

Dimenzioniranje na poprečnu silu

Nikpalj, Bepo

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:157:164324>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



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 U RIJECI
Preddiplomski stručni studij Građevinarstva
Osnove betonskih i zidanih konstrukcija

Bepo Nikpalj

JMBAG: 0114028859

Dimenzioniranje na poprečnu silu

Design for shear

Završni rad

Rijeka, lipanj 2019.

ZADATK

IZJAVA

SAŽETAK RADA

Tema završnog rada je dimenzioniranje na poprečnu silu. Cilj završnog rada je kroz teorijski i numerički dio objasniti postupak dimenzioniranja armirano betonske grede na djelovanje poprečne sile. Uz dimenzioniranje na poprečne sile provedeno je i dimenzioniranje na moment savijanja. U završnom radu prikazan je statički proračun armirano betonske ploče i grede prema graničnom stanju nosivosti iz Eurokoda 2, također je prikazan proračun potrebne poprečne i uzdužne armature.

Ključne riječi: dimenzioniranje, poprečne sile, greda, beton, armatura, Eurokod 2

ABSTRACT

The theme of the final work is design for shear force. The aim of the final work is through the theoretical and numerical part explain the procedure of designing reinforced concrete beam on acting shear force. With design for shear force also was performed design for bending moment. In the final work is shown static calculation of reinforced concrete slab and beam according to the limit state design from Eurocode 2., also is shown a calculation of the required transverse and longitudinal reinforcement.

Key words: design, shear force, beam, concrete, reinforcement, Eurocod 2

SADRŽAJ

1. UVOD	8
2. DIMENZIONIRANJE NA POPREČNU SILU	9
2.1. Beton	9
2.2. Armatura.....	10
2.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu.....	11
2.3.1. <i>Općenito o dimenzioniranju na poprečnu silu</i>	11
2.3.2. <i>Uvjeti nosivosti na poprečne sile</i>	12
2.3.3. <i>Elementi kod kojih je potrebna poprečna armatura</i>	14
2.3.4. <i>Postavljanje poprečne armature</i>	16
3. NUMERIČKI PRIMJER.....	18
3.1. Statički proračun	18
3.2. Dimenzioniranje grede	24
3.3. Dimenzioniranje grede na savijanje	26
3.4. Dimenzioniranje na poprečnu silu.....	30
3.5. Grafovi i tablice.....	54
3.6. Postavljanje armature	56
4. NACRTI.....	60
5. ZAKLJUČAK	61
6. LITERATURA.....	62

1. UVOD

Kroz završni rad obrađuje se statički sustav armirano betonske ploče i grede za zadani objekt. Naglasak je na dimenzioniranju grede na poprečne sile. Uz dimenzioniranje na poprečne sile obrađuje se i dimenzioniranje na savijanje. Proračunava se i odabire uzdužna i poprečna armatura te razmak na kojem se armatura postavlja. Prilikom proračunavanja poprečne armature grede provodi se proračun za pet različitih kuteva nagiba tlačnih štapova. Kutevi nagiba tlačnih štapova za koje se provodi proračun su: 22°, 30°, 35°, 40°, 45°. Cilj proračunavanja je dokazivanje rasta količine potrebne poprečne armature s rastom veličine kuta nagiba tlačnih štapova .

Statički sustav armirano betonske ploče je kontinuirani nosač na dva polja s tri oslonca. Raspon polja je 4.7 metara. Statički sustav armirano betonske grede je prosta greda na dva oslonca, a raspon polja iznosi 7 metara. Kvaliteta korištenog betona je C25/30, a armature B 500B. Ploča je debljine 15 centimetara i nosiva je u jednom smjeru te se proračunava kao greda širine 1 metar. Greda je visine 55 centimetara, a širine 30 centimetara.

Pri izradi rada korištene su norme prema HRN EN 1992-1-1:2013, Eurokod 2 te formule i postupci dimenzioniranja iz knjige [2] i predavanja [1].

2. DIMENZIONIRANJE NA POPREČNU SILU

2.1. Beton

Mješanjem cementa, vode, agregata i dodataka procesom hidratacije, cement stvara ljepilo koje drži agregate zajedno, te tako stvara umjetni kamen odnosno beton. Beton je najčešće korišteni kompozitni građevinski materijal. Koristi se za izgradnju temelja, zidova, objekata, puteva, nadvožnjaka te kao žbuka za izradu zidova od cigle. S obzirom na zahtjeve gradnje beton se dijeli na više vrsta. Vrste betona su pumpani beton, mlazni beton, lagani beton, beton otporan na smrzavanje, vodonepropusni beton, sporovezujući beton, armirani beton, beton za kose krovove.

„Osim moguće podjele betona prema vrsti primjenjenog veziva te prema vrsti agregata, beton možemo podijeliti i prema zapreminskoj masi i to na: lake betone (zapreminska masa do 1900 kg/m³), obične (1900 do 2500 kg/m³) i teške (preko 2500 kg/m³). [5]“

Beton se proizvodi u betonarama te na gradilišta prenosi posebnim mješalicama. Kada su potrebe za količinom betona manje može se proizvoditi i na gradilištu. Vrijeme za obradu betona je ograničeno pa stoga obrada betona ovisi o vrsti cementa, količini i vrsti dodataka, temperaturi i vremenu hidratacije svježeg betona.

Čvrsti beton ima malu vlačnu, a veliku tlačnu čvrstoću. Vlačna čvrstoća je oko deset puta manja od tlačne čvrstoće. Zbog male vlačne čvrstoće u područje vlačnog naprezanja postavlja se armatura. Dok armatura preuzima vlačna naprezanja beton preuzima tlačna i određena posmična naprezanja. Razredi betona prema tlačnoj čvrstoći su : C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C50/60. Gustoća običnog nearmiranog betona je 2400 kg/m³, dok za armirani i prednapeti beton iznosi 2500 kg/m³.

Prednosti betona su negorivost, niski troškovi, velika tlačna čvrstoća, dostupnost sastojaka, mogućnost izrade u svim klimatskim zonama.

Nedostatci betona su velika težina, otežani radovi pri visokim i niskim temperaturama, velika provodljivost topline, mala vlačna čvrstoća, mogućnost korozije armature, djelomična poroznost, otežana naknadna adaptacija i provjeravanje stanja armature, djelomična poroznost.

2.2. Armatura

Armatura je građevni materijal izrađen od čelika za armiranje. Služi za ojačavanje kompozitnih materijala kao što je beton. Za armiranje betona koriste se čelične šipke, žice i armaturne mreže. Armatura se proizvodi u centralnoj armiračnici ili gradilišnoj armiračnici. Svojstva armature ostaju nepromjenjena između - 40C° do 100C°.

„Ponašanje čelika za armiranje određuju sljedeća svojstva :

- granica popuštanja
- najveća stvarna granica popuštanja
- vlačna čvrstoća
- duktilnost
- savitljivost
- značajke prijanjanja
- veličine presjeka i dopuštena odstupanja
- čvrstoća na zamor
- zavarljivost
- posmična čvrstoća i čvrstoća zavara zavarenih mreža i rešetkastih nosača.“ [2]

Prema normama čelik za armiranje svrstava se u razrede s obzirom na granicu popuštanja i duktilnost samog čelika. Oznake čelika za armiranje su: B500A, B500B i B450C gdje je: B oznaka da se radi o betonskom čeliku, 500 i 450 su vrijednosti karakteristične granice popuštanja, dok su A, B i C su razredi duktilnosti.

„Prema duktilnosti armaturu dijelimo na :

- obična duktilnost B500A: $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$, $\varepsilon_{uk} \geq 25 \text{ ‰}$, $k = (f_t/f_y)_k \geq 1,05$
- velika duktilnost B500B: $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$, $\varepsilon_{uk} \geq 50 \text{ ‰}$, $k = (f_t/f_y)_k \geq 1,08$
- vrlo velika duktilnost B450C: $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$, $\varepsilon_{uk} \geq 75 \text{ ‰}$, $1,15 \leq (k = (f_t/f_y)_k) < 1,35$ [3]“.

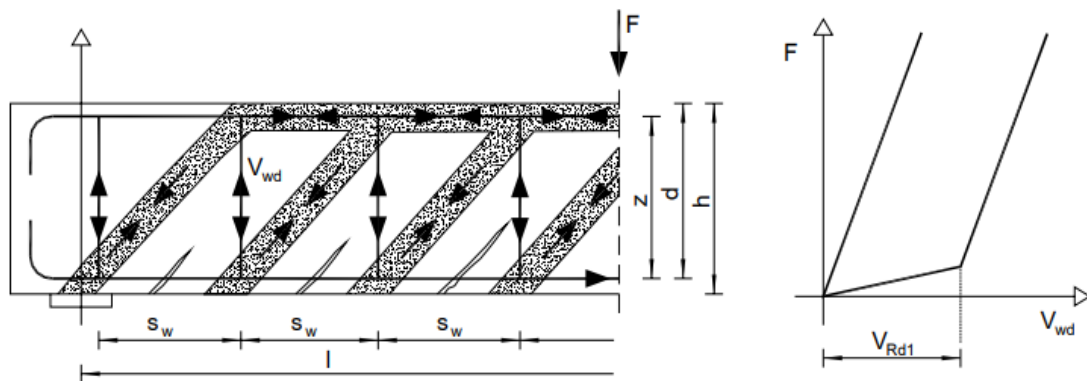
2.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu

2.3.1. Općenito o dimenzioniranju na poprečnu silu

Prilikom dimenzioniranja armirano betonskih elemenata potrebno je poznavanje i razumjevanje određenih pravila, normi i postupaka.

Prije uvođenja dimenzioniranja armirano betonskih konstrukcija prema graničnim stanjima. Dimenzioniranje na poprečne sile vršilo se prema metodi Mörsch-Ritterove analogije rešetke u kojoj je nagib tlačnih štapova pod kutem od 45° . Temelji se na rešetkastom nosaču u kojem su štapovi međusobno zglobno spojeni i pojasevi međusobno paralelni za nosač konstantne visine. Prema Mörsch-Ritterovoj analogiji beton preuzima tlačna naprezanja, a vlačna naprezanja preuzima uzdužna armatura dok ostatak preuzimaju sponne ili kosa armatura.

Kasnije je uvedena poboljšana metoda Mörsch-Ritterove analogije rešetke jer je dokazano da beton i uzdužna armatura pridonose nosivosti na elementa na poprečne sile. Poboljšana metoda Mörsch-Ritterove analogije rešetke korištena je kod proračuna prema graničnim stanjima nosivosti i prihvaćena u prednormi ENV 1992-1-1.



Slika 1. Mörsch-Ritterova analogija rešetke [2]

Prema normi HRN EN 1992-1-1 dimenzioniranje elemenata na poprečne sile proračunava se prema rešetkastom modelu sa slobodnim odabirom nagiba tlačnih štapova. Granične vrijednosti za kut θ su $1 \leq \cot\theta \leq 2.5$. Dakle nagib tlačnih štapova se odabire u rasponu od 21.8° do 45° . Zanimaruje se doprinos betona i uzdužne armature u proračunu. „Metoda se bazira na teoriji plastičnosti i to na njezinom statičkom teoremu. Pretpostavlja se unutarnja duktilnost elemenata (popuštanjem armature) radi preraspodjele sila na tlačne i vlačne štapove. [2]“

2.3.2. Uvjeti nosivosti na poprečne sile

Uvjet nosivosti na poprečne sile: $V_{Ed} \leq V_{Rd}$

u kojem je :

- V_{Ed} – proračunska poprečna sila
- V_{Rd} – proračunska nosivost na djelovanje poprečne sile

Proračunavanje armature nije potrebno na mjestima gdje je zadovoljen uvjet: $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$

- $V_{Rd,c}$ – proračunska poprečna nosivost za elemente bez poprečne armature

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot d$$

uz minimalnu vrijednost : $V_{Rd,c} = [v_{min} \cdot + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b \cdot d$

u kojem je:

- $V_{Rd,c}$ – proračunska poprečna nosivost za elemente bez poprečne armature
- $C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c$ - prema HRN EN 1992-1-1
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$
- $\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \leq 0.02$ – koeficijent armiranja uzdužnom armaturom
- f_{ck} – karakteristična čvrstoća betona
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd}$ - tlačno naprezanje u betonu

- b – najmanja širina presjeka u vlačnoj zoni
- d – statička visina presjeka
- $v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$ - prema HRN EN 1992-1-1
- $C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c$ - prema HRN EN 1992-1-1
- $k_1 = 0.15$ - prema HRN EN 1992-1-1
- A_{s1} – ploština vlačne armature koja se proteže $\geq (l_{bd}+d)$ izvan promatranog presjeka

Iako proračunavanje poprečne armature nije potrebno. Potrebno je odrediti najmanju poprečnu armaturu. Najmanju poprečnu armaturu dozvoljeno je izostaviti iz elemenata kao što su ploče ili kod elemenata koji ne utječu na otpornost i stabilnost konstrukcije.

U slučaju da je uvijet poprečne sile: $V_{Ed} > V_{Rd,c}$. Potrebno je odrediti poprečnu armaturu da uvijet bude : $V_{Ed} < V_{Rd}$.

Također treba pripaziti da nebude $V_{Ed} > V_{Rd,max}$ kako se nebi prešla nosivost tlačnih dijagonala. U slučaju da je $V_{Ed} > V_{Rd,max}$ potrebno je povećati visinu ili širinu grede da uvjet bude $V_{Ed} < V_{Rd,max}$

U području raspucalom zbog savijanja, za proračun uzdužne armature, anvelopu M_{Ed}/z treba pomaknuti za razmak $a_1 = d$ u nepovoljnijem smjeru.

Za elemente s opterećenjem koje djeluje na gornjoj strani na razmaku $0.5d \leq a_v \leq 2d$ od ruba oslonca (ili središta ležaja pri korištenju savitljivih ležajeva), doprinos takvog opterećenja poprečnoj sili V_{Ed} smije se pomnožiti s $\beta = a_v/2d$. To se smanjenje smije primijeniti za kontrolu $V_{Rd,c}$. To vrijedi jedino kad je uzdužna armatura potpuno usidrena na osloncu. Za $a_v \leq 0.5d$ treba uzeti vrijednost $a_v = 0.5d$.

Proračunana poprečna sila V_{Ed} bez smanjenja s β , obavezno treba zadovoljiti uvjet:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = 0.5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

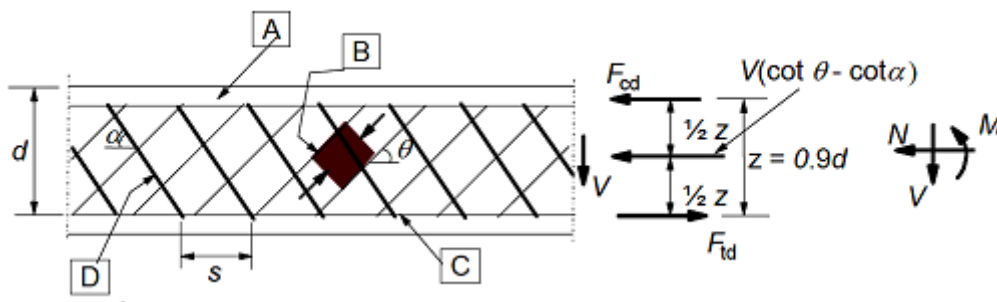
U kojem je :

- $V_{Rd,max}$ - proračunska nosivost tlačnih dijagonala
- f_{cd} – proračunska tlačna čvrstoća betona
- $v = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$ - redukcijski faktor za raspucali beton

„Grede s opterećenjima blizu oslonca ili kratke konzole smiju se osim navedenog proračunati pomoću modela tlačnih štapova i zatege. [2]“

2.3.3. Elementi kod kojih je potrebna poprečna armatura

Elemente kod kojih je potrebna poprečna armatura proračunavaju se prema rešetkastom modelu s slobodnim odabirom tlačnih štapova. Ti elementi najčešće se armiraju savijenim šipkama zatvorenog oblika. Takva vrsta armature naziva se spona ili vilica. Vilice se postavljaju tako da u cijelosti obuhvate uzdužnu armaturu.



Slika 2. Rešetkasti pojas tlačnih betonskih štapova [1]

(A- tlačni pojas, B-tlačni štap, C-vlačni pojas ,D -poprečna armatura)

Oznake sa slike 2.

θ – kut između betonskog tlačnog štapa i osi grede okomito na poprečnu silu
(raspon $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)

α – kut između poprečne armature i osi grede

F_{td} – proračunska vlačna sila u uzdužnoj armaturi

F_{cd} – proračunska tlačna sila u betonu u smjeru uzdužne osi grede

$z = 0.9 \cdot d$ - krak unutarnjih sile

Za grede koje se armiraju vilicama odnosno vertikalnom poprečnom armaturom, djelovanje proračunske poprečne sile mora biti manje od proračunske nosivosti na poprečne sile koju preuzima poprečna armatura. Ne uzima se u obzir doprinos uzdužne armature. Treba zadovoljiti uvjet:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

i

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$$

u kojem je:

- A_{sw} – površina poprečne armature
- m – reznost poprečne armature
- s – razmak vilica
- f_{ywd} – proračunska granica popuštanja poprečne armature
- θ – kut nagiba tlačnih dijagonala
- v_1 – koeficijent smanjenja čvrstoće za raspucani beton
- α_{cw} – koeficijent stanja naprezanja u tlačnom pojasu

Razmak spona određuje se prema formuli:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}{V'_{Ed,A}}$$

Također i kod elemenata s nagnutom poprečnom armaturom traži se da je djelovanje proračunske sile manje od proračunske nosivosti na poprečne sile koju preuzima armatura.

Odnosno da je :

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$$

i

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \alpha)$$

2.3.4. Postavljanje poprečne armature

Prilikom armiranja vilice se najčešće postavljaju okomito na uzdužnu os grede. U slučajevima gdje se vilice ne postavljaju okomito na uzdužnu os grede, trebaju se postaviti tako da s osi grede tvore kut α u rasponu od 45° do 90° po njezinoj uzdužnoj osi. Najmanje 50% poprečne armature moraju biti vilice dok ostalih 50% može zamjeniti kosa poprečna armatura. Tako se poprečna armatura može sastojati samo od vilica ili u kombinaciji vilica i kose poprečne armature. Važno je da su vilice djelotvorno usidrene i da su na krajevima zatvorene kukama savijenim pod kutem od 135° , ravni dio kuke treba iznositi najmanje $10 \cdot \emptyset$ jer taj dio ulazi u betonsku jezgru. [2]

Prilikom armiranja obavezno je paziti da vrijednost ukupne poprečne armature ne iznosi manje od minimalne. Koeficijent armiranja poprečnom armaturom dobiva se formulom :

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin\alpha) \geq \rho_{w,min}$$

U kojoj je :

- ρ_w – koeficijent armiranja poprečnom armaturom
- A_{sw} – površina presjeka vilica
- α – kut između uzdužne i poprečne armature
- s – razmak vilica
- b_w – širina hrpta grede

Minimalni koeficijent armiranja računa se prema hrvatskom nacionalnom dodatku :

$$\rho_{w,min} = 0.15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$$

Maksimalni razmak između vilica proračunava formulom :

$$S_{l,max,1} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Te putem tablice za maksimalni razmak između vilica : [1]

Vrijednost proračunske poprečne sile V_{Ed}	Razred tlačne čvrstoće betona	
	$\leq C50/60$ $\leq LC50/60$	$> C50/60$ $> LC50/60$
	Uzdužni razmak spona $s_{1,max}$	
$V_{Ed} \leq 0,3 V_{Rd,max}$	$0,75d \leq 300 \text{ mm}$	$0,75d \leq 200 \text{ mm}$
$0,3 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,6 V_{Rd,max}$	$0,55d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55d \leq 200 \text{ mm}$
$0,6 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 1,0 V_{Rd,max}$	$0,30d \leq 200 \text{ mm}$	

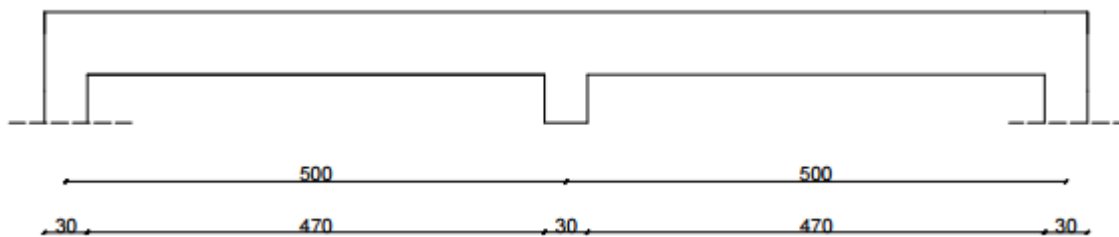
Za najveći uzdužni razmak mjerodavna je manja vrijednost odnosno kraći razmak.

3. NUMERIČKI PRIMJER

3.1. Statički proračun

Proračun ploče (pozicija 1)

- Statički sustav kontinuirana ploča na dva polja



Analiza djelovanja :

Stalno djelovanje:

- vlastita težina ploče $d = 15\text{cm}$ $0.15 \cdot 25 = 3.75 \text{ kN/m}^2$
- pločice u cementnom mortu $d = 2 \text{ cm}$ $0.02 \cdot 21 = 0.42 \text{ kN/m}^2$
- produžni mort $d = 2 \text{ cm}$ $0.02 \cdot 20 = 0.4 \text{ kN/m}^2$

Ukupno stalno djelovanje - $G_k = 4.57 \text{ kN/m}$

Promjenjivo djelovanje - $Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$

Proračunsko opterećenje:

$$q_{Ed} = G_k \cdot 1.35 + Q_k \cdot 1.50$$

$$q_{Ed} = 4.57 \cdot 1.35 + 2 \cdot 1.50$$

$$q_{Ed} = 9.17 \text{ kN/m}^2$$

Ploča se računa kao greda širine 1 m jer je nosiva u jednom smjeru te zbog toga proračunsko opterećenje iznosi $q_{Ed} = 9.17 \text{ kN/m}$

Reakcije i rezne sile:

$$A_G = 0.375 \cdot G_K \cdot l = 0.375 \cdot 4.57 \cdot 5 = 8.57 \text{ kN}$$

$$B_G = 1.250 \cdot G_K \cdot l = 1.250 \cdot 4.57 \cdot 5 = 28.56 \text{ kN}$$

$$A_Q = 0.375 \cdot Q_K \cdot l = 0.375 \cdot 2 \cdot 5 = 3.75 \text{ kN}$$

$$B_Q = 1.250 \cdot Q_K \cdot l = 1.250 \cdot 2 \cdot 5 = 12.5 \text{ kN}$$

$$M_{1G} = 0.070 \cdot G_K \cdot l^2 = 0.070 \cdot 4.57 \cdot 5^2 = 8 \text{ kNm}$$

$$M_{BG} = -0.125 \cdot G_K \cdot l^2 = -0.125 \cdot 4.57 \cdot 5^2 = -14.28 \text{ kNm}$$

$$M_{1Q} = 0.070 \cdot Q_K \cdot l^2 = 0.070 \cdot 2 \cdot 5^2 = 3.5 \text{ kNm}$$

$$M_{BQ} = -0.125 \cdot Q_K \cdot l^2 = -0.125 \cdot 2 \cdot 5^2 = -6.25 \text{ kNm}$$

Proračunske vrijednosti reakcija i reznih sila

$$A_{Ed} = A_G \cdot 1.35 + A_Q \cdot 1.5 = 8.57 \cdot 1.35 + 3.75 \cdot 1.5 = 17.19 \text{ kN}$$

$$B_{Ed} = B_G \cdot 1.35 + B_Q \cdot 1.5 = 28.56 \cdot 1.35 + 12.5 \cdot 1.5 = 57.31 \text{ kN}$$

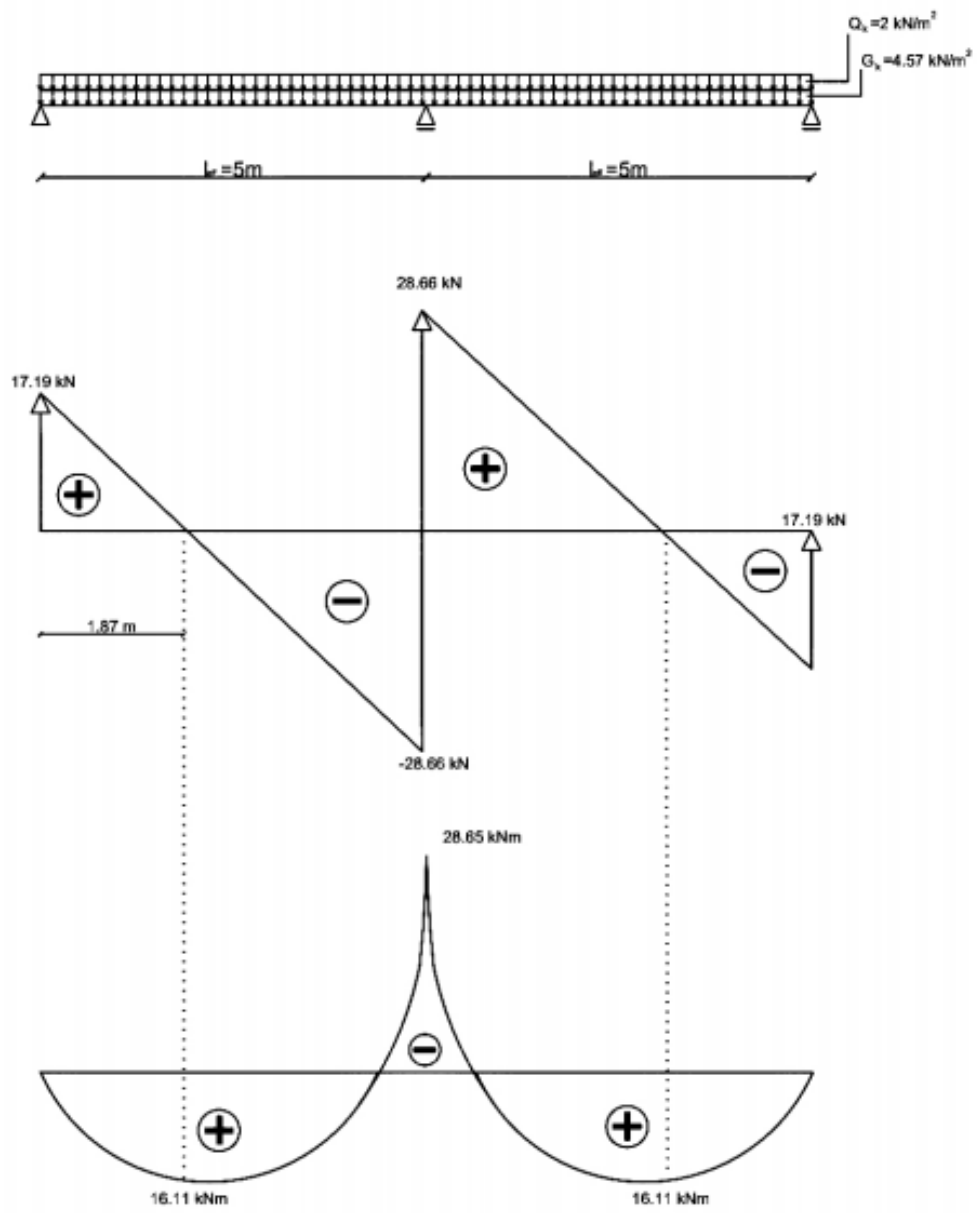
$$M_{Ed,1} = M_{1G} \cdot 1.35 + M_{1Q} \cdot 1.5 = 8 \cdot 1.35 + 3.5 \cdot 1.5 = 16.05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,B} = M_{BG} \cdot 1.35 + M_{BQ} \cdot 1.5 = (-14.28) \cdot 1.35 + (-6.25) \cdot 1.5 = -28.65 \text{ kNm}$$

$$X_0 = \frac{A_{ed}}{q_{ed}} = \frac{17.19}{9.17} = 1.87 \text{ m}$$

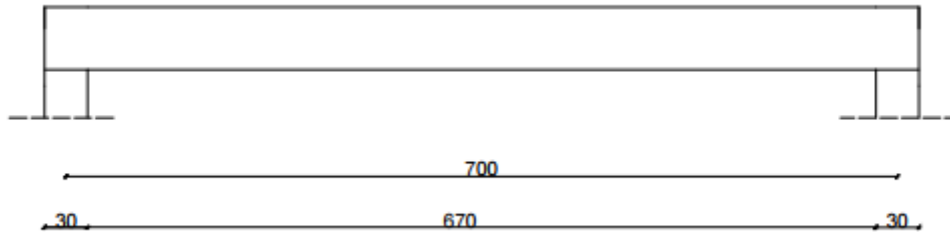
$$M_{max} = \frac{A_{ed}^2}{2 \cdot q_{ed}} = \frac{17.19^2}{2 \cdot 9.17} = 16.11 \text{ kNm}$$

Grafički prikaz djelovanja sila



Proračun grede (pozicija 2)

- Statički sustav prosta greda



Analiza djelovanja:

Stalno djelovanje

- B_G ploče.....28.56kN

- AB greda..... $25 \cdot (0.3 \cdot 0.4) = 3 \text{ kN/m}$

Ukupno stalno djelovanje - G_k = 31.56 kN/m

Promjenjivo djelovanje

B_Q ploče – Q_k = 12.5 kN/m

Proračunsko opterećenje

$$q_{Ed} = G_k \cdot 1.35 + Q_k \cdot 1.50$$

$$q_{Ed} = 31.56 \cdot 1.35 + 12.5 \cdot 1.50$$

$$q_{Ed} = 61.36 \text{ kN/m}$$

Reakcije i rezne sile:

$$A_G = \frac{Gk \cdot l}{2} = \frac{31.56 \cdot 7}{2} = 110.46 \text{ kN}$$

$$A_Q = \frac{Qk \cdot l}{2} = \frac{12.5 \cdot 7}{2} = 43.75 \text{ kN}$$

$$M_{1G} = \frac{Gk \cdot l^2}{8} = \frac{31.56 \cdot 7^2}{8} = 193.31 \text{ kNm}$$

$$M_{1Q} = \frac{Qk \cdot l^2}{8} = \frac{12.5 \cdot 7^2}{8} = 76.56 \text{ kNm}$$

Proračunske vrijednosti reakcija i reznih sila:

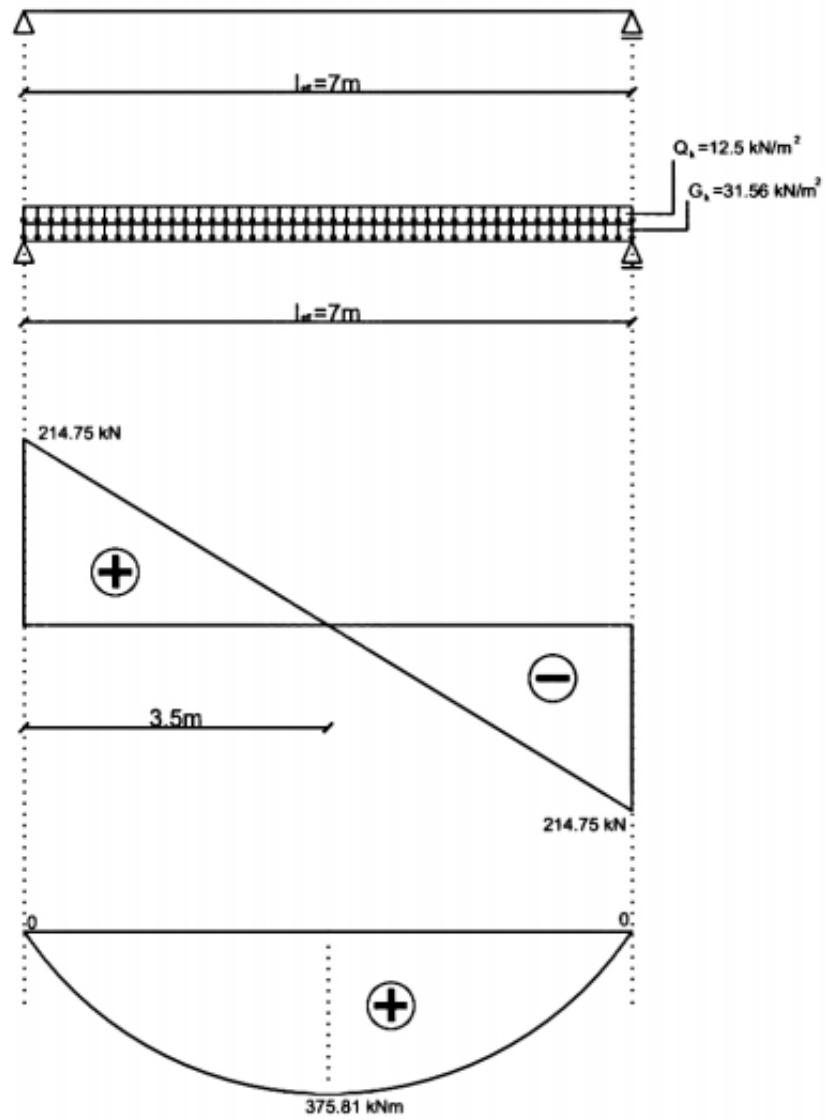
$$A_{Ed} = A_G \cdot 1.35 + A_Q \cdot 1.5 = 110.46 \cdot 1.35 + 43.75 \cdot 1.5 = 214.75 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,1} = M_{1G} \cdot 1.35 + M_{1Q} \cdot 1.5 = 193.31 \cdot 1.35 + 76.56 \cdot 1.5 = 375.81 \text{ kNm}$$

$$X_0 = \frac{Aed}{q_{Ed}} = \frac{214.75}{61.36} = 3.5 \text{ m}$$

$$M_{max} = \frac{Aed^2}{2 \cdot q_{Ed}} = \frac{214.75^2}{2 \cdot 61.36} = 375.81 \text{ kNm}$$

Grafički prikaz djelovanja sila



3.2. Dimenzioniranje grede

Proračunska širina poprečnog presjeka b_{eff} uzima se kao :

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

u kojem je :

$$b_{eff,i} = 0.2 \cdot b_i + 0.1 \cdot l_o \leq 0.2 \cdot l_o \leq b_i$$

$$b_{eff,i} \leq b_i$$

$$b_i = 235 \text{ cm}$$

$$l_o = 700 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 0.2 \cdot 235 + 0.1 \cdot 700 \leq 0.2 \cdot 700 \leq 235 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 117 \text{ cm} < 140 \text{ cm} < 235 \text{ cm}$$

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = 117 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 117 \text{ cm} \leq b_i = 235 \text{ cm}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

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

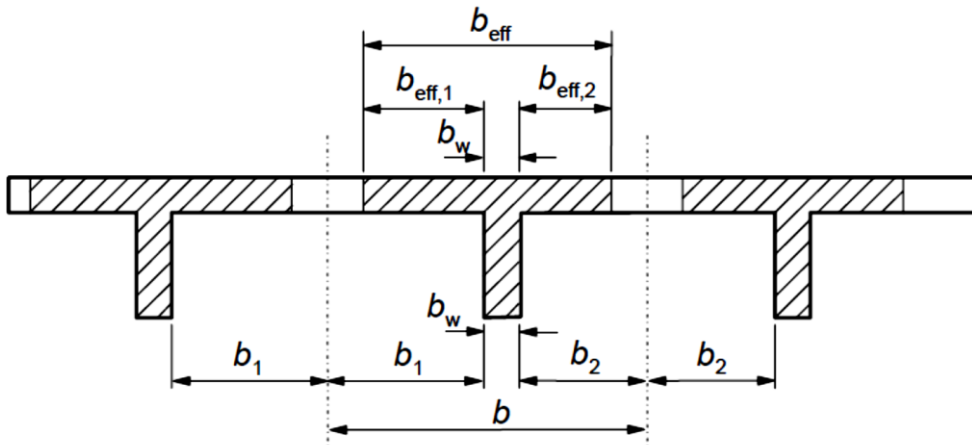
$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w \leq b$$

$$b_{eff} = 117 + 117 + 30 \leq 500 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 264 \text{ cm}$$

$$h_f = 15 \text{ cm}$$

$$h = 55 \text{ cm}$$



Slika 3. Proračunska širina pojasnice - oznake veličina [1]

Proračunski raspon grede l_{eff} računa se na sljedeći način :

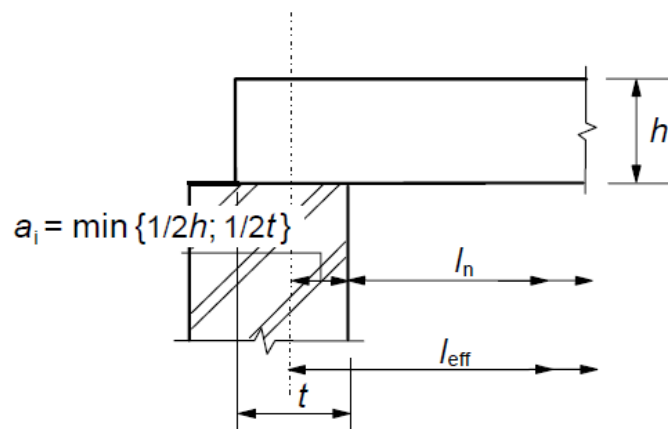
$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$$

u kojem je l_n razmak od lica do lica oslonca i iznosi 6.7 m, a vrijednosti na krajevima a_1 i a_2 određuju se na sljedeći način :

$$a_i = \min \left\{ \frac{1}{2} h; \frac{1}{2} t \right\} = \min \left\{ \frac{1}{2} \cdot 55; \frac{1}{2} \cdot 30 \right\} = \min \{ 27.5; 15 \}$$

$$a_i = \frac{t}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$$

$$l_o = l_{eff} = 6.70 + \frac{0.30}{2} + \frac{0.30}{2} = 7.00 \text{ m}$$



Slika 4. Određivanje raspona za nekontinuirani nosač

3.3. Dimenzioniranje grede na savijanje

Djelujući moment savijanja : $M_{Ed} = 375.81 \text{ kNm}$

Proračunska čvrstoća betona : $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1.0 \cdot \frac{25}{1.5} = 16,66 \text{ MPa}$

Proračunska granica popuštanja uzdužne armature : $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434.78 \text{ MPa}$

Proračunska granica popuštanja vilica : $f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434.78 \text{ MPa}$

Srednja vlačna čvrstoća betona : $f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0.3 \cdot 25^{\frac{2}{3}} = 2.56 \text{ MPa}$

Limitirajuće vrijednosti za jednostruko armiranje za betone razreda čvrstoće od C12/15 do C50/60 iznose : $\xi_{lim} = \frac{x}{d} = 0.450, \mu_{Rd,lim} = 0.296, \zeta_{lim} = 0.813$

Pretpostavka je da neutralna os pada na ploču. Ta pretpostavka dokazuje se kroz formulu za bezdimenzionalnu vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{37581}{264 \cdot 50^2 \cdot 1.66} = 0.034 < \mu_{Rd,lim} = 0.296$$

$\mu_{Ed} = 0.034 < \mu_{Rd,lim} = 0.296$ – uvjet je zadovoljen

Očitano iz tablica:

$\varepsilon_{c,ed2} = -1.500\text{‰}, \varepsilon_{s1} = 20.000\text{‰}, \xi = 0.070, \zeta = 0.975, \mu_{ed} = 0.038$

$x = \xi \cdot d = 0.070 \cdot 50 = 3.5$

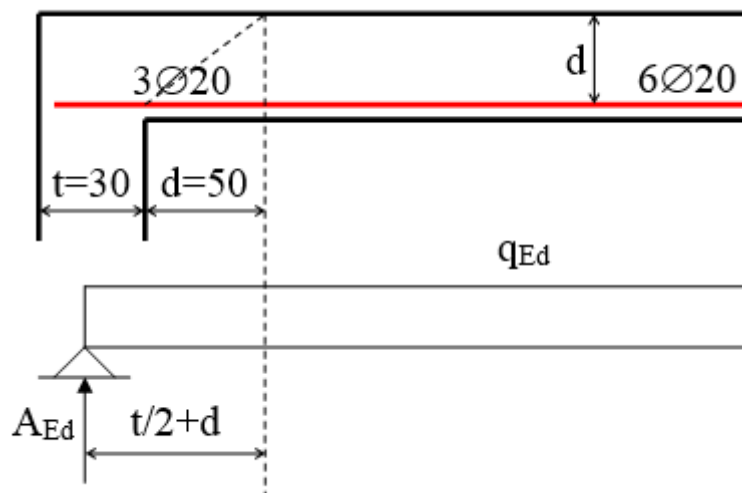
$x = 3.5 < hf = 15$ – uvjet je zadovoljen, dokazano da neutralna os pada u ploču

Potrebna površina armature računa se prema formuli, te se iz tablice odabire potrebna armatura.

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{37581}{0.975 \cdot 50 \cdot 43.478} = 17.73 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura :

- U sredini raspona $6\varnothing 20$ (18.85cm^2)
- Na ležajevima $3\varnothing 20$ (9.42cm^2)



Slika 5. Prikaz mjesta postavljanja armature

Provjera najmanjeg i najvećeg postotka armiranja

Najmanja površina uzdužne vlačne armature računa se formulama i mjerodavna je veća vrijednost:

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \quad \text{i} \quad A_{s,min} = 0.0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot \frac{2.56}{500} \cdot 30 \cdot 50 = 2.03 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0.0013 \cdot 30 \cdot 50 = 1.95 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 2.03 \text{ cm}^2$$

Najveće površine presjeka vlačne $A_{s1,max}$ ili tlačne $A_{s2,max}$ armature izvan područja nastavka : za grede T presjeka s tlačno napreznom pojasnicom računaju se prema prema hrvatskom nacionalnom dodatku za jednostruko armirani presjek. Maximalna armatura u polju računa se formulom :

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot A_c$$

a) kada se rabi beton razreda čvrstoće manji ili jednak C50/60 i kada je:

$$0.45d \leq h_f, \text{ tada je: } A_c = h \cdot b_{eff}$$

b) kada se rabi beton razreda čvrstoće manji ili jednak C50/60 i kada je:

$$0.45d > h_f, \text{ tada je: } A_c = 2.5 \cdot h_f \cdot b_{eff}$$

c) kada se rabi beton razreda čvrstoće veći ili jednak C55/67 i kada je:

$$0.35d \leq h_f, \text{ tada je: } A_c = h \cdot b_{eff}$$

d) kada se rabi beton razreda čvrstoće veći ili jednak C55/67 i kada je:

$$0.35d > h_f, \text{ tada je: } A_c = 3.0 \cdot h_f \cdot b_{eff}$$

$$0.45 \cdot d > h_f = 0.45 \cdot 50 > 15 = 22.5 \text{ cm} > 15 \text{ cm}$$

U ovom slučaju A_c :

$$A_c = 2.5 \cdot h_f \cdot b_{eff}$$

$$A_c = 2.5 \cdot 15 \cdot 264 = 9900 \text{ cm}^2$$

$$A_{sI,max} = 0.022 \cdot A_c = 0.022 \cdot 9900 = 217.8 \text{ cm}^2$$

$$A_{sI,min} = 2.03 \text{ cm}^2 < A_{sI} = 18.85 \text{ cm}^2 < A_{sI,max} = 217.8 \text{ cm}^2 \quad - \text{ uvjet je zadovoljen}$$

3.4. Dimenzioniranje na poprečnu silu

Umanjena poprečna sila na udaljenosti $(b_{\text{supp}}/2 + d)$ cm desno od ležaja A :

$$(b_{\text{supp}}/2 + d) = (30/2 + 50) = 65 \text{ cm}$$

$$V'_{Ed,A} = V_{Ed,A} - q_{Ed} \cdot (b_{\text{supp}}/2 + d)$$

$$V'_{Ed,A} = 214.75 - 61.36 \cdot (0.3/2 + 0.5) = 174.87 \text{ kN}$$

Kod uvjeta $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ nije potrebno proračunati poprečnu armaturu, no iako se ne zahtjeva potrebno je proračunati minimalnu poprečnu armaturu. Kod uvjeta $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ treba proračunati poprečnu armaturu tako da uvjet bude $V_{Ed} \leq V_{Rd}$. Također treba provjeriti da poprečna sila ne prelazi $V_{Rd,max}$.

Najprije se provjerava treba li proračunski potrebna armatura $V_{Rd,c}$ prema izrazima :

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [v_{min} \cdot k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 = 1 + \sqrt{\frac{200}{500}} \leq 2.0 = 1.632 \leq 2.0$$

$$k = 1.632$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0.02 = \frac{942}{300 \cdot 500} \leq 0.02 = 0.00628 \leq 0.02$$

$$\rho_1 = 0.00628$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd} = \frac{0}{A_c} < 0.2 \cdot 16.66 = 0 \text{ MPa} < 3.33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = 0 \text{ MPa}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

- γ_c – parcijalni koeficijent za beton

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.632^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.4$$

$$k_1 = 0.15$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0.12 \cdot 1.632 \cdot (100 \cdot 0.00628 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0] \cdot 300 \cdot 500 = 73.56 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 73.56 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = [v_{min} \cdot + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0.4 \cdot + 0.15 \cdot 0] \cdot 300 \cdot 500 = 60 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 60 \text{ kN}$$

Usvaja se veća vrijednost – $V_{Rd,c} = 73.56 \text{ kN}$

$$V'_{Ed,A} \leq V_{Rd,c}$$

$174.87 \geq 73.56$ – potrebno je proračunati poprečnu armaturu

Proračun poprečne armature (vilica) – odabir su dvorene vilice (m=2) Ø 8

Površina presjeka poprečne armature proračunava se formulom:

$$A_{sw} = m \cdot \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_{sw} = 2 \cdot \frac{0.8^2 \cdot \pi}{4} = 1.0053 \text{ cm}^2$$

Krak unutrašnjih sila presjeka:

$$z = 0.9 \cdot d = 0.9 \cdot 500 = 450 \text{ mm}$$

Kut α između poprečne armature i osi grede okomito na poprečnu silu :

$$\alpha = 90^\circ$$

Granične vrijednosti za θ , kut između betonskog tlačnog štapa i osi grede okomito na poprečnu silu određuju se izrazom $1 \leq \cot\theta \leq 2.5$.

Odnosno raspon kuta nagiba tlačnih štapova θ je : $45^\circ \geq \cot\theta \geq 21.80^\circ$

U ovom slučaju prilikom dimenzioniranja poprečne armature rabi se pet različitih kuteva θ :

- a) 22°
- b) 30°
- c) 35°
- d) 40°
- e) 45°

$$a) \theta = 22^\circ$$

Otpornost na djelovanje poprečne sile za elemente s vertikalnom poprečnom armaturom odnosno vilicama :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$\cot \theta = 2.475$$

Uvjet nosivosti na poprečnu silu : $V'_{Ed,A} \leq V_{Rd,s}$

Razmak vilica s određuje se na sljedeći način:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}{V'_{Ed,A}} = \frac{100.53 \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot 22^\circ}{174870} = 278.39 \text{ mm}$$

$$s = 27 \text{ cm} - \text{odabrano}$$

- Računske vilice su dvorezne vilice ($m=2$) $\emptyset 8/27$

Najveća proračunska ploština presjeka poprečne armature A_{sw} proračunava se :

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} = \frac{100.53 \cdot 434.783}{300 \cdot 270} \leq \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0.54 \cdot 16.66$$

$$0.54 \text{ MPa} \leq 4.5 \text{ MPa} - \text{uvjet zadovoljen}$$

Koeficijent redukcije za beton:

$$v_1 = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[1 - \frac{25}{250} \right] = 0.54$$

$$v_1 = v = 0.54$$

Kontrola nosivosti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot\theta + \tan\theta)} = \frac{1 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 0.54 \cdot 16.66}{(2.475 + 0.404)} = 421.852 \text{ kN}$$

Uvjet : $V_{Ed,A} \leq V_{Rd,max}$

$$V_{Ed,A} = 214.75 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 421.852 \text{ kN} - \text{uvjet je zadovoljen}$$

Provjera minimalne armature i razmaka vilica:

Minimalni koeficijent armiranja poprečnom armaturom prema hrvatskom nacionalnom dodatku iznosi: [2]

$$\rho_{w,min} = 0.15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.15 \cdot \frac{2.56}{500} = 0.00077$$

Koeficijent armiranja poprečnom armaturom ρ_w za preuzimanje poprečne sile:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Razmak spona:

$$s = \frac{A_{sw}}{\rho_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$, prema formuli iznosi:

$$s_{l,max,1} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin\alpha} = \frac{100.53}{0.00077 \cdot 300 \cdot 1} = 435.19 \text{ mm}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$: [1]

Vrijednost proračunske poprečne sile V_{Ed}	Razred tlačne čvrstoće betona	
	$\leq C50/60$ $\leq LC50/60$	$> C50/60$ $> LC50/60$
	Uzdužni razmak spona $s_{l,max}$	
$V_{Ed} \leq 0,3 V_{Rd,max}$	$0,75d \leq 300 \text{ mm}$	$0,75d \leq 200 \text{ mm}$
$0,3 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,6 V_{Rd,max}$	$0,55d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55d \leq 200 \text{ mm}$
$0,6 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 1,0 V_{Rd,max}$	$0,30d \leq 200 \text{ mm}$	

Prema tablici :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{214750}{421852} = 0.51$$

$$S_{l,max,2} = 0.55 \cdot d \leq 300 \text{ mm} = 0.55 \cdot 500 \leq 300 \text{ mm} = 275 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$$

$$S_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Mjerodavna je manja vrijednost:

$$S_{l,max,1} = 435.19 \text{ mm}$$

$$S_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Usvajaju se minimalne vilice na razmaku :

$$S_{l,max} = 270 \text{ mm}$$

- Minimalne vilice su dvorezne vilice (m=2) $\varnothing 8/27 \text{ cm}$

Poprečna sila koju nose minimalne vilice (m2) Ø 8/27 cm

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

$$V_{Rd,s,min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{100.53}{270} \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot(22^\circ) = 29.43 \text{ kN}$$

Mjesto gdje poprečna sila mijenja predznak :

$$x_0 = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ m}$$

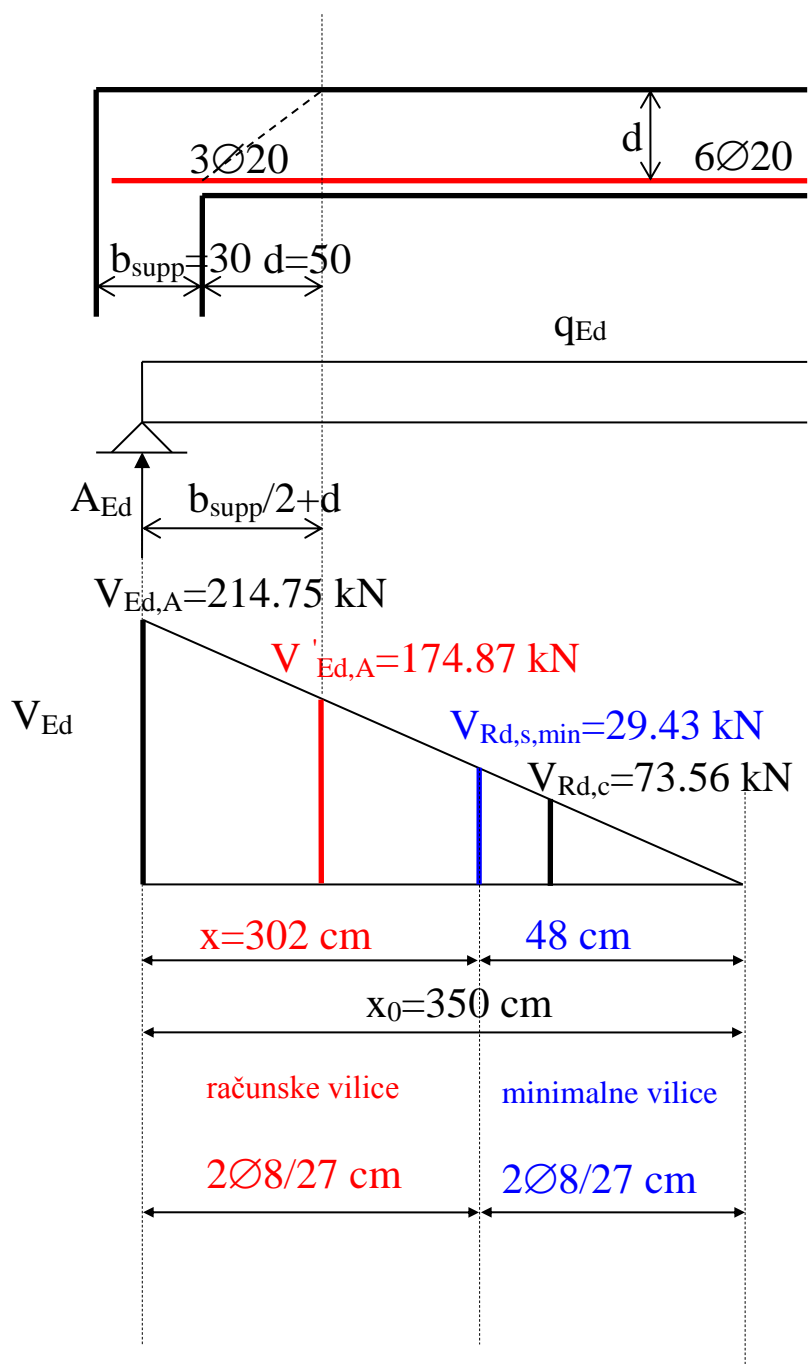
Mjesto gdje poprečna sila poprima vrijednost $V_{Rd,s,min}$:

$$x = x_0 - \frac{V_{Rd,s,min}}{V_{Ed}} \cdot x_0 = 3500 - \frac{29430}{214750} \cdot 3500 = 3020 \text{ mm}$$

$$x = 302 \text{ cm}$$

Minimalne vilice zadovoljavaju na duljini od 3 m do sredine raspona.

Grafički prikaz djelovanja poprečne sile i postavljanja armature za $\theta = 22^\circ$



b) $\theta = 30^\circ$

Otpornost na djelovanje poprečne sile za elemente s vertikalnom poprečnom armaturom odnosno vilicama :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$\cot \theta = 1.732$$

Uvjet nosivosti na poprečnu silu : $V'_{Ed,A} \leq V_{Rd,s}$

Razmak spona s određuje se na sljedeći način:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}{V'_{Ed,A}} = \frac{100.53 \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot 30^\circ}{174870} = 194.82 \text{ mm}$$

$s = 19 \text{ cm}$ – odabrano

- Računske vilice su dvorezne vilice ($m=2$) $\varnothing 8/19$

Najveća proračunska ploština presjeka poprečne armature A_{sw} proračunava se :

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} = \frac{100.53 \cdot 434.783}{300 \cdot 190} \leq \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0.54 \cdot 16.66$$

$0.77 \text{ MPa} \leq 4.5 \text{ MPa}$ - uvjet zadovoljen

Kontrola nosivosti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} = \frac{1 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 0.54 \cdot 16.66}{(1.732 + 0.577)} = 525.991 \text{ kN}$$

Uvjet : $V_{Ed,A} \leq V_{Rd,max}$

$$V_{Ed,A} = 214.75 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 525.991 \text{ kN} - \text{uvjet je zadovoljen}$$

Provjera minimalne armature i razmaka vilica:

Koeficijent armiranja poprečnom armaturom ρ_w za preuzimanje poprečne sile:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Razmak spona:

$$s = \frac{A_{sw}}{\rho_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$, prema formuli iznosi:

$$s_{l,max,1} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin\alpha} = \frac{100.53}{0.00077 \cdot 300 \cdot 1} = 435.19 \text{ mm}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$: [1]

Vrijednost proračunske poprečne sile V_{Ed}	Razred tlačne čvrstoće betona	
	$\leq C50/60$ $\leq LC50/60$	$> C50/60$ $> LC50/60$
	Uzdužni razmak spona $s_{l,max}$	
$V_{Ed} \leq 0,3 V_{Rd,max}$	$0,75d \leq 300 \text{ mm}$	$0,75d \leq 200 \text{ mm}$
$0,3 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,6 V_{Rd,max}$	$0,55d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55d \leq 200 \text{ mm}$
$0,6 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 1,0 V_{Rd,max}$	$0,30d \leq 200 \text{ mm}$	

Prema tablici :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{214750}{525991} = 0.41$$

$$s_{l,max,2} = 0.55 \cdot d \leq 300 \text{ mm} = 0.55 \cdot 500 \leq 300 \text{ mm} = 275 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$$

$$s_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Mjerodavna je manja vrijednost:

$$S_{l,max,1} = 435.19 \text{ mm}$$

$$S_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Usvajaju se minimalne vilice na razmaku :

$$S_{l,max} = 270 \text{ mm}$$

- Minimalne vilice su dvorezne vilice (m=2) Ø8/27 cm

Poprečna sila koju nose minimalne vilice (m2) Ø 8/27 cm

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

$$V_{Rd,s,min} = \frac{A_{sw}}{S_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{100.53}{270} \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot(30^\circ) = 42.06 \text{ kN}$$

Mjesto gdje poprečna sila mijenja predznak :

$$x_0 = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ m}$$

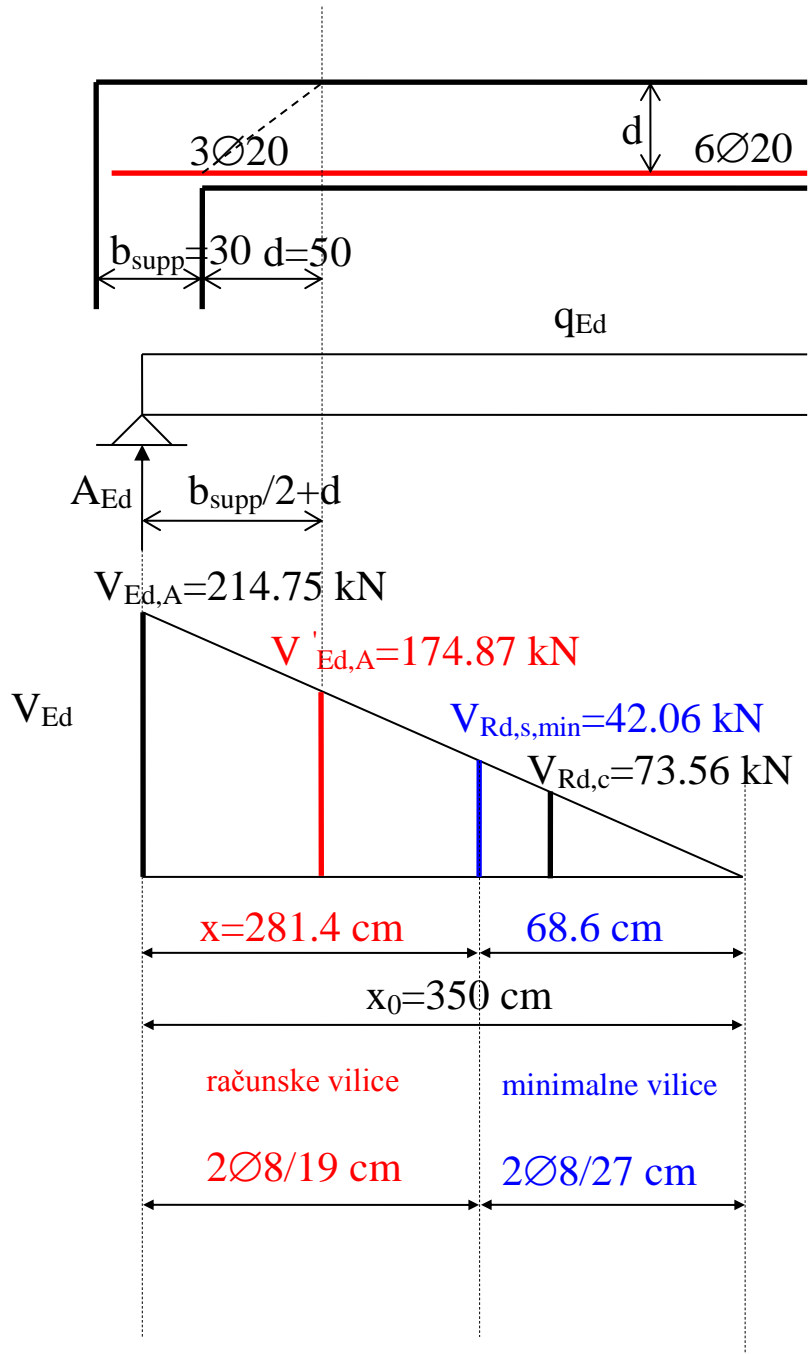
Mjesto gdje poprečna sila poprima vrijednost $V_{Rd,s,min}$:

$$x = x_0 - \frac{V_{Rd,s,min}}{V_{Ed}} \cdot x_0 = 3500 - \frac{42060}{214750} \cdot 3500 = 2814 \text{ mm}$$

$$x = 281.4 \text{ cm}$$

Minimalne vilice zadovoljavaju na duljini od 2.8 m do sredine raspona.

Grafički prikaz djelovanja poprečne sile i postavljanja armature za $\theta = 30^\circ$



c) $\theta = 35^\circ$

Otpornost na djelovanje poprečne sile za elemente s vertikalnom poprečnom armaturom odnosno vilicama :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$\cot \theta = 1.428$$

Uvjet nosivosti na poprečnu silu : $V'_{Ed,A} \leq V_{Rd,s}$

Razmak spona s određuje se na sljedeći način:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}{V'_{Ed,A}} = \frac{100.53 \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot 35^\circ}{174870} = 160.63 \text{ mm}$$

$$s = 16 \text{ cm} - \text{odabrano}$$

- Računske vilice su dvorezne vilice (m=2) $\varnothing 8/16$

Najveća proračunska ploština presjeka poprečne armature A_{sw} proračunava se :

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} = \frac{100.53 \cdot 434.783}{300 \cdot 160} \leq \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0.54 \cdot 16.66$$

$$0.91 \text{ MPa} \leq 4.5 \text{ MPa} - \text{uvjet zadovoljen}$$

Kontrola nosivosti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} = \frac{1 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 0.54 \cdot 16.66}{(1.428 + 0.7)} = 570.73 \text{ kN}$$

Uvjet : $V_{Ed,A} \leq V_{Rd,max}$

$$V_{Ed,A} = 214.75 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 570.73 \text{ kN} - \text{uvjet je zadovoljen}$$

Provjera minimalne armature i razmaka vilica:

Koeficijent armiranja poprečnom armaturom ρ_w za preuzimanje poprečne sile:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Razmak spona:

$$s = \frac{A_{sw}}{\rho_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$, prema formuli iznosi:

$$s_{l,max,1} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin\alpha} = \frac{100.53}{0.00077 \cdot 300 \cdot 1} = 435.19 \text{ mm}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$: [1]

Vrijednost proračunske poprečne sile V_{Ed}	Razred tlačne čvrstoće betona	
	$\leq C50/60$ $\leq LC50/60$	$> C50/60$ $> LC50/60$
	Uzdužni razmak spona $s_{l,max}$	
$V_{Ed} \leq 0,3 V_{Rd,max}$	$0,75d \leq 300 \text{ mm}$	$0,75d \leq 200 \text{ mm}$
$0,3 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,6 V_{Rd,max}$	$0,55d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55d \leq 200 \text{ mm}$
$0,6 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 1,0 V_{Rd,max}$	$0,30d \leq 200 \text{ mm}$	

Prema tablici :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{214750}{570730} = 0.38$$

$$s_{l,max,2} = 0.55 \cdot d \leq 300 \text{ mm} = 0.55 \cdot 500 \leq 300 \text{ mm} = 275 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$$

$$s_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Mjerodavna je manja vrijednost:

$$S_{l,max,1} = 435.19 \text{ mm}$$

$$S_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Usvajaju se minimalne vilice na razmaku :

$$S_{l,max} = 270 \text{ mm}$$

- Minimalne vilice su dvorezne vilice (m=2) Ø8/27 cm

Poprečna sila koju nose minimalne vilice (m2) Ø 8/27 cm

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

$$V_{Rd,s,min} = \frac{A_{sw}}{S_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{100.53}{270} \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot(35^\circ) = 51.01 \text{ kN}$$

Mjesto gdje poprečna sila mijenja predznak :

$$x_0 = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ m}$$

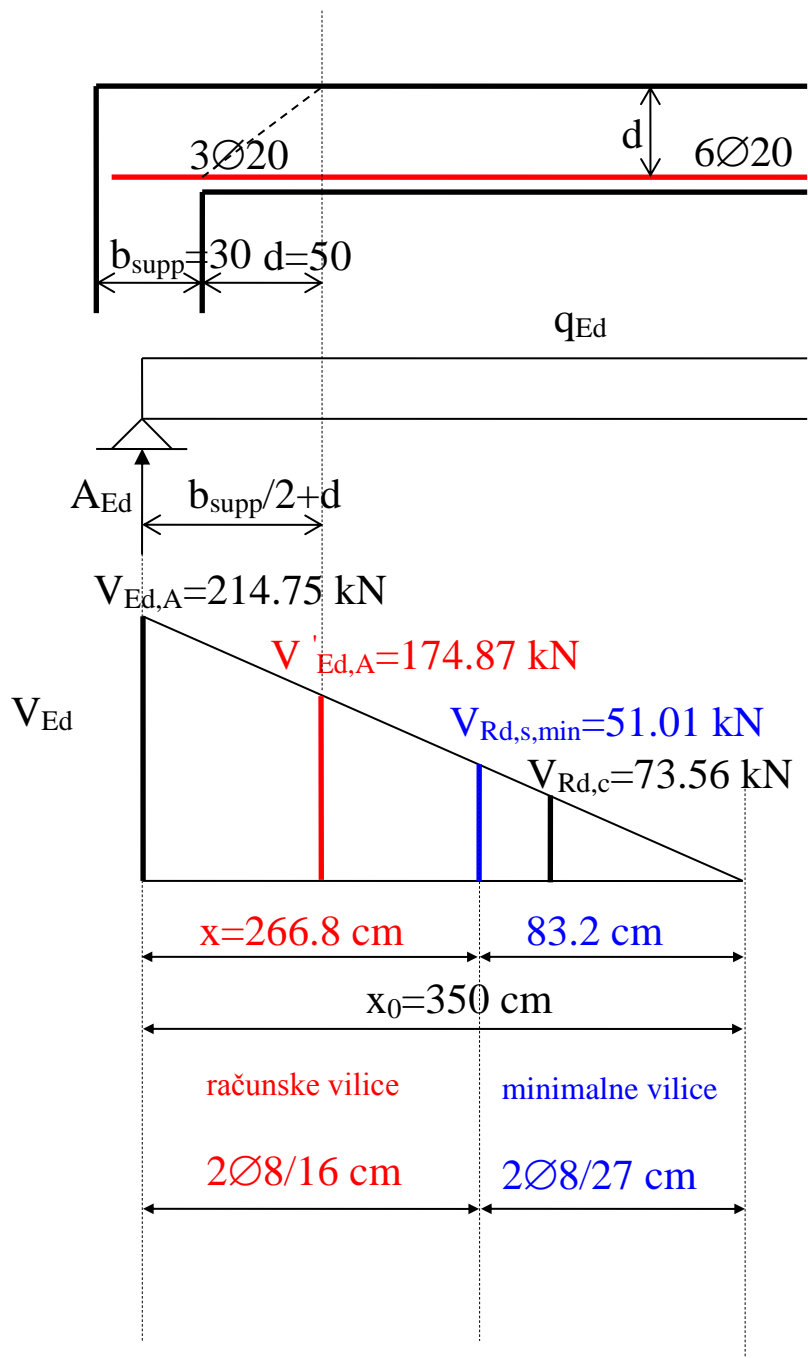
Mjesto gdje poprečna sila poprima vrijednost $V_{Rd,s,min}$:

$$x = x_0 - \frac{V_{Rd,s,min}}{V_{Ed}} \cdot x_0 = 3500 - \frac{51010}{214750} \cdot 3500 = 2668 \text{ mm}$$

$$x = 266.8 \text{ cm}$$

Minimalne vilice zadovoljavaju na duljini od 2.7 m do sredine raspona.

Grafički prikaz djelovanja poprečne sile i postavljanja armature za $\theta = 35^\circ$



d) $\theta = 40^\circ$

Otpornost na djelovanje poprečne sile za elemente s vertikalnom poprečnom armaturom odnosno vilicama :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$\cot \theta = 1.192$$

Uvjet nosivosti na poprečnu silu : $V'_{Ed,A} \leq V_{Rd,s}$

Razmak spona s određuje se na sljedeći način:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}{V'_{Ed,A}} = \frac{100.53 \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot 40^\circ}{174870} = 134.05 \text{ mm}$$

$s = 13 \text{ cm}$ – odabrano

- Računske vilice su dvorezne vilice ($m=2$) $\varnothing 8/13$

Najveća proračunska ploština presjeka poprečne armature A_{sw} proračunava se :

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} = \frac{100.53 \cdot 434.783}{300 \cdot 130} \leq \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0.54 \cdot 16.66$$

$1.12 \text{ MPa} \leq 4.5 \text{ MPa}$ - uvjet zadovoljen

Kontrola nosivosti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} = \frac{1 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 0.54 \cdot 16.66}{(1.192 + 0.839)} = 597.18 \text{ kN}$$

Uvjet : $V_{Ed,A} \leq V_{Rd,max}$

$$V_{Ed,A} = 214.75 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 597.18 \text{ kN} - \text{uvjet je zadovoljen}$$

Provjera minimalne armature i razmaka vilica:

Koeficijent armiranja poprečnom armaturom ρ_w za preuzimanje poprečne sile:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Razmak spona:

$$s = \frac{A_{sw}}{\rho_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$, prema formuli iznosi:

$$s_{l,max,1} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin\alpha} = \frac{100.53}{0.00077 \cdot 300 \cdot 1} = 435.19 \text{ mm}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$: [1]

Vrijednost proračunske poprečne sile V_{Ed}	Razred tlačne čvrstoće betona	
	$\leq C50/60$ $\leq LC50/60$	$> C50/60$ $> LC50/60$
	Uzdužni razmak spona $s_{l,max}$	
$V_{Ed} \leq 0,3 V_{Rd,max}$	$0,75d \leq 300 \text{ mm}$	$0,75d \leq 200 \text{ mm}$
$0,3 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,6 V_{Rd,max}$	$0,55d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55d \leq 200 \text{ mm}$
$0,6 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 1,0 V_{Rd,max}$	$0,30d \leq 200 \text{ mm}$	

Prema tablici :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{214750}{597180} = 0.36$$

$$s_{l,max,2} = 0.55 \cdot d \leq 300 \text{ mm} = 0.55 \cdot 500 \leq 300 \text{ mm} = 275 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$$

$$s_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Mjerodavna je manja vrijednost:

$$S_{l,max,1} = 435.19 \text{ mm}$$

$$S_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Usvajaju se minimalne vilice na razmaku :

$$S_{l,max} = 270 \text{ mm}$$

- Minimalne vilice su dvorezne vilice (m=2) Ø8/27 cm

Poprečna sila koju nose minimalne vilice (m2) Ø 8/27 cm

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

$$V_{Rd,s,min} = \frac{A_{sw}}{S_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{100.53}{270} \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot (\cot 40^\circ) = 61.13 \text{ kN}$$

Mjesto gdje poprečna sila mijenja predznak :

$$x_0 = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ m}$$

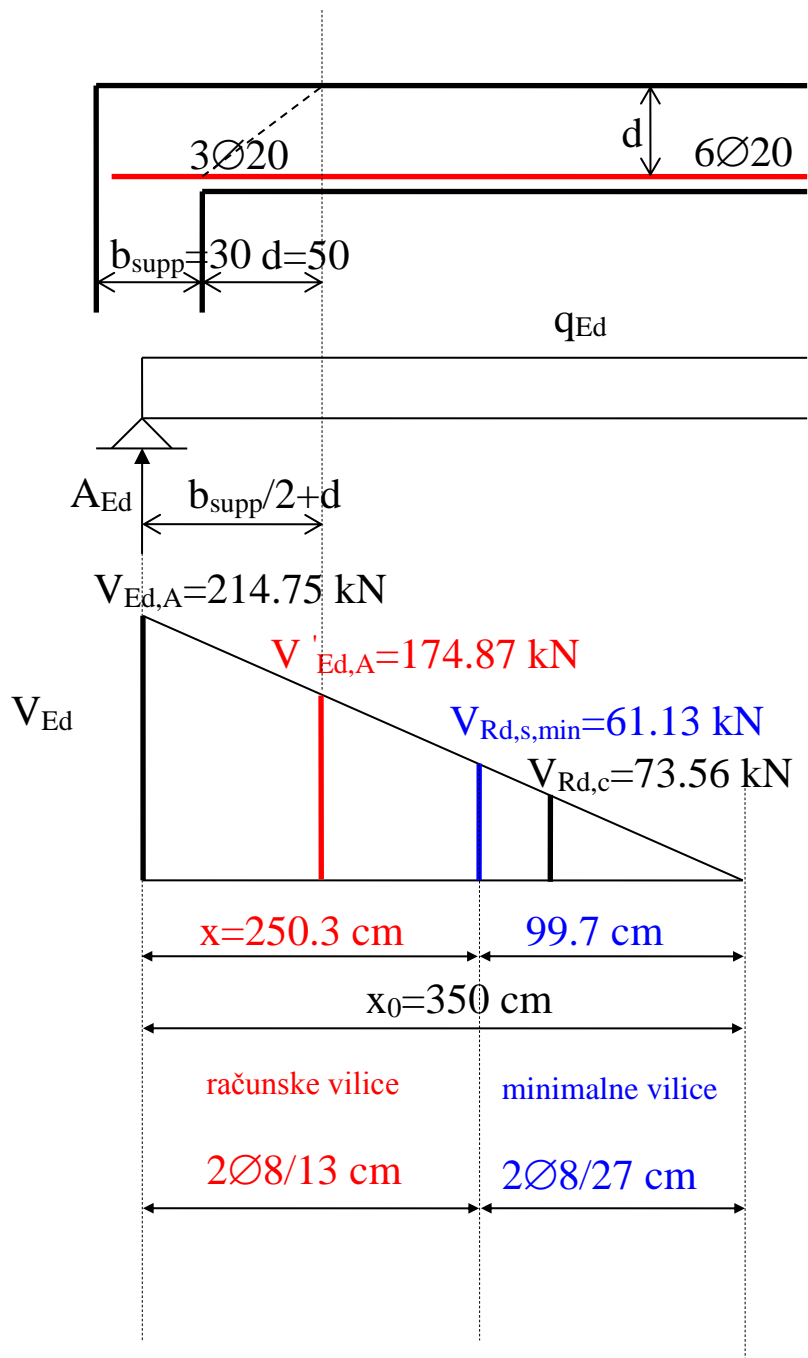
Mjesto gdje poprečna sila poprima vrijednost $V_{Rd,s,min}$:

$$x = x_0 - \frac{V_{Rd,s,min}}{V_{Ed}} \cdot x_0 = 3500 - \frac{61130}{214750} \cdot 3500 = 2503 \text{ mm}$$

$$x = 250.3 \text{ cm}$$

Minimalne vilice zadovoljavaju na duljini od 2.5 m do sredine raspona.

Grafički prikaz djelovanja poprečne sile i postavljanja armature za $\theta = 40^\circ$



e) $\theta = 45^\circ$

Otpornost na djelovanje poprečne sile za elemente s vertikalnom poprečnom armaturom odnosno vilicama :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$\cot \theta = 1$$

Uvjet nosivosti na poprečnu silu : $V'_{Ed,A} \leq V_{Rd,s}$

Razmak spona s određuje se na sljedeći način:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}{V'_{Ed,A}} = \frac{100.53 \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot 45^\circ}{174870} = 112.48 \text{ mm}$$

$$s = 11 \text{ cm} - \text{odabrano}$$

- Računske vilice su dvorezne vilice ($m=2$) $\varnothing 8/11$

Najveća proračunska ploština presjeka poprečne armature A_{sw} proračunava se :

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} = \frac{100.53 \cdot 434.783}{300 \cdot 110} \leq \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0.54 \cdot 16.66$$

$$1.32 \text{ MPa} \leq 4.5 \text{ MPa} - \text{uvjet zadovoljen}$$

Kontrola nosivosti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} = \frac{1 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 0.54 \cdot 16.66}{(1 + 1)} = 607.257 \text{ kN}$$

Uvjet : $V_{Ed,A} \leq V_{Rd,max}$

$$V_{Ed,A} = 214.75 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 607.257 \text{ kN} - \text{uvjet je zadovoljen}$$

Provjera minimalne armature i razmaka vilica:

Koeficijent armiranja poprečnom armaturom ρ_w za preuzimanje poprečne sile:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Razmak spona:

$$s = \frac{A_{sw}}{\rho_w \cdot b_w \cdot \sin\alpha}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$, prema formuli iznosi:

$$s_{l,max,1} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin\alpha} = \frac{100.53}{0.00077 \cdot 300 \cdot 1} = 435.19 \text{ mm}$$

Najveći uzdužni razmak između poprečnih armatura $s_{l,max}$: [1]

Vrijednost proračunske poprečne sile V_{Ed}	Razred tlačne čvrstoće betona	
	$\leq C50/60$ $\leq LC50/60$	$> C50/60$ $> LC50/60$
	Uzdužni razmak spona $s_{l,max}$	
$V_{Ed} \leq 0,3 V_{Rd,max}$	$0,75d \leq 300 \text{ mm}$	$0,75d \leq 200 \text{ mm}$
$0,3 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,6 V_{Rd,max}$	$0,55d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55d \leq 200 \text{ mm}$
$0,6 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 1,0 V_{Rd,max}$	$0,30d \leq 200 \text{ mm}$	

Prema tablici :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{214750}{607257} = 0.35$$

$$s_{l,max,2} = 0.55 \cdot d \leq 300 \text{ mm} = 0.55 \cdot 500 \leq 300 \text{ mm} = 275 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$$

$$s_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Mjerodavna je manja vrijednost:

$$S_{l,max,1} = 435.19 \text{ mm}$$

$$S_{l,max,2} = 275 \text{ mm}$$

Usvajaju se minimalne vilice na razmaku :

$$S_{l,max} = 270 \text{ mm}$$

- Minimalne vilice su dvorezne vilice (m=2) Ø8/27 cm

Poprečna sila koju nose minimalne vilice (m2) Ø 8/27 cm

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

$$V_{Rd,s,min} = \frac{A_{sw}}{S_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{100.53}{270} \cdot 450 \cdot 434.783 \cdot \cot(40^\circ) = 72.85 \text{ kN}$$

Mjesto gdje poprečna sila mijenja predznak :

$$x_0 = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ m}$$

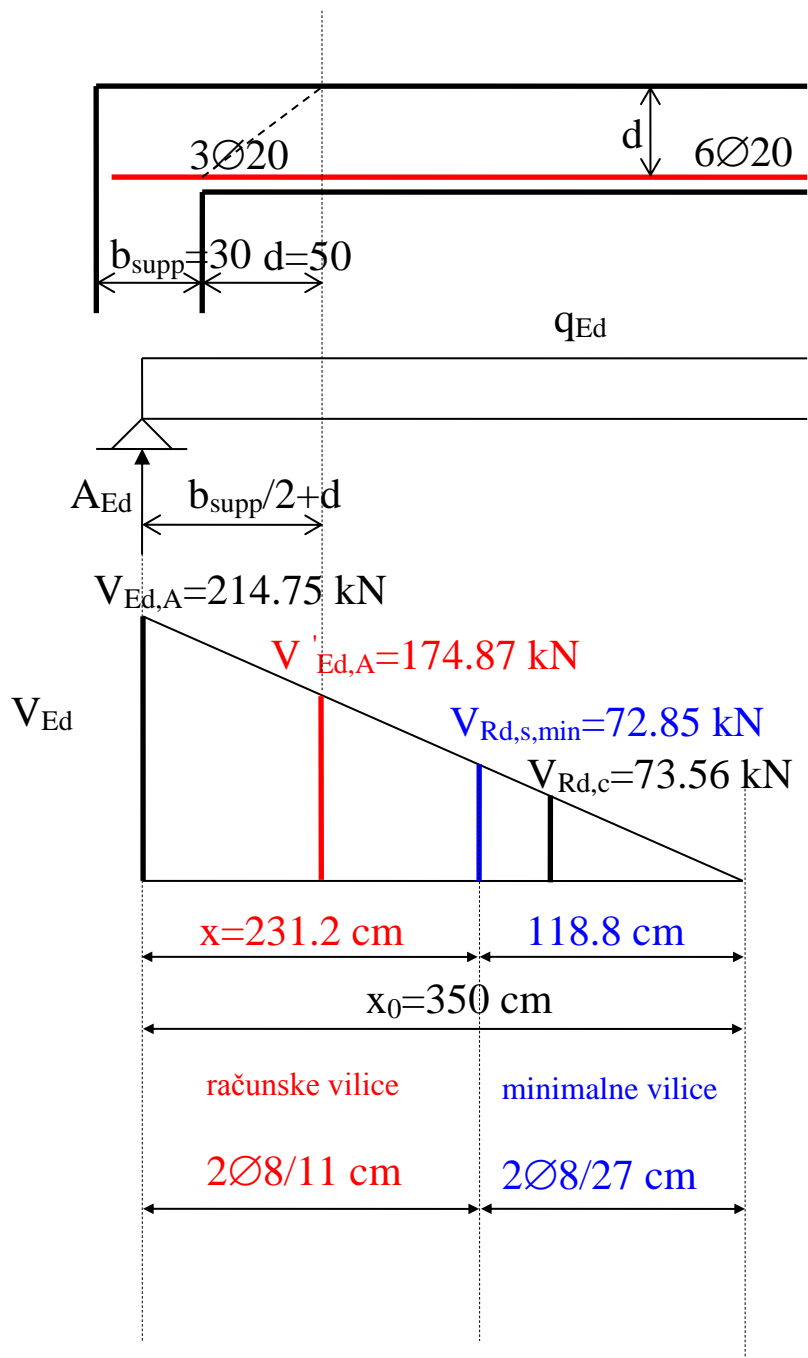
Mjesto gdje poprečna sila poprima vrijednost $V_{Rd,s,min}$:

$$x = x_0 - \frac{V_{Rd,s,min}}{V_{Ed}} \cdot x_0 = 3500 - \frac{72850}{214750} \cdot 3500 = 2312 \text{ mm}$$

$$x = 231.2 \text{ cm}$$

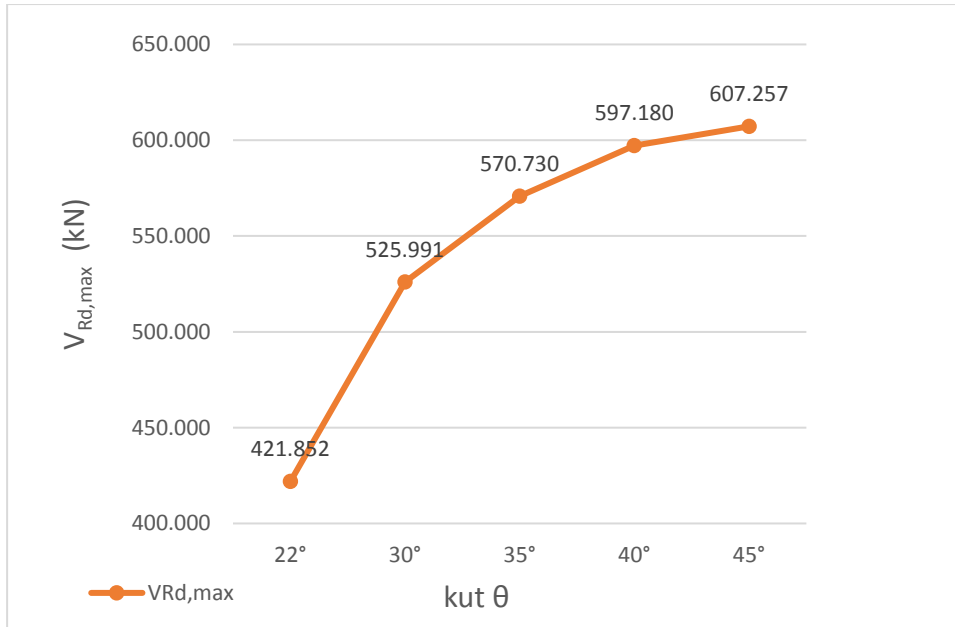
Minimalne vilice zadovoljavaju na duljini od 2.3 m do sredine raspona.

Grafički prikaz djelovanja poprečne sile i postavljanja armature za $\theta = 45^\circ$



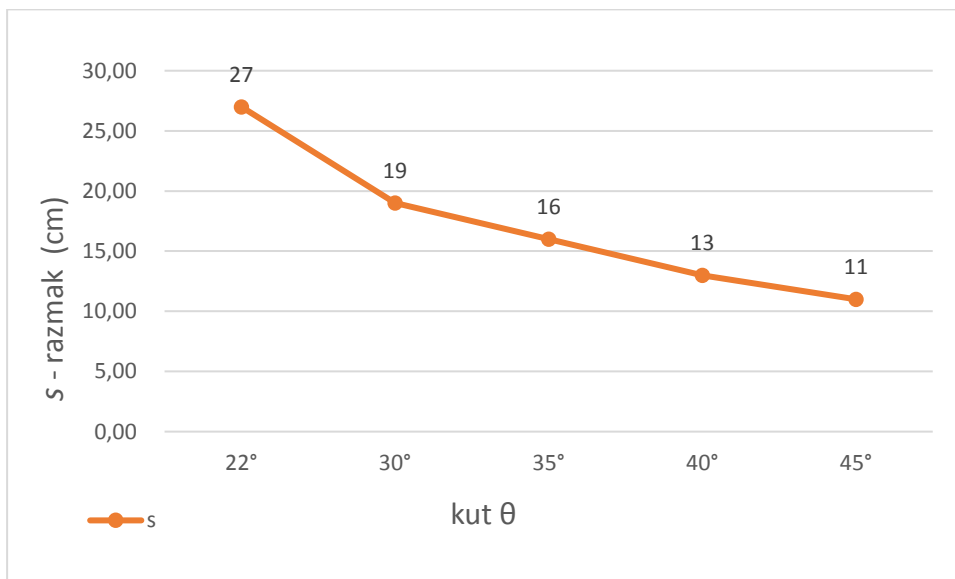
3.5. Grafovi i tablice

Rastom kuta nagiba tlačnih štapova θ povećava se proračunska vrijednost najveće poprečne sile koju preuzima element ograničen tlačnom čvrstoćom betona $V_{Rd,max}$.



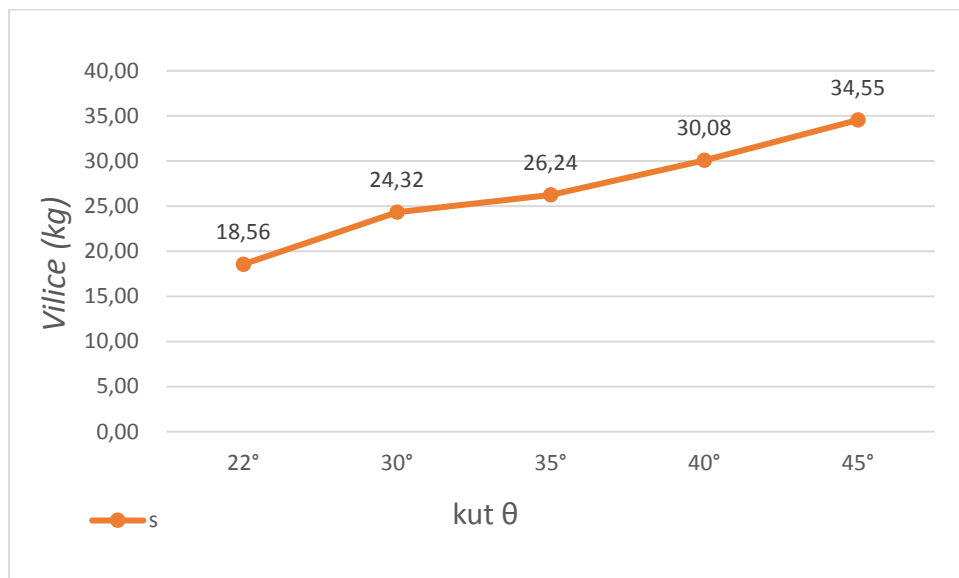
Kut θ	$V_{Rd,max}$
22°	421.852 kN
30°	525.991 kN
35°	570.730 kN
40°	597.180 kN
45°	607.257 kN

Dakle, manji razmak je veća količina vilica. Povećanjem kuta nagiba tlačnih štapova povećava se i količina armature.



Kut θ	s - razmak
22°	27 cm
30°	19 cm
35°	16 cm
40°	13 cm
45°	11 cm

Veći kut nagiba tlačnih štapova = veća težina potrebne poprečne armature, manji kut nagiba tlačnih štapova = manja težina potrebne poprečne armature odnosno vilica.



Kut θ	s - razmak
22°	18.56 kg
30°	24.32 kg
35°	26.24 kg
40°	30.08 kg
45°	34.55 kg

3.6. Postavljanje armature

Armatura treba biti postavljena tako da omogući kvalitetnu ugradnju betona. Dopušteno dodirivanje šipki je na duljinama preklopa. Među šipkama treba biti dovoljan razmak kako bi se omogućio pristup vibratoru radi boljeg zbijanja betona.

Svijetli razmak između šipki računa se na sljedeći način :

$$s = \max\{k_1 \cdot \phi ; d_g + 5\text{mm} ; 20\text{mm}\} = \max\{20\text{ mm} ; 13\text{ mm} ; 20\text{mm}\} = 20\text{ mm}$$

Promjer armature : $\phi = 20\text{mm}$

Promjer vilica : $\phi_v = 8\text{ mm}$

Najveća veličina agregata $d_g = 8\text{mm}$

$$k_1 = 1 \text{ i } k_2 = 5$$

U gredu stane:

$$b = 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \phi_v + n \cdot \phi + (n - 1) \cdot s$$

$$c_{nom} = 2$$

Maksimalni broj armaturnih šipki n jednog reda izračunat je na sljedeći način:

$$n = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \phi_v + s}{\phi + s} = \frac{30 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 0.8 + 2}{2 + 2} = 6.6$$

$$n = 6$$

6 ϕ 20 – u jedan red

Na krajnjim osloncima kod postavljanja gornje armature postavlja se armatura površine jednake ili veće od 25% armature iz polja. Kako bi se vilice povezale potrebno je odrediti barem dvije šipke. U ovom slučaju usvojene su šipke 2 ϕ 20 .

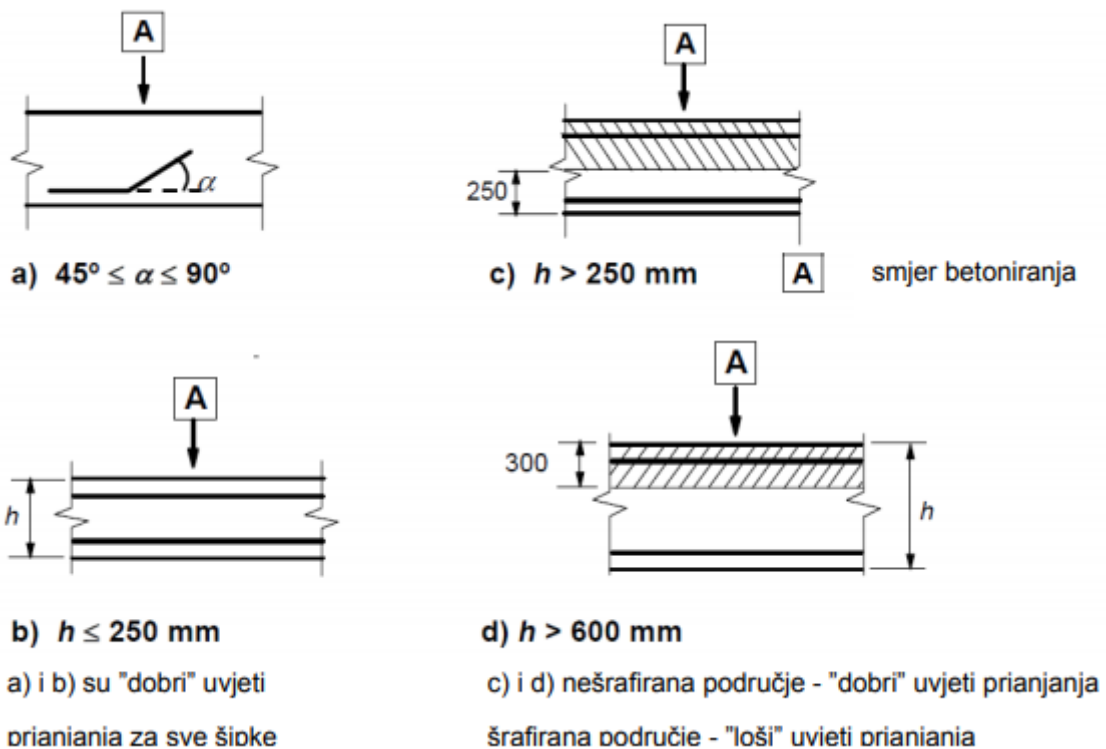
Proračunska vlačna čvrstoća :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{1.8}{1.5} = 1.2 \text{ MPa}$$

Kako bi se spriječio grančni slom prijanjanja, granična čvrstoća mora biti dovoljna da se slom izbjegne.

„Prionjivost ovisi o smjeru betoniranja i debljini elementa:

- šipke pod kutom $45^\circ - 90^\circ$ (dobra prionjivost)
- šipke u elementu debljine $h \leq 25 \text{ cm}$ (dobra prionjivost)
- šipke u elementu debljine $25 \text{ cm} \leq h \leq 60 \text{ cm}$ (dobra prionjivost u donjoj polovici)
- šipke u elementima debljine $h \geq 60 \text{ cm}$ (na dubini većoj od 30 cm od gornje slobodne površine betona daju dobru prionjivost, a gornjih 30 cm daje lošu prionjivost) [2]“



Slika 6. Opis uvjeta prijanjanja [2]

Za ovaj slučaj $25 < h < 60$.

Greda je visine 55cm što znači da je dobra prionjivost 25cm u donjoj polovici debljine, dok je 30 cm u lošoj prionjivosti. Koeficijenti kvalitete prionjivosti :

$\eta_1 = 1$ – za uvjete dobre prionjivosti

$\eta_1 = 0.7$ – za uvjete loše prionjivosti

$\eta_2 = 1$ – za $\emptyset \leq 32 \text{ mm}$

Granično naprezanje prionjanja za rebraste šipke f_{bd} proračunava se prema:

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

U uvjetima dobre prionjivosti :

$$f_{bd} = 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.2 = 2.7 \text{ MPa}$$

U uvjetima loše prionjivosti :

$$f_{bd} = 2.25 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 1.2 = 1.89 \text{ MPa}$$

Osnovna duljina sidrenja za ravne šipke $l_{b,rqd}$ proračunava se iz izraza:

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\emptyset}{4}\right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}\right)$$

Dok se za savijene šipke duljina sidrenja $l_{b,rqd}$ i proračunska duljina l_{bd} mjere uzduž središnje linije šipke.

Osnovna duljina sidrenja za dobru prionjivost kada je $\sigma_{sd} = f_{yd}$:

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{20}{4}\right) \left(\frac{434.78}{2.7}\right) = 80.51 \text{ cm}$$

Osnovna duljina sidrenja za lošu prionjivost $\sigma_{sd} = f_{yd}$:

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{20}{4}\right) \left(\frac{434.78}{1.89}\right) = 115.02 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja u vlačnom području $l_{b,min}$:

$$l_{b,min} = \max\{0.3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100mm\} = \max\{0.3 \cdot 80.51; 10 \cdot 2; 100mm\}$$

$$l_{b,min} = \max\{24.13 \text{ cm}; 20 \text{ cm}; 10 \text{ cm}\}$$

$$l_{b,min} = 24.13 \text{ cm} - \text{osvojeno}$$

Proračunska duljina sidrenja l_{bd} prema formuli, gdje su vrijednosti koeficijenata :

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ uzeti iz tablice.

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1 \text{ (na strani sigurnosti)}$$

$$l_{bd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 80.51 \geq l_{b,min} = 24.13$$

$$l_{bd} = 80.51 \text{ cm} > l_{b,min} = 24.13 \text{ cm}$$

Preklopi šipki moraju se omogućiti prijenos sile s jedne šipke prenose na drugu tako da se ne pojavljuju pukotine ili odlama beton. Proračun duljine preklopa šipki l_0 vrši se na sljedeći način:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

$$l_{0,min} = \max\{0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \emptyset; 200mm\}$$

$$\alpha_6 = 1.5 \text{ (na strani sigurnosti)}$$

$$l_{0,min} = \max\{0.3 \cdot 1.5 \cdot 80.51; 15 \cdot 2; 200mm\} = \max\{36.23 \text{ cm}; 30 \text{ cm}; 20 \text{ cm}\}$$

$$l_{0,min} = 37 \text{ cm} - \text{usvojeno}$$

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

$$l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.5 \cdot 80.51 \geq l_{0,min} = 37 \text{ cm}$$

$$l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.5 \cdot 80.51 \geq l_{0,min} = 37 \text{ cm}$$

$$l_0 = 120.77 \text{ cm} > l_{0,min} = 37 \text{ cm}$$

$$l_0 = 125 \text{ cm} - \text{usvojeno}$$

4. NACRTI

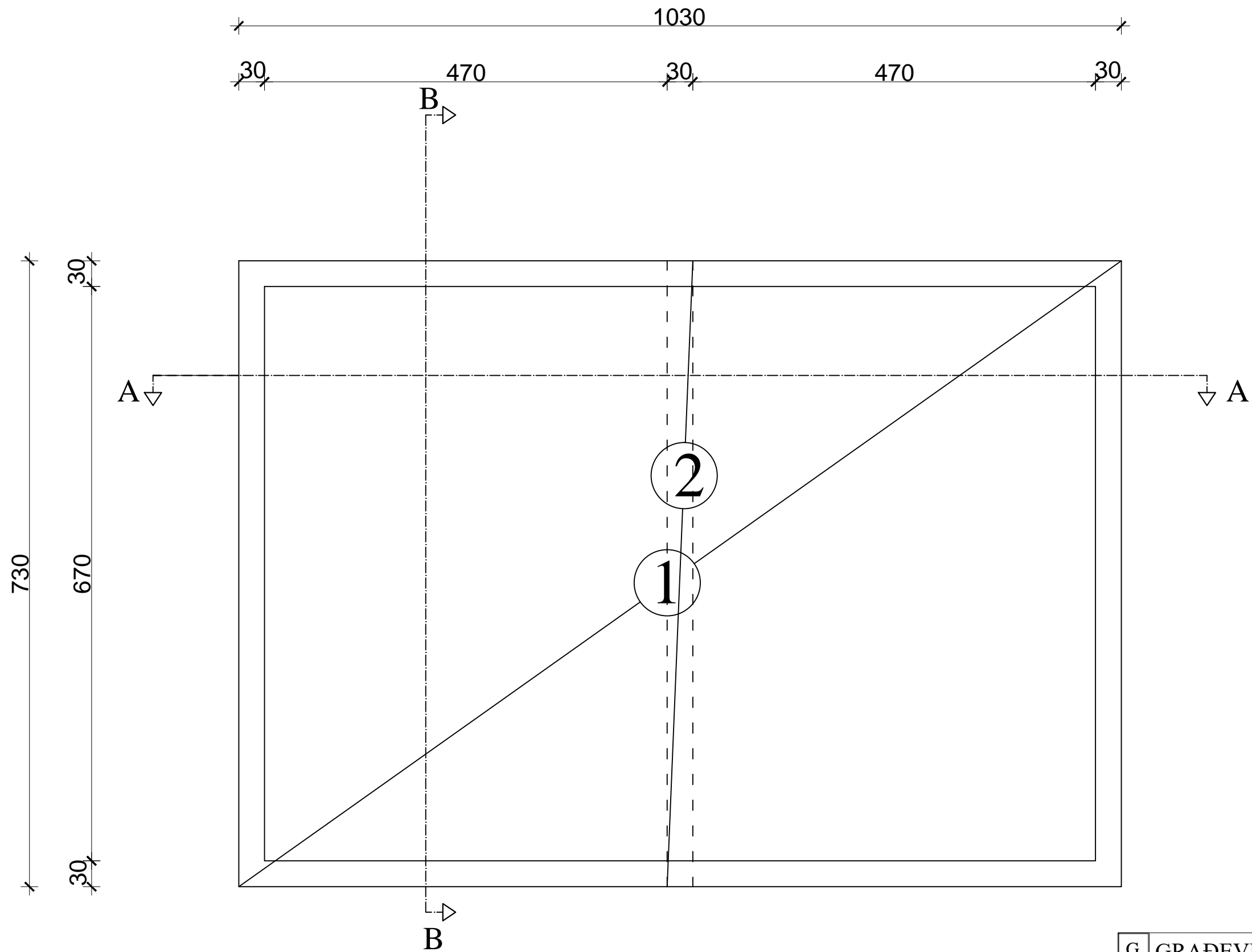
5. ZAKLJUČAK

U završnom radu kroz teorijski dio objašnjen je postupak dimenzioniranja na poprečnu silu. U numeričkom dijelu obavljen je statički proračun armirano betonske ploče i grede za zadani objekt prema graničnom stanju nosivosti. Prikazan je postupak dimenzioniranja na savijanje i postupak dimenzioniranja na poprečnu silu za armirano betonsku gredu. Određena je uzdužna armatura. Proračunata je i poprečna armatura za pet različitih kuteva nagiba tlačnih štapova $22^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ i 45° , tim proračunom utvrđeno je da se s povećanjem kuta nagiba tlačnih štapova povećava i količina potrebne armature. Putem tablica i grafova jasno je pojašnjeno kako se povećanjem kuta nagiba tlačnih štapova povećava proračunska vrijednost najveće poprečne sile koju preuzima element ograničen tlačnom čvrstoćom betona. Odnosno povećanje kuta dovodi do manjeg razmaka između vilica što u konačnici dovodi do većeg utroška vilica. U nacrtima su prikazani iskazi i postavljanje armature za proračune navedenih kuteva.

6. LITERATURA

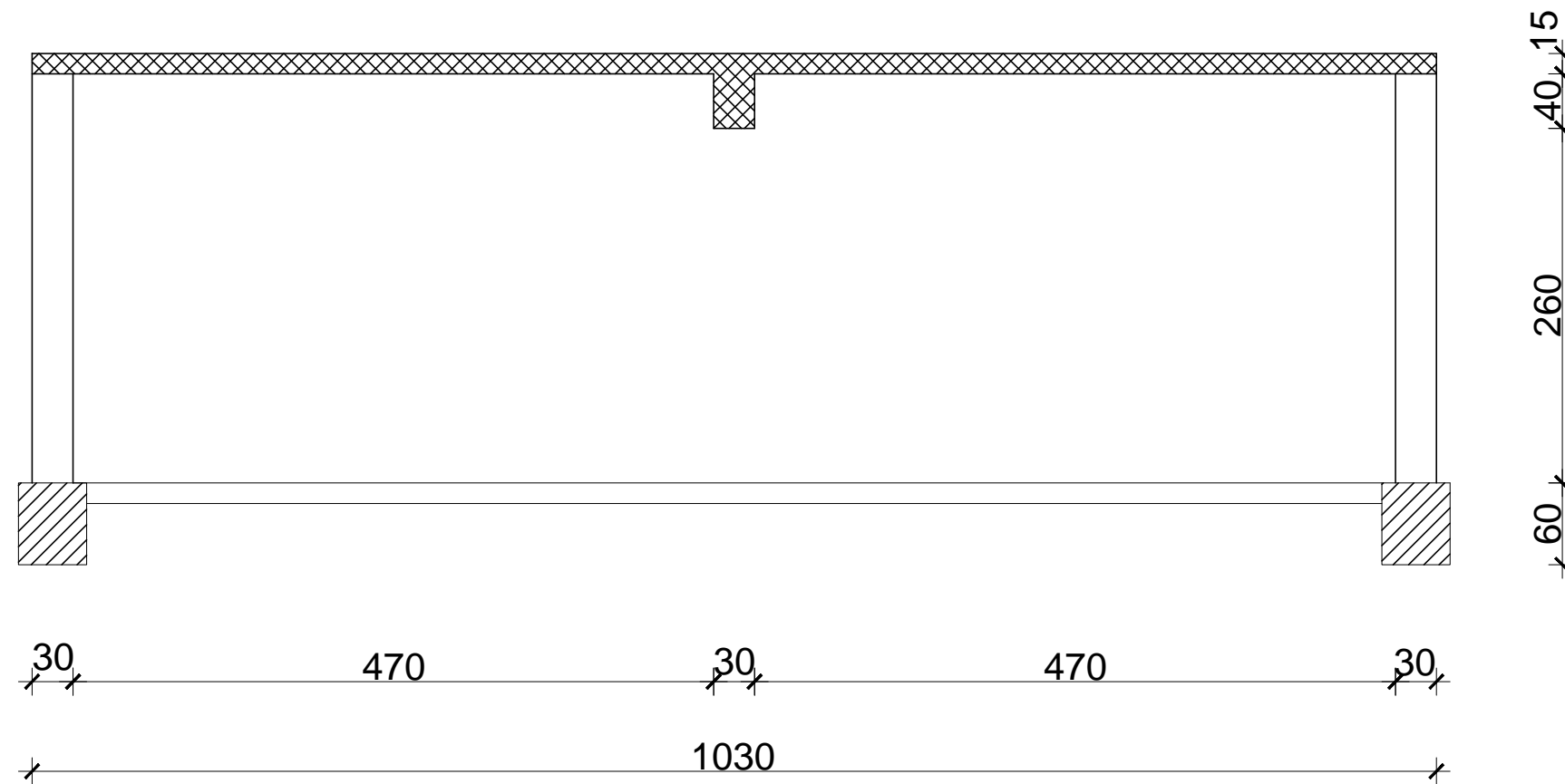
1. Dr.sc. Željko Smolčić dipl.ing.građ. : Predavanja iz kolegija Osnove betonskih i zidanih konstrukcija,
2. Zorislav Sorić, Tomislav Kišićek : Betonske konstrukcije 1 ,sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet Zagreb,2014.
3. Namjesnik H. , Proračunska i konstrukcijska načela armiranja te izrada planova armature, završni rad, Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo, Varaždin, 2018.
4. Eurokod 2 : Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, HRN EN 1992-1-1:2013.
5. PER MIG d.o.o., proizvodnja,transport i ugradnja betona betonskim pumpama, http://www.per-mig.hr/o_betonu.htm, pristup 25.8.2019.
6. Harpin A. : Dimenzioniranje betonskih konstrukcija prema TPBK (EC2), Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

TLOCRT MJ 1:50



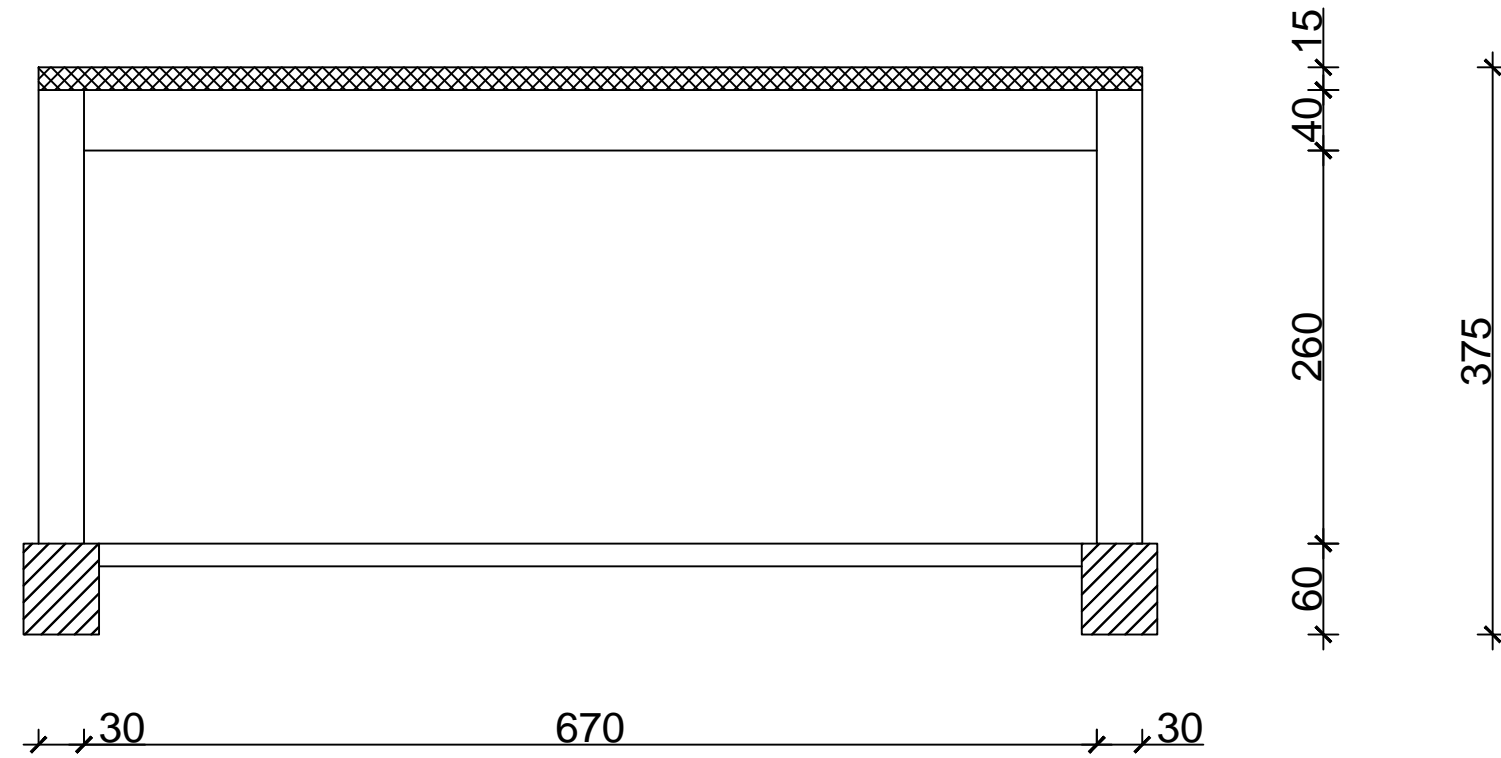
G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		TLOCRT	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.07.2019	MJ: 1:50	LIST:

PRESJEK A-A



G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		PRESJEK A-A	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.07.2019	MJ: 1:50	LIST:

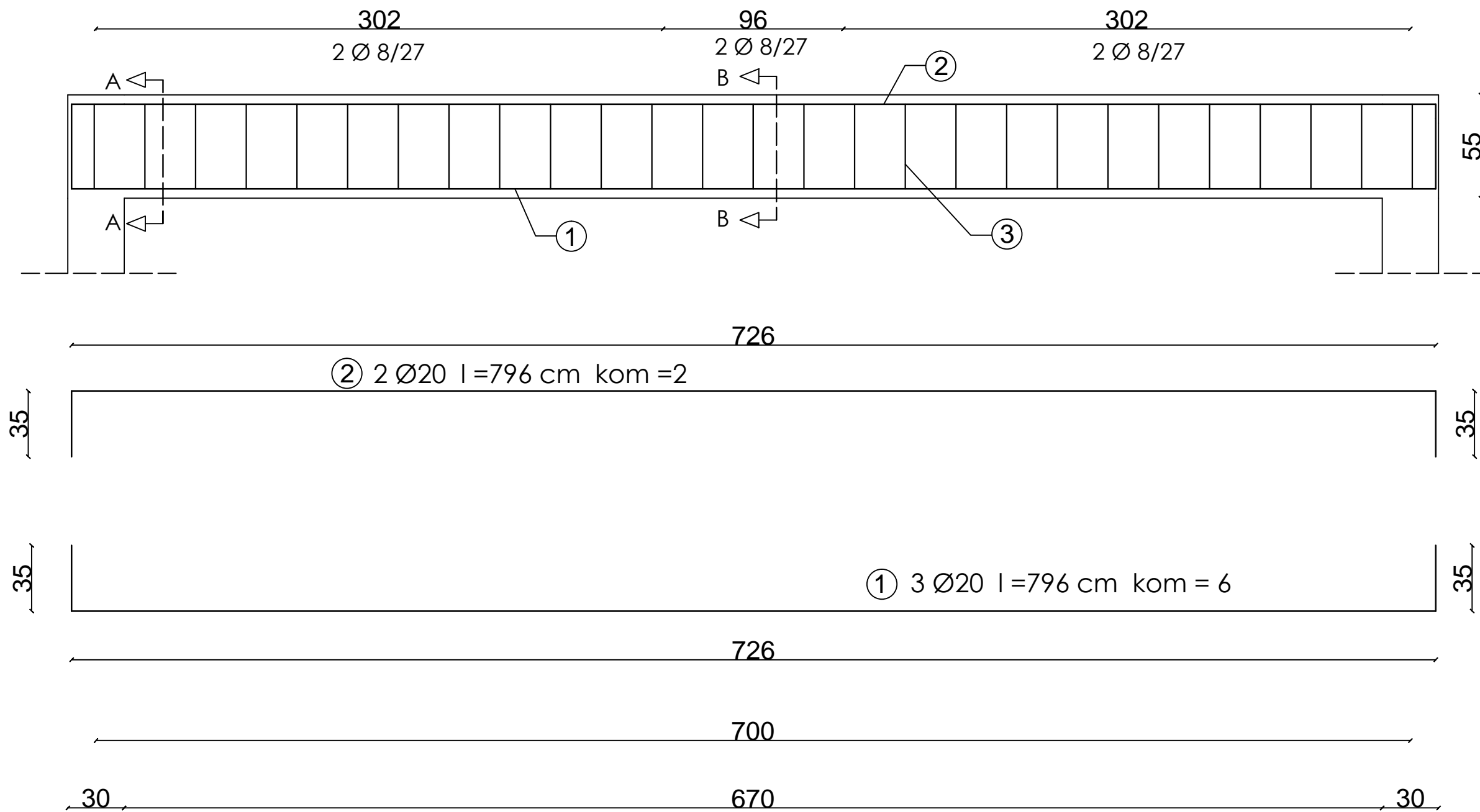
PRESJEK B-B



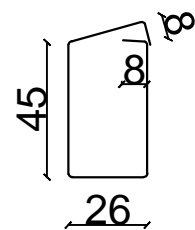
G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		PRESJEK B-B	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.09.2019	MJ: 1:25	LIST:

PLAN ARMATURE GREDE ZA $\theta=22^\circ$

MJ 1:25



Vilice



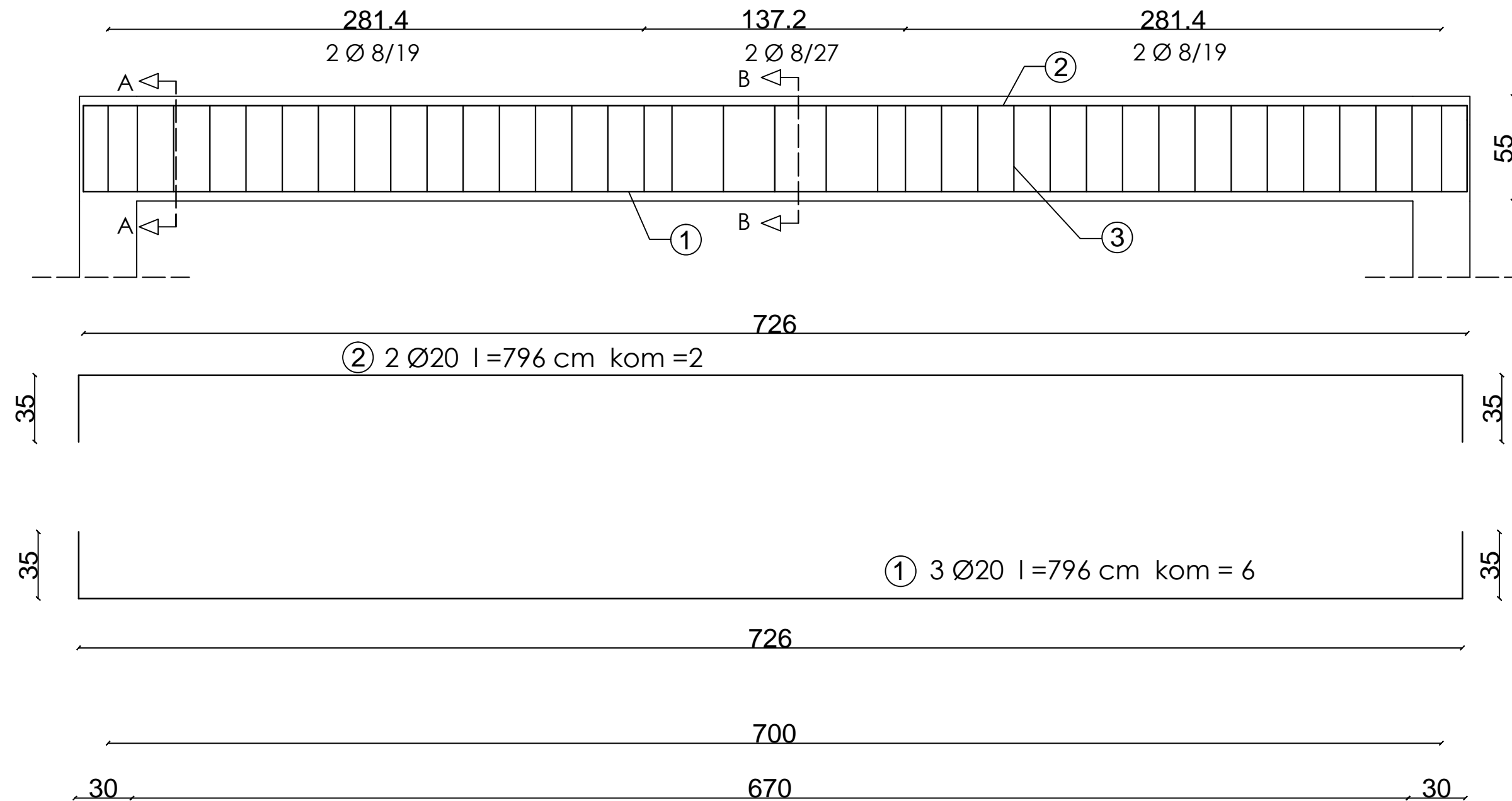
③ Ø8 l=158cm kom = 29

Iskaz armature grede B500B				Ukupna duljina (m)	
POZ	Ø (mm)	L (m)	kom	Ø 8	Ø 20
1	20	7,96	6		47,76
2	20	7,96	2		15,92
3	8	1,58	29	45,82	
Ukupno (m)				45,82	63,68
Masa (kg/m)				0,405	2,536
UKUPNO - po profilima (kg)				18,56	161,49
SVEUKUPNO (kg)				2996,83	

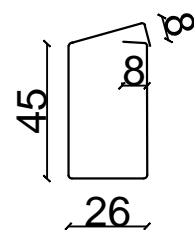
G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		TLOCRT	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.07.2019	MJ: 1:25	LIST:

PLAN ARMATURE GREDE ZA $\theta=30^\circ$

MJ 1:25



Vilice



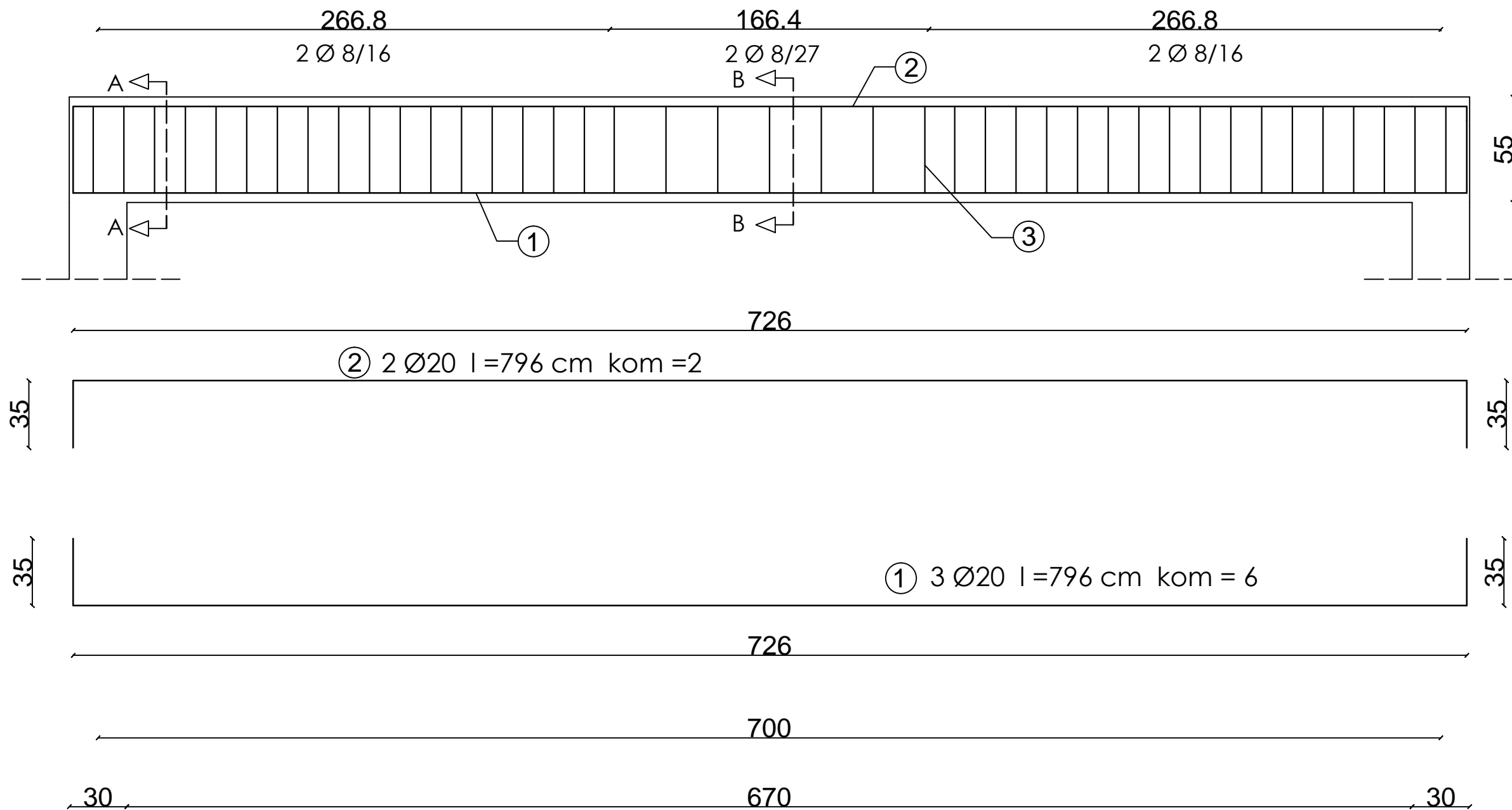
③ Ø8 l=158cm kom = 38

Iskaz armature grede B500B				Ukupna duljina (m)	
POZ	Ø (mm)	L (m)	kom	Ø 8	Ø 20
1	20	7,96	6		47,76
2	20	7,96	2		15,92
3	8	1,58	38	60,04	
Ukupno (m)				60,04	63,68
Masa (kg/m)				0,405	2,536
UKUPNO - po profilima (kg)				24,32	161,49
SVEUKUPNO (kg)				3926,88	

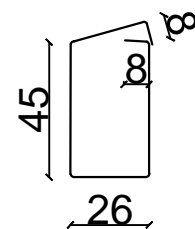
G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		TLOCRT	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.09.2019	MJ: 1:25	LIST:

PLAN ARMATURE GREDE ZA $\theta=35^\circ$

MJ 1:25



Vilice



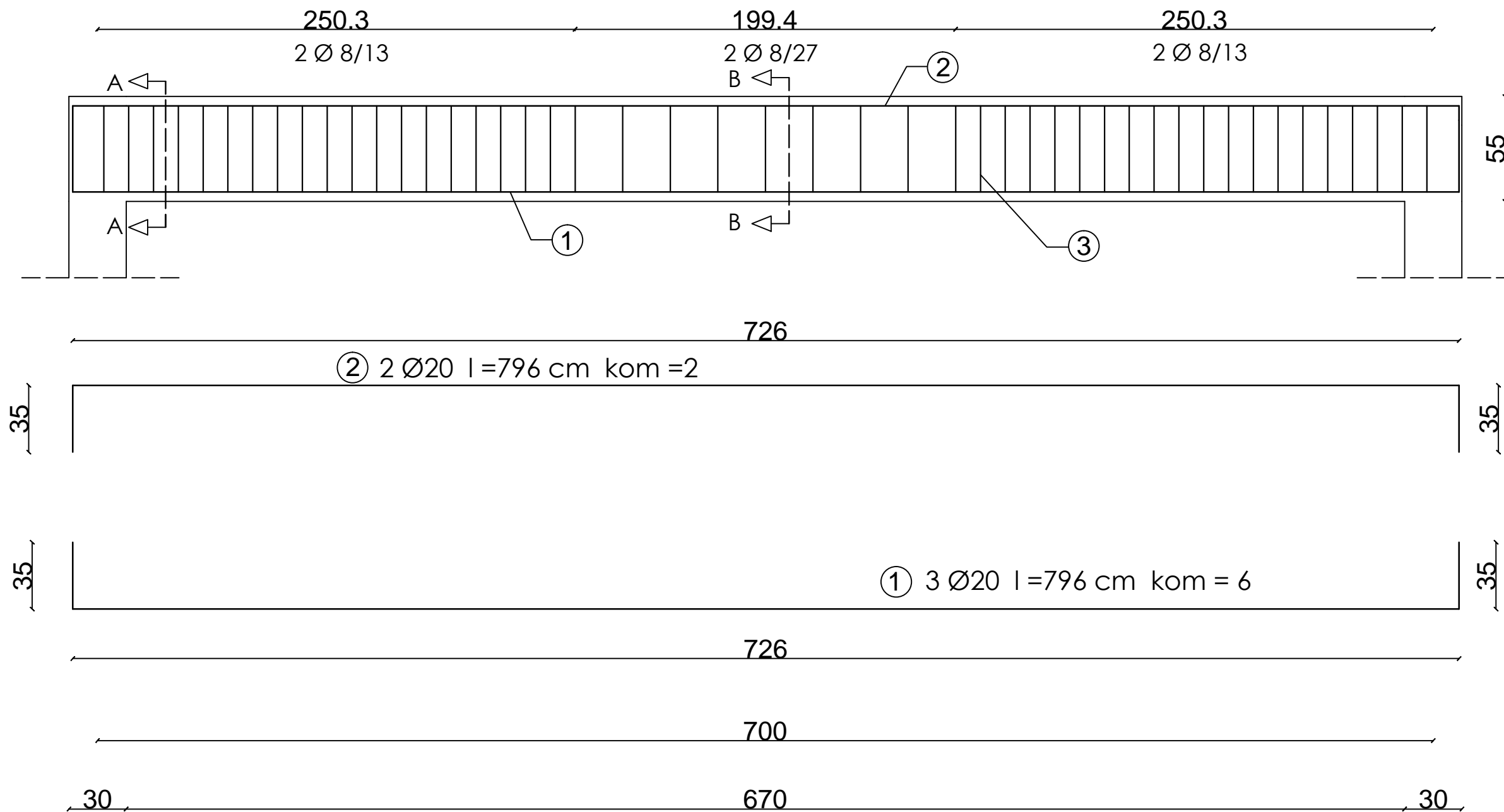
③ Ø 8 l=158cm kom = 41

Iskaz armature grede B500B				Ukupna duljina (m)	
POZ	Ø (mm)	L (m)	kom	Ø 8	Ø 20
1	20	7,96	6		47,76
2	20	7,96	2		15,92
3	8	1,58	41	64,78	
Ukupno (m)				64,78	63,68
Masa (kg/m)				0,405	2,536
UKUPNO - po profilima (kg)				26,24	161,49
SVEUKUPNO (kg)				4236,90	

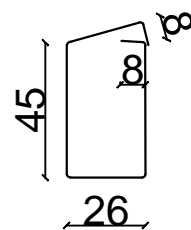
G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		TLOCRT	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.09.2019	MJ: 1:25	LIST:

PLAN ARMATURE GREDE ZA $\theta=40^\circ$

MJ 1:25



Vilice



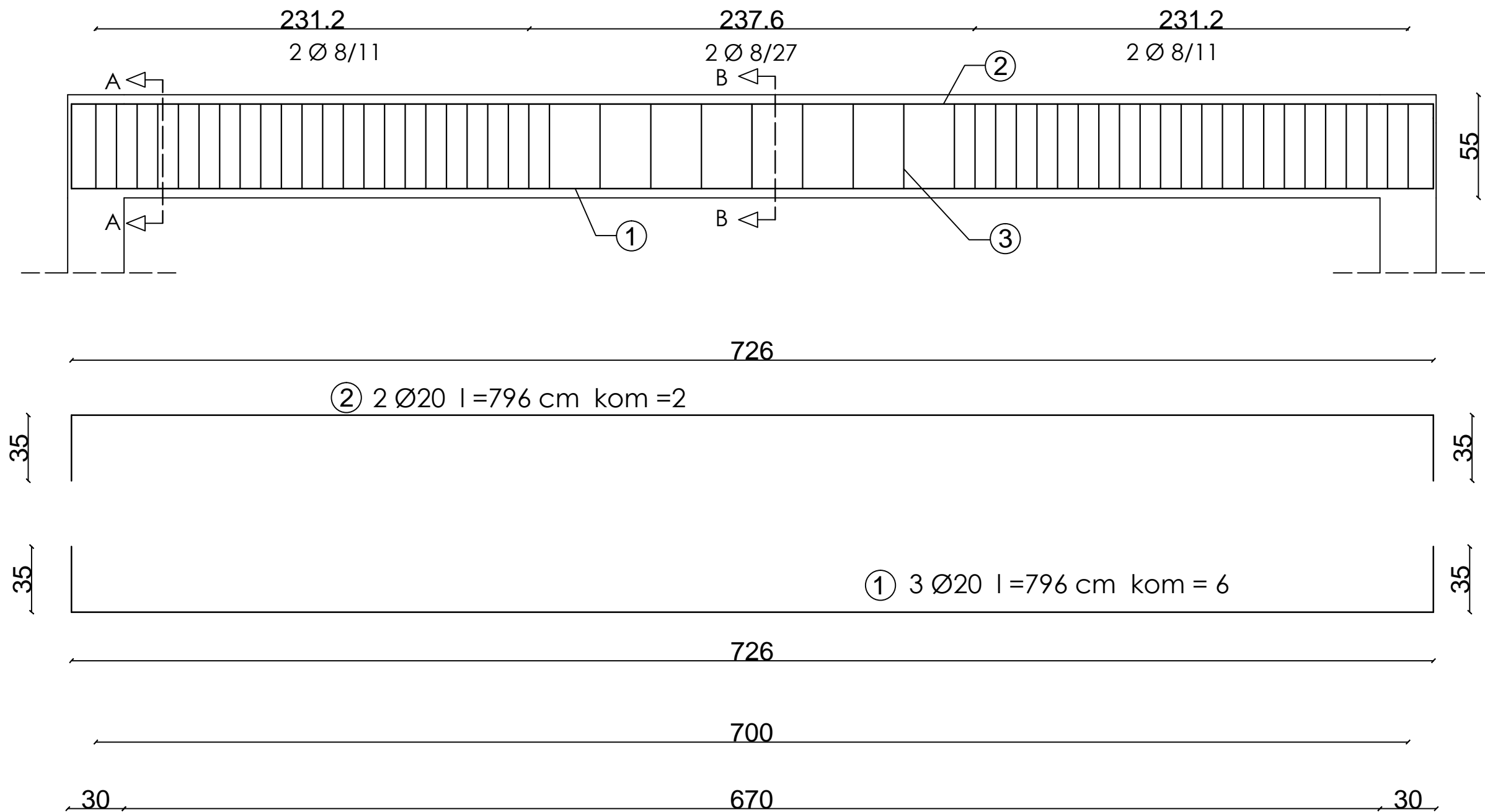
③ Ø8 l=158cm kom = 47

Iskaz armature grede B500B				Ukupna duljina (m)	
POZ	Ø (mm)	L (m)	kom	Ø 8	Ø 20
1	20	7,96	6		47,76
2	20	7,96	2		15,92
3	8	1,58	47	74,26	
Ukupno (m)				74,26	63,68
Masa (kg/m)				0,405	2,536
UKUPNO - po profilima (kg)				30,08	161,49
SVEUKUPNO (kg)				4856,93	

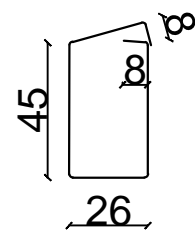
G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		TLOCRT	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.09.2019	MJ: 1:25	LIST:

PLAN ARMATURE GREDE ZA $\theta=45^\circ$

MJ 1:25



Vilice



③ Ø8 l=158cm kom = 54

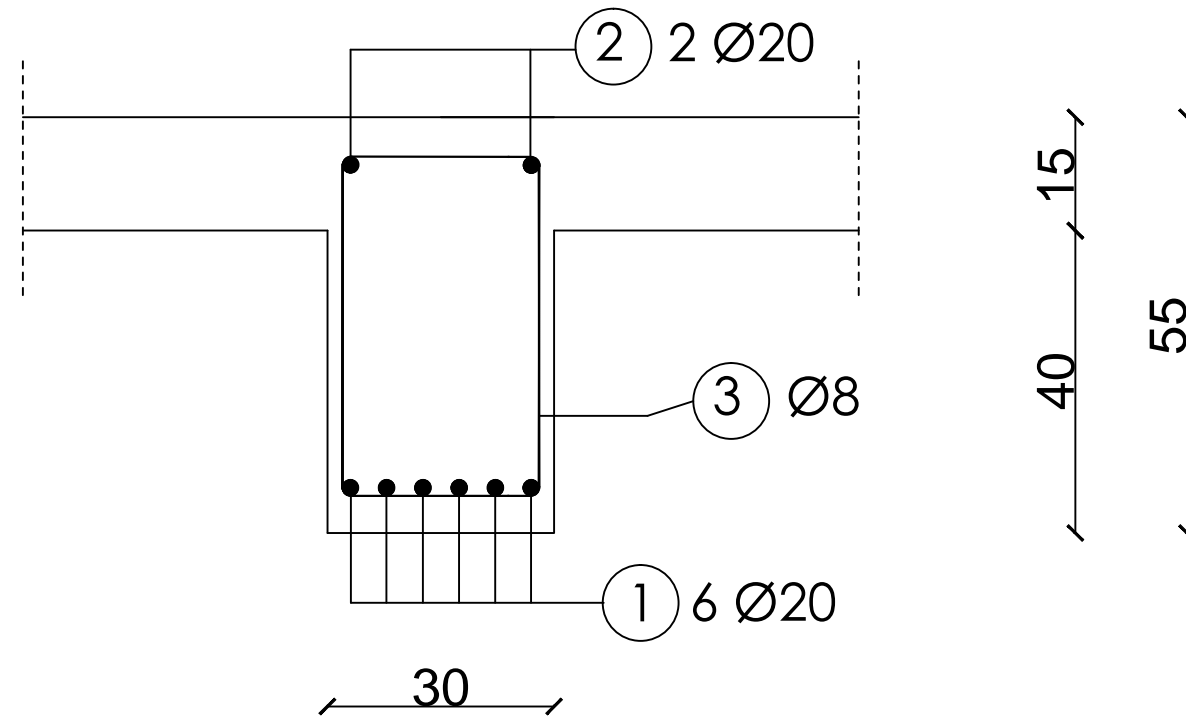
Iskaz armature grede B500B				Ukupna duljina (m)	
POZ	Ø (mm)	L (m)	kom	Ø 8	Ø 20
1	20	7,96	6		47,76
2	20	7,96	2		15,92
3	8	1,58	54	85,32	
Ukupno (m)				85,32	63,68
Masa (kg/m)				0,405	2,536
UKUPNO - po profilima (kg)				34,55	161,49
SVEUKUPNO (kg)				5580,31	

G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		TLOCRT	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.09.2019	MJ: 1:25	LIST:

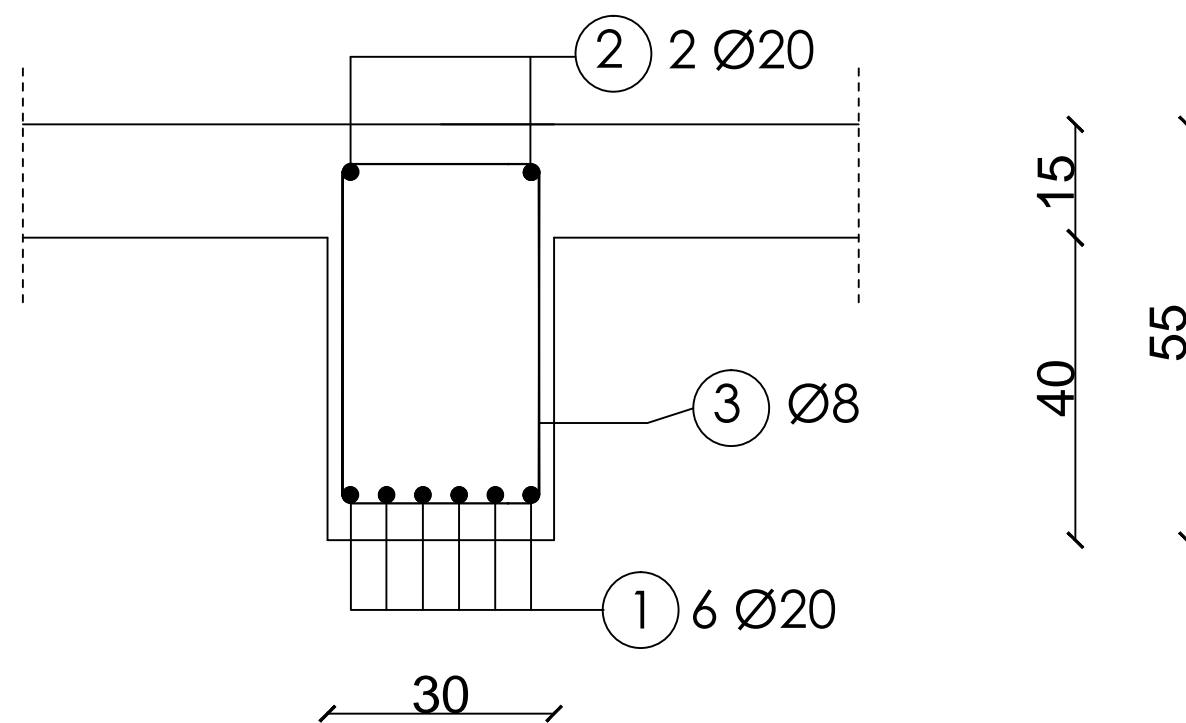
PLAN ARMATURE GREDE (presjeci)

MJ 1:10

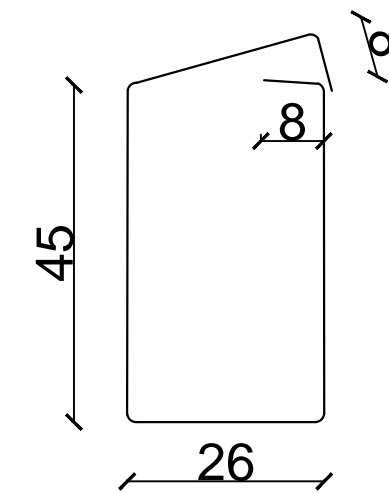
Presjek A-A



Presjek B-B



Vilice



③ Ø8 l=158cm

G GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA			
ZAVRŠNI RAD: Dimenzioniranje na poprečnu silu		KOLEGIJ: Osnove betonskih i zidanih konstrukcija	
STUDENT: Bepo Nikpalj		TLOCRT	
Mentor: dr.sc Željko Smolčić	DATUM: 01.09.2019	MJ: 1:10	LIST: