

PRORAČUN KONSTRUKCIJE SASTAVLJENE OD OKVIRNOG NOSAČA I ŠTAPOVA

Vuković, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:228:105072>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Preddiplomski stručni studij Konstrukcijsko strojarstvo

LUKA VUKOVIĆ

Z A V R Š N I R A D

**PRORAČUN KONSTRUKCIJE SASTAVLJENE OD
OKVIRNOG NOSAČA I ŠTAPOVA**

Split, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Preddiplomski stručni studij Konstrukcijsko strojarstvo

Predmet: Nauka o čvrstoći

Z A V R Š N I R A D

Kandidat: Luka Vuković

Naslov rada: Proračun konstrukcije sastavljene od okvirnog nosača i
štapova

Mentor: dr.sc. Ado Matoković, prof. v. š. t. z.

Split, rujan 2020.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE U SPLITU
Sveučilišni odjel za stručne studije

Studij: Konstrukcijsko strojarstvo

Predmet: Nauka o čvrstoći

Nastavnik: dr. sc. Ado Matoković, profesor visoke škole u trajnom zvanju

ZADATAK

Kandidat: Luka Vuković

Zadatak: Proračun konstrukcije sastavljene od okvirnog nosača i štapova

Tekst zadatka:

- U uvodnom dijelu ukratko opisati okvirne nosače s pripadajućim koordinatnim sustavima te riješiti primjer rešetkastog nosača;
- Izvršiti proračun i dimenzioniranje zadanog okvirnog nosača bez ojačanja;
- Izvršiti proračun i dimenzioniranje zadane konstrukcije okvirnog nosača ojačanog štapovima;
- Izvršiti zamjenu oslonaca te ponoviti proračun za okvirni nosač bez ojačanja i s ojačanjem;
- Dimenzionirati i oblikovati proizvoljni čvor;
- Provjeriti rezultate dobivene proračunom koristeći programski paket 2D Frame Analysis te ukratko opisati programski paket;

Sažetak(Proračun konstrukcije sastavljene od okvirnog nosača i štapova)

U ovom završnom radu dan je proračun konstrukcije sastavljene od okvirnog nosača i štapova za zadano opterećenje. U uvodu je prikazano što je to okvirni nosač, te kako se definiraju lokalni i globalni koordinatni sustavi. U uvodnom primjeru prikazano je što je to rešetkasti nosač te je riješen primjer istog. Napravljen je proračun unutarnjih sila za okvirni nosač bez štapova, zatim za okvirni nosač sa štapovima za zadano opterećenje. Zatim je odrađen isti proračun ali sa zamijenjenim osloncima. Nakon proračuna unutarnjih sila nacrtani su dijagrami unutarnjih sila i momenata. Dalje je napravljeno dimenzioniranje okvirnog nosača sa i bez štapova kao i samih štapova.

Ključne riječi: okvirni nosač, štapovi, rešetkasti nosač, unutarnje sile, dimenzioniranje

Summary (Calculation of a structure composed of a portal frame and trusses)

In this work paper, a calculation of structure composed of a portal frame and bars for a given load will be described. The introduction shows what a portal frame is, and how local and global coordinate systems are defined. In the introductory example is shown what lattice girder is and how the example of lattice girder is solved. The calculation of the internal forces was made for portal frame without bars, and then for the portal frame with bars for a given load. Then the same calculation is done but with the supports replaced. After the calculation of internal forces, diagrams of internal forces and moments are drawn. Furthermore, the sizing of the portal frame with and without bars is performed, as well as the sizing of the bars themselves and the selection of profiles.

Keywords: portal frame, bars, lattice girder, internal forces, sizing

SADRŽAJ

Sažetak(Proračun konstrukcije sastavljene od okvirnog nosača i štapova).....	ii
Summary (Calculation of a structure composed of a portal frame and trusses)	ii
1. Uvod.....	1
2. Proračun konstrukcije sastavljene od okvirnog nosača i štapova.....	8
2.1. Proračun okvirnog nosača bez štapova.....	8
2.1.1. Dijagrami unutarnjih sila samog okvira	17
2.2. Proračun okvira s ojačanjem.....	18
2.3. Proračun unutarnjih sila okvira u konstrukciji s ojačanjem.....	21
2.3.1. Dijagrami unutarnjih sila okvira u konstrukciji s ojačanjem.....	37
2.4. Proračun okvirnog nosača bez štapova sa zamijenjenim osloncima	38
2.4.1. Dijagrami unutarnjih sila samog okvira sa zamijenjenim osloncima	46
2.5. Proračun okvira s ojačanjem sa zamijenjenim osloncima	47
2.6. Proračun unutarnjih sila okvira u konstrukciji s ojačanjem sa zamijenjenim osloncima	49
2.6.1. Dijagrami unutarnjih sila okvira u konstrukciji s ojačanjem sa zamijenjenim osloncima	65
3. Dimenzioniranje	66
3.1. Dimenzioniranje okvira bez ojačanja	66
3.2. Dimenzioniranje okvira sa ojačanjem	67
3.3. Odabir štapova ojačanja okvira.....	69
4. Dimenzioniranje i oblikovanje čvora.....	72
5. Opis paketa 2D Frame Analysis	78
6. Zaključak.....	82
Literatura.....	83

Prilozi.....	84
--------------	----

Popis slika

Slika 1.1 – Okvirni nosač u primjeni [5]	1
Slika 1.2 – Globalni koordinatni sustav.....	2
Slika 1.3 – Lokalni koordinatni sustavi	2
Slika 1.4 – Rešetka s osloncima	4
Slika 1.5 – Rešetkasta konstrukcija oslobođena od veza.....	4
Slika 1.6 – Čvor A.....	5
Slika 1.7 – Čvor C	6
Slika 1.8 – Čvor E	7
Slika 1.9 – Čvor B	7
Slika 2.1 – Zadana konstrukcija okvirnog nosača s ojačanjem.....	8
Slika 2.2 – Prikaz okvirnog nosača oslobođenog od veza.....	9
Slika 2.3 – Okvirni nosač bez ojačanja sa zadanim opterećenjem i reakcijama štapova i oslonaca, te prikazanim presjecima potrebnim za proračun unutarnjih sila	10
Slika 2.4 – Odsječeni dio okvirnog nosača za prvi presjek	10
Slika 2.5 – Odsječeni dio okvirnog nosača za drugi presjek	11
Slika 2.6 – Odsječeni dio okvirnog nosača za treći presjek.....	12
Slika 2.7 – Odsječeni dio okvirnog nosača za četvrti presjek.....	14
Slika 2.8 – Odsječeni dio okvirnog nosača za peti presjek.....	15
Slika 2.9 – Odsječeni dio okvirnog nosača za šesti presjek.....	16
Slika 2.11 – Dio nosača lijevo od presjeka	18
Slika 2.12 – Čvor A	19
Slika 2.13 – Trokut za proračun kuta α	20
Slika 2.14 – Čvor B	20
Slika 2.15 – Trokut za proračun kuta β	21
Slika 2.16 – Okvirni nosač sa zadanim opterećenjem i reakcijama štapova i oslonaca, te prikazanim presjecima potrebnim za proračun unutarnjih sila	22
Slika 2.17 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za prvi presjek	22
Slika 2.18 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za drugi presjek	23
Slika 2.19 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za treći presjek.....	24
Slika 2.20 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za četvrti presjek.....	25
Slika 2.21 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za peti presjek.....	26
Slika 2.22 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za šesti presjek.....	27

Slika 2.23 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za sedmi presjek	29
Slika 2.24 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za osmi presjek	30
Slika 2.25 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za deveti presjek	32
Slika 2.26 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za deseti presjek	33
Slika 2.27 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za jedanaesti presjek	35
Slika 2.28 – Dijagrami N, Qz i My	37
Slika 2.29 – Prikaz okvirnog nosača oslobođenog od veza	38
Slika 2.30 – Okvirni nosač bez ojačanja sa zadanim opterećenjem i reakcijama štapova i oslonaca, te prikazanim presjecima potrebnim za proračun unutarnjih sila	39
Slika 2.31 – Odsječeni dio okvirnog nosača za prvi presjek	39
Slika 2.32 – Odsječeni dio okvirnog nosača za drugi presjek	40
Slika 2.33 – Odsječeni dio okvirnog nosača za treći presjek	41
Slika 2.34 – Odsječeni dio okvirnog nosača za četvrti presjek	42
Slika 2.35 – Odsječeni dio okvirnog nosača za peti presjek	43
Slika 2.36 – Odsječeni dio okvirnog nosača za šesti presjek	44
Slika 2.37 – Dijagrami N, QZ i My	46
Slika 2.38 – Dio nosača lijevo od presjeka	47
Slika 2.39 – Čvor A	48
Slika 2.40 – Čvor B	48
Slika 2.41 – Okvirni nosač sa zadanim opterećenjem i reakcijama štapova i oslonaca, te prikazanim presjecima potrebnim za proračun unutarnjih sila	50
Slika 2.42 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za prvi presjek	50
Slika 2.43 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za drugi presjek	51
Slika 2.44 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za treći presjek	52
Slika 2.45 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za četvrti presjek	53
Slika 2.46 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za peti presjek	54
Slika 2.47 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za šesti presjek	55
Slika 2.48 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za sedmi presjek	57
Slika 2.49 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za osmi presjek	58
Slika 2.50 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za deveti presjek	60
Slika 2.51 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za deseti presjek	61
Slika 2.52 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za jedanaesti presjek	63
Slika 2.53 – Dijagrami N, Qz i My	65
Slika 3.1 – Prikaz IPE 450 profila u presjeku s dimenzijama	67

Slika 3.2 – Prikaz IPE 0 600 profila u presjeku s dimenzijama	68
Slika 3.3 – Prikaz odabranog kvadratnog profila 30x30x2 u presjeku.....	70
Slika 3.4 – Prikaz odabranog kvadratnog profila 60x60x4 u presjeku.....	71
Slika 4.1 – Čvor 1 s prikazom sila.....	72
Slika 4.2 – Kvadratni profil sa trakama za štapove 5 i 6	72
Slika 4.3 – Kvadratni profil sa trakama za štap 1.....	73
Slika 4.4 – Prikaz cijelog čvora.....	77
Slika 5.1 – Prozor za odabir okvirnog nosača.....	78
Slika 5.2 – Svojstva materijala.....	79
Slika 5.3 – Ostali materijali ponuđeni u biblioteci.....	79
Slika 5.4 – Alatna traka	80
Slika 5.5 – Prikaz okvirnog nosača bez ojačanja	80
Slika 5.6 – Glavna alatna traka	80
Slika 5.7 – Prikaz okvirnog nosača sa ojačanjem	81
Slika 5.8 – Prikaz odabira stupnja slobode	81

1. Uvod

U radu se razmatra konstrukcija sastavljena od okvirnog nosača koji je ojačan štapovima radi toga ukratko je opisan okvirni nosač. Ojačanje okvira je dano štapovima, budući da će se sile u štapovima ojačanja profila računati po sličnom modelu kojeg smo koristili kod rešetkastog nosača opisan je i proračun jednostavnog rešetkastog nosača.

1.1 Okvirni nosač

Okvirni nosači se sastoje od ravnih ili zakrivljenih jednostavnih štapova koji su međusobno spojeni krutim vezama. Okvirni nosači imaju veliku primjenu u statičkim konstrukcijama.(slika 1.1).

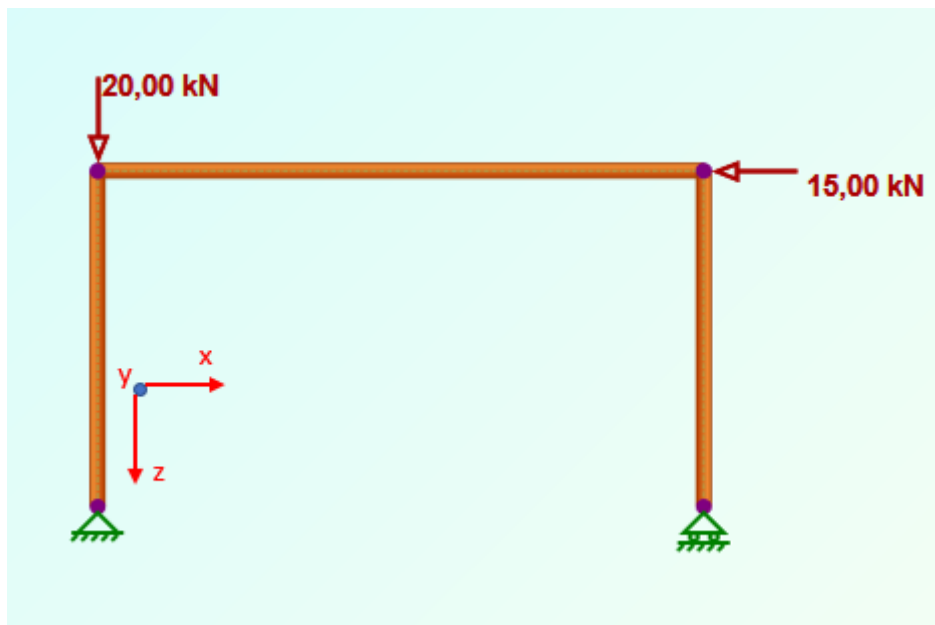


Slika 1.1 – Okvirni nosač u primjeni [5]

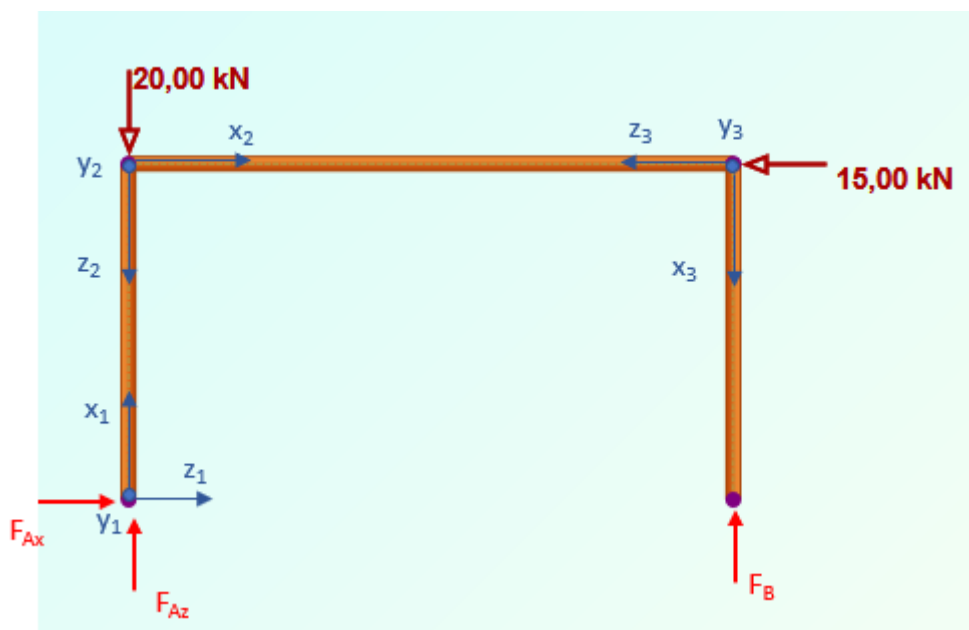
Ravninski okvirni nosači jesu puni nosači, sastavljeni od više jednostavnih dijelova međusobno vezanih pod nekim kutom, bilo čvrstim ili zlobnim vezama tako da osi svih tih dijelova leže u jednoj ravnini u kojoj leži i opterećenje okvira.

Kod okvira treba voditi računa o lokalnim koordinatnim sustavima koji se vezuju za svaki njegov pojedini dio. Za određivanje reakcija oslonca koristit će se uvjeti ravnoteže u odnosu na globalni koordinatni sustav (slika 1.2), dok će se pri određivanju unutarnjih sila koristiti lokalni koordinatni sustav (slika 1.3). Unutarnje sile za svako područje određuju se iz uvjeta ravnoteže

postavljenih u odnosu na lokalni koordinatni sustav pojedinog dijela, razmatrajući dio nosača s jedne ili s druge strane presjeka.



Slika 1.2 – Globalni koordinatni sustav



Slika 1.3 – Lokalni koordinatni sustavi

1.2 Rešetkasti nosač

Rešetkom se naziva kruta konstrukcija sastavljena od ravnih štapova koji su međusobno spojeni zglobovima. Mjesta spajanja štapova nazivaju se čvorovima rešetke.

Pri razmatranju rešetkastih nosača uvodimo sljedeće pretpostavke:

- vanjsko opterećenje djeluje samo u čvorovima rešetke;
- štapovi rešetke opterećeni su samo na istezanje (vlak) ili sabijanje (tlak);
- vlastita težina štapova u većini je slučajeva mala u odnosu na vanjsko opterećenje, pa se može zanemariti (ako se uzima u obzir, raspoređuje se u čvorne točke štapa);
- trenje u zglobovima može se zanemariti.

Ravninska rešetka jest rešetka kojoj svi štapovi i sve vanjsko opterećenje leže u jednoj te istoj ravnini.

Pri analizi rešetke razmatra se:

- vanjska ravnoteža – za određivanje reakcije u osloncima,
- unutarnja ravnoteža – za određivanje sila u štapovima.

Sile u štapovima se mogu dobiti na dva načina:

- metodom čvorova,
- metodom presjeka.

Za ovaj slučaj je jednostavnije koristiti metodu čvorova odnosno razmatrati unutarnju ravnotežu rešetke.

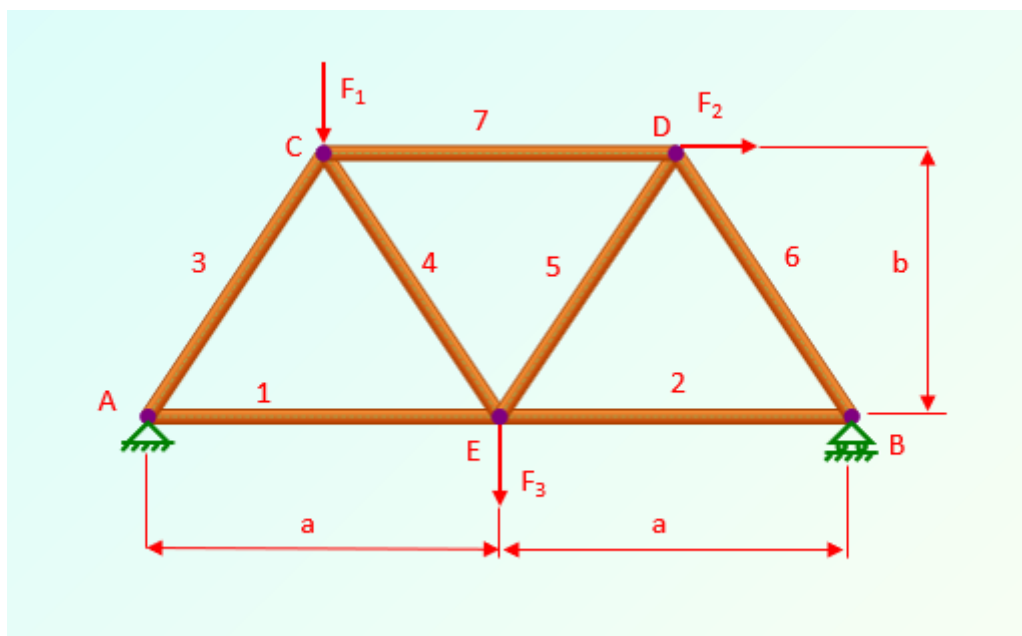
Pri određivanju sila u štapovima ovom metodom preporuča se sljedeći postupak:

- osloboditi rešetku od veza u osloncima,
- dodati reakcije veza,
- iz uvjeta ravnoteže za cijelu rešetku odrediti reakcije u osloncima,
- izrezati čvor na koji djeluje najmanje jedna poznata sila i najviše dvije nepoznate sile,
- pretpostaviti u svim štapovima vlačne sile (pozitivan predznak označava onda vlačne sile, a negativan tlačne),
- postaviti uvjete ravnoteže za promatrani čvor iz kojih određujemo nepoznate sile,
- nastaviti izrezivanjem čvorova u kojima je najmanje jedna poznata, a najviše dvije nepoznate sile, sve dok ne odredimo sve sile u štapovima.

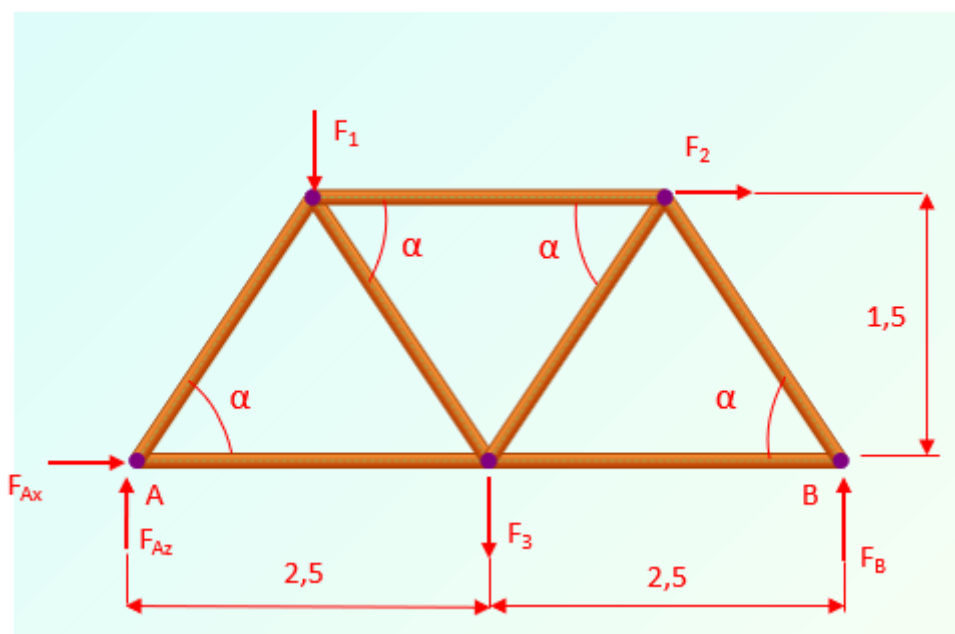
U slijedećem primjeru prikazat će se proračun rešetkastog nosača.

Rešetkasta konstrukcija opterećena je trima koncentriranim silama iznosa F_1 , F_2 i F_3 te vezana za podlogu nepomičnim osloncem u A i pomičnim osloncem u B (slika 1.4).

Treba odrediti reakcije oslonaca i sile u svim štapovima rešetkastog nosača metodom čvorova.



Slika 1.4 – Rešetka s osloncima



Slika 1.5 – Rešetkasta konstrukcija oslobođena od veza

Zadano je: $a = 2,5 \text{ m}$, $b = 1,5 \text{ m}$, $F_1 = 6 \text{ kN}$, $F_2 = 12 \text{ kN}$, $F_3 = 8 \text{ kN}$.

Rešetkasti nosač oslobađa se od veza te se djelovanje nepomičnog oslonca u A zamjenjuje dvjema komponentama reakcije F_{Ax} i F_{Ay} , a pomičnog oslonca u B reakcijom F_B . Na rešetku djeluje opći sustav sila u ravnini (slika 1.5), pa se uvjeti ravnoteže mogu napisati prema prvom obliku:

$$\sum F_x = 0; \quad F_{Ax} + F_2 = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad F_{Ay} + F_B - F_1 - F_3 = 0$$

$$\sum M_p = 0; \quad -F_1 \cdot 1,25 - F_2 \cdot 1,5 - F_3 \cdot 2,5 + F_B \cdot 5 = 0 \quad .$$

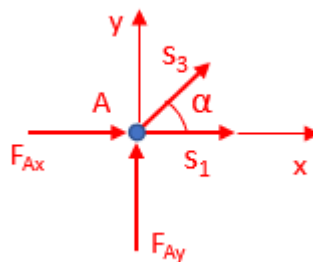
Rješavanjem navedenih jednadžbi dobiju se reakcije oslonaca:

$$F_{Ax} = -12 \text{ kN}, \quad F_{Ay} = 4,9 \text{ kN}, \quad F_A = 12,962 \text{ kN}, \quad F_B = 9,1 \text{ kN}.$$

Uvjeti ravnoteže čvora A glase (slika 1.6):

$$\sum F_x = 0; \quad F_{Ax} + S_1 + S_3 \cdot \cos \alpha = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad F_{Ay} + S_3 \cdot \sin \alpha = 0.$$



Slika 1.6 – Čvor A

Kut α dobije se iz geometrije rešetke:

$$\tan \alpha = \frac{b}{0,5a} = \frac{1,5}{1,25} = 1,2 \quad \alpha = 50,19^\circ.$$

Iz prve jednadžbe je

$$S_3 = -\frac{F_{Ay}}{\sin \alpha} = -\frac{4,9}{\sin 50,19^\circ} = -6,379 \text{ kN},$$

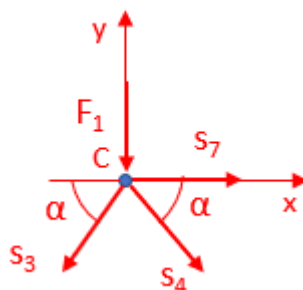
a iz druge

$$S_1 = -F_{Ax} - S_3 \cdot \cos \alpha = -(-12) - (-6,379) \cdot \cos 50,19^\circ = 16,084 \text{ kN}.$$

Uvjeti ravnoteže čvora C glase (slika 1.7):

$$\sum F_x = 0; \quad -S_3 \cdot \cos \alpha + S_4 \cdot \cos \alpha + S_7 = 0$$

$$\sum F_y = 0; \quad -S_3 \cdot \sin \alpha - S_4 \cdot \sin \alpha - F_1 = 0.$$



Slika 1.7 – Čvor C

Iz prve se jednadžbe dobije:

$$S_4 = -\frac{-S_3 \cdot \sin \alpha - F_1}{\sin \alpha} = -\frac{-(-6,379) \cdot \sin 50,19^\circ - 6}{\sin 50,19^\circ} = -1,432 \text{ kN},$$

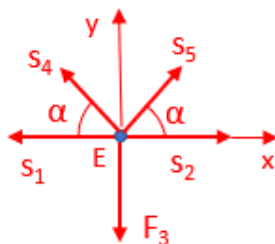
a iz druge

$$S_7 = S_3 \cdot \cos \alpha - S_4 \cdot \cos \alpha = -6,379 \cdot \cos 50,19^\circ - (-1,432) \cdot \cos 50,19^\circ = -3,167 \text{ kN}.$$

Uvjet ravnoteže za čvor E (slika 1.8) glase:

$$\sum F_x = 0; \quad S_2 + S_5 \cdot \cos \alpha - S_4 \cdot \cos \alpha - S_1 = 0$$

$$\sum F_y = 0; \quad S_4 \cdot \sin \alpha + S_5 \cdot \sin \alpha - F_3 = 0.$$



Slika 1.8 – Čvor E

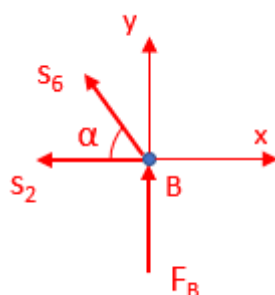
Rješavanjem gornjih jednadžbi dobiju se sile u štapovima 2 i 5:

$$S_2 = 7,583 \text{ kN}; \quad S_5 = 11,846 \text{ kN}.$$

Jednadžbe ravnoteže za čvor B (slika 1.9) glase:

$$\sum F_x = 0; \quad -S_2 - S_6 \cdot \cos \alpha = 0$$

$$\sum F_y = 0; \quad S_6 \cdot \sin \alpha + F_B = 0.$$



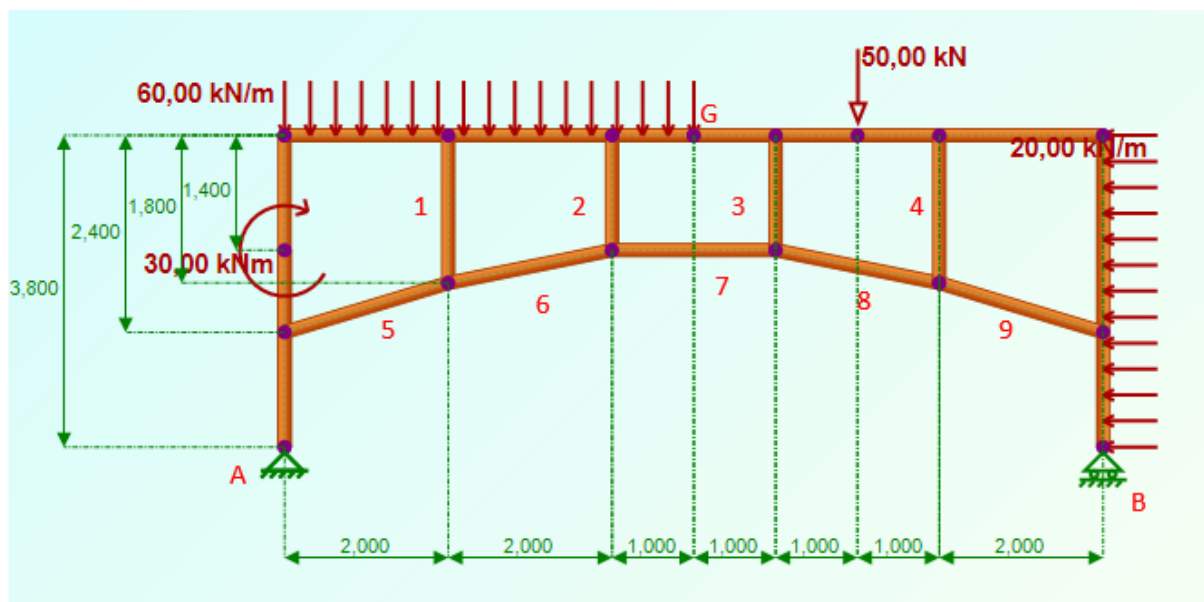
Slika 1.9 – Čvor B

Iz prve jednadžbe je:

$$S_6 = -\frac{S_2}{\cos \alpha} = -\frac{-7,583}{\cos 50,19^\circ} = -11,844 \text{ kN}.$$

2. Proračun konstrukcije sastavljene od okvirnog nosača i štapova

Na slici 2.1 prikazana je konstrukcija sastavljena od okvirnog nosača i štapova s opterećenjem, te odgovarajućim osloncima. Cilj proračuna je dobiti reakcije u osloncima i sile u štapovima ojačanja, kao i unutarnje sile okvirnog nosača.



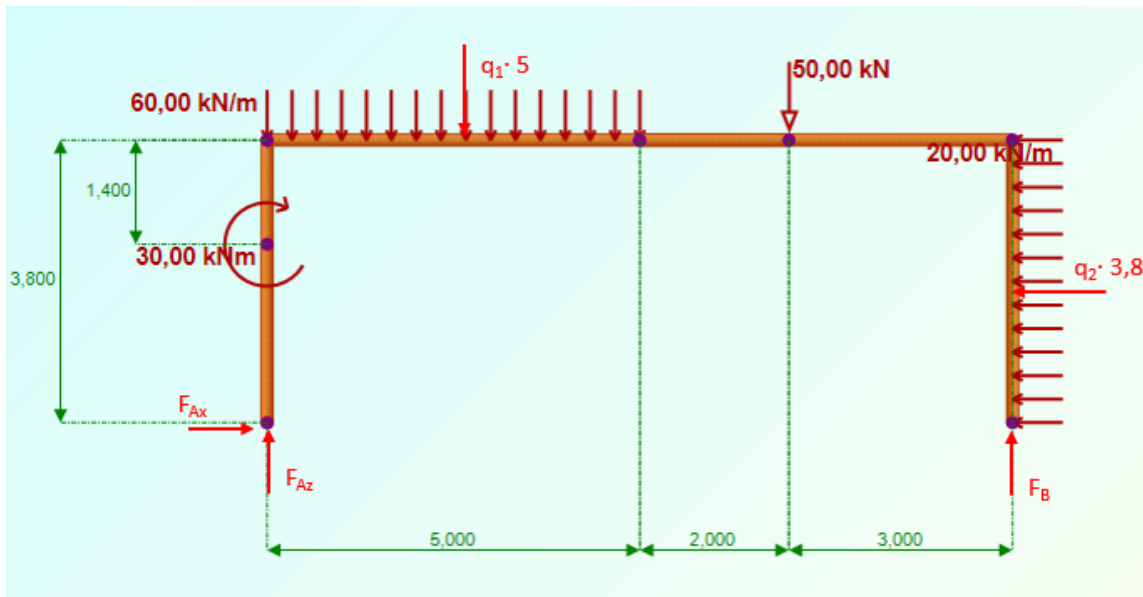
Slika 2.1 – Zadana konstrukcija okvirnog nosača s ojačanjem

2.1. Proračun okvirnog nosača bez štapova

Na slici 2.2 prikazan je okvirni nosač bez štapova za ojačanje s opterećenjem, te njegovim osloncima. Cilj proračuna je dobiti reakcije u osloncima te unutarnje sile za okvirni nosač bez ojačanja.

Izračunavanje reakcija u osloncima okvirnog nosača

Reakcije oslonaca dobiju se iz uvjeta ravnoteže.



Slika 2.2 – Prikaz okvirnog nosača oslobođenog od veza

Uvjeti ravnoteže za cijelu konstrukciju glase:

$$\sum F_x = 0; \quad F_{Ax} - q_2 \cdot 3,8 = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad -F_{Az} + q_1 \cdot 5 + F - F_B = 0$$

$$\sum M_A = 0; \quad -M - q_1 \cdot 5 \cdot 2,5 - F \cdot 7 + q_2 \cdot 3,8 \cdot 1,9 + F_B \cdot 10 = 0.$$

Iz uvjeta ravnoteže dobije se:

$$F_{Ax} = q_2 \cdot 3,8 = 20 \cdot 3,8 = 76,0 \text{ kN}$$

$$F_B = \frac{M + q_1 \cdot 5 \cdot 2,5 + F \cdot 7 - q_2 \cdot 3,8 \cdot 1,9}{10}$$

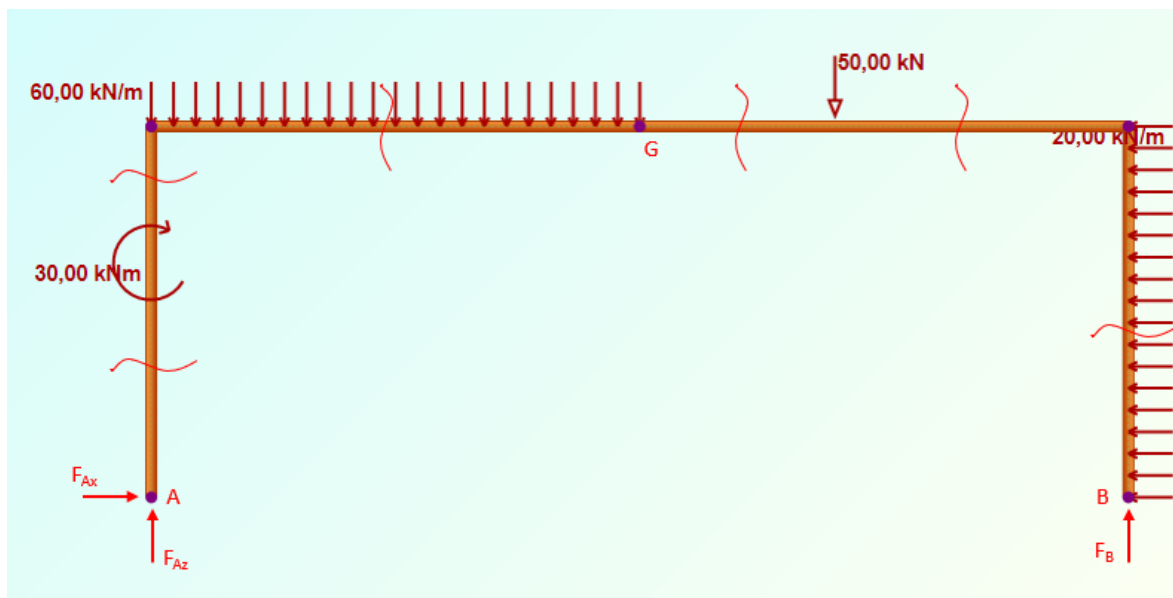
$$F_B = \frac{30 + 60 \cdot 5 \cdot 2,5 + 50 \cdot 7 - 20 \cdot 3,8 \cdot 1,9}{10} = 98,56 \text{ kN}$$

$$F_{Az} = q_1 \cdot 5 + F - F_B$$

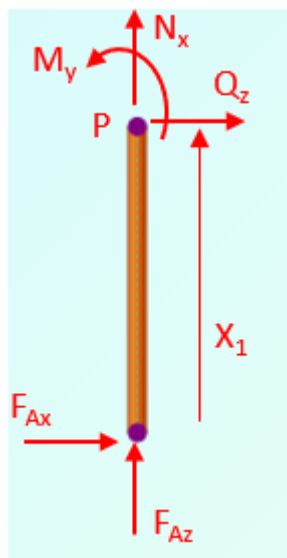
$$F_{Az} = 60 \cdot 5 + 50 - 98,56 = 251,44 \text{ kN}.$$

Proračun unutarnjih sila okvirnog nosača bez štapova

U naznačenim presjecima na slici 2.3 će se izvršiti proračun unutarnjih sila za okvirni nosač bez ojačanja.



Slika 2.3 – Okvirni nosač bez ojačanja sa zadanim opterećenjem i reakcijama štapova i oslonaca, te prikazanim presjecima potrebnim za proračun unutarnjih sila



Slika 2.4 – Odsječeni dio okvirnog nosača za prvi presjek

I. područje $0 \text{ m} \leq x_1 \leq 2,4 \text{ m}$ (slika 2.4)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Az} + N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Ax} + Q_z = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad F_{Ax} \cdot x_1 + M_y = 0$$

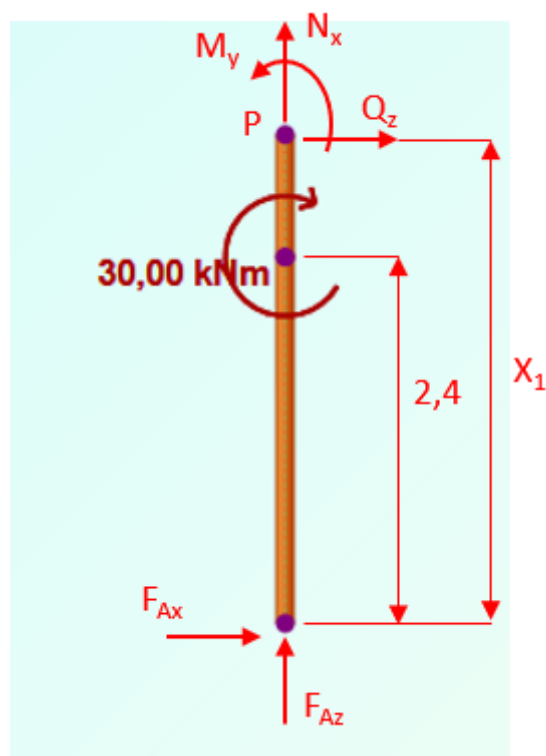
$$N_x = -F_{Az} = -251,44 \text{ kN}$$

$$Q_z = -F_{Ax} = -76,0 \text{ kN}$$

$$M_y = -F_{Ax} \cdot x_1 = -76,0 \cdot x_1$$

$$M_y(0) = 0 \text{ kNm}$$

$$M_y(2,4) = -182,40 \text{ kNm}$$



Slika 2.5 – Odsječeni dio okvirnog nosača za drugi presjek

II. područje $2,4 \text{ m} \leq x_1 \leq 3,8 \text{ m}$ (slika 2.5)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Az} + N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Ax} + Q_z = 0$$

$$\sum M_p = 0; \quad F_{Ax} \cdot x_1 + M_y - M = 0$$

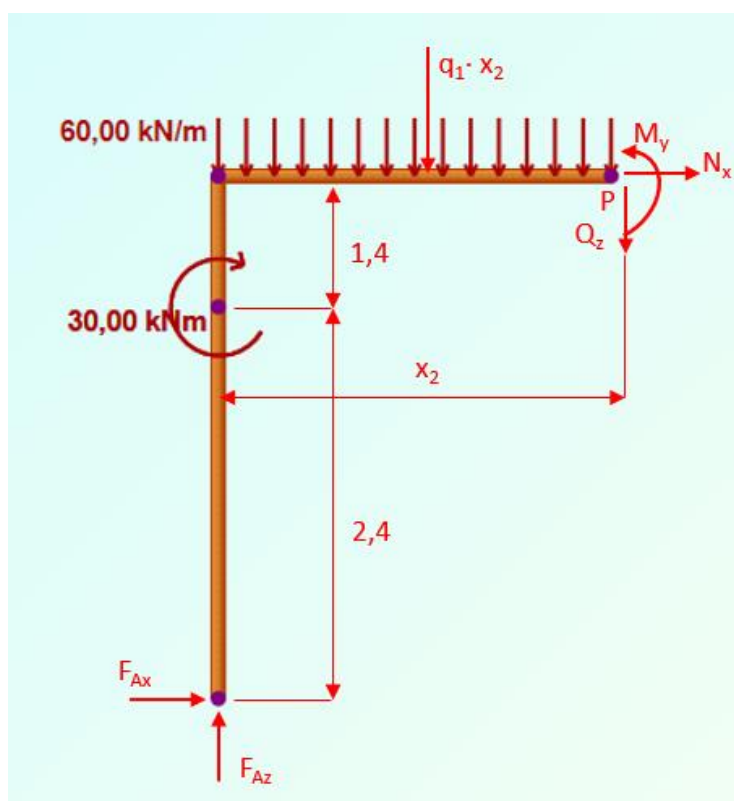
$$N_x = -F_{Az} = -251,44 \text{ kN}$$

$$Q_z = -F_{Ax} = -76,0 \text{ kN}$$

$$M_y = -F_{Ax} \cdot x_1 + M = -76,0 \cdot x_1 + 30$$

$$M_y(2,4) = -152,4 \text{ kNm}$$

$$M_y(3,8) = -258,8 \text{ kNm}$$



Slika 2.6 – Odsječeni dio okvirnog nosača za treći presjek

III. područje $0 \text{ m} \leq x_2 \leq 5 \text{ m}$ (slika 2.6)

$$\sum F_x = 0; \quad F_{Ax} + N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad -F_{Az} + q_1 \cdot x_2 + Q_z = 0$$

$$\sum M_p = 0 ; \quad F_{Ax} \cdot 3.8 - F_{Az} \cdot x_2 + q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M_y - M = 0$$

$$N_x = -F_{Ax} = -76,0 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} - q_1 \cdot x_2 = 251,44 - 60 \cdot x_2$$

$$Q_z(0) = 251,44 \text{ kN}$$

$$Q_z(5) = -48,56 \text{ kN}$$

$$M_y = -F_{Ax} \cdot 3.8 + F_{Az} \cdot x_2 - q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M$$

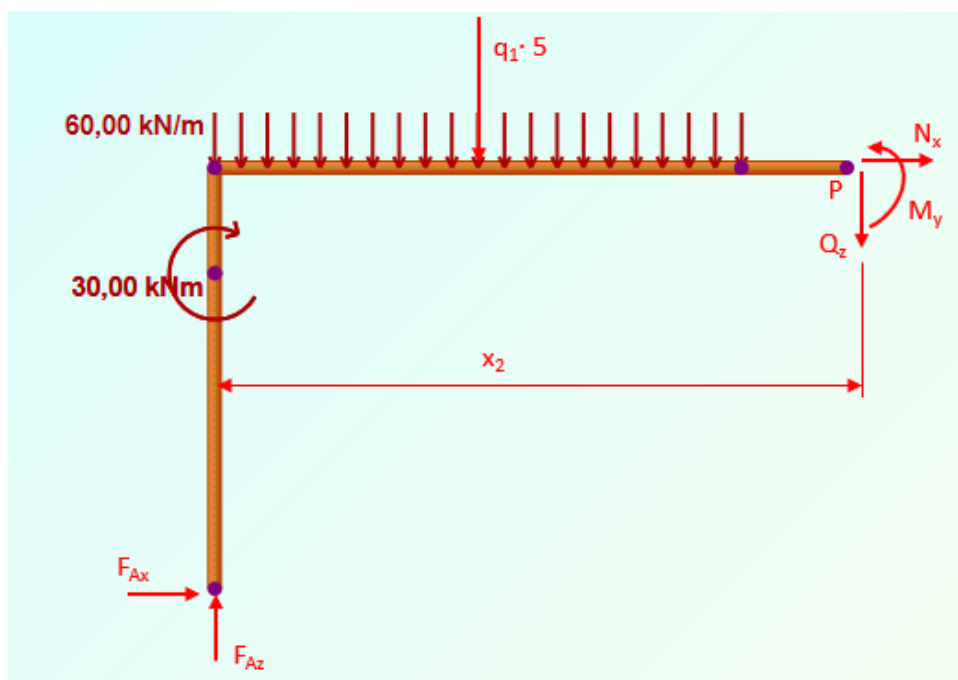
$$= -76,0 \cdot 3,8 + 251,44 \cdot x_2 - 60 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + 30$$

$$M_y(0) = -258,8 \text{ kNm}$$

$$M_y(5) = 248,4 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} Q_z &= 0 & 251,44 - 60 \cdot x_2 &= 0 \\ & & -60 \cdot x_2 &= -251,44 / (-60) \\ & & x_2 &= 4,19 \text{ m} \end{aligned}$$

$$M_y(4,19) = 268,05 \text{ kNm}$$



Slika 2.7 – Odsječeni dio okvirnog nosača za četvrti presjek

IV. područje $5 \text{ m} \leq x_2 \leq 7 \text{ m}$ (slika 2.7)

$$\sum F_x = 0; \quad F_{Ax} + N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad -F_{Az} + q_1 \cdot 5 + Q_z = 0$$

$$\sum M_P = 0; \quad F_{Ax} \cdot 3,8 - F_{Az} \cdot x_2 + q_1 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + M_y - M = 0$$

$$N_x = -F_{Ax} = -76,0 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} - q_1 \cdot 5$$

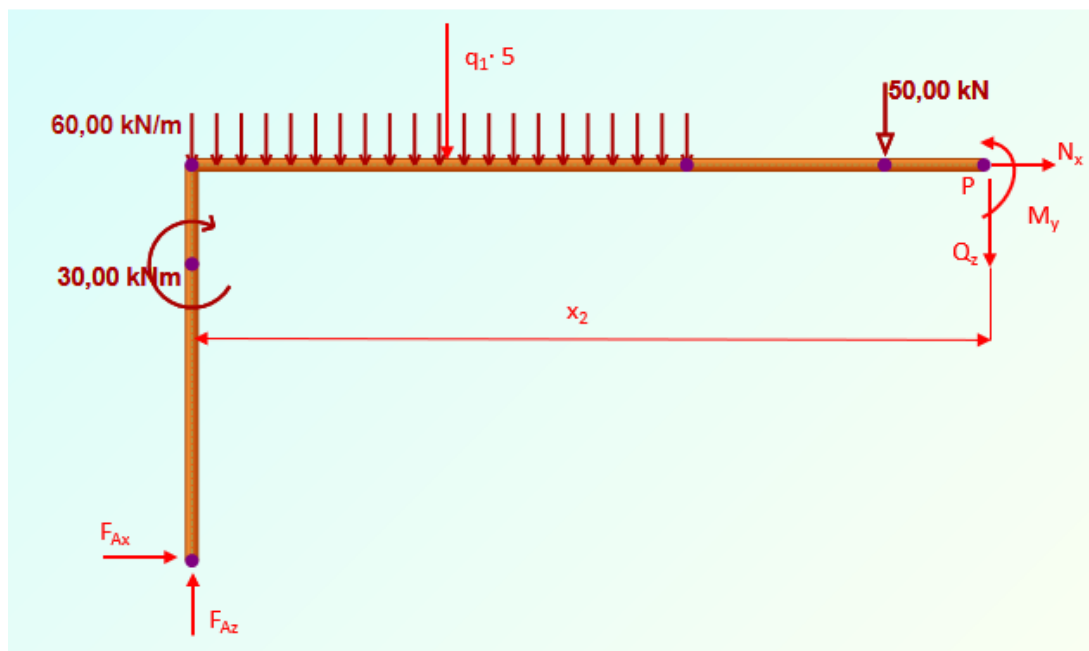
$$Q_z = 251,44 - 60 \cdot 5 = -48,56 \text{ kN}$$

$$M_y = -F_{Ax} \cdot 3,8 + F_{Az} \cdot x_2 - q_1 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + M$$

$$M_y = -76 \cdot 3,8 + 251,44 \cdot x_2 - 60 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + 30$$

$$M_y(5) = 248,4 \text{ kNm}$$

$$M_y(7) = 151,28 \text{ kNm}$$



Slika 2.8 – Odsječeni dio okvirnog nosača za peti presjek

V. područje $7 \text{ m} \leq x_2 \leq 10 \text{ m}$ (slika 2.8)

$$\sum F_x = 0; \quad F_{Ax} + N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad -F_{Az} + q_1 \cdot 5 + Q_z + F = 0$$

$$\sum M_P = 0; \quad F_{Ax} \cdot 3,8 - F_{Az} \cdot x_2 + q_1 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + M_y - M + F \cdot (x_2 - 7) = 0$$

$$N_x = -F_{Ax} = -76,0 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} - q_1 \cdot 5 - F$$

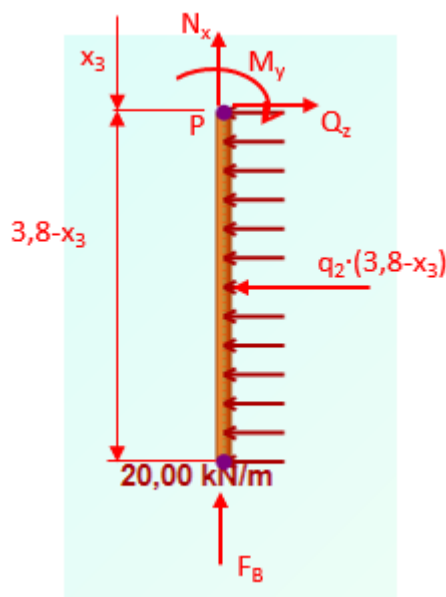
$$Q_z = 251,44 - 60 \cdot 5 - 50 = -98,56 \text{ kN}$$

$$M_y = -F_{Ax} \cdot 3,8 + F_{Az} \cdot x_2 - q_1 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + M - F \cdot (x_2 - 7)$$

$$M_y = -76 \cdot 3,8 + 251,44 \cdot x_2 - 60 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + 30 - 50 \cdot (x_2 - 7)$$

$$M_y(7) = 151,28 \text{ kNm}$$

$$M_y(10) = -144,4 \text{ kNm}$$



Slika 2.9 – Odsječeni dio okvirnog nosača za šesti presjek

VI. područje $0 \text{ m} \leq x_3 \leq 3,8 \text{ m}$ (slika 2.9)

$$\sum F_x = 0 ; \quad -N_x - F_B = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad -q_2 \cdot (3,8 - x_3) + Q_z = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -q_2 \cdot (3,8 - x_3) \cdot \left(\frac{3,8 - x_3}{2}\right) - M_y = 0$$

$$N_x = -F_B = -98,56 \text{ kN}$$

$$Q_z = q_2 \cdot (3,8 - x_3) = 20 \cdot (3,8 - x_3)$$

$$Q_z(0) = 76,0 \text{ kN}$$

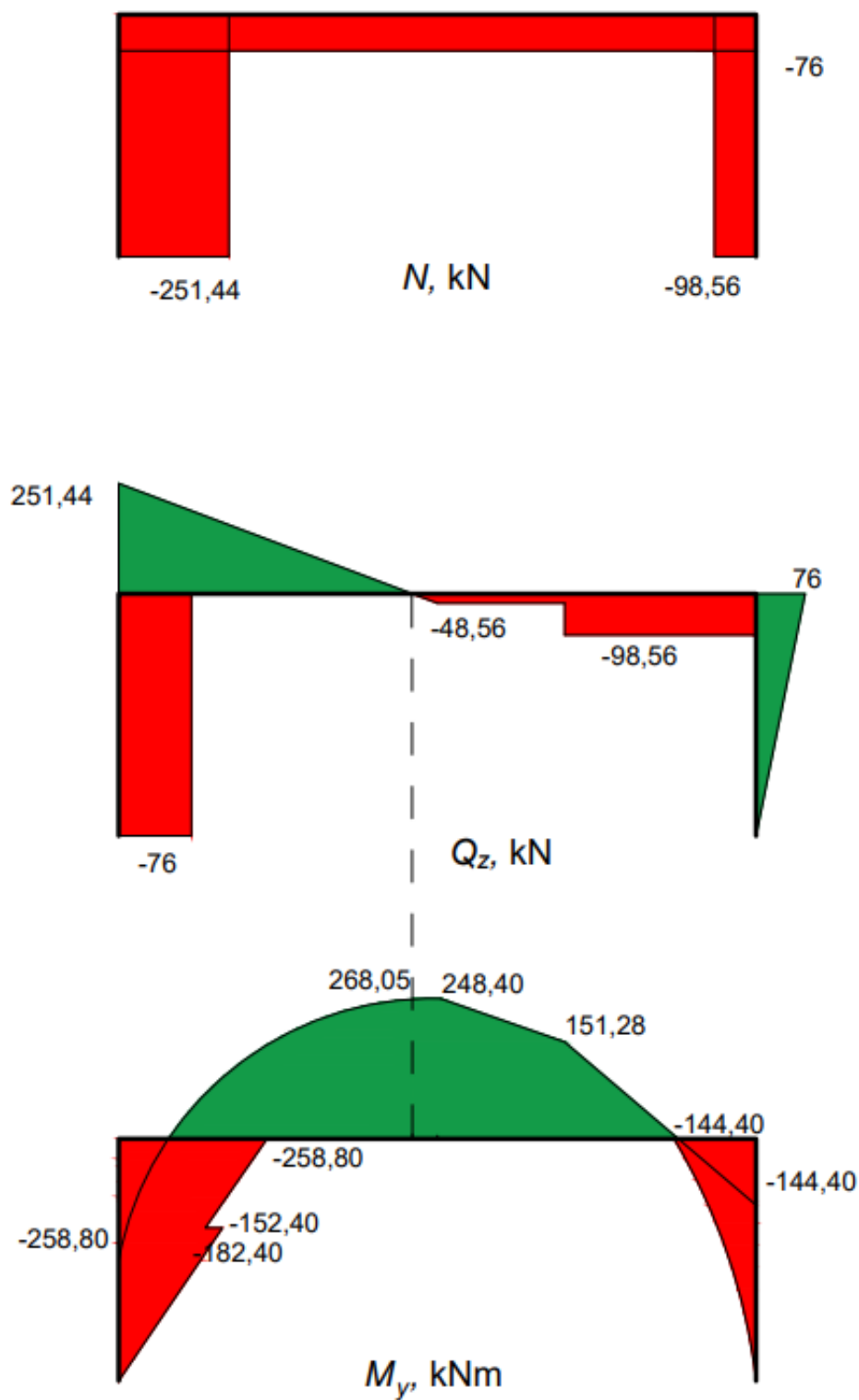
$$Q_z(3,8) = 0 \text{ kN}$$

$$M_y = -q_2 \cdot (3,8 - x_3) \cdot \left(\frac{3,8 - x_3}{2}\right) = -20 \cdot (3,8 - x_3) \cdot \left(\frac{3,8 - x_3}{2}\right)$$

$$M_y(0) = -144,4 \text{ kNm}$$

$$M_y(3,8) = 0 \text{ kNm}$$

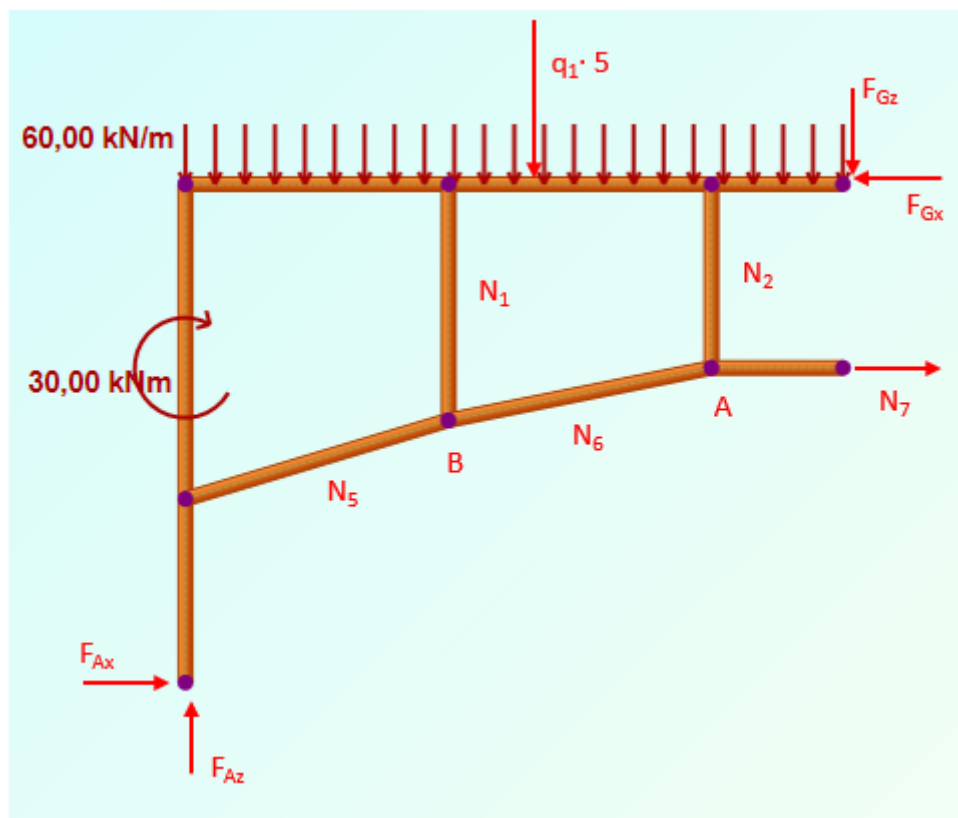
2.1.1. Dijagrami unutarnjih sila samog okvira



Slika 2.10 – Dijagrami N, Qz i My

2.2. Proračun okvira s ojačanjem

Za rješavanje zadatka potrebno je u prvom koraku naći silu u štapu 7. Radi toga se promatra ravnoteža lijevog dijela konstrukcije dobivenog presijecanjem konstrukcije preko štapa 7 i zgloba G (slika 2.11). Sile u osloncu A su prethodno izračunate i nisu se mijenjale dodavanjem ojačanja.



Slika 2.11 – Dio nosača lijevo od presjeka

Uvjeti ravnoteže za dio lijevo od presjeka glase:

$$\sum F_x = 0; \quad F_{Ax} + N_7 - F_{Gx} = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad F_{Az} - q_1 \cdot 5 - F_{Gz} = 0$$

$$\sum M_G = 0; \quad F_{Ax} \cdot 3,8 - F_{Az} \cdot 5 - M + q_1 \cdot 5 \cdot 2,5 + N_7 \cdot 1,4 = 0.$$

$$F_{Gx} = F_{Ax} + N_7 = 253,43 \text{ kN}$$

$$F_{Gx} = 76 + 177,43 = 253,43 \text{ kN}$$

$$F_{Gz} = F_{Az} - q_1 \cdot 5$$

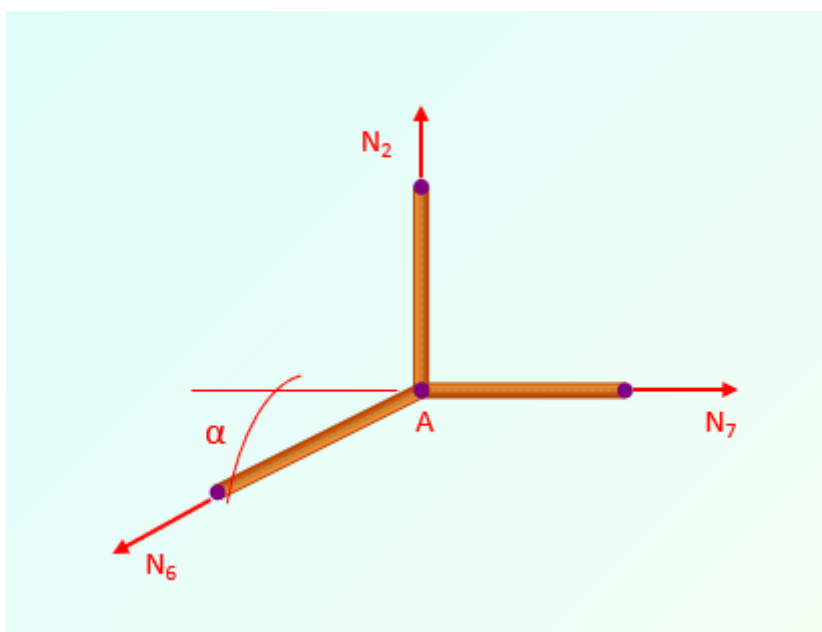
$$F_{Gz} = 251,44 - 60 \cdot 5 = -48,56 \text{ kN}$$

$$N_7 = \frac{-F_{Ax} \cdot 3,8 + F_{Az} \cdot 5 + 30 - q_1 \cdot 5 \cdot 2,5}{1,4}$$

$$N_7 = \frac{-76 \cdot 3,8 + 251,44 \cdot 5 + 30 - 60 \cdot 5 \cdot 2,5}{1,4}$$

$$N_7 = 177,43 \text{ kN}$$

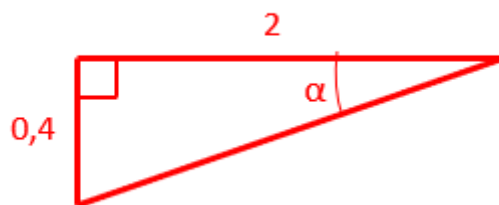
ČVOR A



Slika 2.12 – Čvor A

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_7 - N_6 \cdot \cos \alpha = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad N_2 - N_6 \cdot \sin \alpha = 0$$

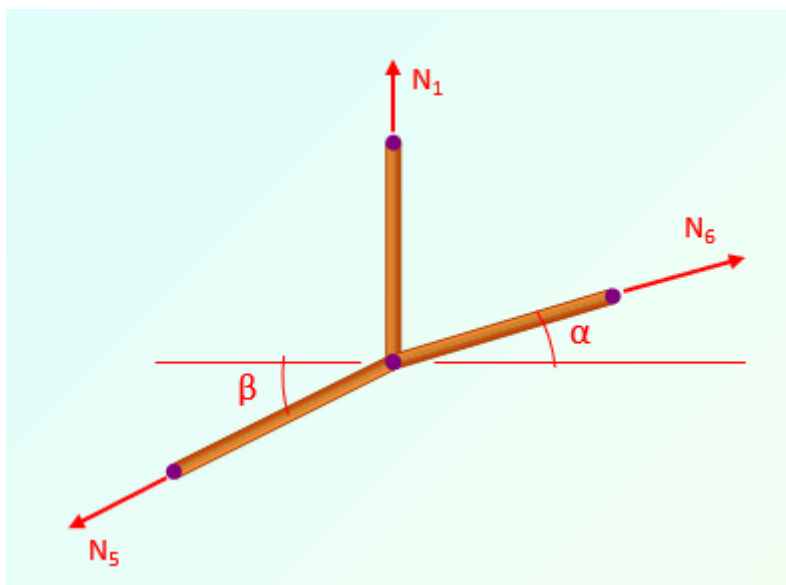
Slika 2.13 – Trokut za proračun kuta α

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \alpha &= \frac{0,4}{2} \\ \alpha &= 11,31^\circ\end{aligned}$$

$$N_6 = \frac{N_7}{\cos \alpha} = \frac{177,43}{\cos 11,31^\circ} = 180,94 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_6 \cdot \sin \alpha = 180,94 \cdot \sin 11,31^\circ = 35,49 \text{ kN}$$

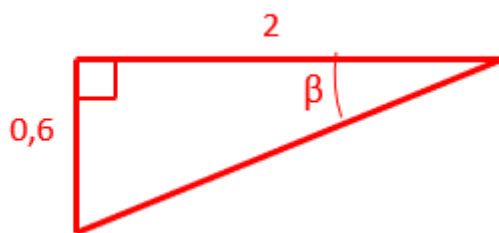
ČVOR B



Slika 2.14 – Čvor B

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_6 \cdot \cos \alpha - N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad N_1 + N_6 \cdot \sin \alpha - N_5 \cdot \sin \beta = 0$$

Slika 2.15 – Trokut za proračun kuta β

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,6}{2}$$

$$\beta = 16,7^\circ$$

$$N_5 = \frac{N_6 \cdot \cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$N_5 = \frac{180,94 \cdot \cos 11,31^\circ}{\cos 16,7^\circ} = 185,24 \text{ kN}$$

$$N_1 = -N_6 \cdot \sin \alpha + N_5 \cdot \sin \beta$$

$$N_1 = -180,94 \cdot \sin 11,31^\circ + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ = 17,74 \text{ kN}$$

$$N_1 = N_4 = 17,74 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_3 = 35,49 \text{ kN}$$

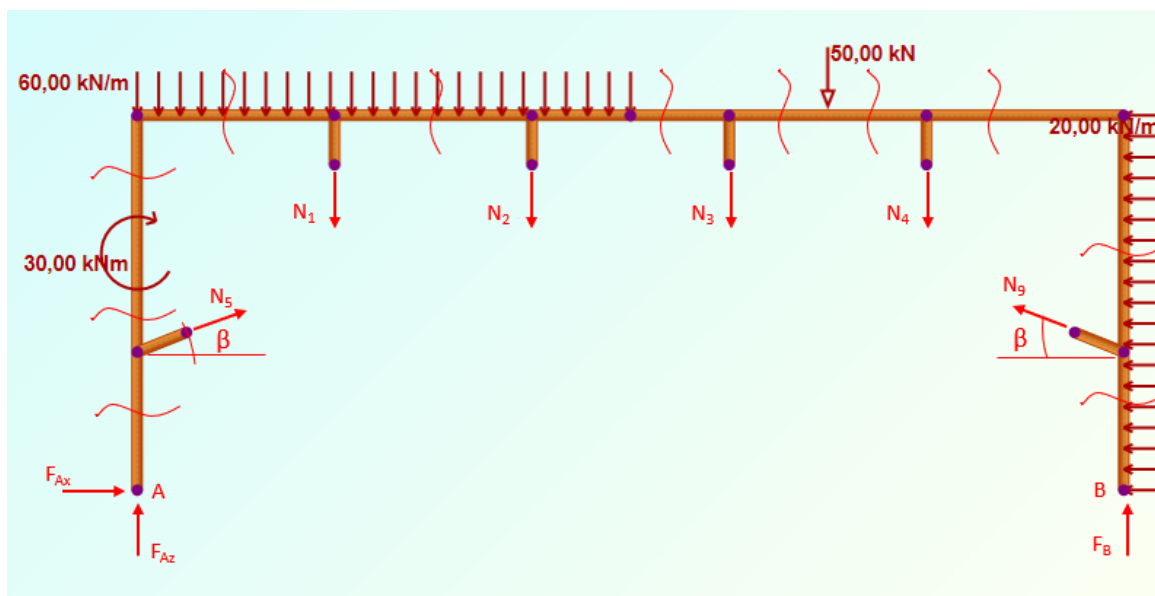
$$N_5 = N_9 = 185,24 \text{ kN}$$

$$N_6 = N_8 = 180,94 \text{ kN}$$

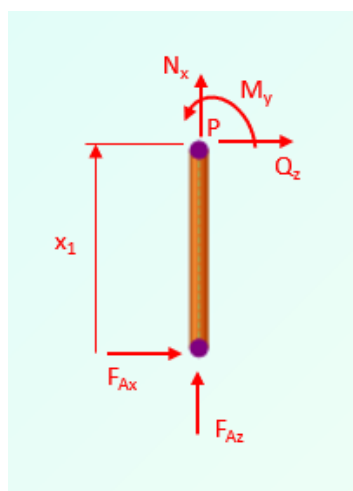
$$N_7 = 177,43 \text{ kN}$$

2.3. Proračun unutarnjih sila okvira u konstrukciji s ojačanjem

U naznačenim presjecima na slici 2.16 će se izvršiti proračun unutarnjih sila za okvirni nosač s ojačanjem. Pri izračunavanju unutarnjih sila utjecaj štapova nadomješten je ovim silama.



Slika 2.16 – Okvirni nosač sa zadanim opterećenjem i reakcijama štapova i oslonaca, te prikazanim presjecima potrebnim za proračun unutarnjih sila



Slika 2.17 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za prvi presjek

I. područje $0 \text{ m} \leq x_1 \leq 1,4 \text{ m}$ (slika 2.17)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Az} + N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Ax} + Q_z = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad F_{Ax} \cdot x_1 + M_y = 0$$

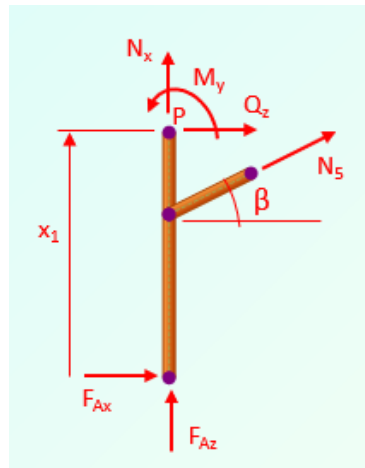
$$N_x = -F_{Az} = -251,44 \text{ kN}$$

$$Q_z = -F_{Ax} = -76,0 \text{ kN}$$

$$M_y = -F_{Ax} \cdot x_1 = -76 \cdot x_1$$

$$M_y(0) = 0 \text{ kNm}$$

$$M_y(1,4) = -106,40 \text{ kNm}$$



Slika 2.18 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za drugi presjek

II. područje $1,4 \text{ m} \leq x_1 \leq 2,4 \text{ m}$ (slika 2.18)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Az} + N_x + N_5 \cdot \sin \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Ax} + Q_z + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad F_{Ax} \cdot x_1 + M_y + N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_1 - 1,4) = 0$$

$$N_x = -F_{Az} - N_5 \cdot \sin \beta$$

$$N_x = -251,44 - 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ = -304,67 \text{ kN}$$

$$Q_z = -F_{Ax} - N_5 \cdot \cos \beta$$

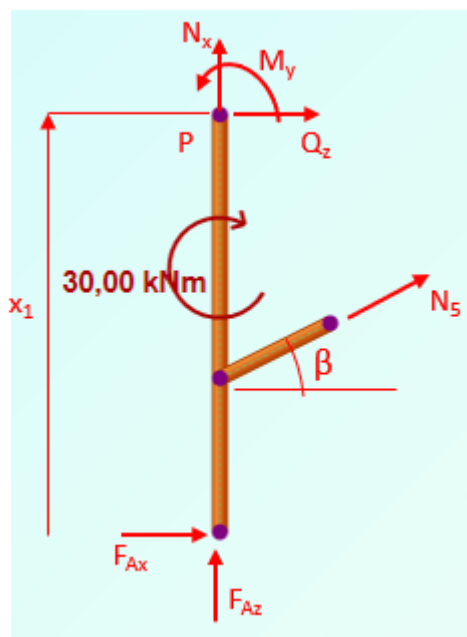
$$Q_z = -76 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ = -253,43 \text{ kN}$$

$$M_y = -N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_1 - 1,4) - F_{Ax} \cdot x_1$$

$$M_y = -185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (x_1 - 1,4) - 76 \cdot x_1$$

$$M_y(1,4) = -106,4 \text{ kNm}$$

$$M_y(2,4) = -359,83 \text{ kNm}$$



Slika 2.19 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za treći presjek

III. područje $2,4 \text{ m} \leq x_1 \leq 3,8 \text{ m}$ (slika 2.19)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Az} + N_x + N_5 \cdot \sin \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Ax} + Q_z + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad F_{Ax} \cdot x_1 + M_y + N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_1 - 1,4) - M = 0$$

$$N_x = -F_{Az} - N_5 \cdot \sin \beta$$

$$N_x = -251,44 - 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ = -304,67 \text{ kN}$$

$$Q_z = -F_{Ax} - N_5 \cdot \cos \beta$$

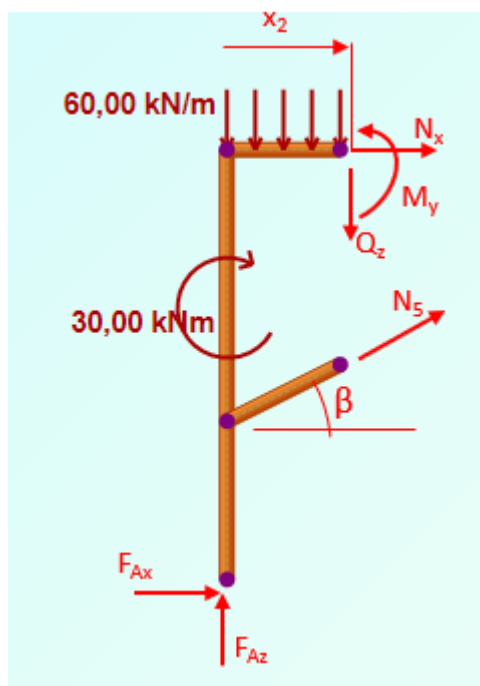
$$Q_z = -76 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ = -253,43 \text{ kN}$$

$$M_y = M - N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_1 - 1,4) - F_{Ax} \cdot x_1$$

$$M_y = 30 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (x_1 - 1,4) - 76 \cdot x_1$$

$$M_y(2,4) = -329,83 \text{ kNm}$$

$$M_y(3,8) = -684,63 \text{ kNm}$$



Slika 2.20 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za četvrti presjek

IV. područje $0 \text{ m} \leq x_2 \leq 2 \text{ m}$ (slika 2.20)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Ax} + N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad F_{Az} - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_{Az} \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + \\ + F_{Ax} \cdot 3,8 + q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} - M = 0$$

$$N_x = -F_{Ax} - N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -76 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ = -253,43 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2$$

$$Q_z = 251,44 + 185,24 \cdot \sin 16,7 - 60 \cdot x_z$$

$$Q_z(0) = 304,67 \text{ kN}$$

$$Q_z(2) = 184,67 \text{ kN}$$

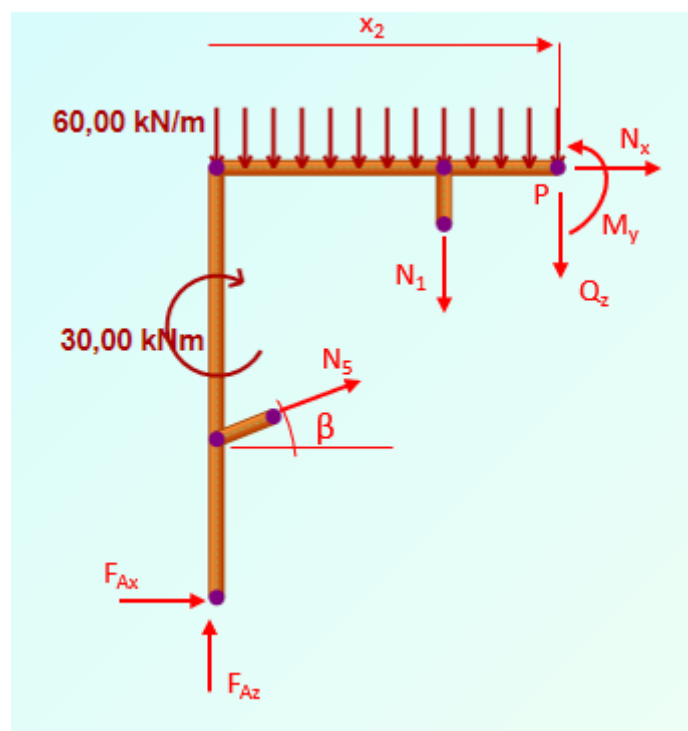
$$M_y = F_{Az} \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - F_{Ax} \cdot 3,8 - q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 -$$

$$- 76 \cdot 3,8 - 60 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + 30$$

$$M_y(0) = -684,63 \text{ kNm}$$

$$M_y(2) = -195,29 \text{ kNm}$$



Slika 2.21 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za peti presjek

V. područje $2 \text{ m} \leq x_2 \leq 4 \text{ m}$ (slika 2.21)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Ax} + N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Az} - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 - N_1 = 0$$

$$\sum M_p = 0 ; \quad -F_{Az} \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + F_{Ax} \cdot 3,8 +$$

$$+ q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) = 0$$

$$N_x = -F_{Ax} - N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -76 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ = -253,43 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 - N_1$$

$$Q_z = 251,44 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot x_2 - 17,74$$

$$Q_z(2) = 166,93 \text{ kN}$$

$$Q_z(4) = 46,93 \text{ kN}$$

$$M_y = F_{Az} \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 -$$

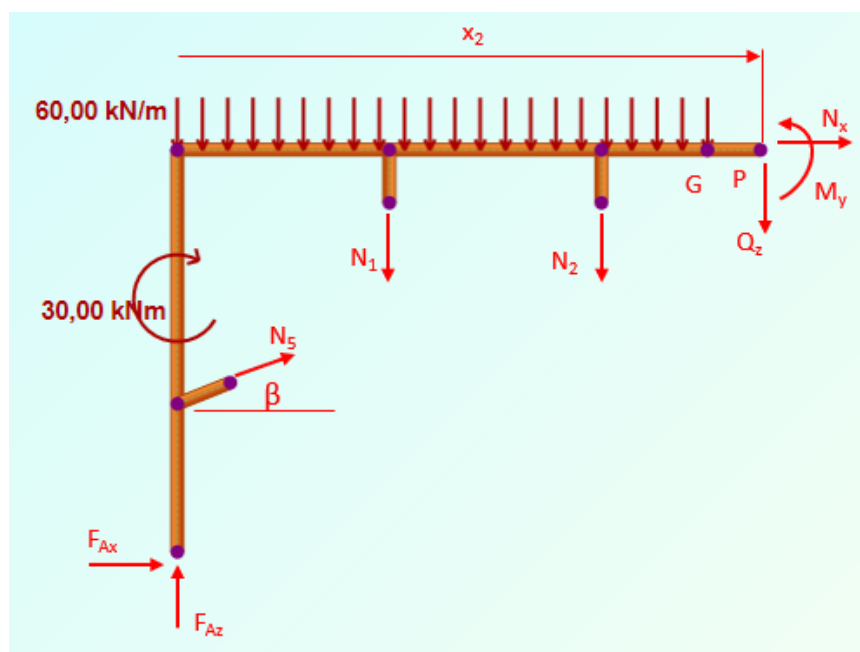
$$- F_{Ax} \cdot 3,8 - q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M - N_1 \cdot (x_2 - 2)$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 -$$

$$- 76 \cdot 3,8 - 60 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + 30 - 17,74 \cdot (x_2 - 2)$$

$$M_y(2) = -195,29 \text{ kNm}$$

$$M_y(4) = 18,56 \text{ kNm}$$



Slika 2.22 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za šesti presjek

VI. područje $4 \text{ m} \leq x_2 \leq 6 \text{ m}$ (slika 2.22)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Ax} + N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Az} - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 - N_1 - N_2 = 0$$

$$N_x = -F_{Ax} - N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -76 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ = -253,43 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 - N_1 - N_2$$

$$Q_z = 251,44 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot x_2 - 17,74 - 35,49$$

$$Q_z(4) = 11,44 \text{ kN}$$

$$Q_z(5) = -48,56 \text{ kN}$$

$$Q_z(6) = -48,56 \text{ kN}$$

Do čvora G vrijedi jednačina za moment kako slijedi:

$$\begin{aligned} \sum M_P = 0 ; \quad & -F_{Az} \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + F_{Ax} \cdot 3,8 + \\ & + q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + N_2 \cdot (x_2 - 4) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y = & F_{Az} \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - F_{Ax} \cdot 3,8 - \\ & - q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y = & 251,44 \cdot x_2 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - 76 \cdot 3,8 - \\ & - 60 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + 30 - 17,74 \cdot (x_2 - 2) - 35,49 \cdot (x_2 - 4) \end{aligned}$$

$$M_y(4) = 18,56 \text{ kNm}.$$

Od čvora G vrijedi jednačina za moment kako slijedi:

$$\begin{aligned} \sum M_P = 0 ; \quad & -F_{Az} \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + F_{Ax} \cdot 3,8 + \\ & + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + \left(x_2 - \frac{l}{2} \right) \right) - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + N_2 \cdot (x_2 - 4) = 0 \end{aligned}$$

$$M_y = F_{Az} \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - F_{Ax} \cdot 3,8 -$$

$$- q_1 \cdot \frac{35}{2} + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4)$$

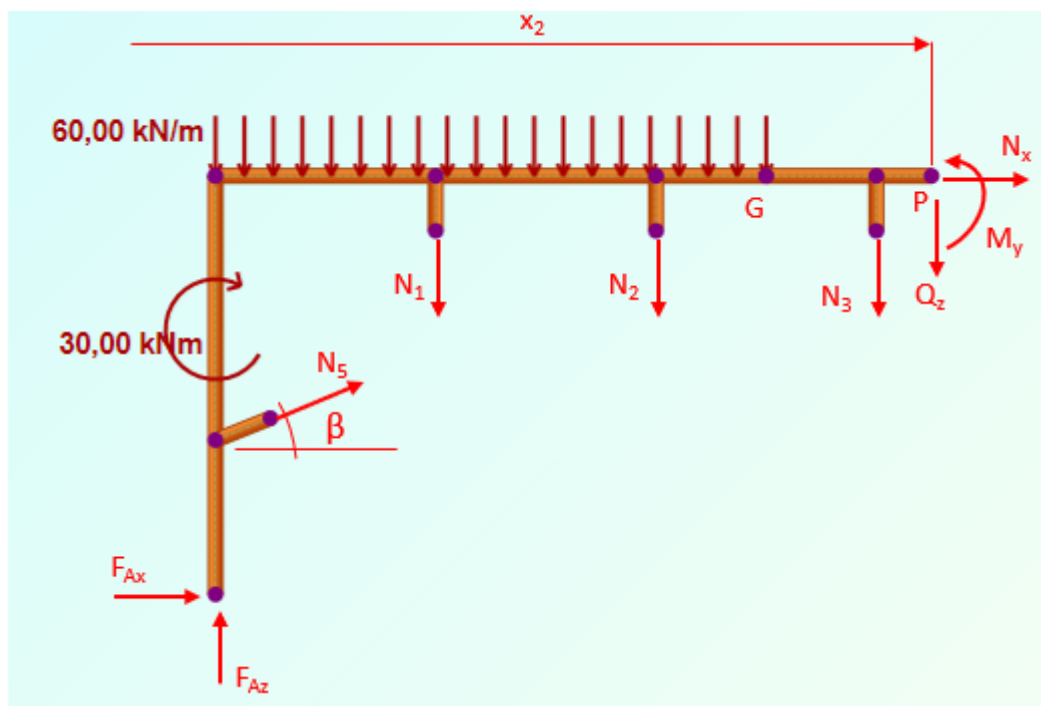
$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - 76 \cdot 3,8 -$$

$$- 60 \cdot \frac{35}{2} + 30 - 17,74 \cdot (x_2 - 2) - 35,49 \cdot (x_2 - 4)$$

$$M_y(6) = -48,56 \text{ kNm}.$$

Provjera uvjeta Gerberovog zgloba gdje je $\sum M_G = 0$:

$$M_y(5) = 0 \text{ kNm}.$$



Slika 2.23 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za sedmi presjek

VII. područje $6 \text{ m} \leq x_2 \leq 7 \text{ m}$ (slika 2.23)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Ax} + N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Az} - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_{Az} \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + F_{Ax} \cdot 3,8 +$$

$$+ q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + \left(x_2 - \frac{l}{2} \right) \right) - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + N_2 \cdot (x_2 - 4) + N_3 \cdot (x_2 - 6) = 0$$

$$N_x = -F_{Ax} - N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -76 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ = -253,43 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3$$

$$Q_z = 251,44 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 17,74 - 35,49 - 35,49$$

$$Q_z = -84,05 \text{ kN}$$

$$M_y = F_{Az} \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - F_{Ax} \cdot 3,8 -$$

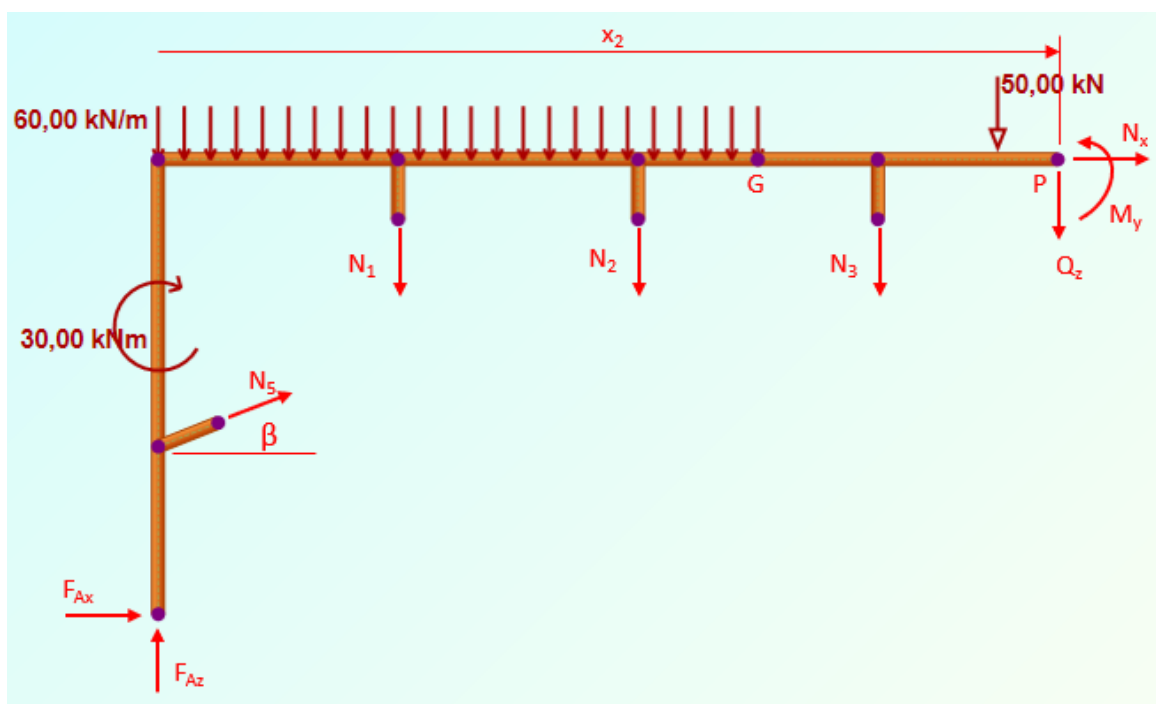
$$-q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + (x_2 - \frac{l}{2}) \right) + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) - N_3 \cdot (x_2 - 6)$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - 76 \cdot 3,8 -$$

$$-60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \left(\frac{10}{4} + (x_2 - \frac{10}{2}) \right) + 30 - 17,74 \cdot (x_2 - 2) - 35,49 \cdot (x_2 - 4) - 35,49 \cdot (x_2 - 6)$$

$$M_y(6) = -48,56 \text{ kNm}$$

$$M_y(7) = -132,61 \text{ kNm}$$



Slika 2.24 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za osmi presjek

VIII. područje $7 \text{ m} \leq x_2 \leq 8 \text{ m}$ (slika 2.24)

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 ; & F_{Ax} + N_x + N_5 \cdot \cos \beta &= 0 \\ \sum F_z &= 0 ; & F_{Az} - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - F &= 0 \\ \sum M_P &= 0 ; & -F_{Az} \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + F_{Ax} \cdot 3,8 + \\ & + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + (x_2 - \frac{l}{2})\right) - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + N_2 \cdot (x_2 - 4) + N_3 \cdot (x_2 - 6) + F \cdot (x_2 - 7) &= 0\end{aligned}$$

$$N_x = -F_{Ax} - N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -76 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ = -253,43 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - F$$

$$Q_z = 251,44 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 17,74 - 35,49 - 35,49 - 50$$

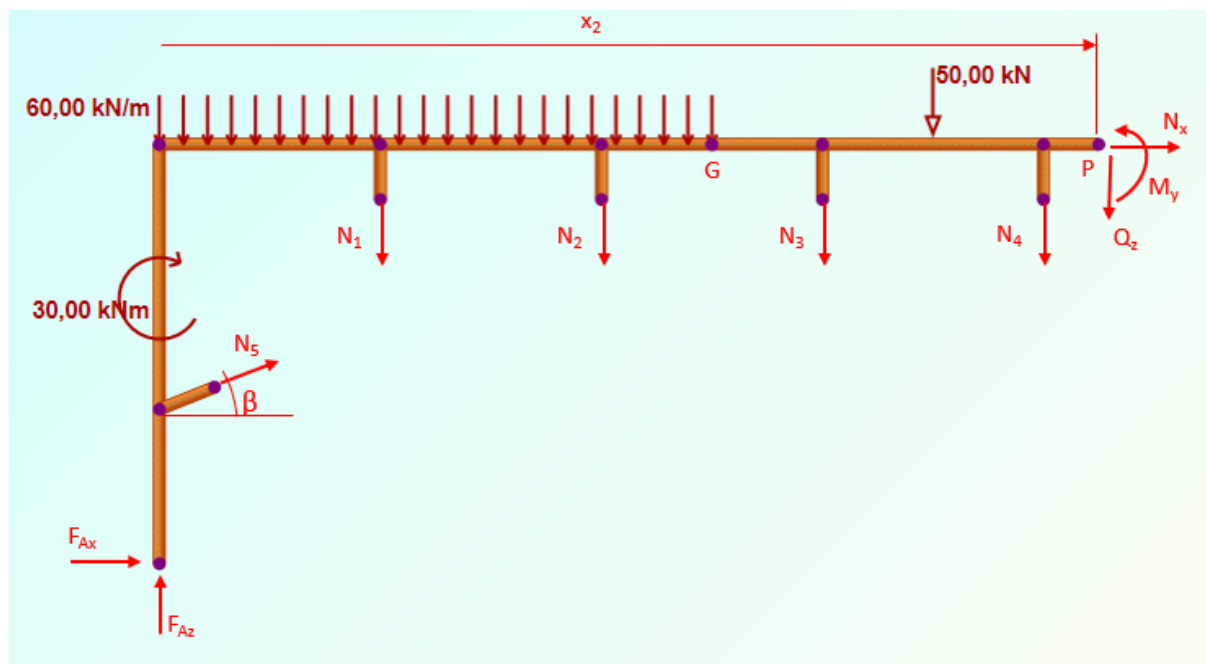
$$Q_z = -134,04 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}M_y &= F_{Az} \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - F_{Ax} \cdot 3,8 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + (x_2 - \frac{l}{2})\right) + \\ & + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) - N_3 \cdot (x_2 - 6) - F \cdot (x_2 - 7)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_y &= 251,44 \cdot x_2 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - 76 \cdot 3,8 - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \\ & \cdot \left(\frac{10}{4} + (x_2 - \frac{10}{2})\right) + 30 - 17,74 \cdot (x_2 - 2) - 35,49 \cdot (x_2 - 4) - 35,49 \cdot (x_2 - 6) - 50 \cdot (x_2 - 7)\end{aligned}$$

$$M_y(7) = -132,61 \text{ kNm}$$

$$M_y(8) = -266,65 \text{ kNm}$$



Slika 2.25 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za deveti presjek

IX. područje $8 \text{ m} \leq x_2 \leq 10 \text{ m}$ (slika 2.25)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Ax} + N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_{Az} - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - F = 0$$

$$\begin{aligned} \sum M_P = 0 ; \quad & -F_{Az} \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + \\ & + F_{Ax} \cdot 3,8 + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + \left(x_2 - \frac{l}{2} \right) \right) - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + \\ & + N_2 \cdot (x_2 - 4) + N_3 \cdot (x_2 - 6) + N_4 \cdot (x_2 - 8) + F \cdot (x_2 - 7) = 0 \end{aligned}$$

$$N_x = -F_{Ax} - N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -76 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ = -253,43 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - F$$

$$Q_z = 251,44 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 17,74 - 35,49 - 35,49 - 17,74 - 50$$

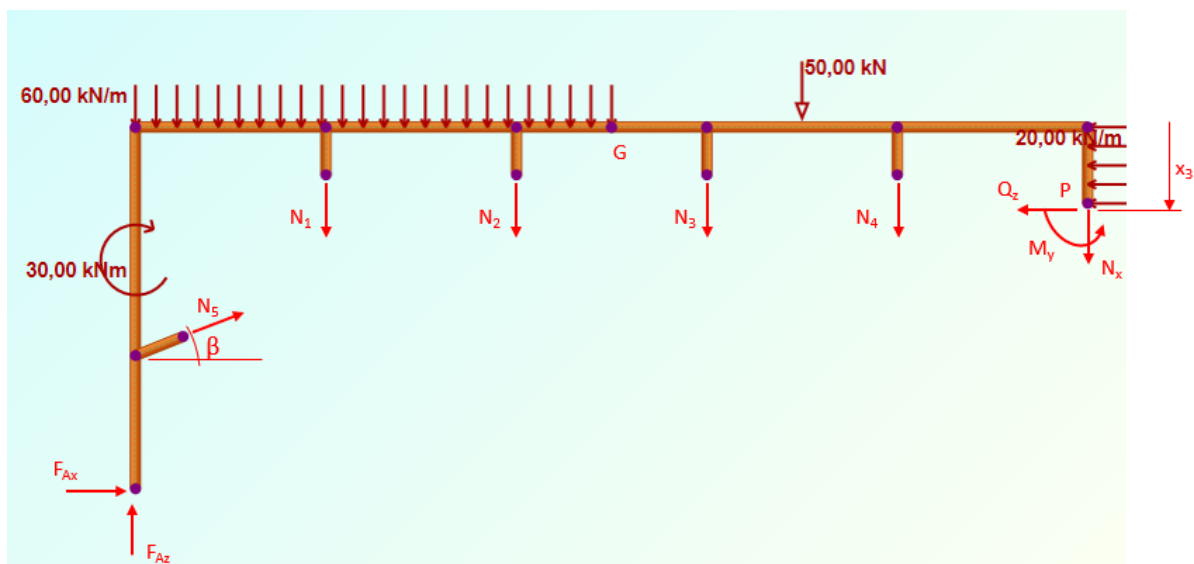
$$Q_z = -151,79 \text{ kN}$$

$$M_y = F_{Az} \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - F_{Ax} \cdot 3,8 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + \left(x_2 - \frac{l}{2} \right) \right) + \\ + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) - N_3 \cdot (x_2 - 6) - N_4 \cdot (x_2 - 8) - F \cdot (x_2 - 7)$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - \\ - 76 \cdot 3,8 - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \left(\frac{10}{4} + \left(x_2 - \frac{10}{2} \right) \right) + 30 - 17,74 \cdot (x_2 - 2) - \\ - 35,49 \cdot (x_2 - 4) - 35,49 \cdot (x_2 - 6) - 17,74 \cdot (x_2 - 8) - 50 \cdot (x_2 - 7)$$

$$M_y(8) = -266,65 \text{ kNm}$$

$$M_y(10) = -570,23 \text{ kNm}$$



Slika 2.26 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za deseti presjek

X. područje $0 \text{ m} \leq x_2 \leq 2,4 \text{ m}$ (slika 2.26)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - N_x - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - F = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad Q_z - N_5 \cdot \cos \beta - F_{Ax} + q_2 \cdot x_3 = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_{Az} \cdot 10 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot 10 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot (2,4 - x_3) + \\ + N_1 \cdot 8 + N_2 \cdot 6 + N_3 \cdot 4 + N_4 \cdot 2 + F \cdot 3 + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot l - \\ - M + F_{Ax} \cdot (3,8 - x_3) + q_2 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} = 0$$

$$N_x = F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - F$$

$$N_x = 251,44 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 17,74 - 35,49 - 35,49 - 17,74 - 50$$

$$N_x = -151,79 \text{ kN}$$

$$Q_z = N_5 \cdot \cos \beta + F_{Ax} - q_2 \cdot x_3$$

$$Q_z = 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ + 76 - 20 \cdot x_3$$

$$Q_z(0) = 253,43 \text{ kN}$$

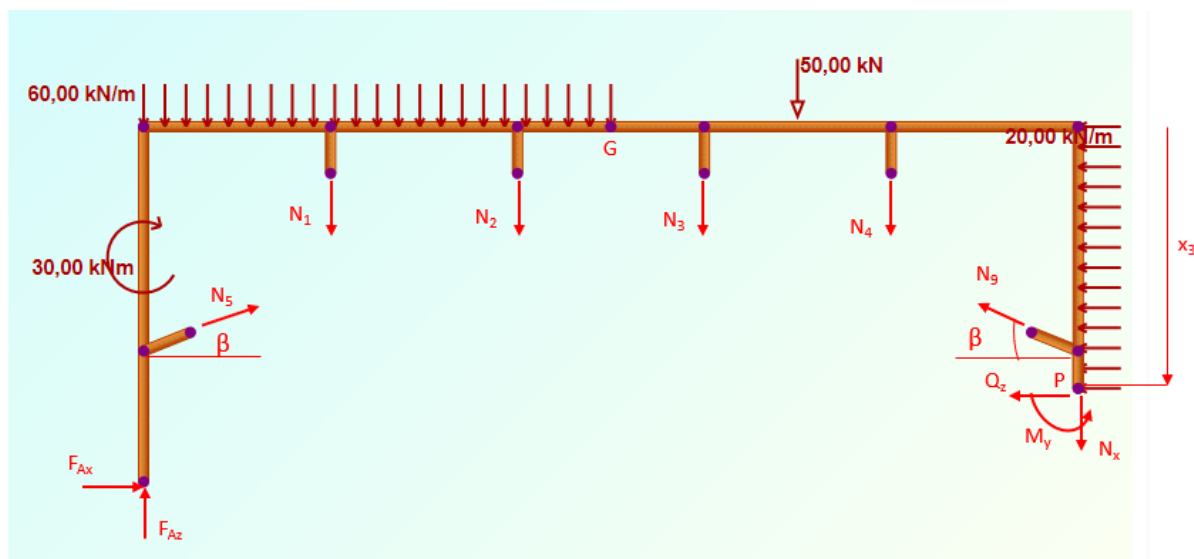
$$Q_z(2,4) = 205,43 \text{ kN}$$

$$M_y = F_{Az} \cdot 10 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot 10 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot (2,4 - x_3) - N_1 \cdot 8 - N_2 \cdot 6 - \\ - N_3 \cdot 4 - N_4 \cdot 2 - F \cdot 3 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot l + M - F_{Ax} \cdot (3,8 - x_3) - q_2 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2}$$

$$M_y = 251,44 \cdot 10 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot 10 - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (2,4 - x_3) - \\ - 17,74 \cdot 8 - 35,49 \cdot 6 - 35,49 \cdot 4 - 17,74 \cdot 2 - 50 \cdot 3 - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot 10 + \\ + 30 - 76 \cdot (3,8 - x_3) - 20 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2}$$

$$M_y(0) = -570,23 \text{ kNm}$$

$$M_y(2,4) = -19,60 \text{ kNm}$$



Slika 2.27 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za jedanaesti presjek

XI. područje $2,4 \text{ m} \leq x_2 \leq 3,8 \text{ m}$ (slika 2.27)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - N_x - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - N_9 \cdot \sin \beta - F = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad Q_z - N_5 \cdot \cos \beta + N_9 \cdot \cos \beta - F_{Ax} + q_2 \cdot x_3 = 0$$

$$\begin{aligned} \sum M_P = 0 ; \quad & -F_{Az} \cdot 10 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot 10 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_3 - 2,4) + \\ & + N_1 \cdot 8 + N_2 \cdot 6 + N_3 \cdot 4 + N_4 \cdot 2 + F \cdot 3 + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot l - M + \\ & + F_{Ax} \cdot (3,8 - x_3) + q_2 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} + N_9 \cdot \cos \beta \cdot (x_3 - 2,4) = 0 \end{aligned}$$

$$N_x = F_{Az} + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 + N_9 \cdot \sin \beta - F$$

$$\begin{aligned} N_x = & 241,44 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 17,74 - 35,49 - 35,49 - \\ & - 17,74 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ - 50 \end{aligned}$$

$$N_x = -98,56 \text{ kN}$$

$$Q_z = N_5 \cdot \cos \beta - N_9 \cdot \cos \beta + F_{Ax} - q_2 \cdot x_3$$

$$Q_z = 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ + 76 - 20 \cdot x_3$$

$$Q_z(2,4) = 28 \text{ kN}$$

$$Q_z(3,8) = 0 \text{ kN}$$

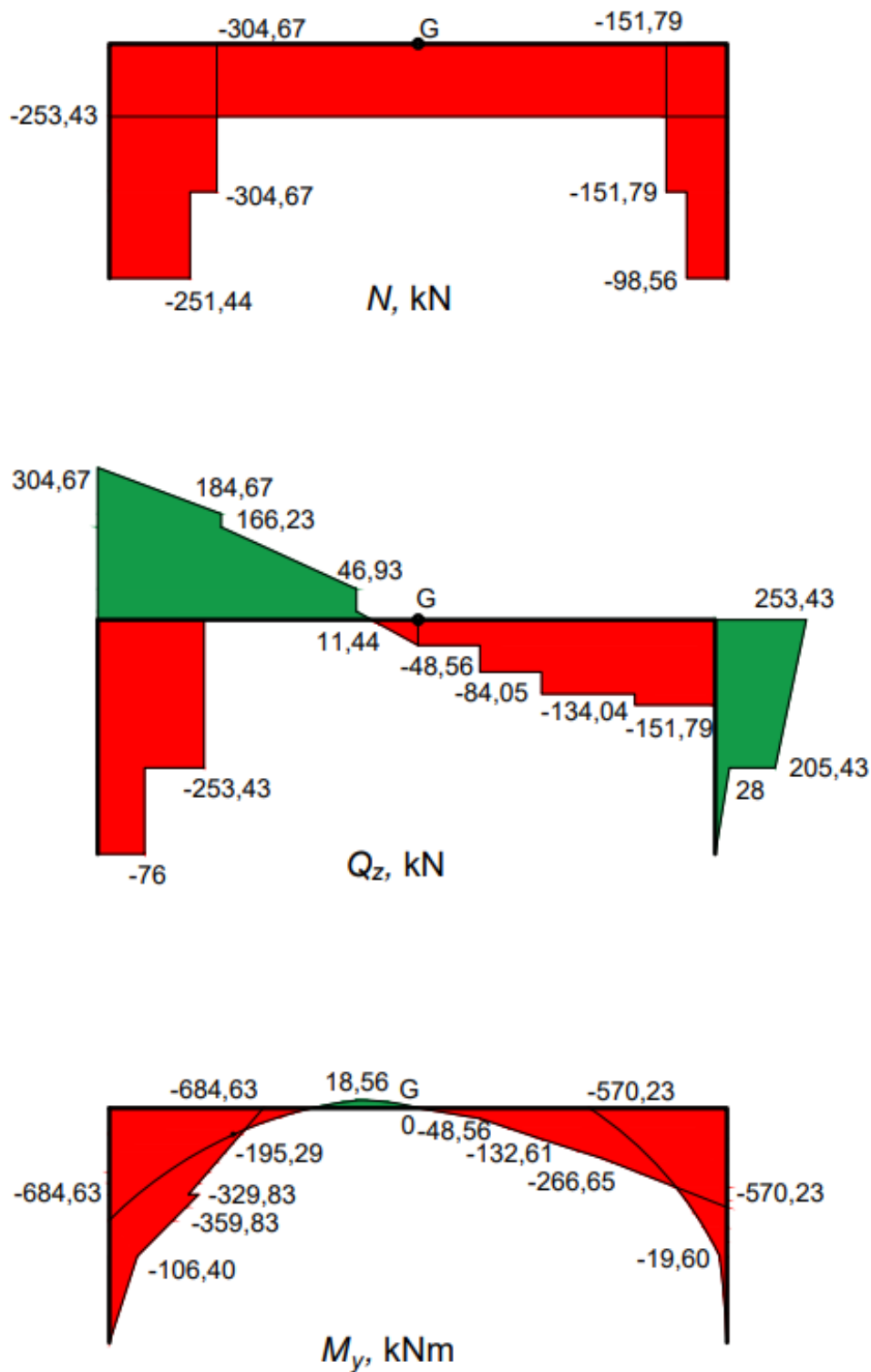
$$M_y = F_{Az} \cdot 10 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot 10 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_3 - 2,4) - N_1 \cdot 8 - N_2 \cdot 6 - N_3 \cdot 4 - N_4 \cdot 2 - F \cdot 3 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot l + M - F_{Ax} \cdot (3,8 - x_3) - q_2 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} - N_9 \cdot \cos \beta \cdot (x_3 - 2,4)$$

$$M_y = 251,44 \cdot 10 + 185,24 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot 10 + 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (x_3 - 2,4) - 17,74 \cdot 8 - 35,49 \cdot 6 - 35,49 \cdot 4 - 17,74 \cdot 2 - 50 \cdot 3 - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot 10 + 30 - 76 \cdot (3,8 - x_3) - 20 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} - 185,24 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (x_3 - 2,4)$$

$$M_y(2,4) = -19,60 \text{ kNm}$$

$$M_y(3,8) = 0 \text{ kNm}$$

2.3.1. Dijagrami unutarnjih sila okvira u konstrukciji s ojačanjem

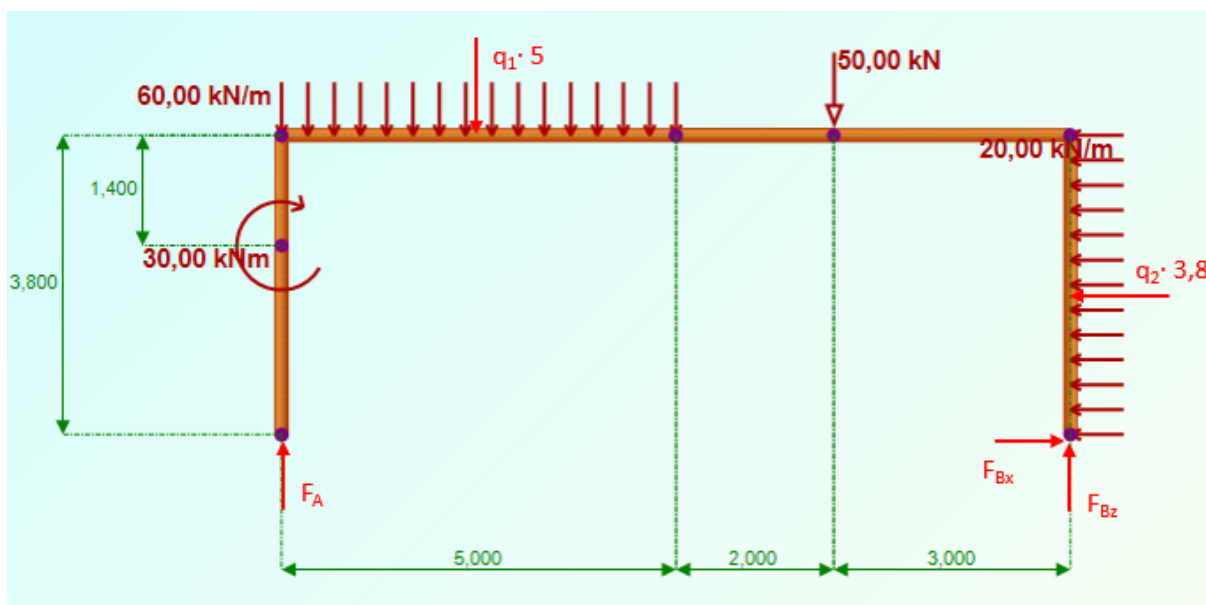


Slika 2.28 – Dijagrami N , Q_z i M_y

2.4. Proračun okvirnog nosača bez štapova sa zamijenjenim osloncima

Na slici 2.29 prikazan je konstrukcija sastavljena od okvirnog nosača i štapova s opterećenjem, te zamijenjenim osloncima. Cilj proračuna je dobiti reakcije u osloncima i sile u štapovima ojačanja, kao i unutarnje sile okvirnog nosača.

Izračunavanje reakcija u osloncima okvirnog nosača



Slika 2.29 – Prikaz okvirnog nosača oslobođenog od veza

Uvjeti ravnoteže za cijelu konstrukciju glase:

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_{Bx} - q_2 \cdot 3,8 = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad -F_A + q_1 \cdot 5 + F - F_{Bz} = 0$$

$$\sum M_A = 0 ; \quad -M - q_1 \cdot 5 \cdot 2,5 - F \cdot 7 + q_2 \cdot 3,8 \cdot 1,9 + F_{Bz} \cdot 10 = 0.$$

Iz uvjeta ravnoteže dobije se:

$$F_{Bx} = q_2 \cdot 3,8 = 20 \cdot 3,8 = 76,0 \text{ kN}$$

$$F_{Bz} = \frac{M + q_1 \cdot 5 \cdot 2,5 + F \cdot 7 - q_2 \cdot 3,8 \cdot 1,9}{10}$$

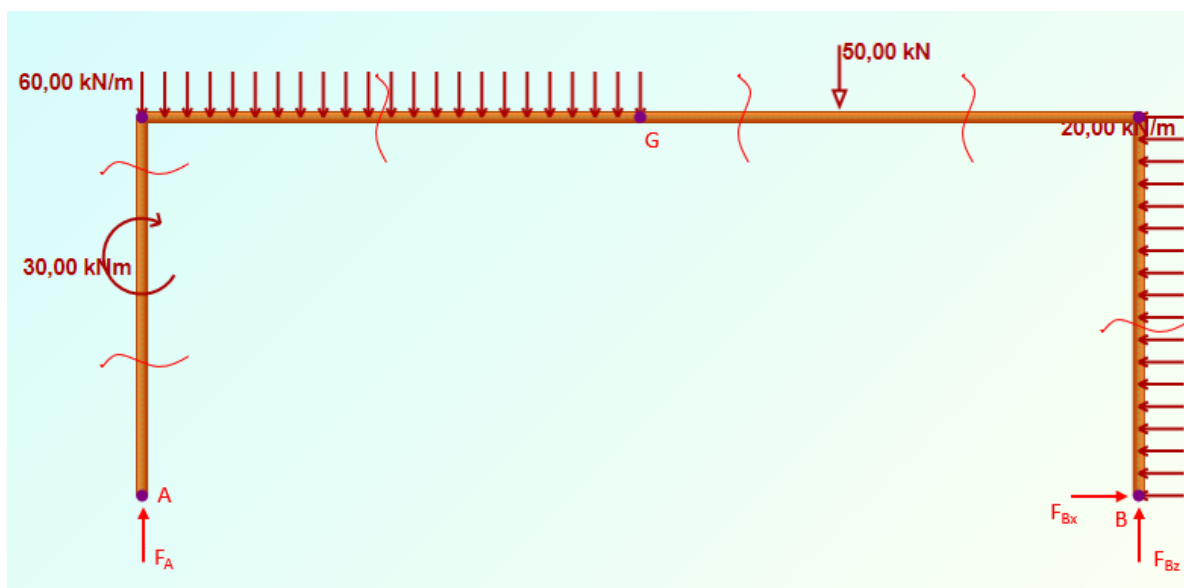
$$F_{Bz} = \frac{30 + 60 \cdot 5 \cdot 2,5 + 50 \cdot 7 - 20 \cdot 3,8 \cdot 1,9}{10} = 98,56 \text{ kN}$$

$$F_A = q_1 \cdot 5 + F - F_{Bz}$$

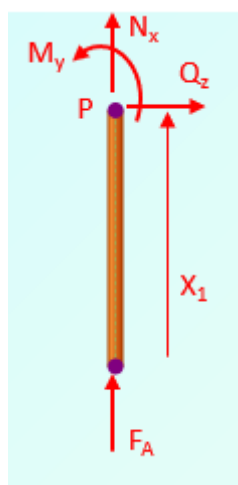
$$F_A = 60 \cdot 5 + 50 - 98,56 = 251,44 \text{ kN}.$$

Proračun unutarnjih sila okvirnog nosača bez štapova sa zamijenjenim osloncima

U naznačenim presjecima na slici 2.30 će se izvršiti proračun unutarnjih sila za okvirni nosač bez ojačanja.



Slika 2.30 – Okvirni nosač bez ojačanja sa zadanim opterećenjem i reakcijama štapova i oslonaca, te prikazanim presjecima potrebnim za proračun unutarnjih sila



Slika 2.31 – Odsječeni dio okvirnog nosača za prvi presjek

I. područje $0 \text{ m} \leq x_1 \leq 2,4 \text{ m}$ (slika 2.31)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_A + N_x = 0$$

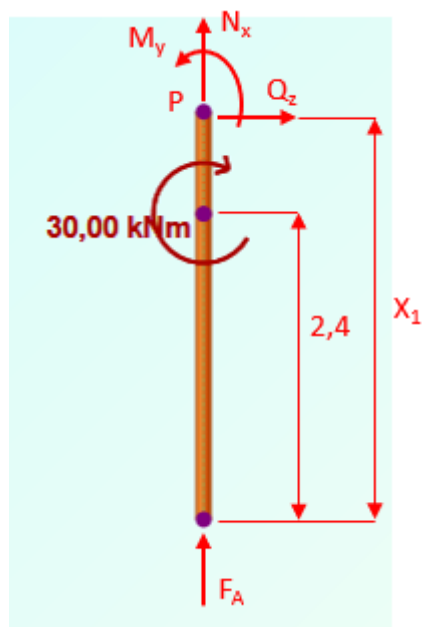
$$\sum F_z = 0 ; \quad Q_z = 0$$

$$\sum M_p = 0 ; \quad M_y = 0$$

$$N_x = -F_A = -251,44 \text{ kN}$$

$$Q_z = 0 \text{ kN}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$



Slika 2.32 – Odsječeni dio okvirnog nosača za drugi presjek

II. područje $2,4 \text{ m} \leq x_1 \leq 3,8 \text{ m}$ (slika 2.32)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_A + N_x = 0$$

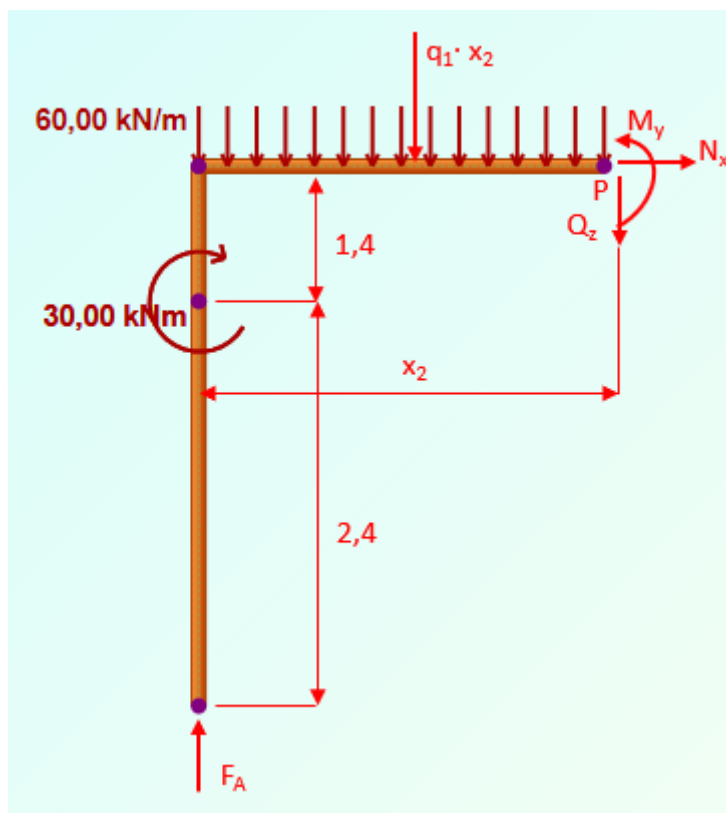
$$\sum F_z = 0 ; \quad Q_z = 0$$

$$\sum M_p = 0 ; \quad M_y - M = 0$$

$$N_x = -F_A = -251,44 \text{ kN}$$

$$Q_z = 0 \text{ kN}$$

$$M_y = M = 30 \text{ kNm}$$



Slika 2.33 – Odsječeni dio okvirnog nosača za treći presjek

III. područje $0 \text{ m} \leq x_2 \leq 5 \text{ m}$ (slika 2.33)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad -F_A + q_1 \cdot x_2 + Q_z = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad F_A \cdot x_2 + q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M_y - M = 0$$

$$N_x = 0 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A - q_1 \cdot x_2 = 251,44 - 60 \cdot x_2$$

$$Q_z(0) = 251,44 \text{ kN}$$

$$Q_z(5) = -48,56 \text{ kN}$$

$$M_y = F_A \cdot x_2 - q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M$$

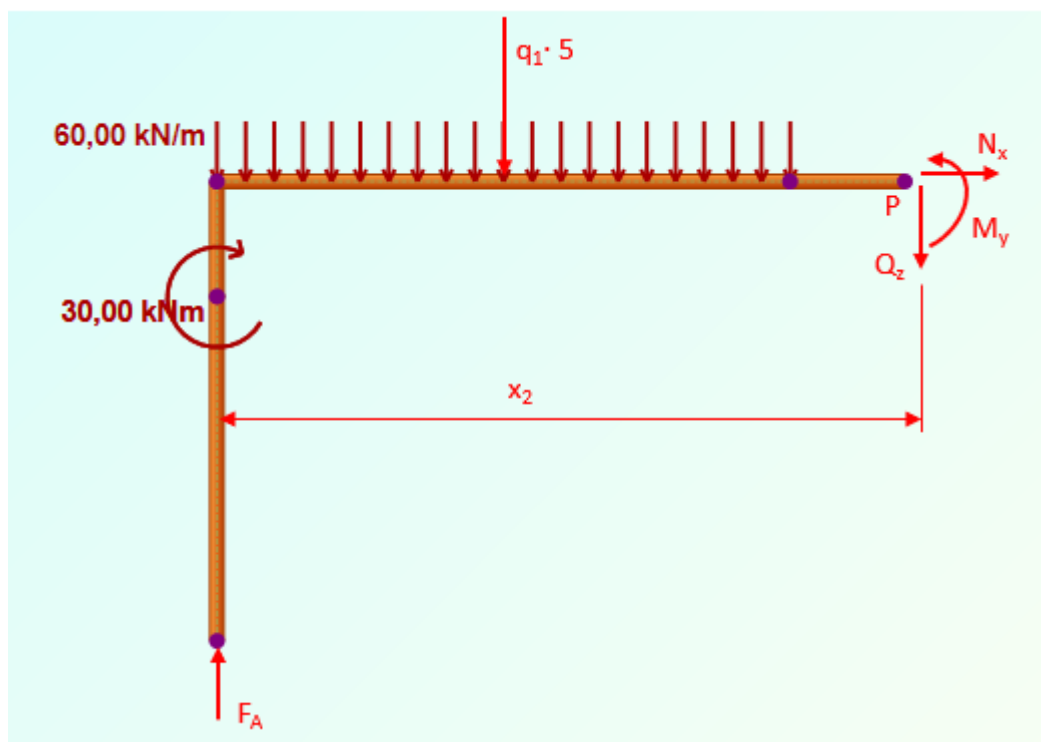
$$= 251,44 \cdot x_2 - 60 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + 30$$

$$M_y(0) = 30 \text{ kNm}$$

$$M_y(5) = 537,2 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} Q_z = 0 \quad & 251,44 - 60 \cdot x_2 = 0 \\ & -60 \cdot x_2 = -251,44 / (-60) \\ & x_2 = 4,19 \text{ m} \end{aligned}$$

$$M_y(4,19) = 565,85 \text{ kNm}$$



Slika 2.34 – Odsječeni dio okvirnog nosača za četvrti presjek

IV. područje $5 \text{ m} \leq x_2 \leq 7 \text{ m}$ (slika 2.34)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad -F_A + q_1 \cdot 5 + Q_z = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_A \cdot x_2 + q_1 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + M_y - M = 0$$

$$N_x = 0 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A - q_1 \cdot 5$$

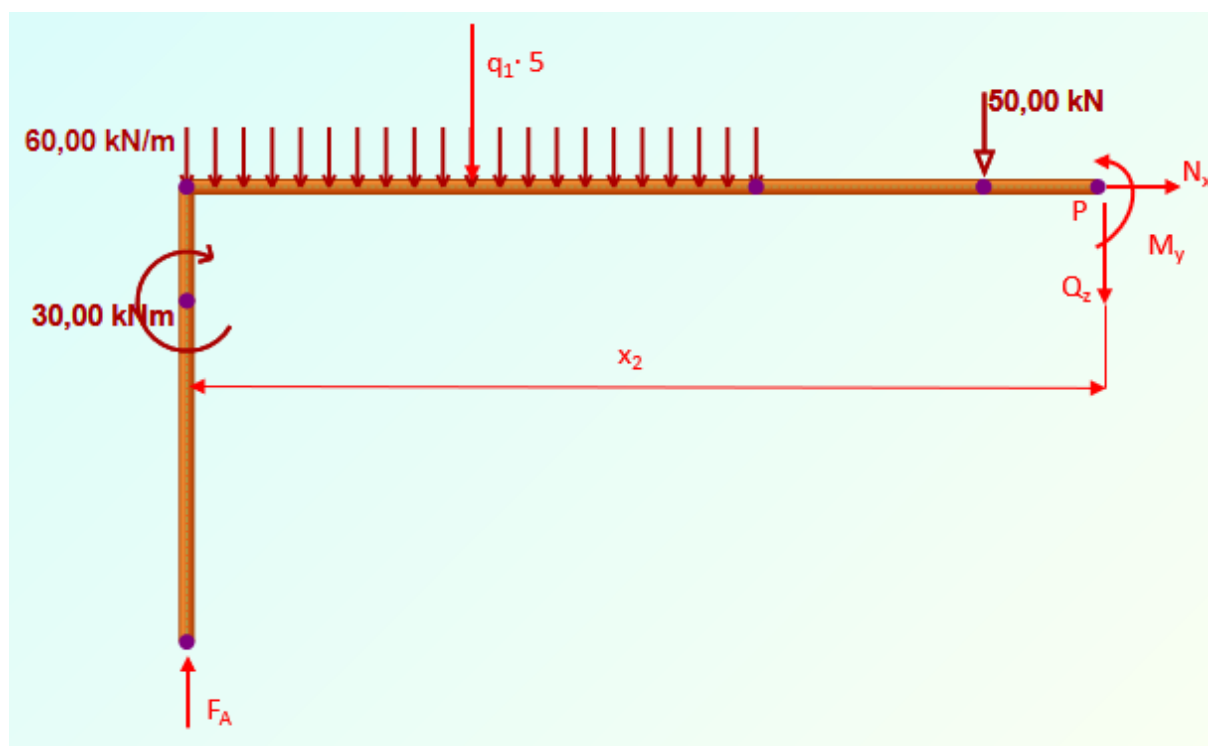
$$Q_z = 251,44 - 60 \cdot 5 = -48,56 \text{ kN}$$

$$M_y = F_A \cdot x_2 - q_1 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + M$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 - 60 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + 30$$

$$M_y(5) = 537,2 \text{ kNm}$$

$$M_y(7) = 440,08 \text{ kNm}$$



Slika 2.35 – Odsječeni dio okvirnog nosača za peti presjek

V.područje $7 \text{ m} \leq x_2 \leq 10 \text{ m}$ (slika 2.35)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad -F_A + q_1 \cdot 5 + Q_z + F = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_A \cdot x_2 + q_1 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + M_y - M + F \cdot (x_2 - 7) = 0$$

$$N_x = 0 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A - q_1 \cdot 5 - F$$

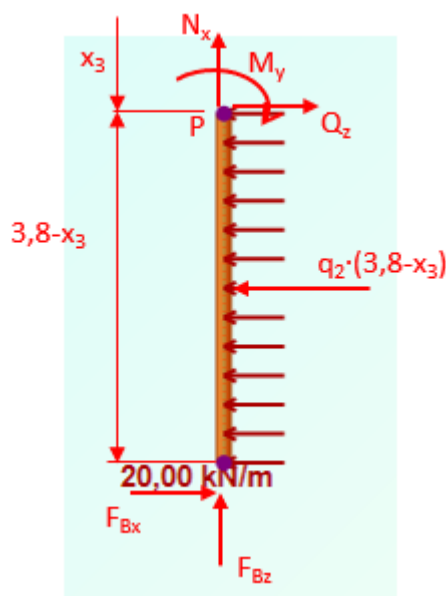
$$Q_z = 251,44 - 60 \cdot 5 - 30 = -98,56 \text{ kN}$$

$$M_y = F_A \cdot x_2 - q_1 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + M - F \cdot (x_2 - 7)$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 - 60 \cdot 5 \cdot (x_2 - 2,5) + 30 - 50 \cdot (x_2 - 7)$$

$$M_y(7) = 440,08 \text{ kNm}$$

$$M_y(10) = 144,4 \text{ kNm}$$



Slika 2.36 – Odsječeni dio okvirnog nosača za šesti presjek

VI. područje $0 \text{ m} \leq x_3 \leq 3,8 \text{ m}$ (slika 2.36)

$$\sum F_x = 0 ; \quad -N_x - F_{Bz} = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad -q_2 \cdot (3,8 - x_3) + Q_z + F_{Bx} = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -q_2 \cdot (3,8 - x_3) \cdot \left(\frac{3,8 - x_3}{2}\right) + F_{Bx} \cdot (3,8 - x_3) - M_y = 0$$

$$N_x = -F_{Bz} = -98,56 \text{ kN}$$

$$Q_z = q_2 \cdot (3,8 - x_3) - F_{Bx}$$

$$Q_z = 20 \cdot (3,8 - x_3) - 76$$

$$Q_z(0) = 0 \text{ kN}$$

$$Q_z(3,8) = -76 \text{ kN}$$

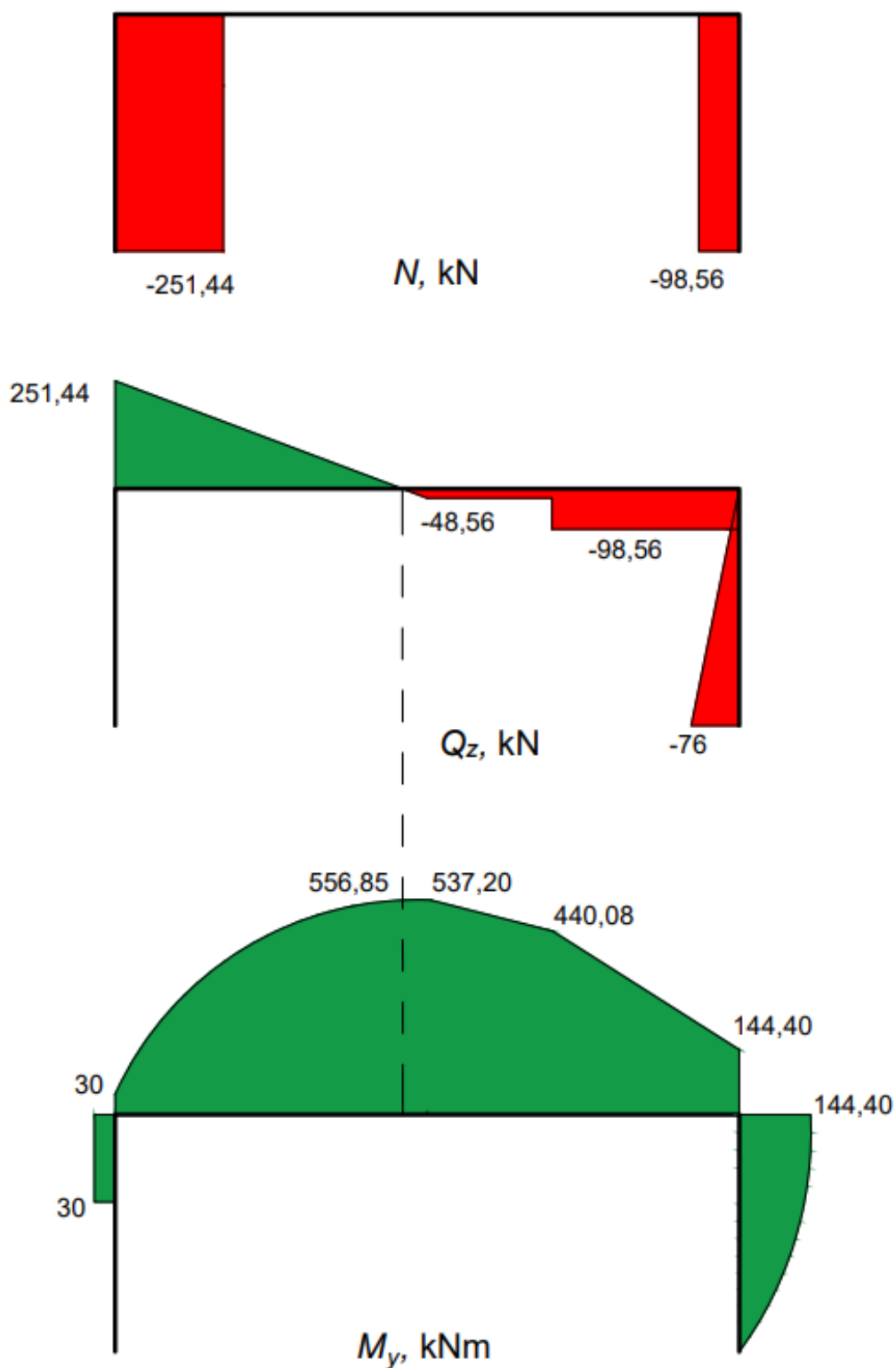
$$M_y = -q_2 \cdot (3,8 - x_3) \cdot \left(\frac{3,8 - x_3}{2}\right) + F_{Bx} \cdot (3,8 - x_3)$$

$$M_y = -20 \cdot (3,8 - x_3) \cdot \left(\frac{3,8 - x_3}{2}\right) + 76 \cdot (3,8 - x_3)$$

$$M_y(0) = 144,4 \text{ kNm}$$

$$M_y(3,8) = 0 \text{ kNm}$$

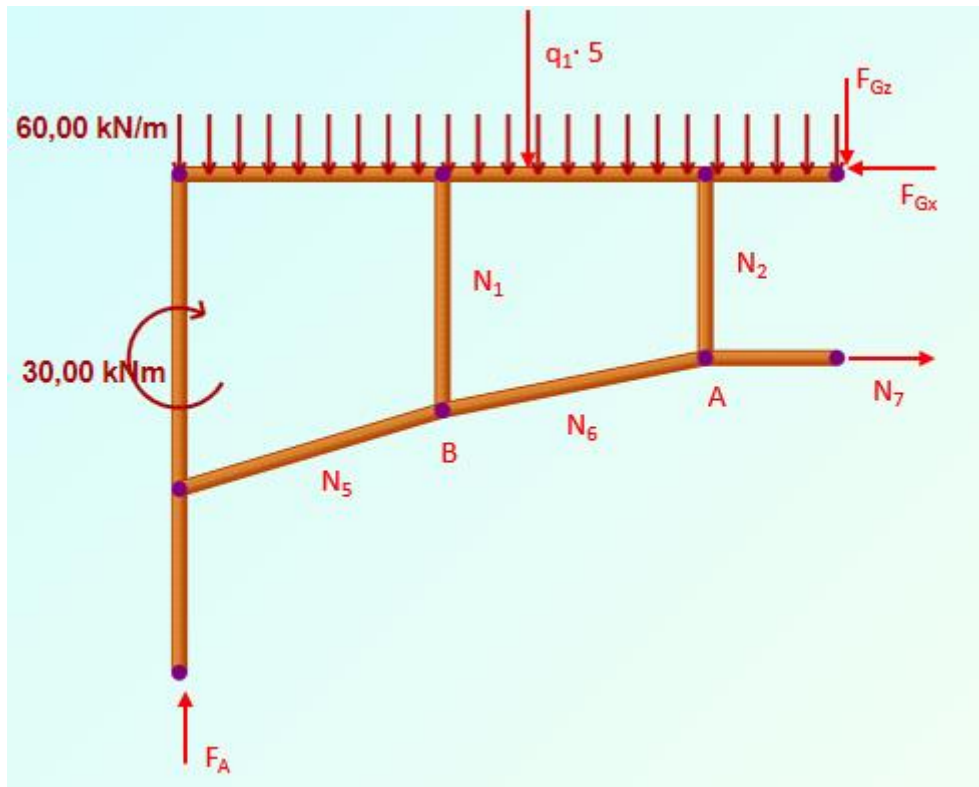
2.4.1. Dijagrami unutarnjih sila samog okvira sa zamijenjenim osloncima



Slika 2.37 – Dijagrami N , Q_z i M_y

2.5. Proračun okvira s ojačanjem sa zamijenjenim osloncima

Za rješavanje zadatka potrebno je u prvom koraku naći silu u štapu 7. Radi toga se promatra ravnoteža lijevog dijela konstrukcije dobivenog presijecanjem konstrukcije preko štapa 7 i zgloba G (Slika 2.38).



Slika 2.38 – Dio nosača lijevo od presjeka

Uvjeti ravnoteže za dio lijevo od presjeka glase:

$$\sum F_x = 0; \quad N_7 - F_{Gx} = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad F_A - q_1 \cdot 5 - F_{Gz} = 0$$

$$\sum M_G = 0; \quad F_A \cdot 5 - M + q_1 \cdot 5 \cdot 2,5 + N_7 \cdot 1,4 = 0.$$

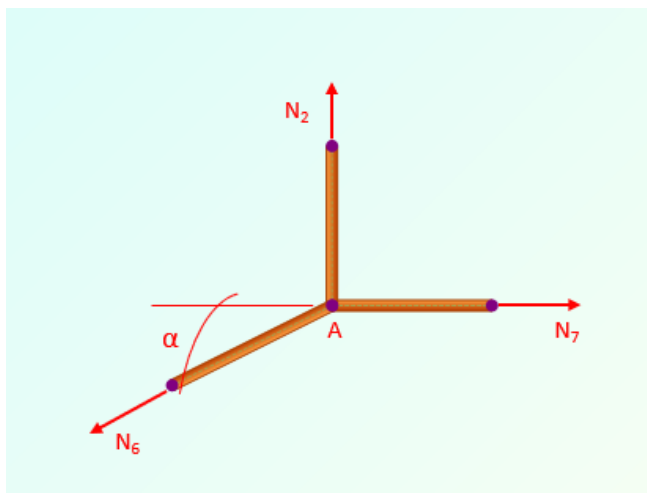
$$F_{Gx} = 383,71 \text{ kN}$$

$$F_{Gz} = F_A - q_l \cdot 5 = 251,44 - 60 \cdot 5 = -48,56 \text{ kN}$$

$$N_7 = \frac{F_A \cdot 5 + 30 - q_1 \cdot 5 \cdot 2,5}{1,4} = \frac{251,44 \cdot 5 + 30 - 60 \cdot 5 \cdot 2,5}{1,4}$$

$$N_7 = 383,71 \text{ kN}$$

ČVOR A



Slika 2.39 – Čvor A

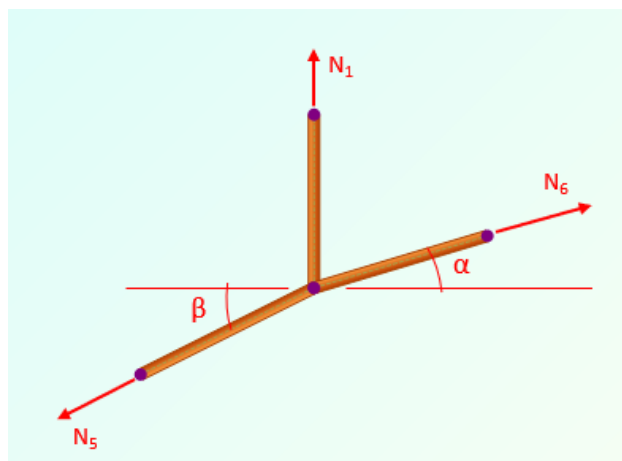
$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 ; & N_7 - N_6 \cdot \cos \alpha &= 0 \\ \sum F_z &= 0 ; & N_2 - N_6 \cdot \sin \alpha &= 0 \end{aligned}$$

Kut $\alpha = 11,31^\circ$ je preuzet iz prijašnjeg proračuna.

$$N_6 = \frac{N_7}{\cos \alpha} = \frac{383,71}{\cos 11,31^\circ} = 391,31 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_6 \cdot \sin \alpha = 391,31 \cdot \sin 11,31^\circ = 76,74 \text{ kN}$$

ČVOR B



Slika 2.40 – Čvor B

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_6 \cdot \cos \alpha - N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad N_1 + N_6 \cdot \sin \alpha - N_5 \cdot \sin \beta = 0$$

Kut $\beta = 16,7^\circ$ je preuzet iz prijašnjeg proračuna.

$$N_5 = \frac{N_6 \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{391,31 \cdot \cos 11,31^\circ}{\cos 16,7^\circ} = 400,61 \text{ kN}$$

$$N_1 = -N_6 \cdot \sin \alpha + N_5 \cdot \sin \beta$$

$$N_1 = -391,31 \cdot \sin 11,31^\circ + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ = 38,38 \text{ kN}$$

$$N_1 = N_4 = 38,38 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_3 = 76,74 \text{ kN}$$

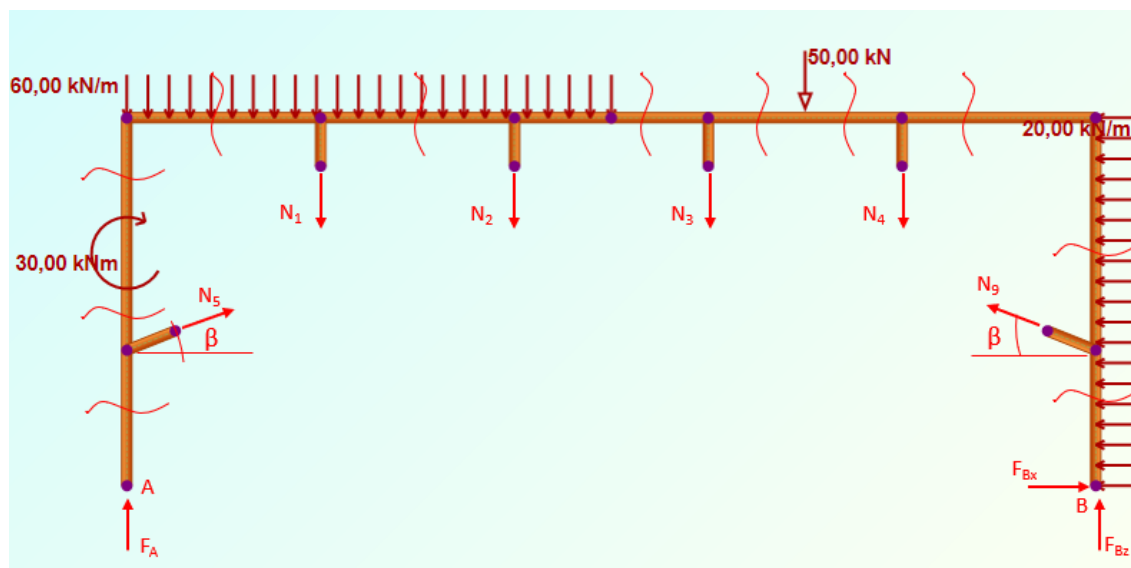
$$N_5 = N_9 = 400,61 \text{ kN}$$

$$N_6 = N_8 = 391,31 \text{ kN}$$

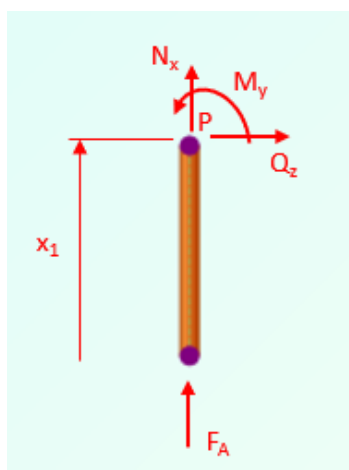
$$N_7 = 383,71 \text{ kN}$$

2.6. Proračun unutarnjih sila okvira u konstrukciji s ojačanjem sa zamijenjenim osloncima

U naznačenim presjecima na slici 2.41 će se izvršiti proračun unutarnjih sila za okvirni nosač s ojačanjem. Pri izračunavanju unutarnjih sila utjecaj štapova nadomješten je ovim silama.



Slika 2.41 – Okvirni nosač sa zadanim opterećenjem i reakcijama štapova i oslonaca, te prikazanim presjecima potrebnim za proračun unutarnjih sila



Slika 2.42 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za prvi presjek

I. područje $0 \text{ m} \leq x_1 \leq 1,4 \text{ m}$ (slika 2.42)

$$\sum F_x = 0; \quad F_A + N_x = 0$$

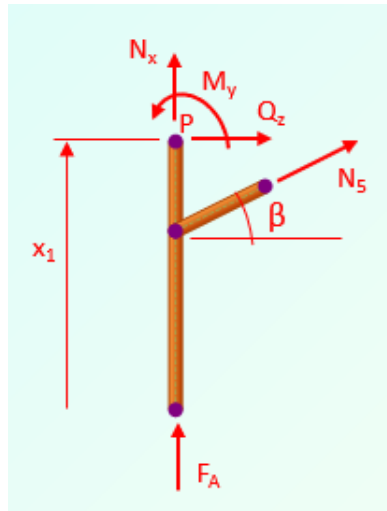
$$\sum F_z = 0; \quad Q_z = 0$$

$$\sum M_p = 0; \quad M_y = 0$$

$$N_x = -F_A = -251,44 \text{ kN}$$

$$Q_z = 0 \text{ kN}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$



Slika 2.43 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za drugi presjek

II. područje $1,4 \text{ m} \leq x_1 \leq 2,4 \text{ m}$ (slika 2.43)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_A + N_x + N_5 \cdot \sin \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad Q_z + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad M_y + N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_1 - 1,4) = 0$$

$$N_x = -F_A - N_5 \cdot \sin \beta$$

$$N_x = -251,44 - 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ = -366,55 \text{ kN}$$

$$Q_z = -N_5 \cdot \cos \beta$$

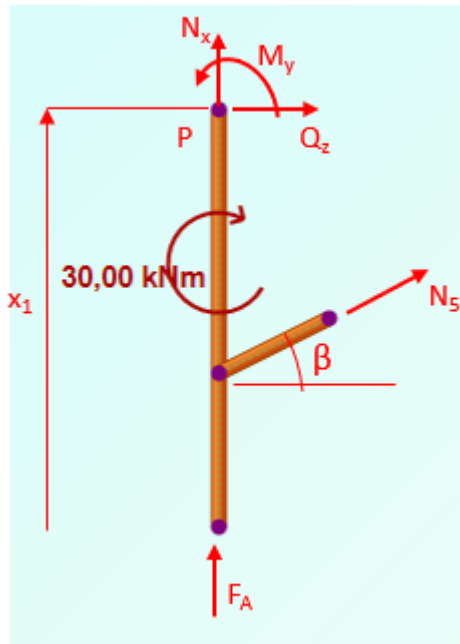
$$Q_z = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ = -383,71 \text{ kN}$$

$$M_y = -N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_1 - 1,4)$$

$$M_y = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (x_1 - 1,4)$$

$$M_y(1,4) = 0 \text{ kNm}$$

$$M_y(2,4) = -383,71 \text{ kNm}$$



Slika 2.44 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za treći presjek

III. područje $2,4 \text{ m} \leq x_1 \leq 3,8 \text{ m}$ (slika 2.44)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_A + N_x + N_5 \cdot \sin \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad Q_z + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad M_y + N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_1 - 1,4) - M = 0$$

$$N_x = -F_A - N_5 \cdot \sin \beta$$

$$N_x = -251,44 - 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ = -366,55 \text{ kN}$$

$$Q_z = -N_5 \cdot \cos \beta$$

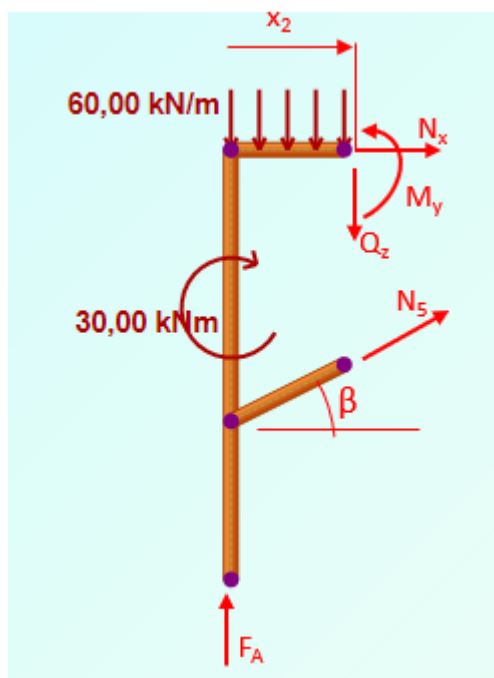
$$Q_z = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ = -383,71 \text{ kN}$$

$$M_y = M - N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_1 - 1,4)$$

$$M_y = 30 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (x_1 - 1,4)$$

$$M_y(2,4) = -353,71 \text{ kNm}$$

$$M_y(3,8) = -890,91 \text{ kNm}$$



Slika 2.45 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za četvrti presjek

IV. područje $0 \text{ m} \leq x_2 \leq 2 \text{ m}$ (slika 2.45)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_A - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 = 0$$

$$\sum M_p = 0 ; \quad -F_A \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} - M = 0$$

$$N_x = -N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ = -383,71 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2$$

$$Q_z = 251,44 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot x_2$$

$$Q_z(0) = 366,55 \text{ kN}$$

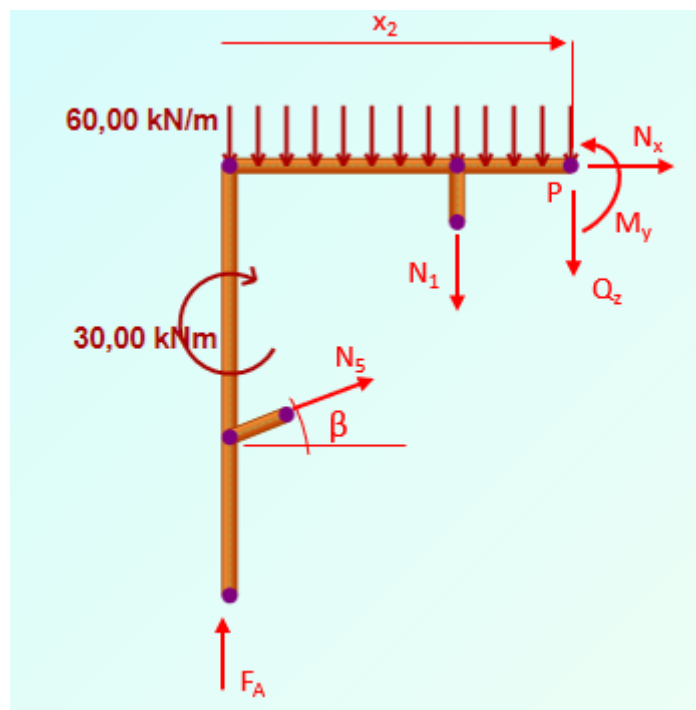
$$Q_z(2) = 246,55 \text{ kN}$$

$$M_y = F_A \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - 60 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + 30$$

$$M_y(0) = -890,91 \text{ kNm}$$

$$M_y(2) = -277,81 \text{ kNm}$$



Slika 2.46 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za peti presjek

V. područje $2 \text{ m} \leq x_2 \leq 4 \text{ m}$ (slika 2.46)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_A - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 - N_1 = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_A \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + \\ + q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) = 0$$

$$N_x = -N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ = -383,71 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 - N_1$$

$$Q_z = 251,44 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot x_2 - 38,38$$

$$Q_z(2) = 208,18 \text{ kN}$$

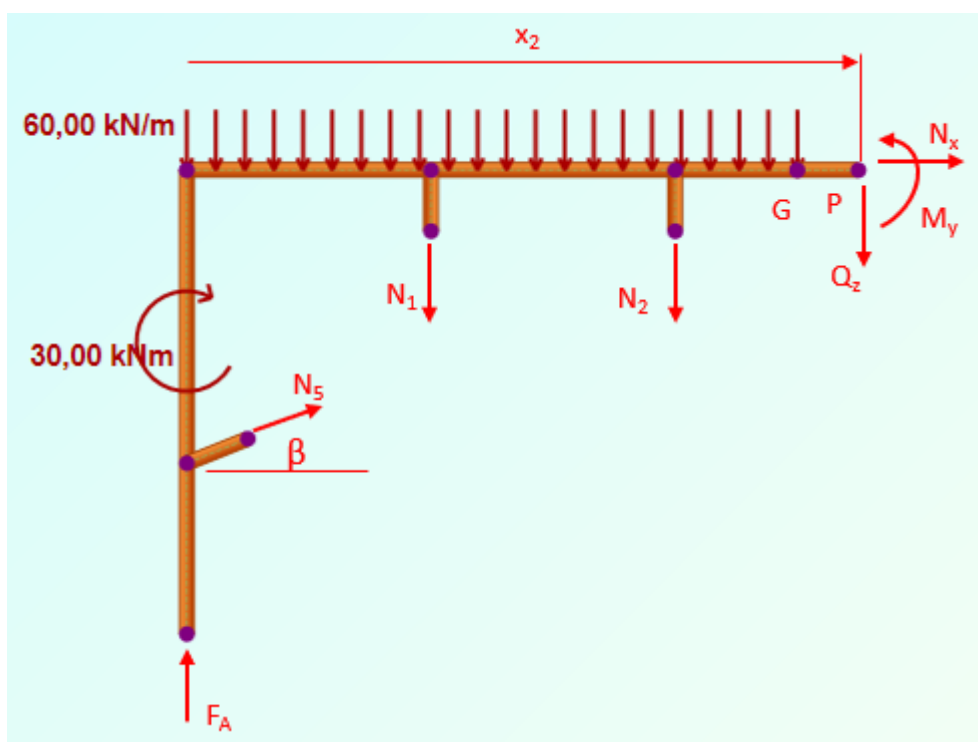
$$Q_z(4) = 88,18 \text{ kN}$$

$$M_y = F_A \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M - N_1 \cdot (x_2 - 2)$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - 60 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + 30 - 38,38 \cdot (x_2 - 2)$$

$$M_y(2) = -277,81 \text{ kNm}$$

$$M_y(4) = 18,56 \text{ kNm}$$



Slika 2.47 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za šesti presjek

VI. područje $4 \text{ m} \leq x_2 \leq 6 \text{ m}$ (slika 2.47)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_A - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 - N_1 - N_2 = 0$$

$$N_x = -N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ = -383,71 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot x_2 - N_1 - N_2$$

$$Q_z = 251,44 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot x_2 - 38,38 - 76,74$$

$$Q_z(4) = 11,44 \text{ kN}$$

$$Q_z(5) = -48,56 \text{ kN}$$

$$Q_z(6) = -48,56 \text{ kN}$$

Do čvora G vrijedi jednačba za moment savijanja kako slijedi:

$$\begin{aligned} \sum M_P = 0 ; \quad & -F_A \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + \\ & + q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + N_2 \cdot (x_2 - 4) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y = F_A \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - \\ - q_1 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y = 251,44 \cdot x_2 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - \\ - 60 \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} + 30 - 38,38 \cdot (x_2 - 2) - 76,74 \cdot (x_2 - 4) \end{aligned}$$

$$M_y(4) = 18,56 \text{ kNm}.$$

Od čvora G vrijedi jednačba za moment savijanja kako slijedi:

$$\begin{aligned} \sum M_P = 0 ; \quad & -F_A \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + \\ & + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + \left(x_2 - \frac{l}{2} \right) \right) - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + N_2 \cdot (x_2 - 4) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y = F_A \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - \\ - q_1 \cdot \frac{35}{2} + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) \end{aligned}$$

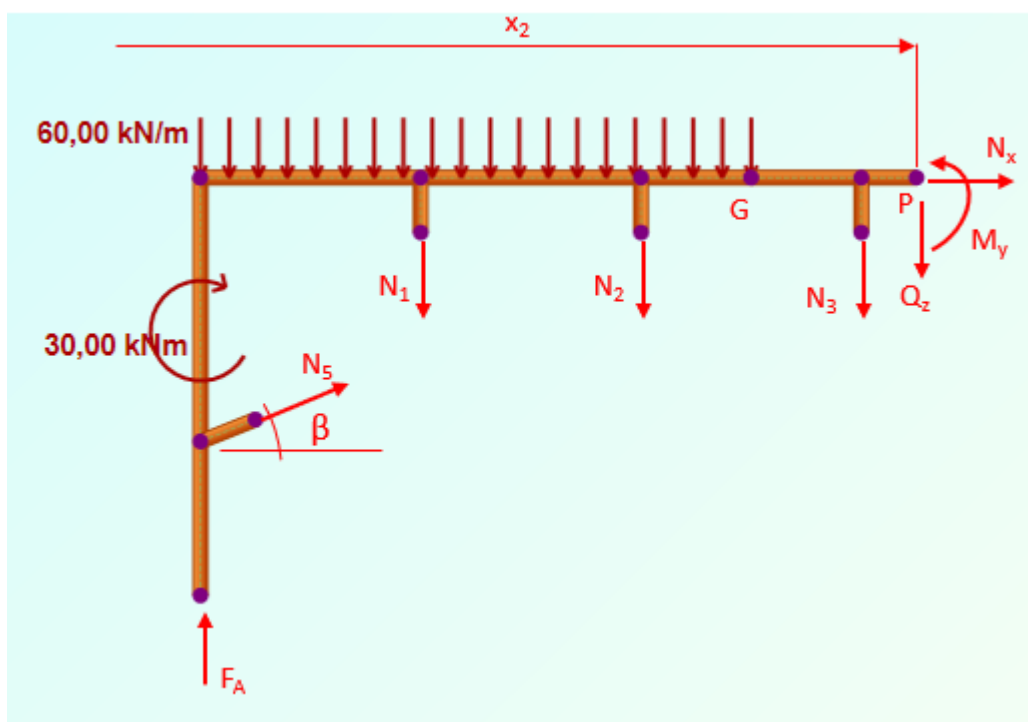
$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 -$$

$$-60 \cdot \frac{35}{2} + 30 - 38,38 \cdot (x_2 - 2) - 76,74 \cdot (x_2 - 4)$$

$$M_y(6) = -48,56 \text{ kNm}.$$

Provjera uvjeta Gerberovog zgloba gdje je $\sum M_G = 0$:

$$M_y(5) = 0 \text{ kNm}.$$



Slika 2.48 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za sedmi presjek

VII. područje $6 \text{ m} \leq x_2 \leq 7 \text{ m}$ (slika 2.48)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_A - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_A \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 +$$

$$+ q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + (x_2 - \frac{l}{2}) \right) - M + N_1 \cdot (x_2 - 2$$

$$N_x = -N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ = -383,71 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3$$

$$Q_z = 251,44 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 38,38 - 76,74 - 76,74$$

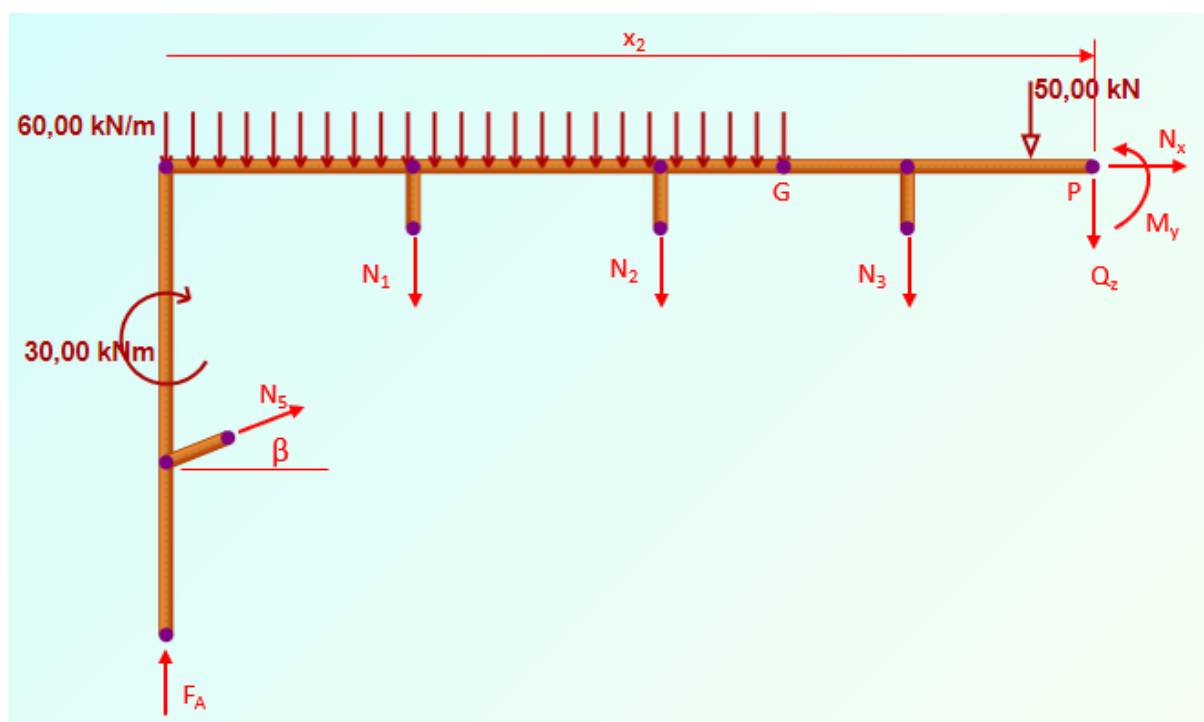
$$Q_z = -125,30 \text{ kN}$$

$$M_y = F_A \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + \left(x_2 - \frac{l}{2} \right) \right) + \\ + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) - N_3 \cdot (x_2 - 6)$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - \\ - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \left(\frac{10}{4} + \left(x_2 - \frac{10}{2} \right) \right) + 30 - 38,38 \cdot (x_2 - 2) - 76,74 \cdot (x_2 - 4) - 76,74 \cdot (x_2 - 6)$$

$$M_y(6) = -48,56 \text{ kNm}$$

$$M_y(7) = -173,86 \text{ kNm}$$



Slika 2.49 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za osmi presjek

VIII. područje $7 \text{ m} \leq x_2 \leq 8 \text{ m}$ (slika 2.49)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_A - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - F = 0$$

$$\begin{aligned} \sum M_p = 0 ; \quad & -F_A \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + \\ & + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + (x_2 - \frac{l}{2}) \right) - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + \\ & + N_2 \cdot (x_2 - 4) + N_3 \cdot (x_2 - 6) + F \cdot (x_2 - 7) = 0 \end{aligned}$$

$$N_x = -N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ = -383,71 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - F$$

$$Q_z = 251,44 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 38,38 - 76,74 - 76,74 - 50$$

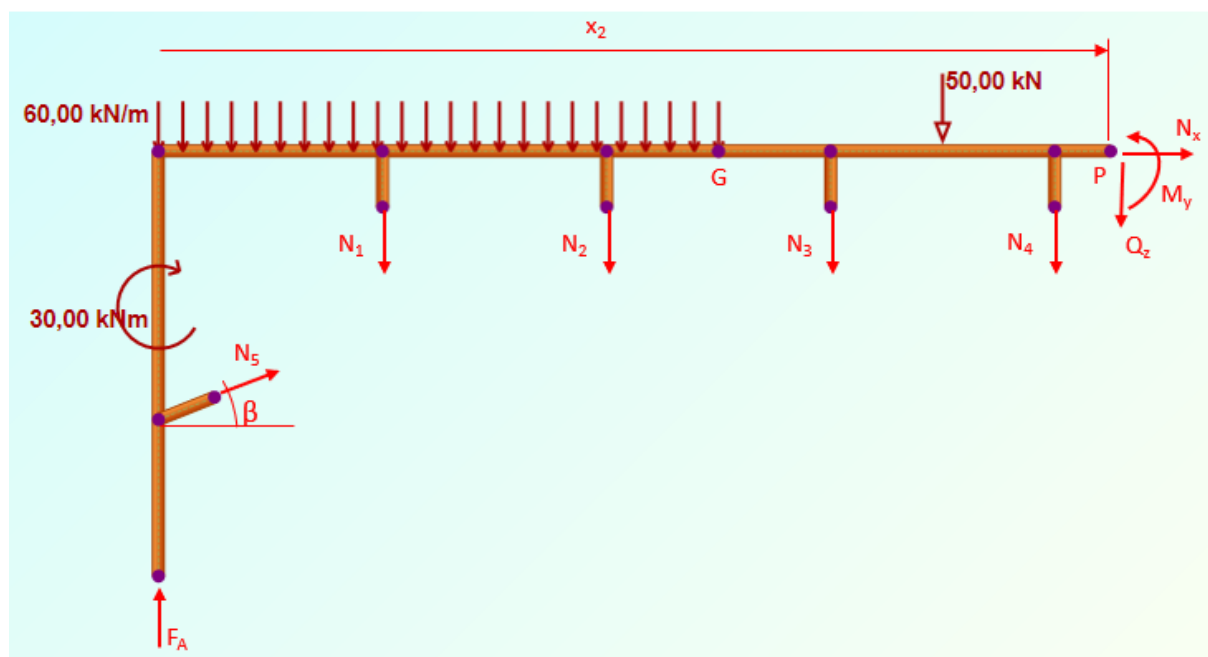
$$Q_z = -175,30 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_y = & F_A \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + (x_2 - \frac{l}{2}) \right) + \\ & + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) - N_3 \cdot (x_2 - 6) - F \cdot (x_2 - 7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y = & 251,44 \cdot x_2 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - \\ & - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \left(\frac{10}{4} + (x_2 - \frac{10}{2}) \right) + 30 - 38,38 \cdot (x_2 - 2) - 76,74 \cdot (x_2 - 4) - \\ & - 76,74 \cdot (x_2 - 6) - 50 \cdot (x_2 - 7) \end{aligned}$$

$$M_y(7) = -173,86 \text{ kNm}$$

$$M_y(8) = -349,17 \text{ kNm}$$



Slika 2.50 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za deveti presjek

IX. područje $8 \text{ m} \leq x_2 \leq 10 \text{ m}$ (slika 2.50)

$$\sum F_x = 0 ; \quad N_x + N_5 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad F_A - Q_z + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - F = 0$$

$$\begin{aligned} \sum M_P = 0 ; \quad & -F_A \cdot x_2 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 + \\ & + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + \left(x_2 - \frac{l}{2} \right) \right) - M + N_1 \cdot (x_2 - 2) + N_2 \cdot (x_2 - 4) + \\ & + N_3 \cdot (x_2 - 6) + N_4 \cdot (x_2 - 8) + F \cdot (x_2 - 7) = 0 \end{aligned}$$

$$N_x = -N_5 \cdot \cos \beta$$

$$N_x = -400,61 \cdot \cos 16,7^\circ = -383,71 \text{ kN}$$

$$Q_z = F_A + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - F$$

$$Q_z = 251,44 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 38,38 - 76,74 - 76,74 - 38,38 - 50$$

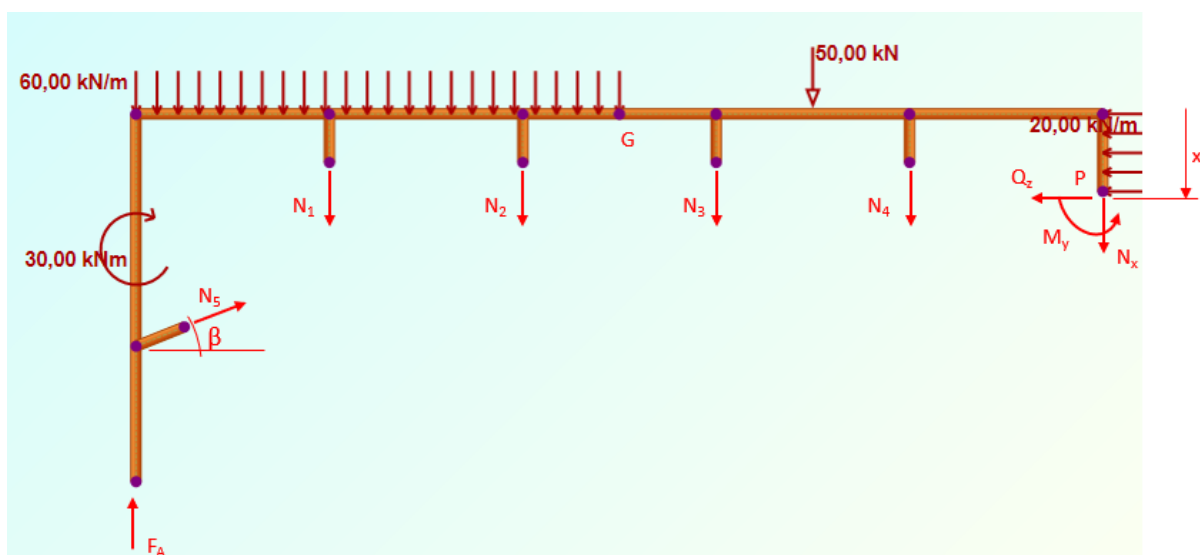
$$Q_z = -213,67 \text{ kN}$$

$$M_y = F_A \cdot x_2 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot x_2 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot 2,4 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + \left(x_2 - \frac{l}{2} \right) \right) + \\ + M - N_1 \cdot (x_2 - 2) - N_2 \cdot (x_2 - 4) - N_3 \cdot (x_2 - 6) - N_4 \cdot (x_2 - 8) - F \cdot (x_2 - 7)$$

$$M_y = 251,44 \cdot x_2 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot x_2 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot 2,4 - \\ - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \left(\frac{10}{4} + \left(x_2 - \frac{10}{2} \right) \right) + 30 - 38,38 \cdot (x_2 - 2) - 76,74 \cdot (x_2 - 4) - \\ - 76,74 \cdot (x_2 - 6) - 38,38 \cdot (x_2 - 8) - 50 \cdot (x_2 - 7)$$

$$M_y(8) = -349,17 \text{ kNm}$$

$$M_y(10) = -776,51 \text{ kNm}$$



Slika 2.51 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za deseti presjek

X. područje $0 \text{ m} \leq x_2 \leq 2,4 \text{ m}$ (slika 2.51)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_A + N_5 \cdot \sin \beta - N_x - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - F = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad Q_z - N_5 \cdot \cos \beta + q_2 \cdot x_3 = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_A \cdot 10 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot 10 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot (2,4 - x_3) + \\ + N_1 \cdot 8 + N_2 \cdot 6 + N_3 \cdot 4 + N_4 \cdot 2 + F \cdot 3 + \\ + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot l - M + q_2 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} = 0$$

$$N_x = F_A + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - F$$

$$N_x = 251,44 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 38,38 - 76,74 - 76,74 - 38,38 - 50$$

$$N_x = -213,67 \text{ kN}$$

$$Q_z = N_5 \cdot \cos \beta - q_2 \cdot x_3$$

$$Q_z = 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ - 20 \cdot x_3$$

$$Q_z(0) = 383,71 \text{ kN}$$

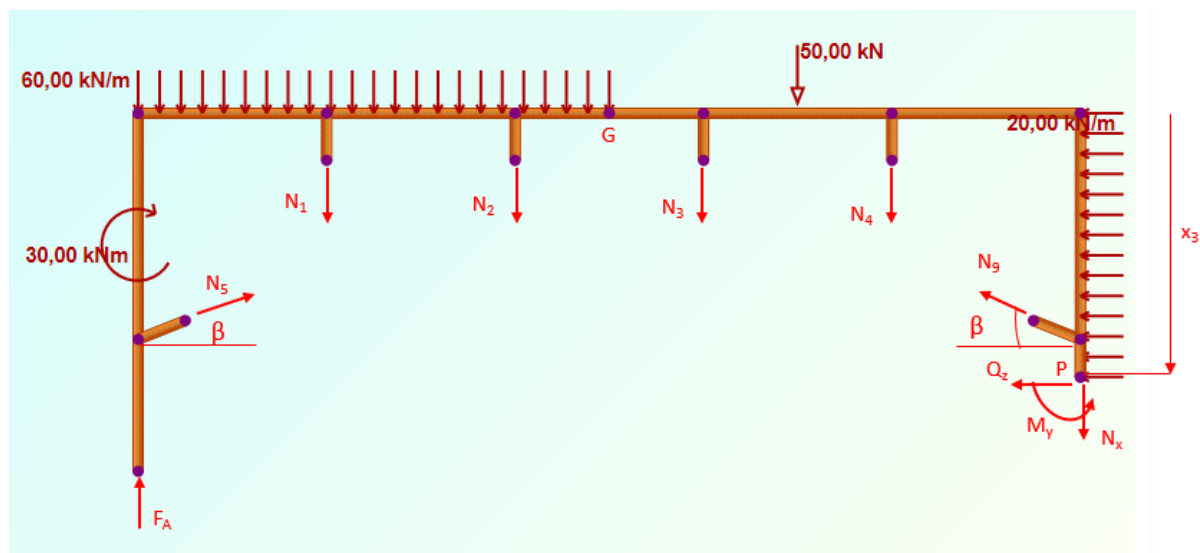
$$Q_z(2,4) = 335,71 \text{ kN}$$

$$M_y = F_A \cdot 10 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot 10 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot (2,4 - x_3) - N_1 \cdot 8 - \\ - N_2 \cdot 6 - N_3 \cdot 4 - N_4 \cdot 2 - F \cdot 3 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot l + M - q_2 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2}$$

$$M_y = 251,44 \cdot 10 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot 10 - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (2,4 - x_3) - \\ - 38,38 \cdot 8 - 76,74 \cdot 6 - 76,74 \cdot 4 - 38,38 \cdot 2 - 50 \cdot 3 - \\ - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot 10 + 30 - 20 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2}$$

$$M_y(0) = -776,51 \text{ kNm}$$

$$M_y(2,4) = 86,80 \text{ kNm}$$



Slika 2.52 – Odsječeni dio okvirnog nosača s pojačanjem za jedanaesti presjek

XI. područje $2,4 \text{ m} \leq x_2 \leq 3,8 \text{ m}$ (slika 2.52)

$$\sum F_x = 0 ; \quad F_A + N_5 \cdot \sin \beta - N_x - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - N_9 \cdot \sin \beta - F = 0$$

$$\sum F_z = 0 ; \quad Q_z - N_5 \cdot \cos \beta + N_9 \cdot \cos \beta + q_2 \cdot x_3 = 0$$

$$\sum M_P = 0 ; \quad -F_A \cdot 10 + M_y - N_5 \cdot \sin \beta \cdot 10 - N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_3 - 2,4) + N_1 \cdot 8 + N_2 \cdot 6 + N_3 \cdot 4 + N_4 \cdot 2 + F \cdot 3 + q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot l - M + q_2 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} + N_9 \cdot \cos \beta \cdot (x_3 - 2,4) = 0$$

$$N_x = F_A + N_5 \cdot \sin \beta - q_1 \cdot \frac{l}{2} - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 + N_9 \cdot \sin \beta - F$$

$$N_x = 251,44 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 60 \cdot \frac{10}{2} - 38,38 - 76,74 - 76,74 - 38,38 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ - 50$$

$$N_x = -98,56 \text{ kN}$$

$$Q_z = N_5 \cdot \cos \beta - N_9 \cdot \cos \beta - q_2 \cdot x_3$$

$$Q_z = 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ - 20 \cdot x_3$$

$$Q_z(2,4) = -48 \text{ kN}$$

$$Q_z(3,8) = -76 \text{ kN}$$

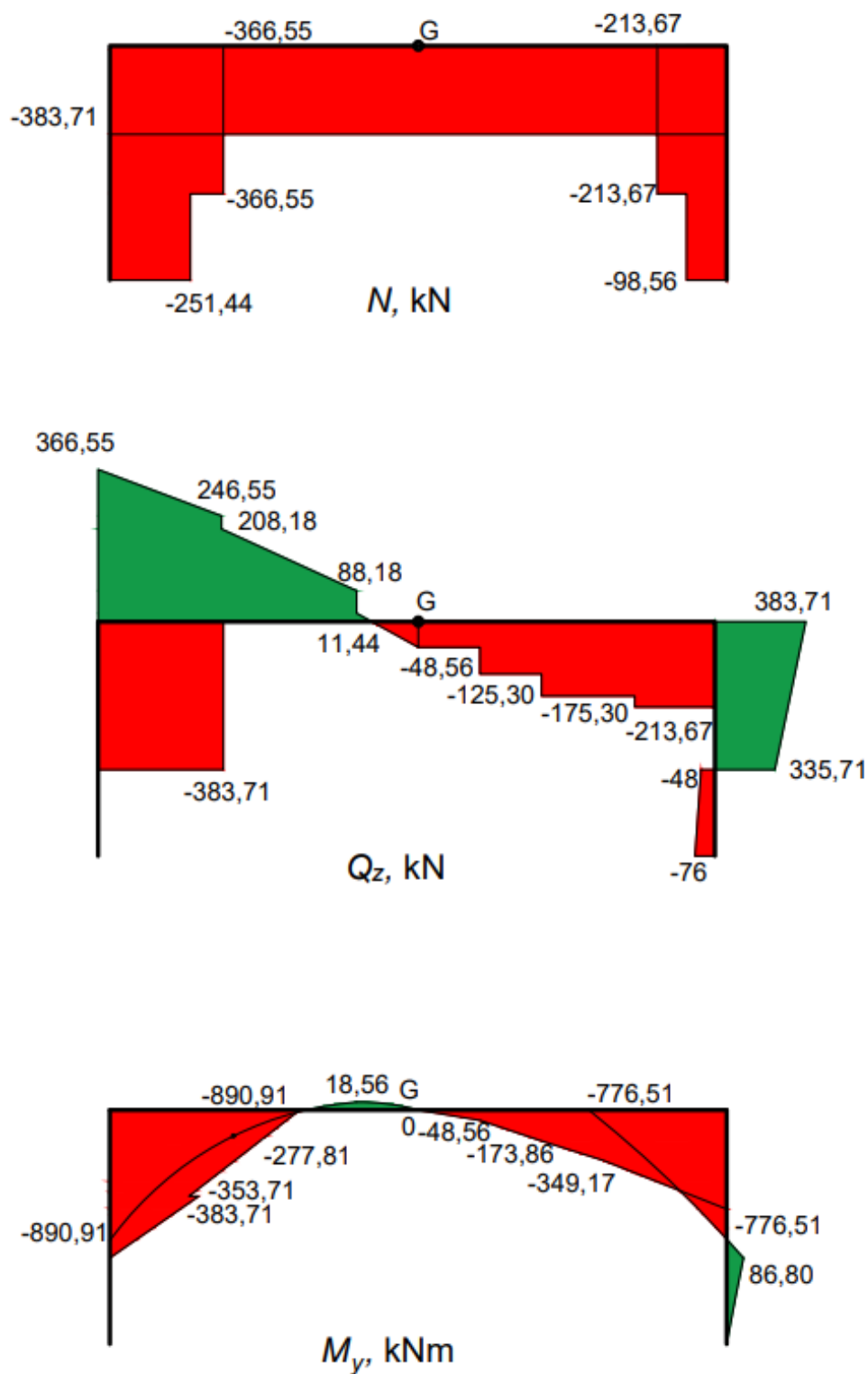
$$M_y = F_A \cdot 10 + N_5 \cdot \sin \beta \cdot 10 + N_5 \cdot \cos \beta \cdot (x_3 - 2,4) - N_1 \cdot 8 - N_2 \cdot 6 - N_3 \cdot 4 - \\ - N_4 \cdot 2 - F \cdot 3 - q_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot l + M - q_2 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} - N_9 \cdot \cos \beta \cdot (x_3 - 2,4)$$

$$M_y = 251,44 \cdot 10 + 400,61 \cdot \sin 16,7^\circ \cdot 10 + 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (x_3 - 2,4) - \\ - 38,38 \cdot 8 - 76,74 \cdot 6 - 76,74 \cdot 4 - 38,38 \cdot 2 - 50 \cdot 3 - 60 \cdot \frac{10}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot 10 + 30 - \\ - 20 \cdot x_3 \cdot \frac{x_3}{2} - 400,61 \cdot \cos 16,7^\circ \cdot (x_3 - 2,4)$$

$$M_y(2,4) = 86,80 \text{ kNm}$$

$$M_y(3,8) = 0 \text{ kNm}$$

2.6.1. *Dijagrami unutarnjih sila okvira u konstrukciji s ojačanjem sa zamijenjenim osloncima*



Slika 2.53 – Dijagrami N , Q_z i M_y

3. Dimenzioniranje

3.1. Dimenzioniranje okvira bez ojačanja

Pri odabiru profila uzima se u obzir najveći moment koji se javlja na dužini profila i otpornost materijala na savijanje.

$M_{d,max}=268,05 \text{ kN/m}$, prema slici 2.10

Za dimenzioniranje okvira koristi se faktor sigurnosti $\nu=1,1$.

Kao materijal od kojeg se izrađuje profil odabran je konstrukcijski čelik S235.

Izraz za potrební moment otpora profila glasi:

$$\sigma_{R,d} = \frac{R_e}{\nu} = \frac{24}{1,1} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$W_y = \frac{M_{d,max}}{\sigma_{R,d}} = \frac{268,05 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{21,8 \text{ kN/cm}^2} = 1229,59 \text{ cm}^3 .$$

Korištenjem tablica iz priloga 1 i 2 odabiru se profili IPE, HEM, HEB koji zadovoljavaju zahtjeve postavljenog uvjeta aksijalnog momenta otpora. Odabran je profil IPE 450 iz tablice čije su dimenzije prikazane na slici 3.1.

IPE 450

$$G=77,6 \text{ kg/m} \quad A_{vz} = 50,85 \text{ cm}^2 \quad I_y = 33740 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 > I_{y,pot} \quad W_y = 1500 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 > W_{y,pot}$$

Provjera:

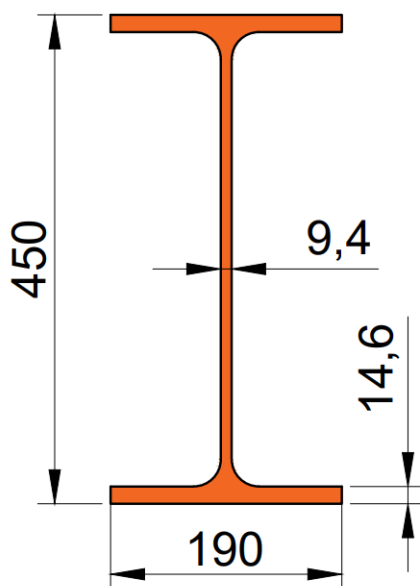
$$\sigma_d = \frac{M_{d,max}}{W_y}$$

$$\sigma_d = \frac{268,05 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{1500} = 17,87 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{R,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{R,d} = \frac{\sigma_{R,d}}{\sqrt{3}} = 12,59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{d,\max} = \frac{Q_{z,\max}}{A_{vz}}$$

$$\tau_{d,\max} = \frac{251,44 \text{ kN}}{50,85 \text{ cm}^2} = 4,94 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{R,d} = 12,59 \text{ kN/cm}^2$$



Slika 3.1 – Prikaz IPE 450 profila u presjeku s dimenzijama

3.2. Dimenzioniranje okvira sa ojačanjem

Pri odabiru profila uzima se u obzir najveći moment koji se javlja na dužini profila i otpornost materijala na savijanje.

$M_{d,\max}=684,63 \text{ kN/m}$, prema slici 2.28

Za dimenzioniranje okvira koristi se faktor sigurnosti $\nu=1,1$.

Kao materijal od kojeg se izrađuje profil odabran je konstrukcijski čelik S235.

$$\sigma_{R,d} = \frac{R_e}{\nu} = \frac{24}{1,1} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$W_y = \frac{M_{d,\max}}{\sigma_{R,d}} = \frac{684,63 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{21,8 \text{ kN/cm}^2} = 3140,5 \text{ cm}^3$$

Korištenjem tablica iz priloga 3 i 4 odabiru se profili IPE, HEM, HEB koji zadovoljavaju zahtjeve postavljenog uvjeta aksijalnog momenta otpora. Odabran je profil IPE 0 600 iz tablice čije su dimenzije prikazane na slici 3.2.

IPE 0 600

$$G=154 \text{ kg/m} \quad A_{vz} = 104,4 \text{ cm}^2 \quad I_y = 118300 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 > I_{y,pot} \quad W_y = 3879 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 > W_{y,pot}$$

Provjera:

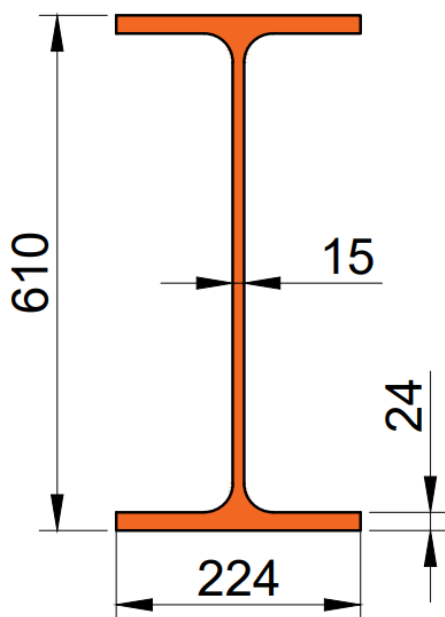
$$\sigma_d = \frac{M_{d,max}}{W_y}$$

$$\sigma_d = \frac{684,63 \cdot 10^2 \text{ kNcm}}{3879} = 17,65 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{R,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{R,d} = \frac{\sigma_{R,d}}{\sqrt{3}} = 12,59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{d,max} = \frac{Q_{z,max}}{A_{vz}}$$

$$\tau_{d,max} = \frac{304,67 \text{ kN}}{104,4 \text{ cm}^2} = 2,92 \text{ kN/cm}^2 < \tau_{R,d} = 12,59 \text{ kN/cm}^2$$



Slika 3.2 – Prikaz IPE 0 600 profila u presjeku s dimenzijama

3.3. Odabir štapova ojačanja okvira

Vlačno opterećeni štapova 1, 2, 3, 4

$$N_{max} = 35,49 \text{ kN}$$

Uvjet za vlačno naprezanje

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A} \leq f_{y,d}$$

$$f_{y,d} = \frac{R_e}{\gamma} = \frac{24}{1,1} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_d = N_2$$

$$A \geq \frac{N_2}{f_{y,d}} = \frac{35,49}{21,8} = 1,63 \text{ cm}^2$$

Usvojeni profil

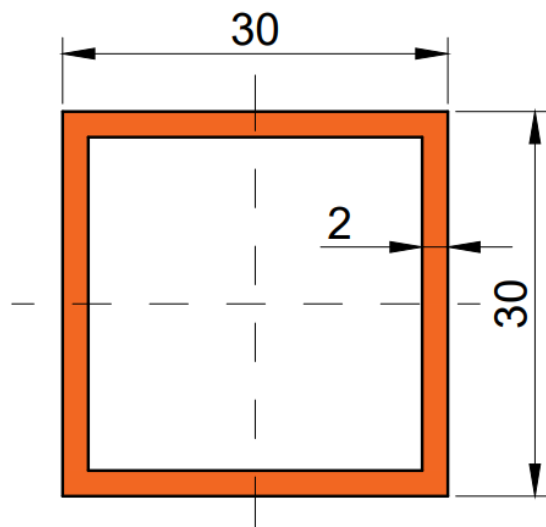
30 x 30 x 2	$M = 1,68 \text{ kg/m}$
$B = 30 \text{ mm}$	$I_y = I_z = 2,72 \text{ cm}^4$
$T = 2 \text{ mm}$	$W_y = W_z = 1,81 \text{ cm}^3$
$A = 2,14 \text{ cm}^2$	$i = 1,13$

Naprezanje u štapu N_2

$$\sigma_{s,d} = \frac{N_2}{A} = \frac{35,49 \text{ kN}}{2,14 \text{ cm}^2} = 16,58 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{s,d} = 16,58 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{R,d} = f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

Štapovi 1 , 2, 3, 4 zadovoljavaju uvjet čvrstoće.



Slika 3.3 – Prikaz odabranog kvadratnog profila 30x30x2 u presjeku

Vlačno opterećeni štapova 5, 6, 7, 8, 9

$$N_{max} = 185,24 \text{ kN}$$

Uvjet za vlačno naprezanje

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A} \leq f_{y,d}$$

$$f_{y,d} = \frac{R_e}{\gamma} = \frac{24}{1,1} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_d = N_5$$

$$A \geq \frac{N_5}{f_{y,d}} = \frac{185,24}{21,8} = 8,5 \text{ cm}^2$$

Usvojeni profil

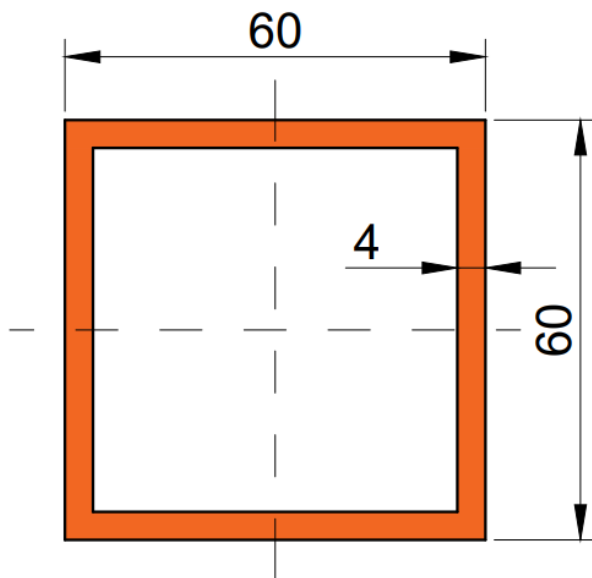
60 x 60 x 4	$M = 6,90 \text{ kg/m}$
$B = 60 \text{ mm}$	$I_y = I_z = 45,4 \text{ cm}^4$
$T = 4 \text{ mm}$	$W_y = W_z = 15,1 \text{ cm}^3$
$A = 8,79 \text{ cm}^2$	$i = 2,27$

Naprezanje u štapu N₅

$$\sigma_{s,d} = \frac{N_5}{A} = \frac{185,24 \text{ kN}}{8,79 \text{ cm}^2} = 21,07 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{s,d} = 21,07 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{R,d} = f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

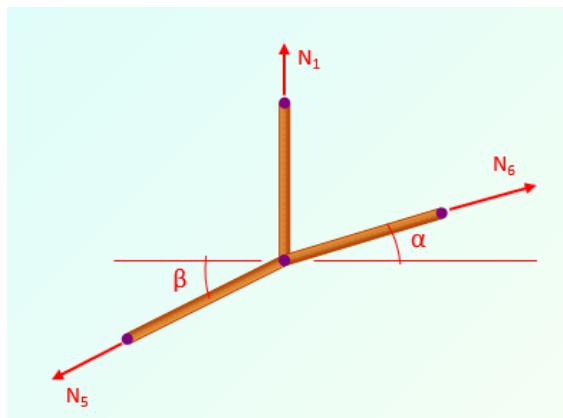
Štapovi 5, 6, 7, 8, 9 zadovoljavaju uvjet čvrstoće.



Slika 3.4 – Prikaz odabranog kvadratnog profila 60x60x4 u presjeku

4. Dimenzioniranje i oblikovanje čvora

Za dimenzioniranje čvora odabire se čvor broj 1 prikazan na slici 4.1



Slika 4.1 – Čvor 1 s prikazom sila

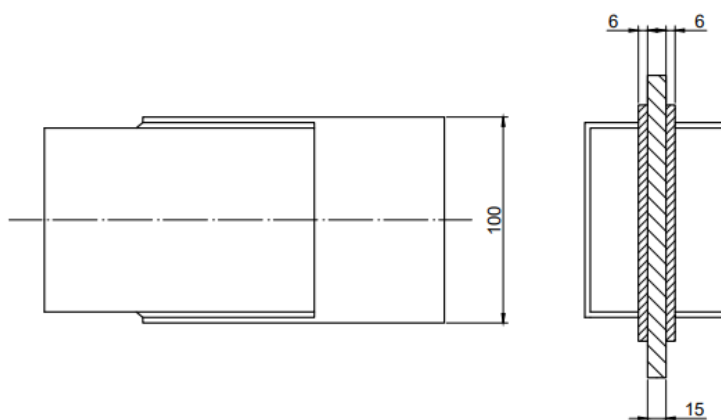
Vrijednosti sila su štapovima su:

$$N_1 = 17,74 \text{ kN}, \quad N_5 = 185,24 \text{ kN}, \quad N_6 = 180,94 \text{ kN}$$

Prvo se izvršava provjera nosivosti za trake materijala S235 za štapove 5 i 6 (slika 4.2) na koje djeluju sile N_5 i N_6 je se sastoje od istog kvadratnog profila, a provjera nosivosti trake za štap 1 (slika 4.3) će se izvršiti posebno.

Nosivost čelične trake za štapove 5 i 6

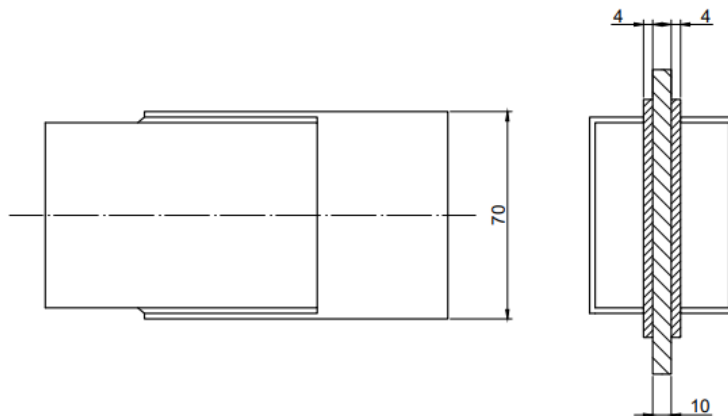
$$A = 2 \cdot 10 \cdot 0,6 = 12 \text{ cm}^2$$



Slika 4.2 – Kvadratni profil sa trakama za štapove 5 i 6

Nosivost čelične trake za štap 1

$$A = 2 \cdot 7 \cdot 0,4 = 5,6 \text{ cm}^2$$



Slika 4.3 – Kvadratni profil sa trakama za štap 1

Naprezanje u traci za štapove 5 i 6

Kod naprezanja za štapove 5 i 6 provjerava se najveća sila koja djeluje na štapove, jer kad se zadovolji uvjet nosivosti za najveću silu, zadovoljit će i manju.

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A} = \frac{185,24}{12} = 15,44 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

Naprezanje u traci za štap 1

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A} = \frac{17,74}{5,6} = 3,17 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{y,d} = 21,8 \text{ kN/cm}^2$$

Izbor promjera vijka za štapove 5 i 6

Izraz za preliminarni promjer vijka je:

$$d_{\max} = \sqrt{50 \cdot t_{\min}} - 2, \quad t_{\min} = 6$$

$t_{\min}$ – manja vrijednosti između debljine čvornog lima i debljine trake

$$d_{\max} = \sqrt{50 \cdot 6} - 2 = 15,32 \text{ mm}$$

Usvaja se prvi manji vijak, to je vijak M14 i klase čvrstoće 5.6

Izbor promjera vijka za štap 1

$$d_{\max} = \sqrt{50 \cdot t_{\min}} - 2, \quad t_{\min} = 4$$

$$d_{\max} = \sqrt{50 \cdot 4} - 2 = 12,14 \text{ mm}$$

Usvaja se vijak M10 s klasom čvrstoće 5.6

Nosivost jednog vijka za štapove 5 i 6

Izraz za nosivost jednog vijka glasi:

$$V_{R,v} = n \cdot i \cdot \alpha_a \cdot A_v \cdot \frac{f_{v,uk}}{\gamma_M}, \text{ pri čemu je:}$$

n - broj vijaka

i - broj smičnih ravnina

α_a - koeficijent klase čvrstoće vijka (0,6)

A_v - površina poprečnog presjeka vijka

$f_{v,uk}$ - čvrstoća vijka

γ_M - koeficijent sigurnosti za stalno opterećenje (1,1)

$$V_{R,v} = 1 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,54 \cdot \frac{50}{1,1} = 84 \text{ kN}$$

Nosivost jednog vijka za štap 1

$$V_{R,v} = 1 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 0,79 \cdot \frac{50}{1,1} = 43,09 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka za štap 5

$$n \geq \frac{N_d}{V_{R,d}} = \frac{185,24}{84} = 2,205 - \text{usvajaju se 3 vijka}$$

Potreban broj vijaka za štap 6

$$n \geq \frac{N_d}{V_{R,d}} = \frac{180,94}{84} = 2,154 - \text{usvajaju se 3 vijka}$$

Udaljenost vijka od ruba trake: $e_1 = 2 \cdot d_r = 2 \cdot 15 = 30 \text{ mm}$ - usvaja se 35

Udaljenost između vijaka: $e = 2,5 \cdot d_r = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ mm}$ - usvaja se 45

Potreban broj vijaka za štap 1

$$n \geq \frac{N_d}{V_{R,d}} = \frac{17,74}{43,09} = 0,36 - \text{usvaja se 1 vijak}$$

Udaljenost vijka od ruba trake: $e_1 = 2 \cdot d_r = 2 \cdot 11 = 22 \text{ mm}$ - usvaja se 30

Udaljenost između vijaka: $e = 2,5 \cdot d_r = 2,5 \cdot 11 = 27,5 \text{ mm}$ - usvaja se 40

Nosivost za n=3 vijka

$$V_{R,v} = n \cdot i \cdot \alpha_a \cdot A_v \cdot \frac{f_{v,uk}}{\gamma_M}$$

$$V_{R,v} = 3 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,54 \cdot \frac{50}{1,1}$$

$$V_{R,v} = 252 \text{ kN} > 185,24 \text{ kN} - \text{uvjet zadovoljen}$$

Nosivost omotača rupe za n=3 vijka

Izraz za nosivost omotača rupe glasi:

$$V_{R,r} = t \cdot d \cdot (\alpha_{r1} + \alpha_r + \alpha_r) \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}, \text{ pri čemu je:}$$

t – manja vrijednost između debljine čvornog lima i trake

d – promjer rupe

α_{r1} - geometrijska karakteristika ovisna o raspodjeli opterećenja

$f_{y,k}$ - karakteristična granica tečenja materijala

γ_M - koeficijent sigurnosti za stalno opterećenje

$$\alpha_r = f(e, e_1)$$

$$\alpha_r = 1,08 \cdot \frac{e}{d_r} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{45}{15} - 0,77 = 2,47$$

$$\alpha_{r1} = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_r} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{35}{15} - 0,3 = 2,27$$

$$t = \min(2 \cdot t_1, t_2) = \min(12, 15) , t_{\min} = 12 \text{ mm}$$

$$V_{R,r} = 1,2 \cdot 1,4 \cdot (2,27 + 2,47 + 2,47) \cdot \frac{24}{1,1}$$

$$V_{R,r} = 237,88 > 185,24 - \text{uvjet zadovoljen}$$

Nosivost omotača rupe za 1 vijak

$$\alpha_r = f(e, e_1)$$

$$\alpha_r = 1,08 \cdot \frac{e}{d_r} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{40}{11} - 0,77 = 3,15$$

$$\alpha_{r1} = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_r} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{30}{11} - 0,3 = 2,7$$

$$t = \min(2 \cdot t_1, t_2) = \min(8, 10) , t_{\min} = 8 \text{ mm}$$

$$V_{R,r} = 0,8 \cdot 1 \cdot 2,7 \cdot \frac{24}{1,1}$$

$$V_{R,r} = 47,13 \text{ kN} > 17,74 \text{ kN} - \text{uvjet zadovoljen}$$

Provjera nosivosti trake za štapove 5 i 6

$$A_{\text{brutto}} = 2 \cdot 10 \cdot 0,6 = 12 \text{ cm}^3$$

$$A_{\text{netto}} = A_{\text{brutto}} - 2 \cdot d_r \cdot t_1$$

$$A_{\text{netto}} = 12 - 2 \cdot 1,5 \cdot 0,6 = 10,2 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{brutto}}{A_{netto}} = \frac{12}{10,2} = 1,17 < 1,2 - \text{presjek nije oslabljen}$$

Provjera nosivosti trake za štap 1

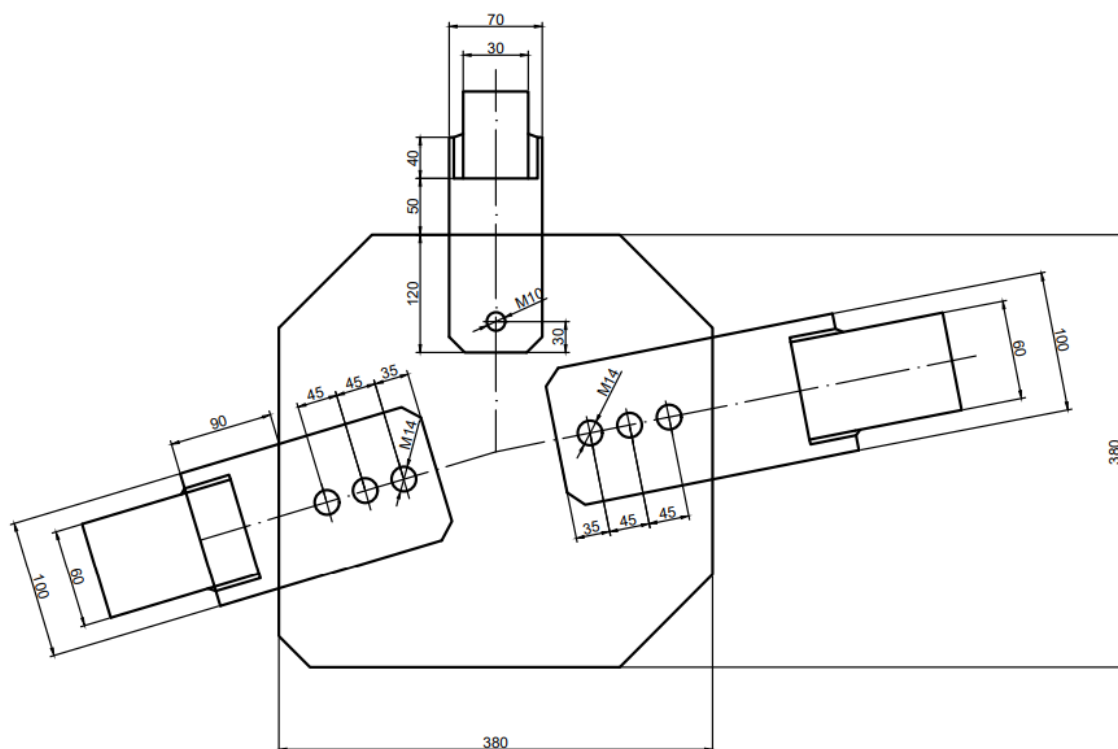
$$A_{brutto} = 2 \cdot 7 \cdot 0,4 = 5,6 \text{ cm}^3$$

$$A_{netto} = A_{brutto} - 2 \cdot d_r \cdot t_1$$

$$A_{netto} = 5,6 - 2 \cdot 1,1 \cdot 0,4 = 4,56 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{brutto}}{A_{netto}} = \frac{5,6}{4,72} = 1,18 < 1,2 - \text{presjek nije oslabljen}$$

Prikaz cijelog čvora može se vidjeti na slici 4.4.



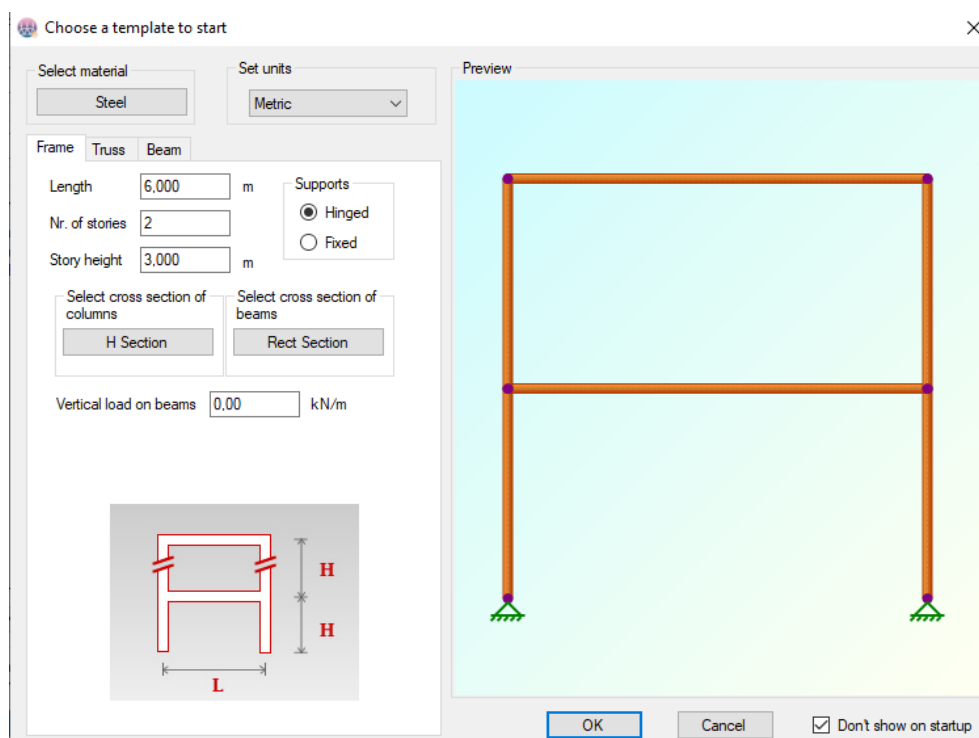
Slika 4.4 – Prikaz cijelog čvora

5. Opis paketa 2D Frame Analysis

Program 2D Frame Analysis je softverska aplikacija namijenjena za statičnu analizu bilo koje vrste okvira ili rešetke. Sadrži sveobuhvatno, višeparametarsko, inspekcijsko korisničko sučelje koje omogućava brzo i jednostavno stvaranje modela.

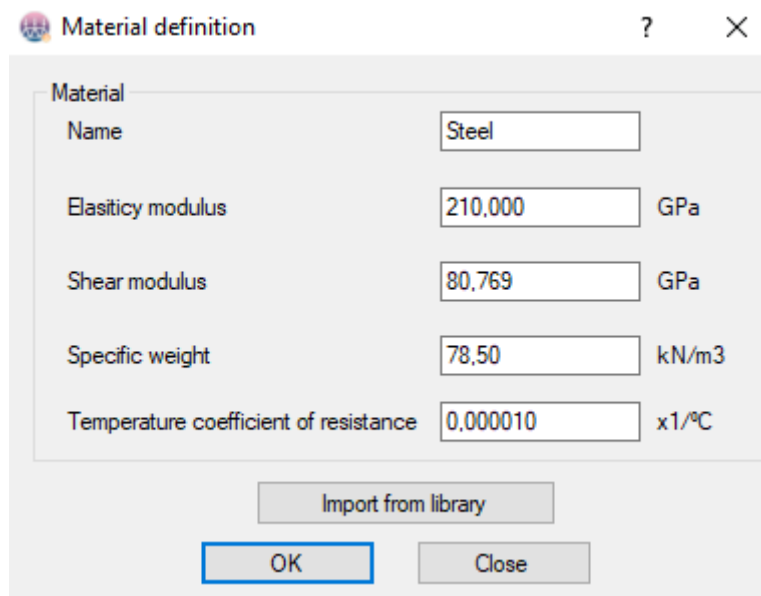
U svrhu ovog završnog rada paket 2D Frame Analysis koristit će se kao provjera za dobivene rezultate proračunom, te će se u svrhu toga paket ukratko opisati.

Otvaranjem programa automatski se otvara prozor prikazan na slici 5.1 u kojem je potrebno odabrati predložak koji će se koristiti (rešetka, nosač, okvirni nosač).

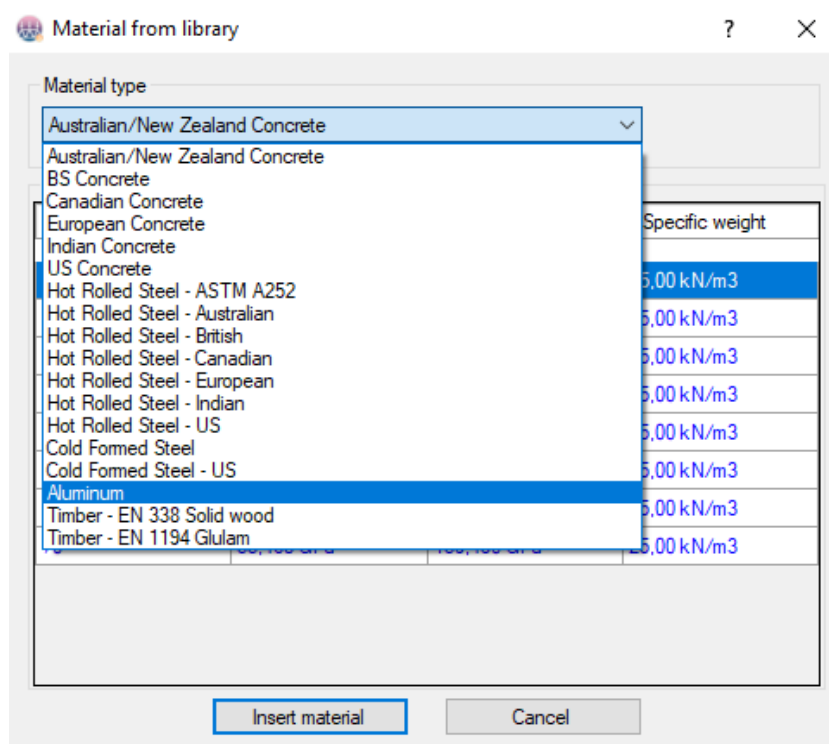


Slika 5.1 – Prozor za odabir okvirnog nosača

Nakon što se odabere okvirni nosač potrebno je odabrati materijal. Koristeći se DEMO verzijom odmah je odabran materijal čelik (steel) sa svojstvima prikazanim na slici 5.2, međutim moguće je odabrati neki drugi materijal iz programske biblioteke (Import from library) prikazanoj na slici 5.3.



Slika 5.2 – Svojstva materijala



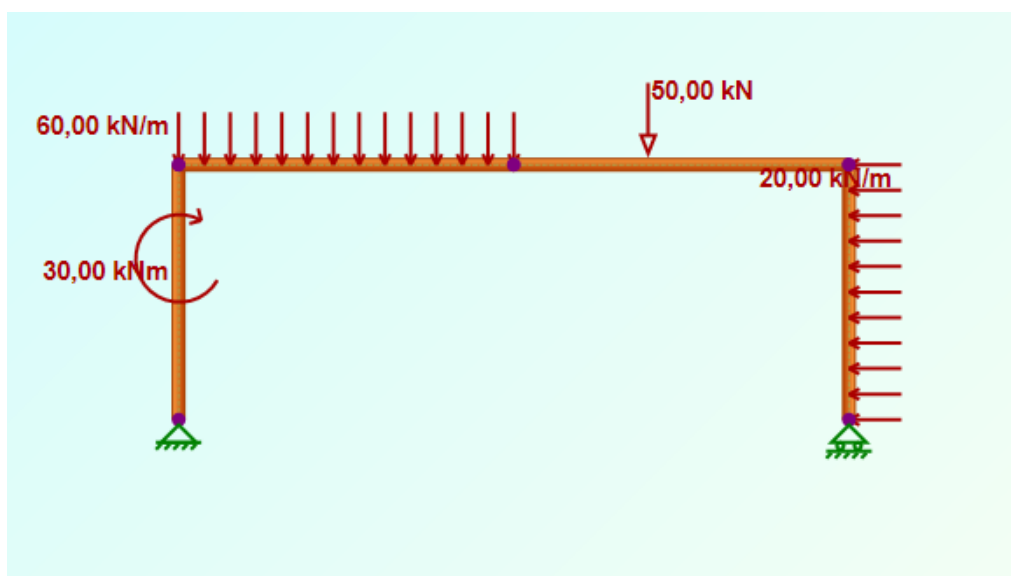
Slika 5.3 – Ostali materijali ponuđeni u biblioteci

Nakon odabira glavnih parametara za rad može se početi s crtanjem okvirnog nosača i postavljenjem zadanih sila, momenata te oslonaca. Svi potrebni parametri mogu se pronaći na alatnoj traci prikazanoj na slici 5.4.

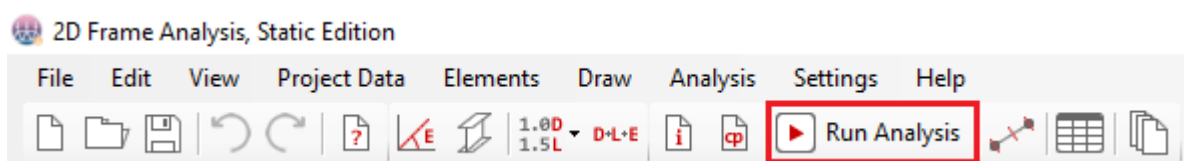


Slika 5.4 – Alatna traka

U svrhu provjere proračuna kreće se s crtanjem okvirnog nosača bez ojačanja. Nakon crtanja okvirnog nosača bez ojačanja (slika 5.5) te dodavanjem opterećenja i oslonaca pritiskom na “Run Analysis” koji se nalazi na glavnoj alatnoj traci prikazanoj na slici 5.6 dobije se kompletan proračun i nacrtani dijagrami unutarnjih sila koji će biti prikazani u prilogu 7-11. Dobiveni rezultati se uspoređuju s rezultatima dobivenim proračunom.

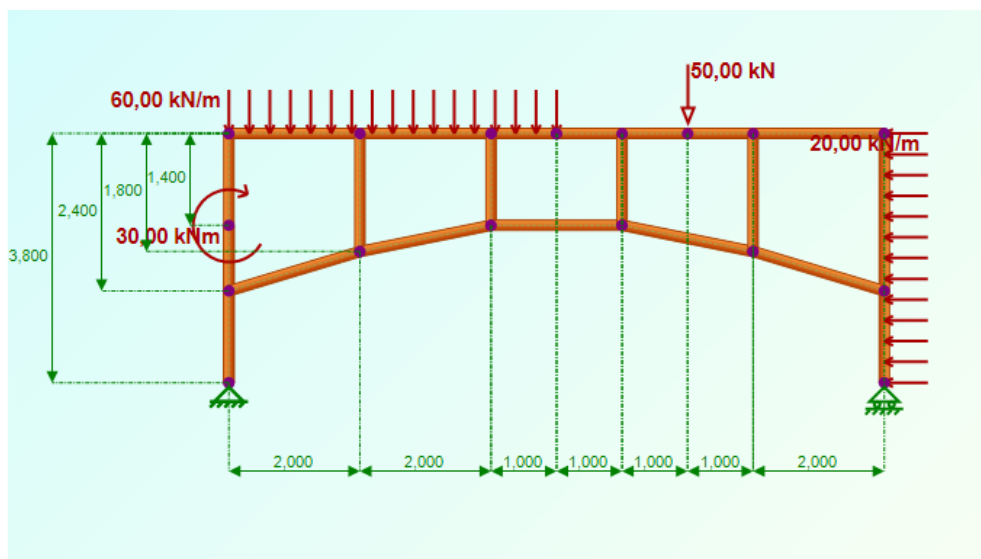


Slika 5.5 – Prikaz okvirnog nosača bez ojačanja



Slika 5.6 – Glavna alatna traka

Nakon što se usporede proračuni te usporedbom dođe do zaključka da je proračun dobro izvršen može se pristupiti proračunu okvirnog nosača sa ojačanjem uz pomoć programskog paketa 2D Frame Analysis. Na slici 5.7 može se vidjeti nacrtani okvirni nosač sa ojačanjem. Dodanim štapovima potrebno je dodati stupnjeve slobodne na mjesta na kojima je to potrebno. Desnim klikom na pojedini štap otvara se prozor prikazan na slici 5.8 u kojemu se postane stupnjevi slobode kako bi se mogli dobiti točni rezultati proračuna.



Slika 5.7 – Prikaz okvirnog nosača sa ojačanjem

Frame element

Label Length m

Geometry Properties Releases Loads

Releases

Starting node

X Translation	☐ free	Partial spring stiffness	0,00 kN/m
Y Translation	☐ free	Partial spring stiffness	0,00 kN/m
Z Rotation	☒ free	Partial spring stiffness	0,00 kNm/rad

Ending node

X Translation	☐ free	Partial spring stiffness	0,00 kN/m
Y Translation	☐ free	Partial spring stiffness	0,00 kN/m
Z Rotation	☒ free	Partial spring stiffness	0,00 kNm/rad

Slika 5.8 – Prikaz odabira stupnja slobode

Dodavanjem stupnja slobode štapovima završen je crtež okvirnog nosača s ojačanjem te je sada moguće pritiskom na “Run Analysis“ pokrenuti proračun te dobiti gotove rezultate, sile u štapovima te dijagrame unutarnjih sila. Dijagrami će biti prikazani u prilogu 17-20.

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da rezultati iz 2D Frame Analysis odgovaraju rezultatima dobivenim proračunom

6. Zaključak

U radu je napravljen proračun konstrukcije sastavljene od okvirnog nosača i štapova na temelju kojeg je konstrukcija dimenzionirana. U uvodnim primjerima je opisan okvirni nosač, te je riješen i ukratko opisan primjer rešetkastog nosača. Urađen je proračun okvirnog nosača sa i bez ojačanja te su nacrtani dijagrami unutarnjih sila vidljivi na slikama 2.10 i 2.28. Zatim je izvršena zamjena oslonaca te ponovljen isti proračun za okvirni nosač sa i bez ojačanja te nacrtani dijagrami za oba slučaja. Zamjena oslonaca je izazvala promjenu momenata savijanja u slučaju okvirnog nosača sa i bez ojačanja što se vidi iz dijagrama na slikama 2.37 i 2.53. Iz usporedbe rezultata momenata savijanja vidljivo je da je povoljnije opterećenje za zadani slučaj kada je oslonac A nepomičan, a oslonac B pomičan jer su rezultati momenata za taj slučaj značajno manji na nekim mjestima do dva puta manji. Proračun je kontroliran korištenjem programskog paketa 2D Frame Analysis i kontrola je pokazala poklapanje rezultata. U prilogima 7-24 prikazani su dijagrami unutarnjih sila dobivenih programom 2D Frame Analysis. Treba napomenuti da je os z u dijagramima programskog paketa suprotna od smjera korištenog u proračunu. Dimenzionirani su okvirni nosač i štapovi ojačanja. Izbor geometrije profila izvršen je prema standardnim tablicama za izbor profila koji su prikazani u prilogima 1-6. Kao materijal izrade profila odabran je konstrukcijski čelik S235.

Literatura

Primjer:

1. Plazibat B., Matoković A., Vetma V.: Tehnička Mehanika I - skripta, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split 2018.
2. Plazibat B., Matoković A., Vetma V.: *Nauka o čvrstoći*, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split 2019.
3. Rak M., Gelo D.: Proračun konstrukcije, Tehničko veleučilište Zagreb, Graditeljski odjel, Zagreb 2016.
4. Domazet Ž., Opara L.K.: Metalne konstrukcije - skripta, Sveučilište u Splitu, FESB, Katedra za konstrukcije, Split 2006
5. <https://aznavcompany.com/menu/construction>

Prilozi

1, 2, 3 i 4 Tablice IPE profila

5, 6 Tablice za odabir kvadratnih profila

7, 8, 9, 10 i 11 Dijagrami unutarnjih sila za okvirni nosač bez ojačanja izrađen programskim paketom 2D Frame Analysis

12, 13, 14, 15 i 16 Dijagrami unutarnjih sila za okvirni nosač bez ojačanja sa zamijenjenim osloncima izrađen programskim paketom 2D Frame Analysis

17, 18, 19, 20 Dijagrami unutarnjih sila za okvirni nosač sa ojačanjem izrađen programskim paketom 2D Frame Analysis

21, 22, 23, 24 Dijagrami unutarnjih sila za okvirni nosač sa ojačanjem sa zamijenjenim osloncima izrađen programskim paketom 2D Frame Analysis

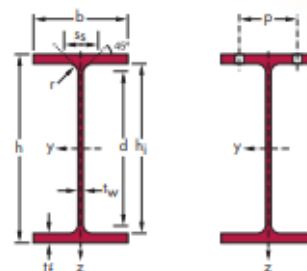
1

Evropski I profil (nastavak)

Dimenzije: IPE 80 - 600 u skladu sa Euronormom 19-57; IPE A 80 - 600; IPE O 180 - 600; IPE 750

Tolerancije: EN 10034: 1993

Presek utvrđen prema EN 10163-3:1991, klasa C, podklasa 1



Oznaka	Dimenzije							Dimenzije detalja					Presek	
Težina														
G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm	A mm ²	h _i mm	d mm	∅	P _{min} mm	P _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t	
						x 10 ³								
IPE A 240	26,2	237	120	5,2	8,3	15	33,3	220,4	190,4	M 12	64	68	0,918	35,10
IPE 240	30,7	240	120	6,2	9,8	15	39,1	220,4	190,4	M 12	66	68	0,922	30,02
IPE O 240	34,3	242	122	7	10,8	15	43,7	220,4	190,4	M 12	66	70	0,932	27,17
IPE A 270	30,7	267	135	5,5	8,7	15	39,2	249,6	219,6	M 16	70	72	1,037	33,75
IPE 270	36,1	270	135	6,6	10,2	15	45,9	249,6	219,6	M 16	72	72	1,041	28,86
IPE O 270	42,3	274	136	7,5	12,2	15	53,8	249,6	219,6	M 16	72	72	1,051	24,88
IPE A 300	36,5	297	150	6,1	9,2	15	46,5	278,6	248,6	M 16	72	86	1,156	31,65
IPE 300	42,2	300	150	7,1	10,7	15	53,8	278,6	248,6	M 16	72	86	1,160	27,46
IPE O 300	49,3	304	152	8	12,7	15	62,8	278,6	248,6	M 16	74	88	1,174	23,81
IPE A 330	43,0	327	160	6,5	10	18	54,7	307	271	M 16	78	96	1,250	29,09
IPE 330	49,1	330	160	7,5	11,5	18	62,6	307	271	M 16	78	96	1,254	25,52
IPE O 330	57,0	334	162	8,5	13,5	18	72,6	307	271	M 16	80	98	1,268	22,24
IPE A 360	50,2	357,6	170	6,6	11,5	18	64,0	334,6	298,6	M 22	86	88	1,351	26,91
IPE 360	57,1	360	170	8	12,7	18	72,7	334,6	298,6	M 22	88	88	1,353	23,70
IPE O 360	66,0	364	172	9,2	14,7	18	84,1	334,6	298,6	M 22	90	90	1,367	20,69
IPE A 400	57,4	397	180	7	12	21	73,1	373	331	M 22	94	98	1,464	25,51
IPE 400	66,3	400	180	8,6	13,5	21	84,5	373	331	M 22	96	98	1,467	22,12
IPE O 400	75,7	404	182	9,7	15,5	21	96,4	373	331	M 22	96	100	1,481	19,57
IPE A 450	67,2	447	190	7,6	13,1	21	85,6	420,8	378,8	M 24	100	102	1,603	23,87
IPE 450	77,6	450	190	9,4	14,6	21	98,8	420,8	378,8	M 24	100	102	1,605	20,69
IPE O 450	92,4	456	192	11	17,6	21	118	420,8	378,8	M 24	102	104	1,622	17,56

IPE

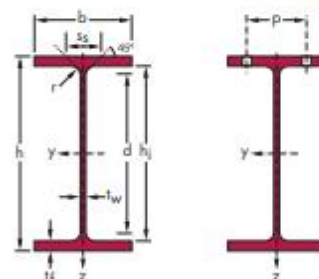
Oznaka	Statičke karakteristike												Klasifikacija				EN 10025:1993	EN 10113-3:1993	EN 10225:2001
	osa y-y						osa z-z						ENV 1993-1-1						
													čisto savijanje y-y		čist pritisak				
Težina	G	I _y	W _{el,y}	W _{pl,y} †	i _y	A _{vz}	I _z	W _{el,z}	W _{pl,z} †	i _z	s _s	I _t	I _w	S 235	S 355	S 460	S 235	S 355	S 460
	kg/m	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm ²	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm	mm ⁴	mm ⁶						
		x 10 ⁴	x 10 ³	x 10 ³	x 10	x 10 ²	x 10 ⁴	x 10 ³	x 10 ³	x 10		x 10 ⁴	x 10 ⁶						
IPE A 240	26,2	3290	277,7	311,6	9,94	16,31	240,1	40,02	62,40	2,68	39,37	8,35	31,26	1 1 -	2 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE 240	30,7	3892	324,3	366,6	9,97	19,14	283,6	47,27	73,92	2,69	43,37	12,88	37,39	1 1 -	1 2 -	✓	✓	✓	✓
IPE D 240	34,3	4369	361,1	410,3	10,00	21,36	328,5	53,86	84,40	2,74	46,17	17,18	43,68	1 1 -	1 2 -	✓	✓	✓	✓
IPE A 270	30,7	4917	368,3	412,5	11,21	18,75	358,0	53,03	82,34	3,02	40,47	10,30	59,51	1 1 -	3 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE 270	36,1	5790	428,9	484,0	11,23	22,14	419,9	62,20	96,95	3,02	44,57	15,94	70,58	1 1 -	2 3 -	✓	✓	✓	✓
IPE D 270	42,3	6947	507,1	574,6	11,36	25,23	513,5	75,51	117,7	3,09	49,47	24,90	87,64	1 1 -	1 2 -	✓	✓	✓	✓
IPE A 300	36,5	7173	483,1	541,8	12,42	22,25	519,0	69,20	107,3	3,34	42,07	13,43	107,2	1 2 -	3 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE 300	42,2	8356	557,1	628,4	12,46	25,68	603,8	80,50	125,2	3,35	46,07	20,12	125,9	1 1 -	2 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE D 300	49,3	9994	657,5	743,8	12,61	29,05	745,7	98,12	152,6	3,45	50,97	31,06	157,7	1 1 -	1 3 -	✓	✓	✓	✓
IPE A 330	43,0	10230	625,7	701,9	13,67	26,99	685,2	85,64	133,3	3,54	47,59	19,57	171,5	1 1 -	3 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE 330	49,1	11770	713,1	804,3	13,71	30,81	788,1	98,52	153,7	3,55	51,59	28,15	199,1	1 1 -	2 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE D 330	57,0	13910	833,0	942,8	13,84	34,88	960,4	118,6	185,0	3,64	56,59	42,15	245,7	1 1 -	1 3 -	✓	✓	✓	✓
IPE A 360	50,2	14520	811,8	906,8	15,06	29,76	944,3	111,1	171,9	3,84	50,69	26,51	282,0	1 1 -	4 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE 360	57,1	16270	903,6	1019	14,95	35,14	1043	122,8	191,1	3,79	54,49	37,32	313,6	1 1 -	2 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE D 360	66,0	19050	1047	1186	15,05	40,21	1251	145,5	226,9	3,86	59,69	55,76	380,3	1 1 -	1 3 -	✓	✓	✓	✓
IPE A 400	57,4	20290	1022	1144	16,66	35,78	1171	130,1	202,1	4,00	55,60	34,79	432,2	1 1 -	4 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE 400	66,3	23130	1156	1307	16,55	42,69	1318	146,4	229,0	3,95	60,20	51,08	490,0	1 1 -	3 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE D 400	75,7	26750	1324	1502	16,66	47,98	1564	171,9	269,1	4,03	65,30	73,10	587,6	1 1 -	2 3 -	✓	✓	✓	✓
IPE A 450	67,2	29760	1331	1494	18,65	42,26	1502	158,1	245,7	4,19	58,40	45,67	704,9	1 1 -	4 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE 450	77,6	33740	1500	1702	18,48	50,85	1676	176,4	276,4	4,12	63,20	66,87	791,0	1 1 -	3 4 -	✓	✓	✓	✓
IPE D 450	92,4	40920	1795	2046	18,65	59,40	2085	217,2	341,0	4,21	70,80	109	997,6	1 1 -	2 4 -	✓	✓	✓	✓

Evropski I profil (nastavak)

Dimenzije: IPE 80 - 600 u skladu sa Euronormom 19-57; IPE A 80 - 600; IPE O 180 - 600; IPE 750

Tolerancije: EN 10034: 1993

Presek utvrđen prema EN 10163-3:1991, klasa C, podklasa 1



Oznaka	Dimenzije						Dimenzije detalja						Presek	
	Težina G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm	A mm ²	h _l mm	d mm	Ø	P _{min} mm	P _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
							x 10 ³							
IPE A 500	79,4	497	200	8,4	14,5	21	101	468	426	III 24	100	112	1,741	21,94
IPE 500	90,7	500	200	10,2	16	21	116	468	426	III 24	102	112	1,744	19,23
IPE O 500	107	506	202	12	19	21	137	468	426	III 24	104	114	1,760	16,40
IPE A 550	92,1	547	210	9	15,7	24	117	515,6	467,6	III 24	106	122	1,875	20,36
IPE 550	106	550	210	11,1	17,2	24	134	515,6	467,6	III 24	110	122	1,877	17,78
IPE O 550	123	556	212	12,7	20,2	24	156	515,6	467,6	III 24	110	122	1,893	15,45
IPE A 600	108	597	220	9,8	17,5	24	137	562	514	III 27	114	118	2,013	18,72
IPE 600	122	600	220	12	19	24	156	562	514	III 27	116	118	2,015	16,45
IPE O 600	154	610	224	15	24	24	197	562	514	III 27	118	122	2,045	13,24
IPE 750 x 137	137	753	263	11,5	17	17	175	719	685	III 27	102	162	2,506	18,28
IPE 750 x 147	147	753	265	13,2	17	17	188	719	685	III 27	104	164	2,510	17,06
IPE 750 x 173	173	762	267	14,4	21,6	17	221	718,8	684,8	III 27	104	166	2,534	14,58
IPE 750 x 196	196	770	268	15,6	25,4	17	251	719,2	685,2	III 27	106	166	2,552	12,96

IPE

Oznaka	Statičke karakteristike												Klasifikacija ENV 1993-1-1				EN 10225:1993	EN 10113-3:1993	EN 10225:2001
	osa y-y						osa z-z							čisto savijanje y-y		čisto savijanje z-z			
	Težina G kg/m	I_y mm ⁴	$W_{el,y}$ mm ³	$W_{pl,y}$ mm ³	i_y mm	A_{yz} mm ²	I_z mm ⁴	$W_{el,z}$ mm ³	$W_{pl,z}$ mm ³	i_z mm	s_s mm	I_t mm ⁴	I_w mm ⁶	S 235	S 355	S 460	S 235	S 355	S 460
		$\times 10^4$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10$	$\times 10^2$	$\times 10^4$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10$		$\times 10^4$	$\times 10^6$						
IPE A 500	79,4	42930	1728	1946	20,61	50,41	1939	193,9	301,6	4,38	62,00	62,78	1125	1	1	-	4	4	✓
IPE 500	90,7	48200	1928	2194	20,43	59,87	2142	214,2	335,9	4,31	66,80	89,29	1249	1	1	1	3	4	✓
IPE O 500	107	57780	2284	2613	20,56	70,21	2622	259,6	408,5	4,38	74,60	143,5	1548	1	1	1	2	4	✓
IPE A 550	92,1	59980	2193	2475	22,61	60,30	2432	231,6	361,5	4,55	68,52	86,53	1710	1	1	-	4	4	✓
IPE 550	106	67120	2441	2787	22,35	72,34	2668	254,1	400,5	4,45	73,62	123,2	1884	1	1	1	4	4	✓
IPE O 550	123	79160	2847	3263	22,52	82,69	3224	304,2	480,5	4,55	81,22	187,5	2302	1	1	1	2	4	✓
IPE A 600	108	82920	2778	3141	24,60	70,14	3116	283,3	442,1	4,77	72,92	118,8	2607	1	1	-	4	4	✓
IPE 600	122	92080	3069	3512	24,30	83,78	3387	307,9	485,6	4,66	78,12	165,4	2846	1	1	1	4	4	✓
IPE O 600	154	118300	3879	4471	24,52	104,4	4521	403,6	640,1	4,79	91,12	318,1	3860	1	1	1	2	4	✓
IPE 750 x 137	137	159900	4246	4865	30,26	92,90	5166	392,8	614,1	5,44	65,42	137,1	6980	1	2	-	4	4	✓
IPE 750 x 147	147	166100	4411	5110	29,76	105,4	5289	399,2	630,8	5,31	67,12	161,5	7141	1	1	-	4	4	✓
IPE 750 x 173	173	205800	5402	6218	30,49	116,4	6873	514,9	809,9	5,57	77,52	273,6	9391	1	1	1	4	4	✓
IPE 750 x 196	196	240300	6241	7174	30,95	127,3	8175	610,1	958,8	5,71	86,32	408,9	11290	1	1	1	4	4	✓

HI = H-STAR®

Stahlbauhohlprofile

Abmessungen nach Euronorm
und Ergänzungsabmessungen

Normen für Maße und Toleranzen

☐ kaltgefertigt EN 10 219

☒ warmgefertigt EN 10 210

Lieferbare Güten

S 235 JRH (vormals RSt 37-2)
mit Kerbschlagprobe bei Raumtemperatur

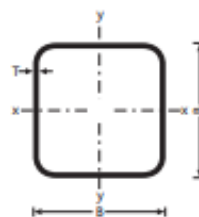
S 275 J0H (vormals St 44-3)
S 355 J0H (vormals St 52-3)
mit Kerbschlagprobe bei 0 °C

S 275 J2H (vormals St 44-3)
S 355 J2H (vormals St 52-3)
mit Kerbschlagprobe bei -20 °C

sowie in Feinkorn Güten

	B mm	B mm	T mm	M kg/m	A cm ²	I cm ⁴	i cm	W _x cm ³	W _y cm ³	I _t cm ⁴	C _t cm ³	A _e m ² /m
☐ 20	20	20	2,0	1,05	1,34	0,69	0,72	0,69	0,88	1,21	1,06	0,073
☐ 25	25	25	2,0	1,36	1,74	1,48	0,92	1,19	1,47	2,53	1,80	0,093
☐ 25	25	25	2,5	1,64	2,09	1,69	0,90	1,35	1,71	2,97	2,07	0,091
☐ 25	25	25	3,0	1,89	2,41	1,84	0,87	1,47	1,91	3,33	2,27	0,090
☐ 30	30	30	2,0	1,68	2,14	2,72	1,13	1,81	2,21	4,54	2,75	0,113
☒ 30	30	30	2,0	1,72	2,20	2,84	1,14	1,89	2,29	4,53	2,75	0,115
☐ 30	30	30	2,5	2,03	2,59	3,16	1,10	2,10	2,61	5,40	3,20	0,111
☒ 30	30	30	2,5	2,11	2,68	3,33	1,11	2,22	2,74	5,40	3,22	0,114
☐ 30	30	30	3,0	2,36	3,01	3,50	1,08	2,34	2,96	6,15	3,58	0,110
☒ 30	30	30	3,0	2,47	3,14	3,74	1,09	2,50	3,14	6,16	3,60	0,112
☐ 35	35	35	3,0	2,83	3,61	5,95	1,28	3,40	4,23	10,22	5,18	0,130
☐ 38	38	38	3,0	3,12	3,97	7,85	1,41	4,13	5,10	13,30	6,28	0,142
☐ 40	40	40	2,0	2,31	2,94	6,94	1,54	3,47	4,13	11,30	5,23	0,153
☐ 40	40	40	2,5	2,82	3,59	8,22	1,51	4,11	4,97	13,60	6,21	0,151
☒ 40	40	40	2,5	2,89	3,68	8,54	1,52	4,27	5,14	13,60	6,22	0,154
☒ 40	40	40	2,9	3,31	4,21	9,54	1,50	4,77	5,81	15,30	6,93	0,153
☐ 40	40	40	3,0	3,30	4,21	9,32	1,49	4,66	5,72	15,80	7,07	0,150
☒ 40	40	40	3,0	3,41	4,34	9,78	1,50	4,89	5,97	15,70	7,10	0,152
☒ 40	40	40	3,2	3,61	4,60	10,20	1,49	5,11	6,28	16,50	7,42	0,152
☒ 40	40	40	3,6	4,01	5,10	11,10	1,47	5,54	6,88	18,10	8,01	0,151
☐ 40	40	40	4,0	4,20	5,35	11,10	1,44	5,54	7,01	19,40	8,48	0,146
☒ 40	40	40	4,0	4,39	5,59	11,80	1,45	5,91	7,44	19,50	8,54	0,150
☒ 40	40	40	4,5	4,85	6,17	12,70	1,43	6,33	8,08	21,10	9,11	0,148
☒ 40	40	40	5,0	5,28	6,73	13,40	1,41	6,68	8,66	22,50	9,60	0,147
☒ 40	40	40	5,6	5,78	7,37	14,10	1,38	7,03	9,28	24,00	10,10	0,146
☒ 40	40	40	6,3	6,33	8,07	14,70	1,35	7,34	9,90	25,40	10,50	0,144
☒ 40	40	40	7,1	6,91	8,80	15,10	1,31	7,57	10,50	26,50	10,80	0,142
☐ 45	45	45	3,0	3,77	4,81	13,80	1,69	6,12	7,44	23,00	9,27	0,170
☐ 50	50	50	2,0	2,93	3,74	14,10	1,95	5,66	6,66	22,60	8,51	0,193
☐ 50	50	50	2,5	3,60	4,59	16,90	1,92	6,78	8,07	27,50	10,20	0,191
☒ 50	50	50	2,5	3,68	4,68	17,50	1,93	6,99	8,29	27,50	10,20	0,194
☒ 50	50	50	2,9	4,22	5,37	19,70	1,91	7,87	9,43	31,20	11,50	0,193
☐ 50	50	50	3,0	4,25	5,41	19,50	1,90	7,79	9,39	32,10	11,80	0,190
☒ 50	50	50	3,0	4,35	5,54	20,20	1,91	8,08	9,70	32,10	11,80	0,192
☒ 50	50	50	3,2	4,62	5,88	21,20	1,90	8,49	10,20	33,80	12,40	0,192
☒ 50	50	50	3,6	5,14	6,54	23,20	1,88	9,27	11,30	37,20	13,50	0,191
☐ 50	50	50	4,0	5,45	6,95	23,70	1,85	9,49	11,70	40,40	14,40	0,186
☒ 50	50	50	4,0	5,64	7,19	25,00	1,86	9,99	12,30	40,40	14,50	0,190
☒ 50	50	50	4,5	6,26	7,97	27,00	1,84	10,80	13,40	44,10	15,60	0,188
☐ 50	50	50	5,0	6,56	8,36	27,00	1,80	10,80	13,70	47,50	16,60	0,183
☒ 50	50	50	5,0	6,85	8,73	28,90	1,82	11,60	14,50	47,60	16,70	0,187
☒ 50	50	50	5,6	7,54	9,61	30,80	1,79	12,30	15,70	51,30	17,80	0,186
☒ 50	50	50	6,0	7,99	10,20	32,00	1,77	12,80	16,50	53,60	18,40	0,185
☒ 50	50	50	6,3	8,31	10,60	32,80	1,76	13,10	17,00	55,20	18,80	0,184
☒ 50	50	50	7,1	9,14	11,60	34,50	1,72	13,80	18,30	58,90	19,80	0,182
☒ 50	50	50	8,0	10,00	12,80	36,00	1,68	14,40	19,50	62,30	20,60	0,179
☐ 60	60	60	2,0	3,56	4,54	25,10	2,35	8,38	9,79	39,80	12,60	0,233
☐ 60	60	60	2,5	4,39	5,59	30,30	2,33	10,10	11,90	48,70	15,20	0,231
☒ 60	60	60	2,5	4,46	5,68	31,10	2,34	10,40	12,20	48,50	15,20	0,234
☒ 60	60	60	2,9	5,13	6,53	35,20	2,32	11,70	13,90	55,30	17,20	0,233
☐ 60	60	60	3,0	5,19	6,61	35,10	2,31	11,70	14,00	57,10	17,70	0,230

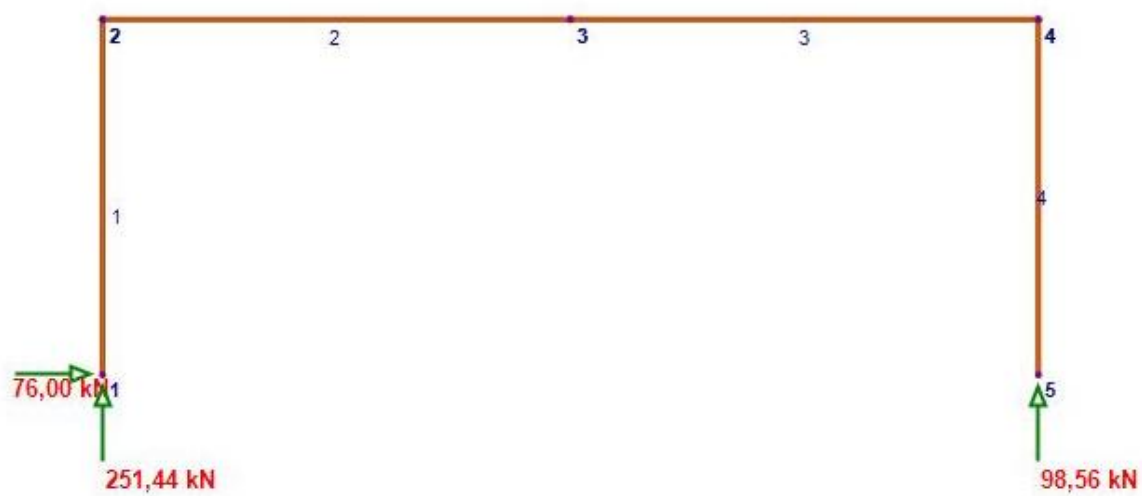
B = Breite/Höhe
 T = Wanddicke
 M = Längenbezogene Masse
 A = Querschnittsfläche
 I = Flächenmoment 2. Grades
 i = Trägheitsradius
 W_{el} = Elastisches Widerstandsmoment
 W_{pl} = Plastisches Widerstandsmoment
 I_z = Torsionsträgheitskonstante
 C_t = Konstante des Torsionsmoduls
 A_t = Mantelfläche je m Länge



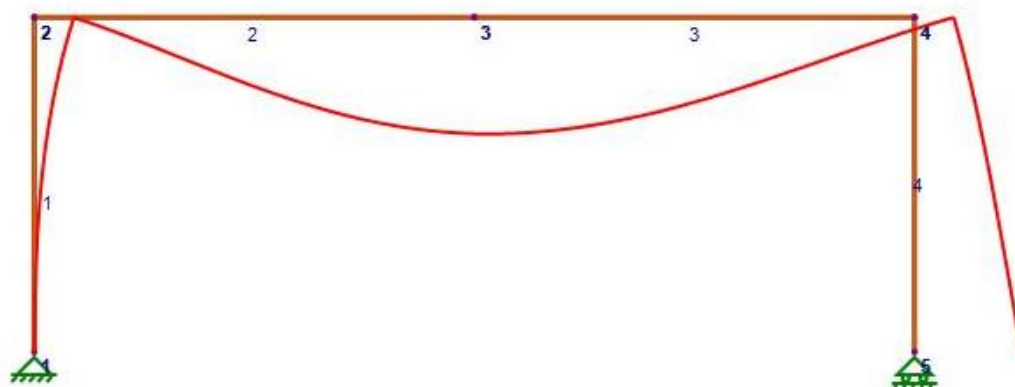
	B mm	B mm	T mm	M kg/m	A cm ²	I cm ⁴	i cm	W _{el} cm ³	W _{pl} cm ³	I _t cm ⁴	C _t cm ³	A _t m ² /m
■	60	60	3.0	5,29	6,74	36,2	2,32	12,1	14,3	56,9	17,7	0,232
■	60	60	3.2	5,62	7,16	38,2	2,31	12,7	15,2	60,2	18,6	0,232
■	60	60	3.6	6,27	7,98	41,9	2,29	14,0	16,8	66,5	20,4	0,231
□	60	60	4.0	6,71	8,55	43,6	2,26	14,5	17,6	72,6	22,0	0,226
■	60	60	4.0	6,90	8,79	45,4	2,27	15,1	18,3	72,5	22,0	0,230
■	60	60	4.5	7,67	9,77	49,5	2,25	16,5	20,1	79,7	24,0	0,228
□	60	60	5.0	8,13	10,40	50,5	2,21	16,8	20,9	86,4	25,6	0,223
■	60	60	5.0	8,42	10,70	53,3	2,23	17,8	21,9	86,4	25,7	0,227
□	60	60	5.6	8,93	11,38	53,8	2,17	17,9	22,6	92,7	32,5	0,220
■	60	60	5.6	9,30	11,80	57,4	2,20	19,1	23,9	93,9	27,6	0,226
□	60	60	6.0	9,45	12,00	56,1	2,16	18,7	23,7	98,4	28,6	0,219
■	60	60	6.0	9,87	12,60	59,9	2,18	20,0	25,1	98,6	28,8	0,225
□	60	60	6.3	9,55	12,20	54,4	2,11	18,1	23,4	100,0	28,8	0,213
■	60	60	6.3	10,30	13,10	61,6	2,17	20,5	26,0	102,0	29,6	0,224
■	60	60	7.1	11,40	14,50	65,8	2,13	21,9	28,2	110,0	31,6	0,222
□	60	60	7.1	10,43	13,29	55,7	2,05	18,6	24,9	104,6	37,3	0,210
■	60	60	8.0	12,50	16,00	69,7	2,09	23,2	30,4	118,0	33,4	0,219
□	60	60	8.0	11,34	14,44	56,7	1,98	18,9	26,3	109,4	39,8	0,210
■	60	60	8.8	13,50	17,20	72,5	2,05	24,2	32,2	124,0	34,6	0,217
■	60	60	10.0	14,90	18,90	75,5	2,00	25,2	34,4	131,0	36,0	0,214
■	60	60	11.0	15,90	20,30	77,1	1,95	25,7	35,9	136,0	36,7	0,212
■	60	60	12.5	17,30	22,10	78,0	1,88	26,0	37,5	139,0	37,0	0,208
□	70	70	2.5	5,17	6,59	49,4	2,74	14,1	16,5	78,5	21,2	0,271
□	70	70	3.0	6,13	7,81	57,5	2,71	16,4	19,4	92,4	24,7	0,270
■	70	70	3.0	6,24	7,94	59,0	2,73	16,9	19,9	92,2	24,8	0,272
■	70	70	3.2	6,63	8,44	62,3	2,72	17,8	21,0	97,6	26,1	0,272
□	70	70	3.6	7,24	9,23	66,5	2,69	19,0	22,7	108,0	28,7	0,268
■	70	70	3.6	7,40	9,42	68,6	2,70	19,6	23,3	108,0	28,7	0,271
□	70	70	4.0	7,97	10,10	72,1	2,67	20,6	24,8	119,0	31,1	0,266
■	70	70	4.0	8,15	10,40	74,7	2,68	21,3	25,5	118,0	31,2	0,270
■	70	70	4.5	9,08	11,60	81,8	2,66	23,4	28,2	130,0	34,1	0,268
□	70	70	5.0	9,70	12,40	84,6	2,62	24,2	29,6	142,0	36,7	0,263
■	70	70	5.0	9,99	12,70	88,5	2,64	25,3	30,8	142,0	36,8	0,267
■	70	70	5.6	11,10	14,10	95,9	2,61	27,4	33,7	155,0	39,8	0,266
□	70	70	6.0	11,30	14,40	95,2	2,57	27,2	33,8	163,0	41,4	0,259
■	70	70	6.0	11,80	15,00	101,0	2,59	28,7	35,5	163,0	41,6	0,265
□	70	70	6.3	11,50	14,70	93,8	2,53	26,8	33,8	168,0	42,1	0,253
■	70	70	6.3	12,30	15,60	104,0	2,58	29,7	36,9	169,0	42,9	0,264
□	70	70	7.1	12,67	16,14	98,2	2,47	28,1	36,4	179,0	53,7	0,250
■	70	70	7.1	13,60	17,30	112,0	2,54	32,0	40,3	185,0	46,1	0,262
□	70	70	8.0	13,85	17,64	102,2	2,41	29,2	38,9	190,6	58,0	0,250
■	70	70	8.0	15,00	19,20	120,0	2,50	34,2	43,8	200,0	49,2	0,259
■	70	70	8.8	16,30	20,70	126,0	2,46	35,9	46,6	212,0	51,6	0,257
■	70	70	10.0	18,00	22,90	133,0	2,41	38,0	50,3	227,0	54,4	0,254
■	70	70	11.0	19,40	24,70	138,0	2,36	39,3	53,0	238,0	56,2	0,252
■	70	70	12.5	21,30	27,10	142,0	2,29	40,6	56,3	249,0	58,0	0,248
□	80	80	3.0	7,07	9,01	87,8	3,12	22,0	25,8	140,0	33,0	0,310
■	80	80	3.0	7,18	9,14	89,8	3,13	22,5	26,3	140,0	33,0	0,312
□	80	80	3.6	8,37	10,70	102,0	3,09	25,5	30,2	165,0	38,4	0,308
■	80	80	3.6	8,53	10,90	105,0	3,11	26,2	31,0	164,0	38,5	0,311
□	80	80	4.0	9,22	11,70	111,0	3,07	27,8	33,1	180,0	41,8	0,306
■	80	80	4.0	9,41	12,00	114,0	3,09	28,6	34,0	180,0	41,9	0,310
□	80	80	4.5	10,26	13,07	121,0	3,05	27,8	36,2	199,0	45,9	0,300
■	80	80	4.5	10,50	13,40	126,0	3,07	31,5	37,6	199,0	46,0	0,308
□	80	80	5.0	11,30	14,40	131,0	3,03	32,9	39,7	218,0	49,7	0,303
■	80	80	5.0	11,60	14,70	137,0	3,05	34,2	41,1	217,0	49,8	0,307
□	80	80	5.6	12,45	15,86	142,2	2,99	35,6	43,4	237,1	61,3	0,300



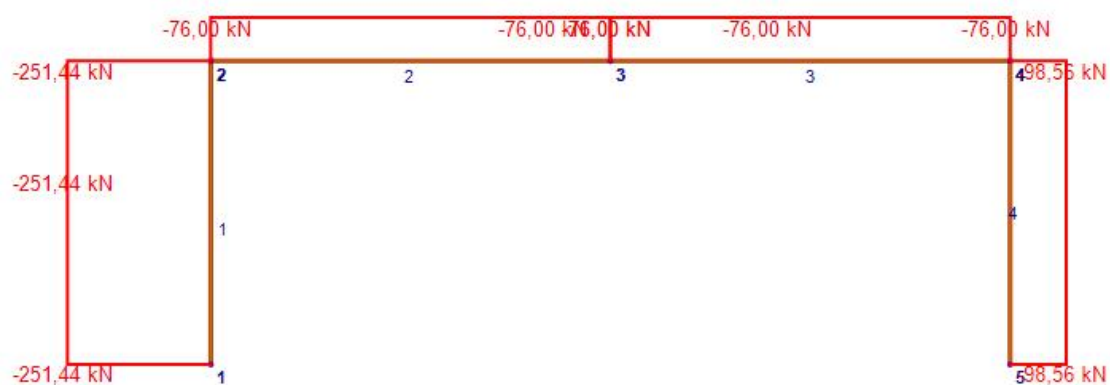
7



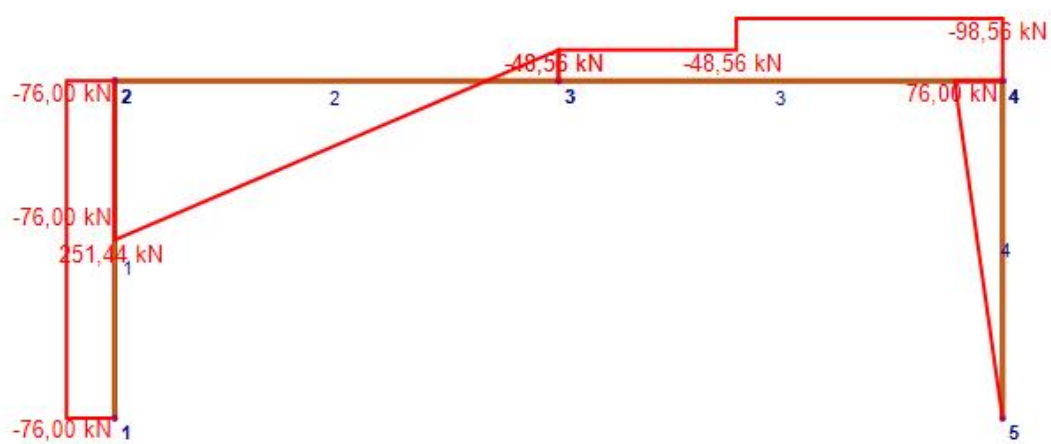
8



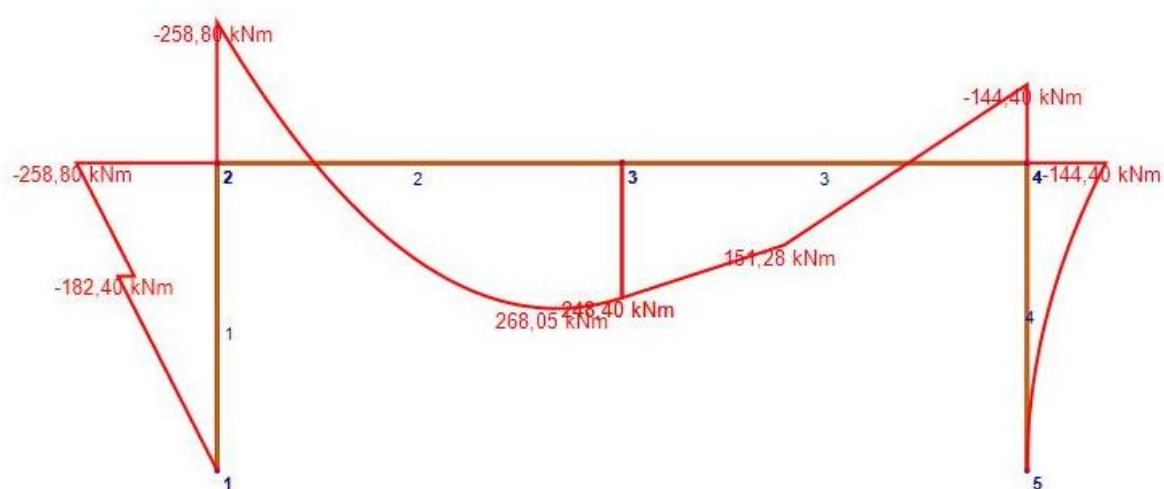
9



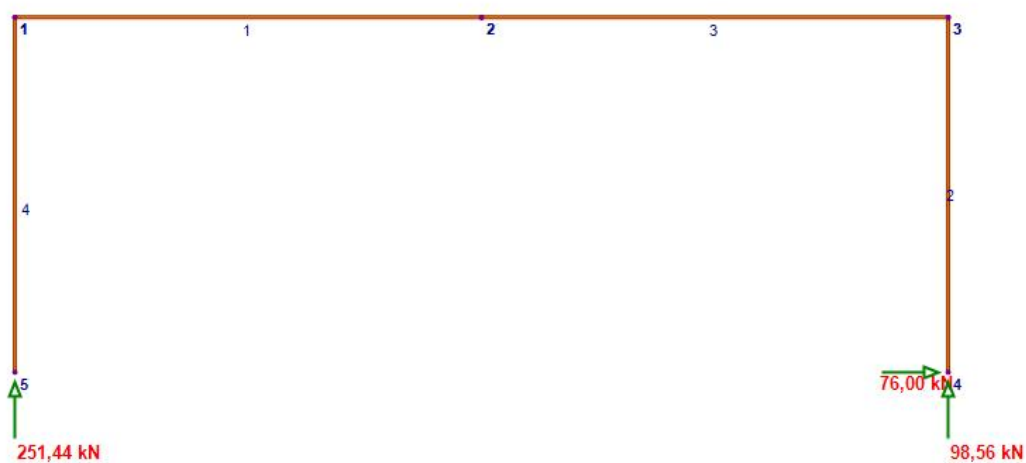
10



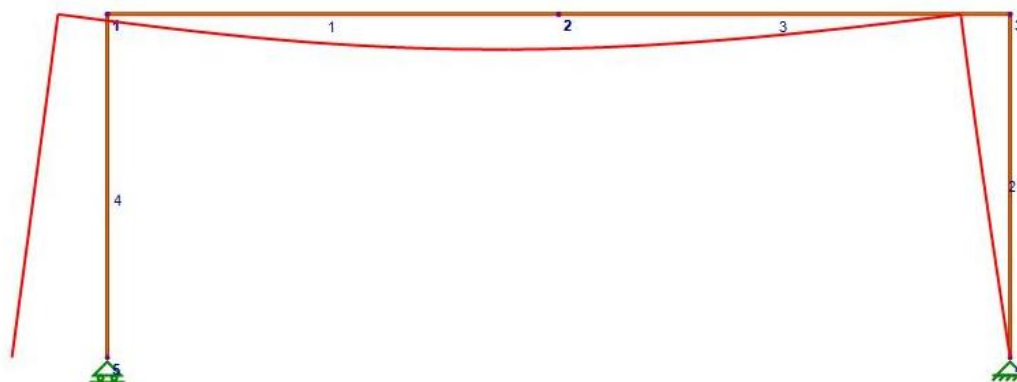
11



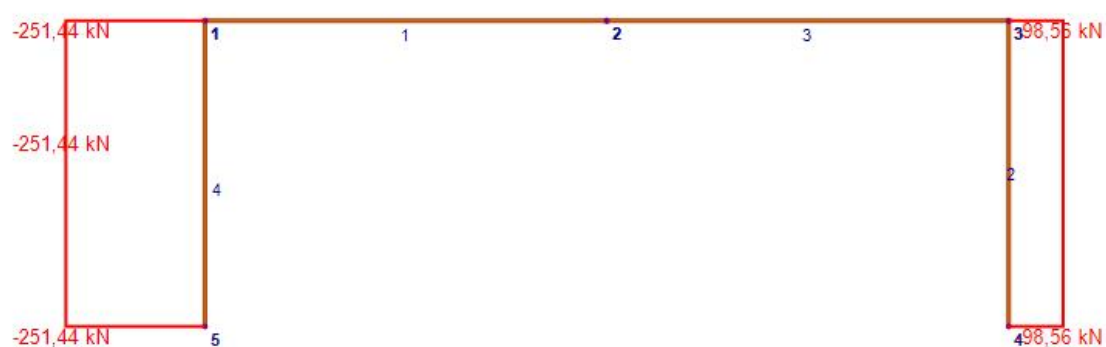
12



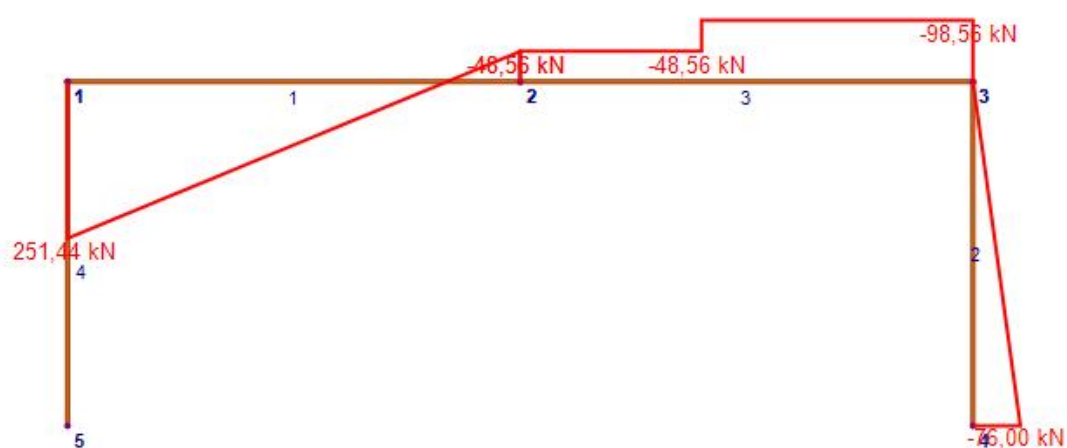
13



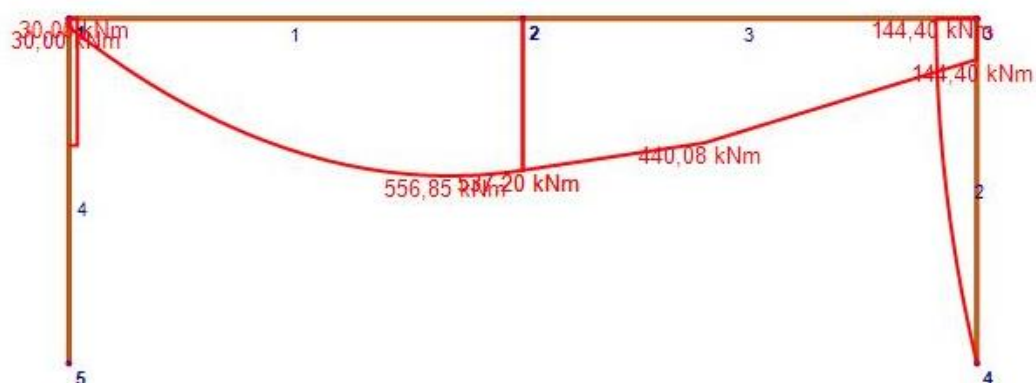
14



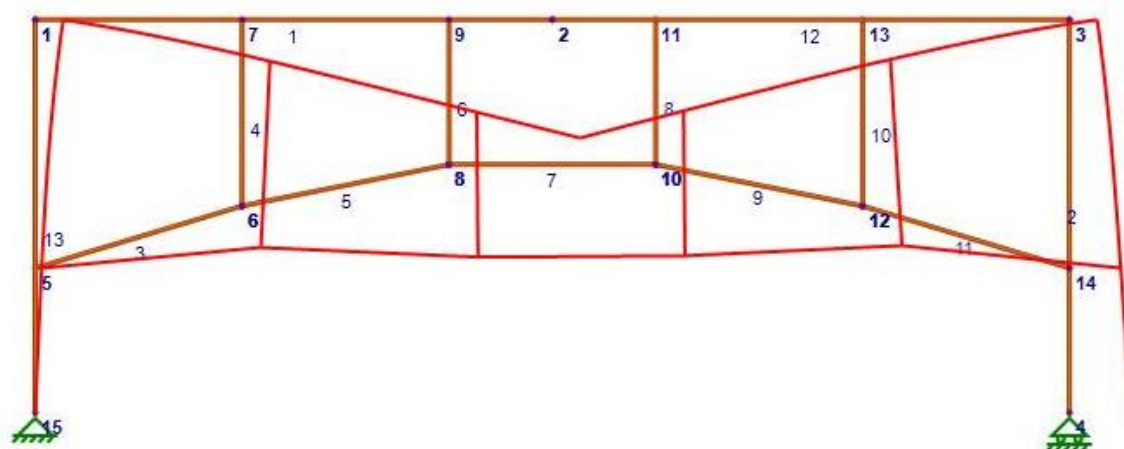
15



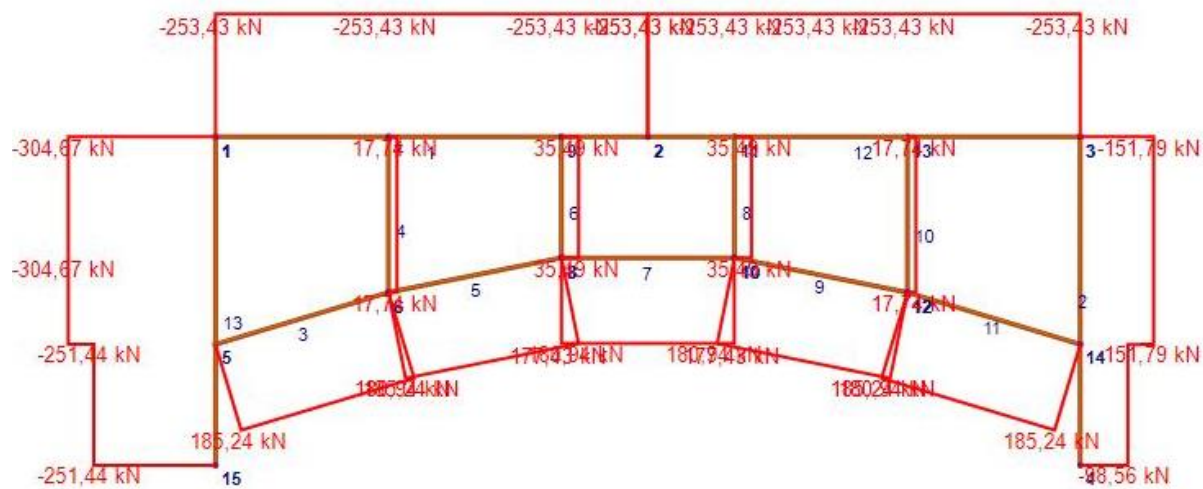
16



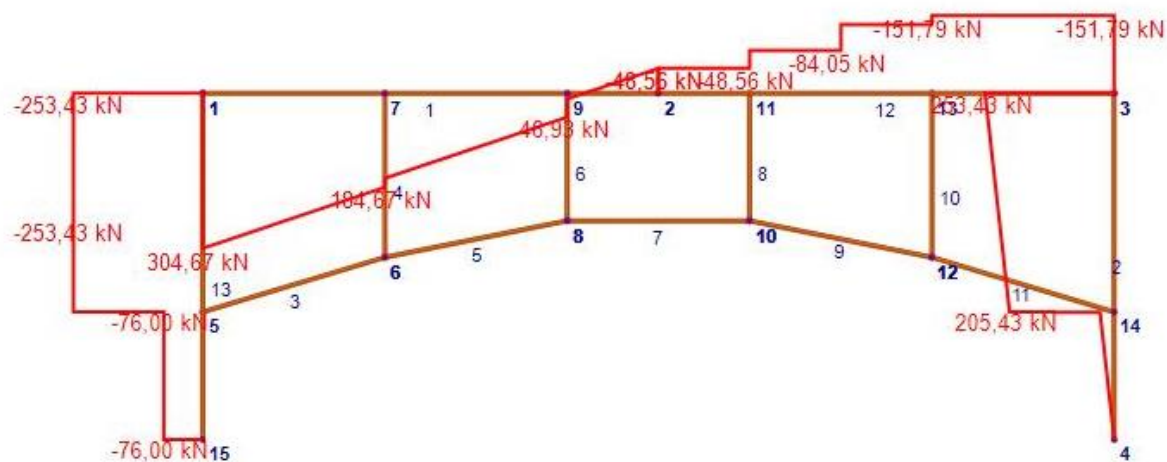
17



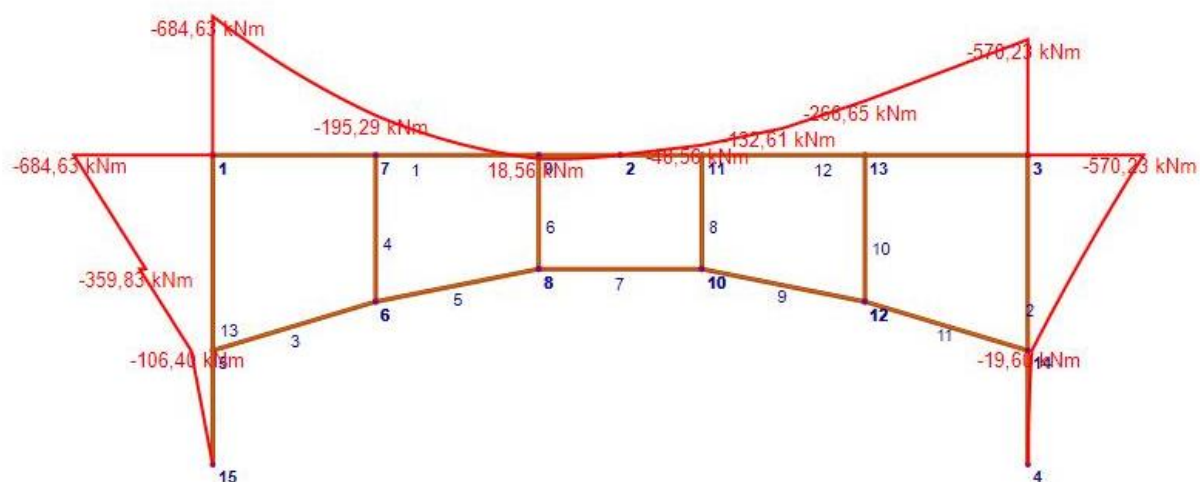
18



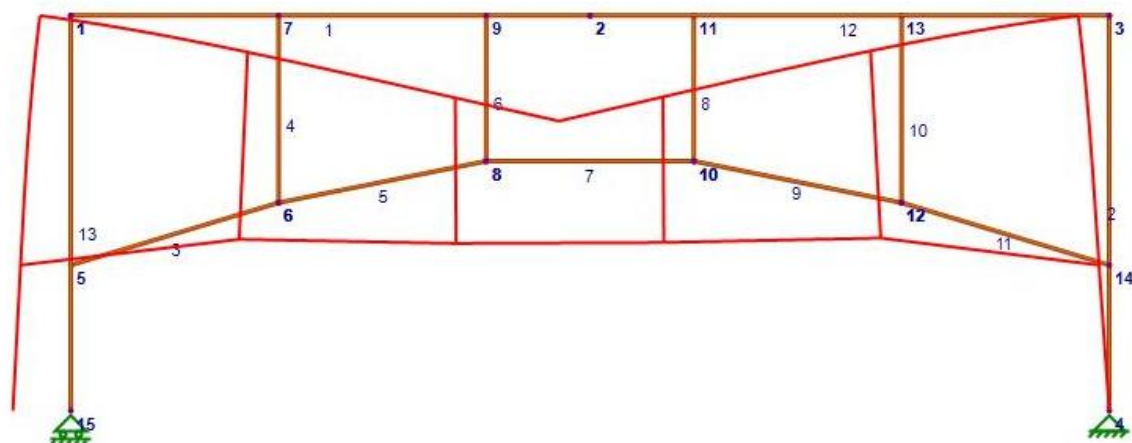
19



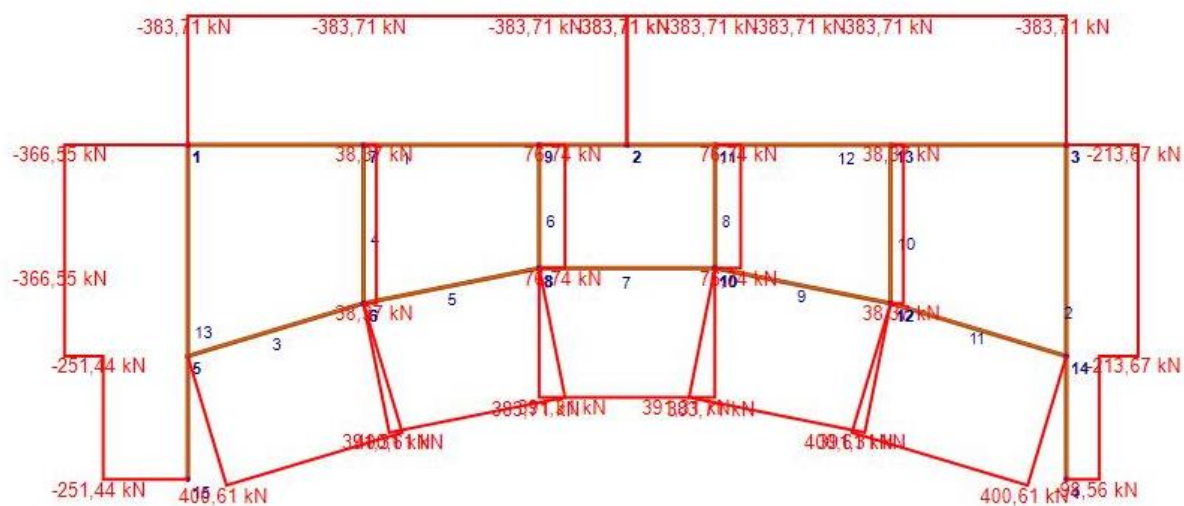
20



21



22



23

