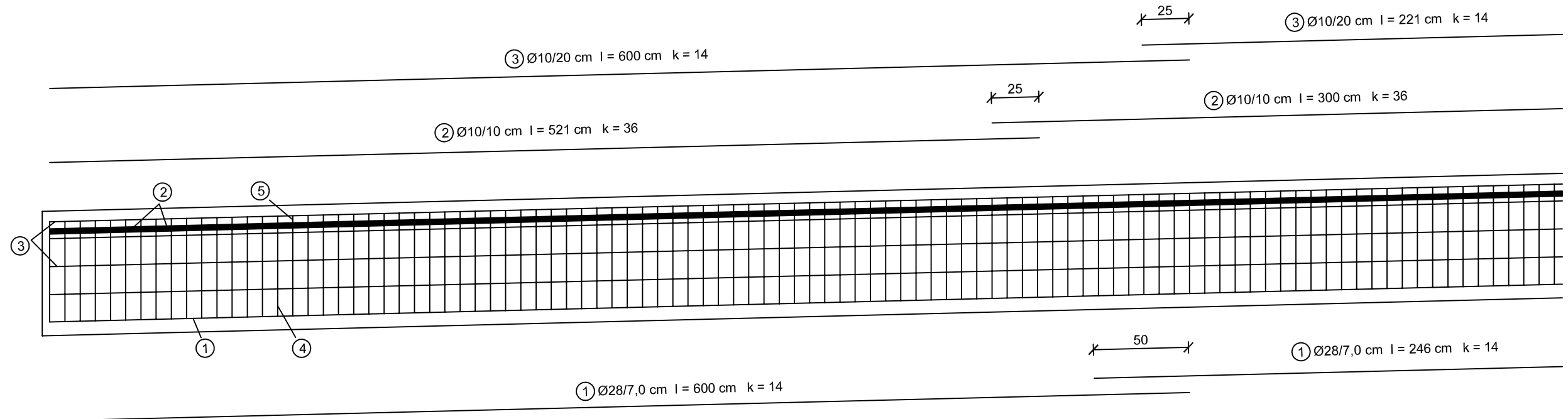


GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI
Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

Diplomski rad: Projekt jednorasponskog grednog pješačkog mosta	Sadržaj : Poprečni presjek glavnog nosača		
Student : Elvis Sinčić	Kolegij : Masivni mostovi		
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Ivana Štimac Grandić dipl.ing.grad.	Datum : 23.02.2021.	Mjerilo : 1:50	List : 3

NACRT ARMATURE GLAVNOG NOSAČA

1:25



ISKAZ ARMATURE						
	POZICIJA	PROFIL	DULJINA	BR.KOMADA	kg/m	kg
UZDUŽNA ARMATURA	POZICIJA 1	Ø28	600	28	4,841	813,29
			246	28	4,841	333,45
	POZICIJA 2	Ø10	521	72	0,616	231,07
			300	72	0,616	133,06
			600	14	0,616	51,74
POZICIJA 3	Ø10	221	14	0,616	19,06	
SPONE	POZICIJA 4	Ø14	282	200	1,208	681,31
	POZICIJA 5	Ø14	526	200	1,208	1270,82
UKUPNO						3533,80

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI
Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

Diplomski rad:
Projekt jednorasponskog grednog
pješačkog mosta

Sadržaj :
Nacrt armature glavnog nosača

Student :
Elvis Sinčić

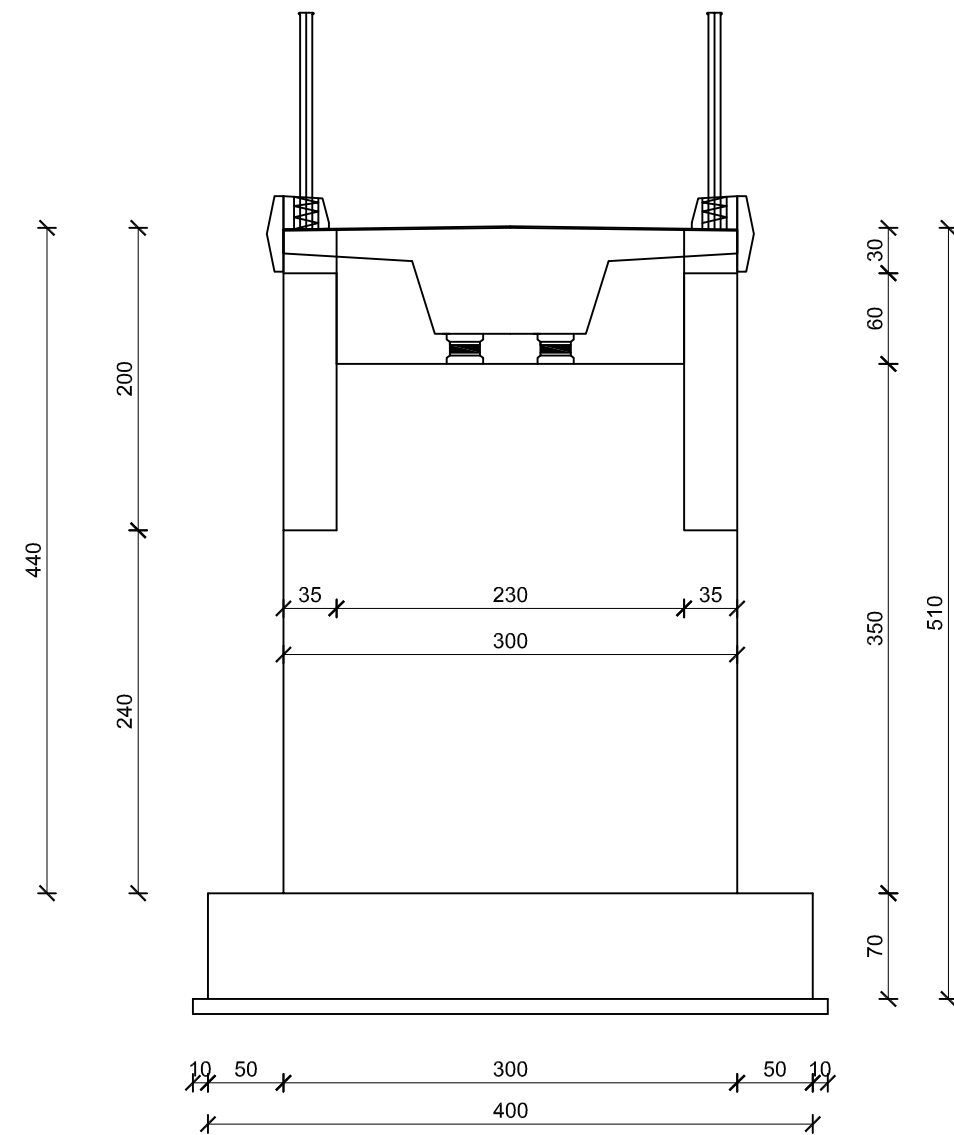
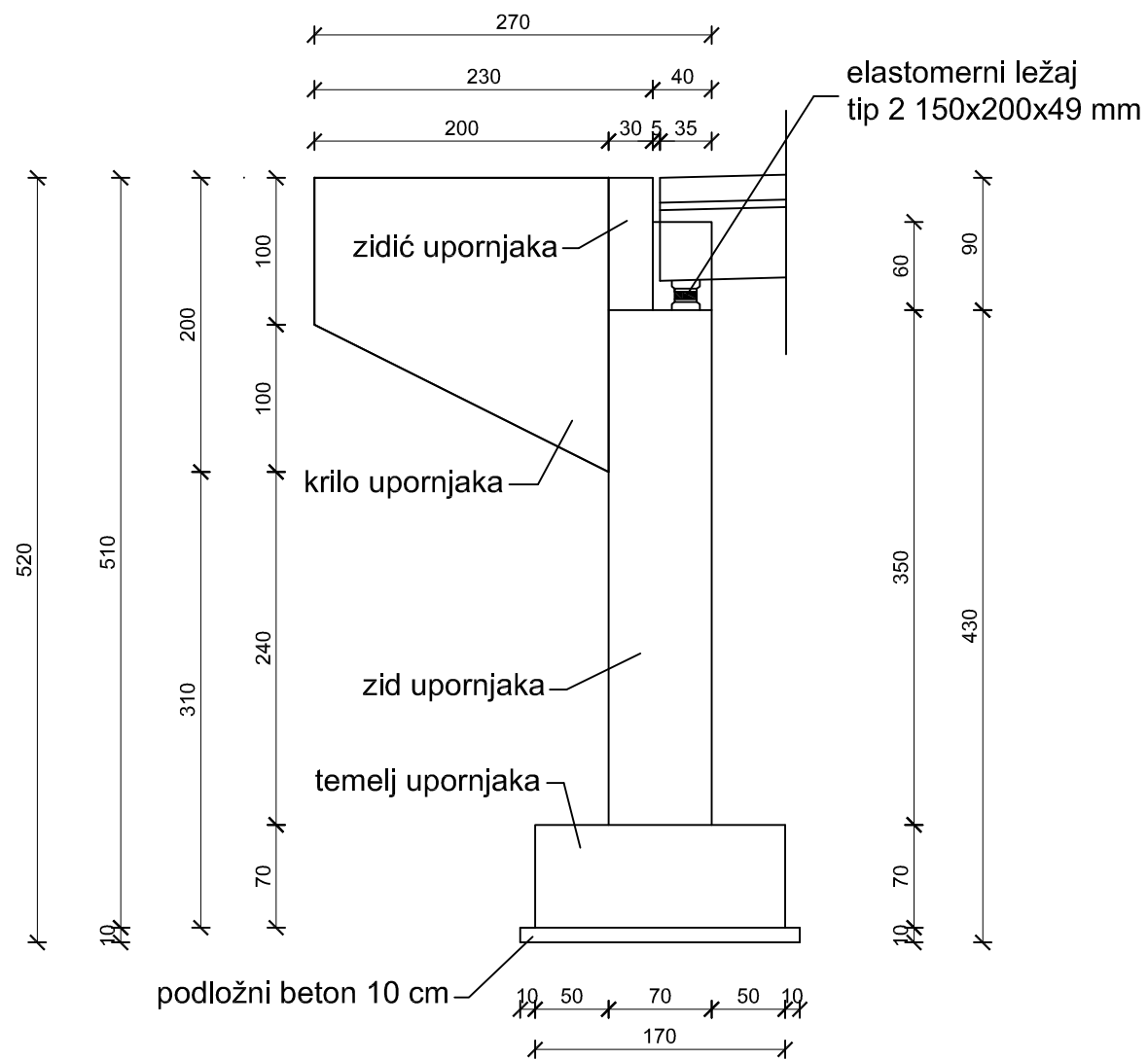
Kolegij :
Masivni mostovi

Mentor: Izv.prof.dr.sc.
Ivana Štimac Grandić dipl.ing.građ.

Datum : 23.02.2021.	Mjerilo : 1:25	List : 4
------------------------	-------------------	-------------

POPREČNI PRESJEK UPORNJAKA

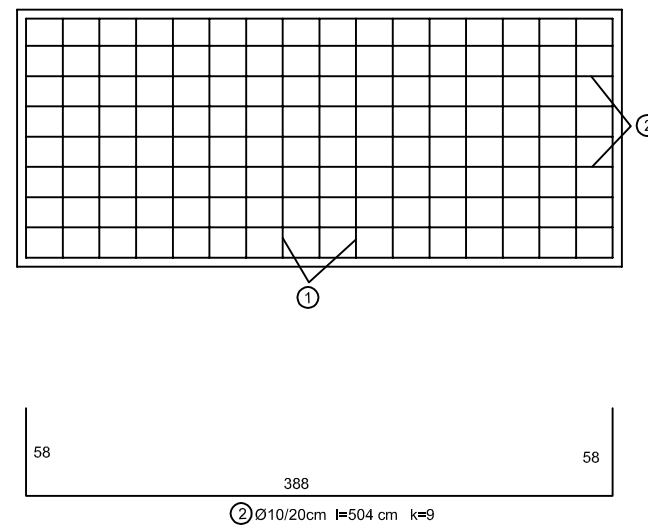
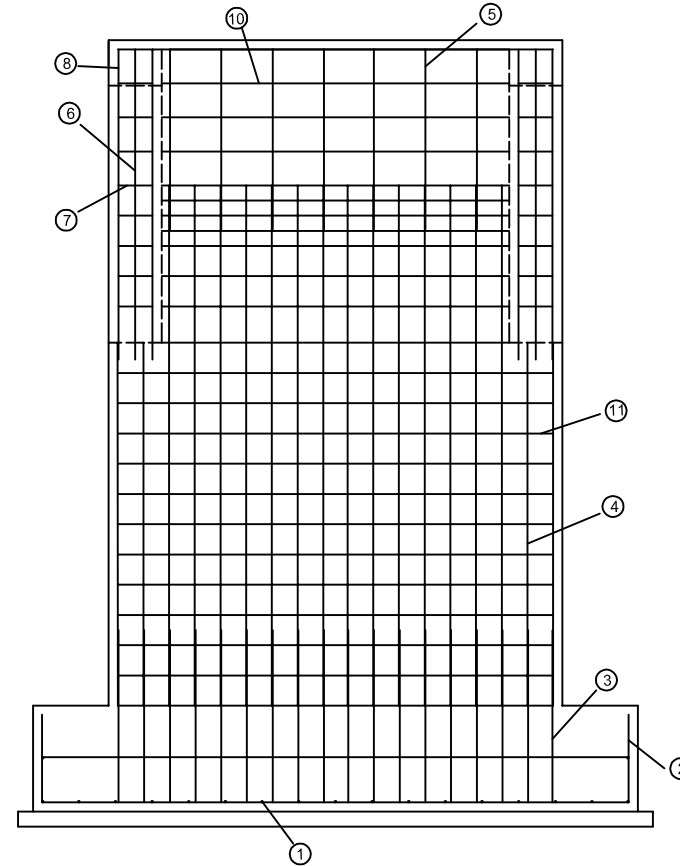
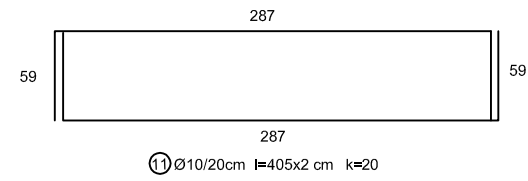
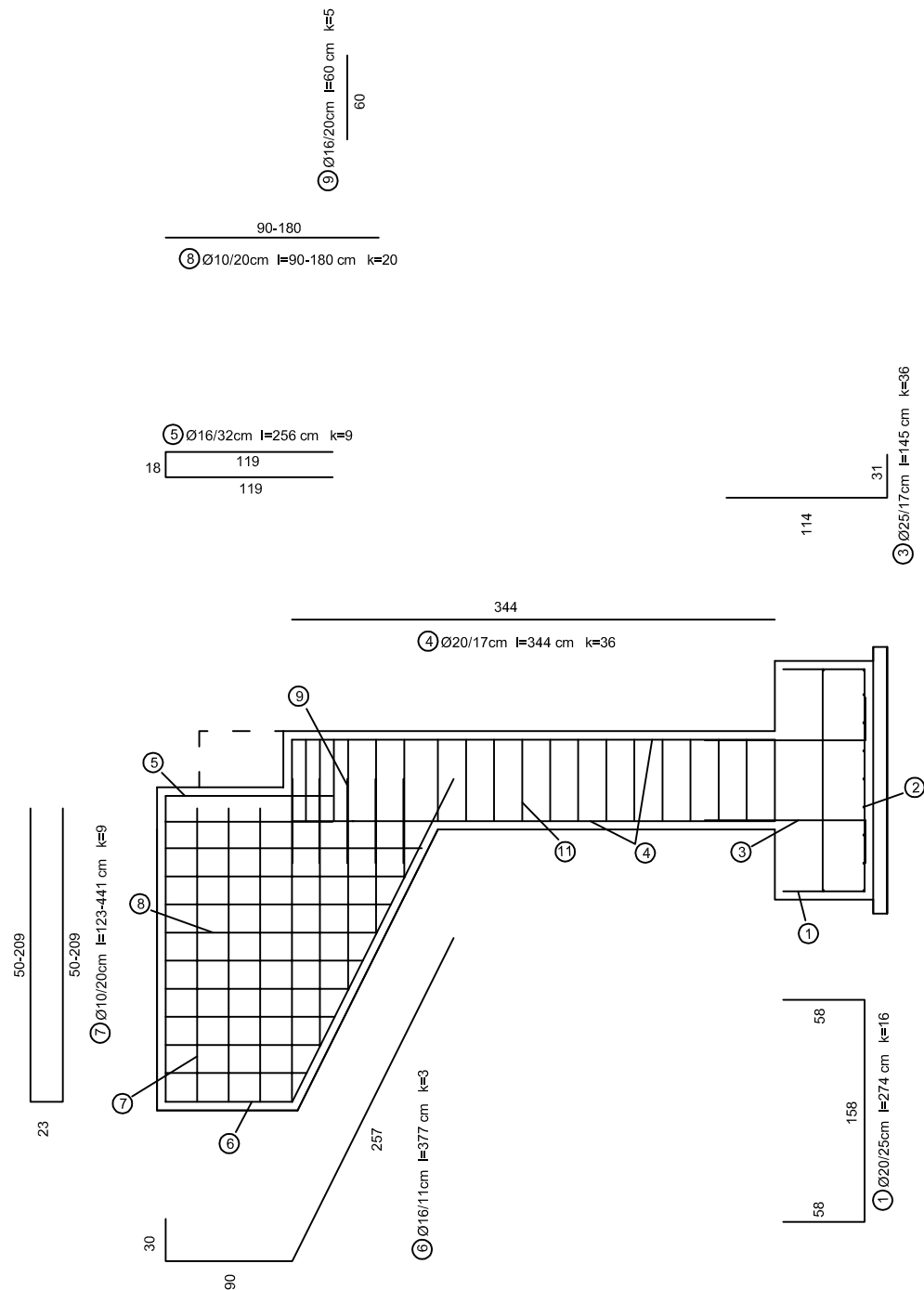
1:50



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka			
Diplomski rad: Projekt jednorasponskog grednog pješačkog mosta		Sadržaj : Poprečni presjek upornjaka	
Student : Elvis Sinčić		Kolegij : Masivni mostovi	
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Ivana Štimac Grandić dipl.ing.građ.		Datum : 23.02.2021.	Mjerilo : 1:50
		List : 5	

NACRT ARMATURE UPORNJAKA

1:50



ISKAZ ARMATURE					
POZICIJA	PROFIL	DULJINA	BR. KOMADA	kg/m	kg
POZICIJA 1	Ø20	274	16	2,465	108,07
POZICIJA 2	Ø10	504	9	0,616	27,94
POZICIJA 3	Ø25	145	36	3,851	201,02
POZICIJA 4	Ø20	344	36	2,465	305,27
POZICIJA 5	Ø16	256	9	1,578	36,36
POZICIJA 6	Ø16	377	3	1,578	17,85
POZICIJA 7	Ø10	123-441	9	0,616	15,63
POZICIJA 8	Ø10	90-180	20	0,616	16,63
POZICIJA 9	Ø16	60	5	1,578	4,73
POZICIJA 10	Ø10	650	4	0,616	16,02
POZICIJA 11	Ø10	810	20	0,616	99,79
UKUPNO				849,30	
za jedan upornjak					

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI
Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

Diplomski rad: Projekt jednorasponskog grednog pješačkog mosta	Sadržaj : Nacrt armature upornjaka		
Student : Elvis Sinčić	Kolegij : Masivni mostovi		
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Ivana Štimac Grandić dipl.ing.grad.	Datum : 23.02.2021.	Mjerilo : 1:50	List : 6