Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta

Pavlović, Mihaela

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:478401

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Mihaela Pavlović

Split, 2021.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Mihaela Pavlović

Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta

Diplomski rad

Split, 2021.

˝Od svega što čovjek u životnom nagonu podiže i gradi,
ništa nije u mojim očima bolje i vrijednije od mostova.
Oni su važniji od kuća, svetiji od hramova.
Svačiji i prema svakom jednaki, korisni, podignuti uvijek smisleno,
na mjestu na kome se ukrštava najveći broj ljudskih potreba,
istrajniji su od drugih građevina i ne služe ničem što je tajno i zlo.˝

Ivo Andrić

Zahvala

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Mariji Smilović Zulim na vodstvu, pruženoj pomoći, iskazanom povjerenju, korisnim sugestijama i razumijevanju tijekom izrade ovog rada. Također, zahvaljujem se prof. dr. sc. Alenu Harapinu na strpljenju, uloženom vremenu, korisnim savjetima i diskusijama tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem se i svim profesorima Sveučilišnog studija Građevinarstva na prenesenom znanju tijekom studiranja. Zahvaljujem se svim svojim prijateljima i kolegama koji su mi vrijeme provedeno na fakultetu i u Splitu uljepšali svojim prisustvom i bez kojih mi cijeli studentski život ne bi prošao tako lako. Najveću zahvalu želim iskazati svojoj obitelji, na bezuvjetnoj podršci, velikoj pomoći, ljubavi i povjerenju koje su mi ukazali tijekom cijelog studiranja. Veliko HVALA svima!

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

SMJER: **KONSTRUKCIJE**

KANDIDAT: **Mihaela Pavlović**

BROJ INDEKSA: **807**

KATEDRA: **Katedra za betonske konstrukcije i mostove**

PREDMET: **Betonski mostovi**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: **Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta**

Opis zadatka: Potrebno je izraditi projekt rekonstrukcije rasponskog sklopa mosta. Projekt rekonstrukcije treba sadržavati tehnički opis postojećeg stanja te idejno rješenje rekonstrukcije rasponskog sklopa mosta. Idejno rješenje rekonstrukcije treba sadržavati tehnički opis, statički proračun i odgovarajuće građevinske nacrte. Proračun treba napraviti u skladu s važećim normama.

U Splitu, srpanj 2021.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Marija Smilović Zulim

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:

Doc. dr. sc. Ivo Andrić

Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta

Sažetak:

U ovom radu prikazan je projekt rekonstrukcije rasponskog sklopa Jaklićkog mosta. Most se nalazi u Rami, Bosna i Hercegovina i premošćuje Ramsko jezero. Most je cijelom svojom duljinom u kružnoj krivini radijusa 95 m i ima sedam raspona. Novu rasponsku konstrukciju mosta čine glavni armirano betonski uzdužni prednapeti nosači, poprečni nosači i kolnička ploča. Projekt rekonstrukcije sadrži tehnički opis postojećeg stanja i idejno rješenje rekonstrukcije rasponskog sklopa. Idejno rješenje rekonstrukcije sadrži tehnički opis, statički proračun rasponskog sklopa, proračun ležajeva i prijelaznih naprava, te karakteristične građevinske nacrte.

Ključne riječi:

most, projekt rekonstrukcije, prednapeti predgotovljeni nosači, 3D numerički model, statički proračun, građevinski nacrti

Reconstruction project of the Jaklići Bridge

Abstract:

This thesis presents the reconstruction project of the superstructure of the Jaklići Bridge. The bridge is located in Rama, Bosnia & Herzegovina and spans Rama Lake. The bridge is along its entire length in a curve with a radius of 95 meters and consists of seven spans. The new superstructure of the bridge consists of the main reinforced concrete span prestressed girders, cross girders and deck slab. The project contains a technical description of the existing condition of the bridge and conceptual design of the reconstruction of the superstructure. Conceptual design of the reconstruction contains a techical description, statical analysis of the superstructure, calculation of bearings and expansion devices as well as characteristic construction plans.

Keywords:

bridge, reconstruction project, prestressed precast girders, 3D numerical model, statical analysis, construction plans

SADRŽAJ

TEHNIČKI DIO **1**

1 TEHNIČKI OPIS POSTOJEĆEG STANJA **1**

1.1 Općenito 1

1.2 Nosiva konstrukcija 3

1.3 Postojeće stanje mosta 5

1.4 Građevinski nacrti postojećeg stanja mosta 20

2 TEHNIČKI OPIS IDEJNOG RJEŠENJA REKONSTRUKCIJE MOSTA **25**

2.1 Općenito 25

2.2 Nosiva konstrukcija 26

2.2.1 Rasponski sklop 26

2.2.2 Stupovi 28

2.2.3 Upornjaci 28

2.3 Proračun rasponskog sklopa 28

2.4 Gradiva 30

2.4.1 Beton 30

2.4.2 Čelik za armiranje 31

2.4.3 Čelik za prednaprezanje 32

2.5 Oprema i još neka rješenja 32

2.5.1 Hidroizolacija 32

2.5.2 Zastor 33

2.5.3 Prijelazne naprave 33

2.5.4 Ležajevi 33

2.5.5 Vijenac, pješački hodnik 34

2.5.6 Odvodnja 35

2.5.7 Vođenje elektro i TK instalacija 36

2.5.8 Ograda 36

2.5.9 Uređenje okoliša 36

2.5.10 Probno opterećenje 37

2.5.11 Održavanje objekta 37

PRORAČUN RASPONSKOG SKLOPA **39**

3 RAZRED IZLOŽENOSTI I TLAČNE ČVRSTOĆE BETONA, DEBLJINA ZAŠTITNOG SLOJA **39**

4 GRADIVA **41**

5 PRORAČUN RASPONSKIH NOSAČA PRIJE KONTINUIRANJA – 1. FAZA **42**

5.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača 42

5.2 Prosječna vlastita težina rasponskog nosača 45

5.3 Rezne sile i reakcije od stalnog opterećenja 49

5.3.1 Rezne sile i reakcije od vlastite težine rasponskog nosača 49

5.3.2 Rezne sile i reakcije od vlastite težine kolničke ploče 55

6 PRORAČUN RASPONSKIH NOSAČA NAKON KONTINUIRANJA – 2. FAZA **61**

6.1 Proračunski model 61

6.2 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača 65
6.3 Analiza opterećenja 67
6.3.1 Vlastita težina 67
6.3.2 Dodatno stalno opterećenje 67
6.3.3 Pokretno opterećenje 69
6.4 Rezne sile i reakcije od dodatnog stalnog i pokretnog opterećenja 83
6.4.1 Vlastita težina 84
6.4.2 Dodatno stalno opterećenje 85
6.4.3 Pokretno opterećenje 88
6.4.4 Mjerodavne reakcije oslonaca 118
6.4.5 Mjerodavne rezne sile 119
6.5 Proračun prednapete armature rasponskih nosača 121
6.5.1 Odabiranje natega najopterećenijeg rubnog nosača (N4) 121
6.5.1.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača i karakteristike materijala 121
6.5.1.2 Analiza opterećenja 127
6.5.1.3 Proračun sile prednaprezanja 129
6.5.1.4 Vođenje natega 134
6.5.1.5 Proračun gubitaka sile prednaprezanja u sredini nosača 140
6.5.1.6 Kontrola bočne stabilnosti nosača 143
6.5.1.7 Stanje naprezanja po duljini nosača za radno opterećenje 144
6.5.1.8 Kontrola progiba 148
6.5.2 Odabiranje natega najmanje opterećenog rubnog nosača (N7) 150
6.5.2.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača i materijali 150
6.5.2.2 Analiza opterećenja 156
6.5.2.3 Proračun sile prednaprezanja 158
6.5.2.4 Vođenje natega 163
6.5.2.5 Proračun gubitaka sile prednaprezanja u sredini nosača 169
6.5.2.6 Kontrola bočne stabilnosti nosača 172
6.5.2.7 Stanje naprezanja po duljini nosača za radno opterećenje 173
6.5.2.8 Kontrola progiba 177
6.5.3 Odabiranje natega najopterećenijeg središnjeg nosača (N5) 179
6.5.3.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača i materijali 179
6.5.3.2 Analiza opterećenja 185
6.5.3.3 Proračun sile prednaprezanja 187
6.5.3.4 Vođenje natega 192
6.5.3.5 Proračun gubitaka sile prednaprezanja u sredini nosača 198
6.5.3.6 Kontrola bočne stabilnosti nosača 201
6.5.3.7 Stanje naprezanja po duljini nosača za radno opterećenje 202
6.5.3.8 Kontrola progiba 206
6.5.4 Odabiranje natega najmanje opterećenog središnjeg nosača (N8) 208
6.5.4.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača i materijali 208

6.5.4.2 Analiza opterećenja ... 214
6.5.4.3 Proračun sile prednaprezanja ... 216
6.5.4.4 Vođenje natega ... 221
6.5.4.5 Proračun gubitaka sile prednaprezanja u sredini nosača ... 227
6.5.4.6 Kontrola bočne stabilnosti nosača ... 230
6.5.4.7 Stanje naprezanja po duljini nosača za radno opterećenje ... 231
6.5.4.8 Kontrola progiba ... 235
6.6 Proračun klasične armature rasponskih nosača ... 237
6.6.1 Proračun klasične armature najopterećenijeg rubnog nosača (N4) ... 238
6.6.1.1 Dimenzioniranje na moment savijanja (presjek 8 – 8) ... 239
6.6.1.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu (presjek 9 – 9) ... 240
6.6.1.3 Proračun armature za sprezanje nosača s kolničkom pločom ... 243
6.6.2 Proračun klasične armature najmanje opterećenog rubnog nosača (N7) ... 244
6.6.2.1 Dimenzioniranje na moment savijanja (presjek 11 – 11) ... 245
6.6.2.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu (presjek 10 – 10) ... 246
6.6.2.3 Proračun armature za sprezanje nosača s kolničkom pločom ... 249
6.6.3 Proračun klasične armature najopterećenijeg središnjeg nosača (N5) ... 250
6.6.3.1 Dimenzioniranje na moment savijanja (presjek 8 – 8) ... 251
6.6.3.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu (presjek 9 – 9) ... 252
6.6.3.3 Proračun armature za sprezanje nosača s kolničkom pločom ... 255
6.6.4 Proračun klasične armature najmanje opterećenog središnjeg nosača (N8) ... 256
6.6.4.1 Dimenzioniranje na moment savijanja (presjek 11 – 11) ... 257
6.6.4.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu (presjek 10 – 10) ... 258
6.6.4.3 Proračun armature za sprezanje nosača s kolničkom pločom ... 261
7 PRORAČUN POPREČNIH NOSAČA ... 262
7.1 Analiza opterećenja ... 262
7.1.1 Vlastita težina ... 262
7.1.2 Dodatno stalno opterećenje ... 262
7.1.3 Pokretno opterećenje ... 263
7.2 Proračun poprečnog nosača iznad prvog stupa ... 264
7.2.1 Rezultati proračuna ... 264
7.2.1.1 Vlastita težina ... 264
7.2.1.2 Dodatno stalno opterećenje ... 265
7.2.1.3 Pokretno opterećenje ... 267
7.2.2 Dimenzioniranje na moment savijanja ... 271
7.2.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu ... 273
7.3 Proračun poprečnog nosača iznad drugog stupa ... 275
7.3.1 Rezultati proračuna ... 275
7.3.1.1 Vlastita težina ... 275
7.3.1.2 Dodatno stalno opterećenje ... 276
7.3.1.3 Pokretno opterećenje ... 278

7.3.2 Dimenzioniranje na moment savijanja 280
7.3.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu 282
7.4 Proračun poprečnog nosača iznad upornjaka 284
7.4.1 Rezultati proračuna 284
7.4.1.1 Vlastita težina 284
7.4.1.2 Dodatno stalno opterećenje 285
7.4.1.3 Pokretno opterećenje 287
7.4.2 Dimenzioniranje na moment savijanja 289
7.4.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu 291
8 PRORAČUN KOLNIČKE PLOČE 293
8.1 Rezultati proračuna 293
8.1.1 Vlastita težina 293
8.1.2 Dodatno stalno opterećenje 293
8.1.3 Pokretno opterećenje 294
8.2 Dimenzioniranje na moment savijanja 295
9 PRORAČUN LEŽAJEVA 297
9.1 Proračun potrebne površine ležaja 297
9.1.1 Djelovanje potresa 297
9.2 Proračun potrebne visine ležaja 301
9.2.1 Analiza opterećenja 301
9.2.1.1 Djelovanje vjetra u smjeru rasponske konstrukcije 301
9.2.1.2 Sila kočenja (sila pokretanja) uzduž mosta 303
9.2.1.3 Djelovanje temperature 304
9.2.1.4 Djelovanje skupljanja betona rasponske konstrukcije 304
9.2.2 Rezultati proračuna 305
9.2.2.1 Djelovanje vjetra u smjeru rasponske konstrukcije 306
9.2.2.2 Sila kočenja (sila pokretanja) uzduž mosta 314
9.2.2.3 Djelovanje temperature 318
9.2.2.4 Djelovanje skupljanja betona rasponske konstrukcije 322
10 PRORAČUN PRIJELAZNE (DILATACIJSKE) NAPRAVE 328
11 GRAĐEVINSKI NACRTI 333
12 LITERATURA 343

TEHNIČKI DIO

1 TEHNIČKI OPIS POSTOJEĆEG STANJA

1.1 Općenito

Most pod nazivom ˝Jaklićki most˝, čija je rekonstrukcija predmet ovog projekta, nalazi se u naselju Jaklići, Bosna i Hercegovina, na regionalnoj prometnici R 418 Prozor (Rama) – Tomislavgrad (*Slika 2.*). Most je izgrađen 1968. godine i omogućava prijelaz ceste preko dijela Ramskog jezera. Ramsko jezero je akumulacijsko jezero nastalo izgradnjom brane na rijeci Rami radi gradnje HE Rama.

U trenutku izrade projekta vodostaj jezera (584,82 m n.m.) niži je od kote terena ispod mosta (*Slika 1.*).

Slika 1. Odnos Jaklićkog mosta i Ramskog jezera – stanje u trenutku izrade projekta
Izvor: Vlastita fotografija (27.06.2021.)

Slika 2. Jaklićki most – stanje u trenutku nižeg vodostaja jezera
Izvor: Internet, Damir Mišura photography

Slika 3. Jaklićki most – stanje u trenutku najvišeg vodostaja jezera
Izvor: Internet, Damir Mišura photography

1.2 Nosiva konstrukcija

Početak predmetnog mosta (vanjski rub krila upornjaka prema Prozoru) je na stacionaži ST 1 + 401,79, a završetak (vanjski rub krila upornjaka prema Tomislavgradu) na stacionaži ST 1 + 604,84. Tako ukupna duljina mosta mjereno u osi nivelete iznosi 203,05 m, dok mjereno u osi uzdužnih rasponskih nosača iznosi 203,40 m. Os prvog upornjaka (U1) je na stacionaži ST 1 + 409,54, a drugog (U2) na stacionaži ST 1 + 594,19. Tako osni razmak upornjaka mjereno u osi nivelete iznosi 184,65 m, dok mjereno u osi uzdužnih rasponskih nosača iznosi 185,0 m.

Nosiva konstrukcija mosta ima 7 raspona, s osnim razmakom stupova 26,20 + 5 · 26,45 + 26,20 = 184,65 m (26,25 + 5 · 26,50 + 26,25 = 185,0 m). Krajnji rasponi su nešto manje duljine od srednjih.

Most se cijelom svojom duljinom nalazi u kružnoj krivini radijusa R = 95,0 m. Poprečni nagib kolnika je konstantan i iznosi 5%. Niveleta mosta je u konstantnom padu od 0,51%.

Nosiva konstrukcija mosta sastoji se od armirano betonskih stupova promjenjivog poprečnog presjeka po visini, armirano betonskih upornjaka s paralelnim krilima i spregnute rasponske konstrukcije (čelični uzdužni i poprečni nosači + armirano betonska ploča). Spregnuta rasponska konstrukcija je diskontinuirana, a diskontinuitet je ostvaren dilatacijama na mjestima iznad oslonaca.

Poprečni presjek mosta sastoji se od dva uzdužna čelična punostijena zavarena nosača na razmaku 5,0 m i armirano betonske kolničke ploče. Uzdužni čelični nosači ukrućeni su sa četiri srednja i dva rubna poprečna čelična nosača na razmaku 5,20 m. Tako položeni nosači čine roštiljni sustav na kojem se nalazi armirano betonska kolnička ploča. Uzdužni čelični nosači oslonjeni su na čelične ležajeve koji su raspoređeni tako da je na svakom nosaču jedan ležaj nepomičan, a drugi pomičan.

U poprečnom presjeku širina kolnika iznosi 6,0 m, a zajedno sa širinom uzdignutog hodnika na rubovima od po 1,0 m ukupna širina iznosi 8,0 m.

Poprečni nagib pješačke staze iznosi 1% i izdignuta je 20,0 cm iznad prometnog traka. Ograda pješačke staze je čelična, visine 0,80 m. Rub mosta izrađen je od armirano betonskog montažnog vijenca.

Tijekom eksploatacije mosta most nije održavan i nisu provedeni nikakvi značajniji sanacijski zahvati, pa je stoga most danas u stanju u kojem je (*Slika 4.*, *Slika 5.*).

Slika 4. Jaklićki most – stanje u trenutku izrade projekta
Izvor: Vlastita fotografija (27.06.2021.)

Slika 5. Jaklićki most – stanje u trenutku izrade projekta
Izvor: Vlastita fotografija (27.06.2021.)

1.3 Postojeće stanje mosta

Za potrebe izrade ovog projekta rekonstrukcije kao osnova poslužio je *Glavni projekt mosta (1966.)* koji je izradio Projektni biro za puteve i mostove ˝TRASER˝, Sarajevo (broj projekta 704/66), te *Glavni projekt sanacije mosta u Jaklićima (2009.)* koji je izradio IGH – Mostar d.o.o. (broj dokumenta 61.21-036/2009 – revidirani glavni projekt), a čiji je voditelj bio Davor Popić, dipl.inž.građ., a odgovorni projektant mr.sc. Dragan Ćubela, dipl.inž.građ.

Za potrebe izrade *Projekta sanacije mosta* izvršeni su svi istražni radovi mosta. Istražnim radovima obuhvaćen je vizualni pregled konstrukcije, registriranje oštećenja, fotografiranje konstrukcije, vađenje uzoraka, geodetsko snimanje, skidanje detalja mosta te laboratorijsko ispitivanje.

U nastavku su opisana oštećenja pojedinih dijelova mosta iz *Projekta sanacije mosta*, dok je na fotografijama prikazano stanje na dan 27.06.2021 (*Slika 6. – Slika 12.*). Iz fotografija je vidljivo da su oštećenja i danas prisutna u istoj, ili čak većoj mjeri.

Opći dojam stanja pojedinih dijelova mosta u *Projektu sanacije mosta* svrstan je u 6 kategorija:

(0) – Bez oštećenja

(1) – Mala oštećenja konstruktivnog elementa

(2) – Srednja oštećenja konstruktivnog elementa

(3) – Znatna oštećenja konstruktivnog elementa

(4) – Velika oštećenja konstruktivnog elementa

(5) – Neupotrebljiv konstruktivni element

Prometna površina (kolnički zastor)

Uočena oštećenja na kolničkom zastoru iz projekta *Projekt sanacije mosta u Jaklićima (2009.)*:

- Velika površinska oštećenja zastora (mrežaste pukotine na 75% površine kolnika)
- Smanjenje debljine zastora uslijed prometa (debljina varira od 1,0 do 4,0 cm što je manje od projektiranje debljine koja iznosi 5,0 cm)
- Odvajanje zastora od AB ploče u zonama gustih mrežastih pukotina, dilatacija i slivnika
- Hidroizolacija na mjestima odvajanja asfalta uništena i dolazi do prodora vode u kolničku ploču
- Mjestimično loše saniran asfalt (cementi mort loše kvalitete i prionjivosti)
- Dilatacijske naprave na mjestima pomičnih ležajeva oštećene, na mjestima nepomičnih ležajeva ih uopće nema
- Kroz dilataciju prolazi voda direktno na stupove i ležajeve
- Slivnici nekompletni (nedostaju rešetke i začepljeni su)

Opći dojam: (4) – Velika oštećenja kolničkog zastora s očekivano brzim razvojem pogoršanja stanja

Slika 6. Stanje kolničkog zastora na dan 27.06.2021.
Izvor: Vlastite fotografije

Armirano betonska kolnička ploča

Uočena oštećenja na kolničkoj ploči iz projekta *Projekt sanacije mosta u Jaklićima (2009.)*:

- Hidroizolacija s gornje strane kolničke ploče na dosta mjesta oštećena
- Propadanje gornjeg sloja betona na pojedinim mjestima
- Armatura lokalno korodirala
- U pojedinim zonama na donjoj površini kolničke ploče, naročito na konzolama kolničke ploče vidljivi tragovi procijeđivanja vode
- Prodiranje vode na kontaktu betona kolničke ploče i cijevi slivnika
- Razaranje sloja betona na rubnim dijelovima ploče uslijed bujanja armature zahvaćene procesom korozije
- Korozija armature uslijed djelovanja klorida iz soli za otapanje mraza

Opći dojam: (2) – Srednja oštećenja kolničke ploče s očekivano sporim razvojem pogoršanja stanja

Slika 7. Stanje kolničke ploče na dan 27.06.2021.
Izvor: Vlastite fotografije

Uzdužni i poprečni čelični nosači

Uočena oštećenja na uzdužnim i poprečnim čeličnim nosačima iz projekta *Projekt sanacije mosta u Jaklićima (2009.)*:

- Čelični nosači blago korodirali

Opći dojam: (0) – Bez oštećenja

Slika 8. Stanje uzdužnih i poprečnih čeličnih nosača na dan 27.06.2021.
Izvor: Vlastite fotografije

Armirano betonski upornjaci

Uočena oštećenja na upornjaku (U2) iz projekta *Projekt sanacije mosta u Jaklićima (2009.)*:

- Na površini upornjaka tragovi od stalne prisutnosti vlage, posebno u području ležajeva
- U području ležajeva beton djelomično oštećen
- U području oko ležajeva koncentrirane nakupine pijeska donesenog vodom s kolnika (područje stalne vlage)
- Drenažne cijevi prekratke, vlaženje lica upornjaka
- Čunj nasipa s obje strane upornjaka zarastao drvećem

Opći dojam: (1) – Mala oštećenja upornjaka (U2) s očekivano sporim razvojem pogoršanja stanja

Slika 9. Stanje upornjaka (U2) na dan 27.06.2021.
Izvor: Vlastite fotografije

Uočena oštećenja na upornjaku (U1) iz projekta *Projekt sanacije mosta u Jaklićima (2009.)*:

- Na površini upornjaka tragovi od stalne prisutnosti vlage, posebno u području ležajeva
- U području ležajeva beton djelomično oštećen
- U području oko ležajeva koncentrirane nakupine pijeska donesenog vodom s kolnika (područje stalne vlage)
- Čunj nasipa s jedne strane upornjaka zarastao raslinjem, a s druge strane zatrpan nanosom
- Čitav upornjak zasićen vodom
- Drenažne cijevi prekratke, vlaženje lica upornjaka
- Donji dio zida upornjaka zatrpan nanosom
- Zid upornjaka oštećen na vrhu

Opći dojam: (1) – Mala oštećenja upornjaka (U1) s očekivano sporim razvojem pogoršanja stanja

Upornjak (U1) danas je gotovo u potpunosti zarastao raslinjem i vrlo teško mu je pristupiti s terena.

Slika 10. Stanje upornjaka (U1) na dan 27.06.2021.
Izvor: Vlastite fotografije

Armirano betonski stupovi

Uočena oštećenja na stupovima iz projekta *Projekt sanacije mosta u Jaklićima (2009.)*:

- Stupovi u stanju stalne prisutnosti vlage – kapilarno upijanje u zoni iznad nivoa vode
- Naglavne grede izložene djelovanju vode s kolnika
- U području oko ležajeva koncentrirane nakupine pijeska donesenog vodom s kolnika (područje stalne vlage)
- Beton u području prostora za ležajeve na dva stupa djelomično oštećen
- Ležajevi u dobrom stanju

Opći dojam: (1) – Mala oštećenja stupova s očekivano sporim razvojem pogoršanja stanja

Slika 11. Stanje stupova na dan 27.06.2021.
Izvor: Vlastite fotografije

Pješačka staza

Uočena oštećenja na pješačkoj stazi iz projekta *Projekt sanacije mosta u Jaklićima (2009.)*:

- Velika površinska oštećenja i nedovoljna širina pješačke staze (gornji slojevi ispucali i odvojeni)
- Poprečne pukotine na stazi u ravnini dilatacija kroz koje se slijeva voda na nosače i stupove
- Loše sanirana pješačka staza (cementi mort loše kvalitete i prionjivosti)
- Odvajanje rubnjaka od pješačke staze, na pojedinim mjestima nedostaje rubnjak
- Oštećenje vijenca s gornje strane (otpadanje zaštitnog sloja betona, korozija armature, odvajanje vijenca od betona pješačke staze uzdužnom pukotinom kroz koju se procijeđuje voda, pukotine obrasle mahovinom) i potpuno odvajanje vijenca od betona pješačke staze na jednom mjestu
- Ograda mjestimično korodirala i nedovoljne visine, uzdužni nosač ograde na velikom broju mjesta prekinut, a stupići ograde na dosta mjesta rasklimani i mehanički oštećeni
- Instalacije u pješakim stazama nisu u funkciji

Opći dojam: (4) – Velika oštećenja pješačke staze s očekivano brzim razvojem pogoršanja stanja

Slika 12. Stanje pješačke staze na dan 27.06.2021.
Izvor: Vlastite fotografije

1.4 Građevinski nacrti postojećeg stanja mosta

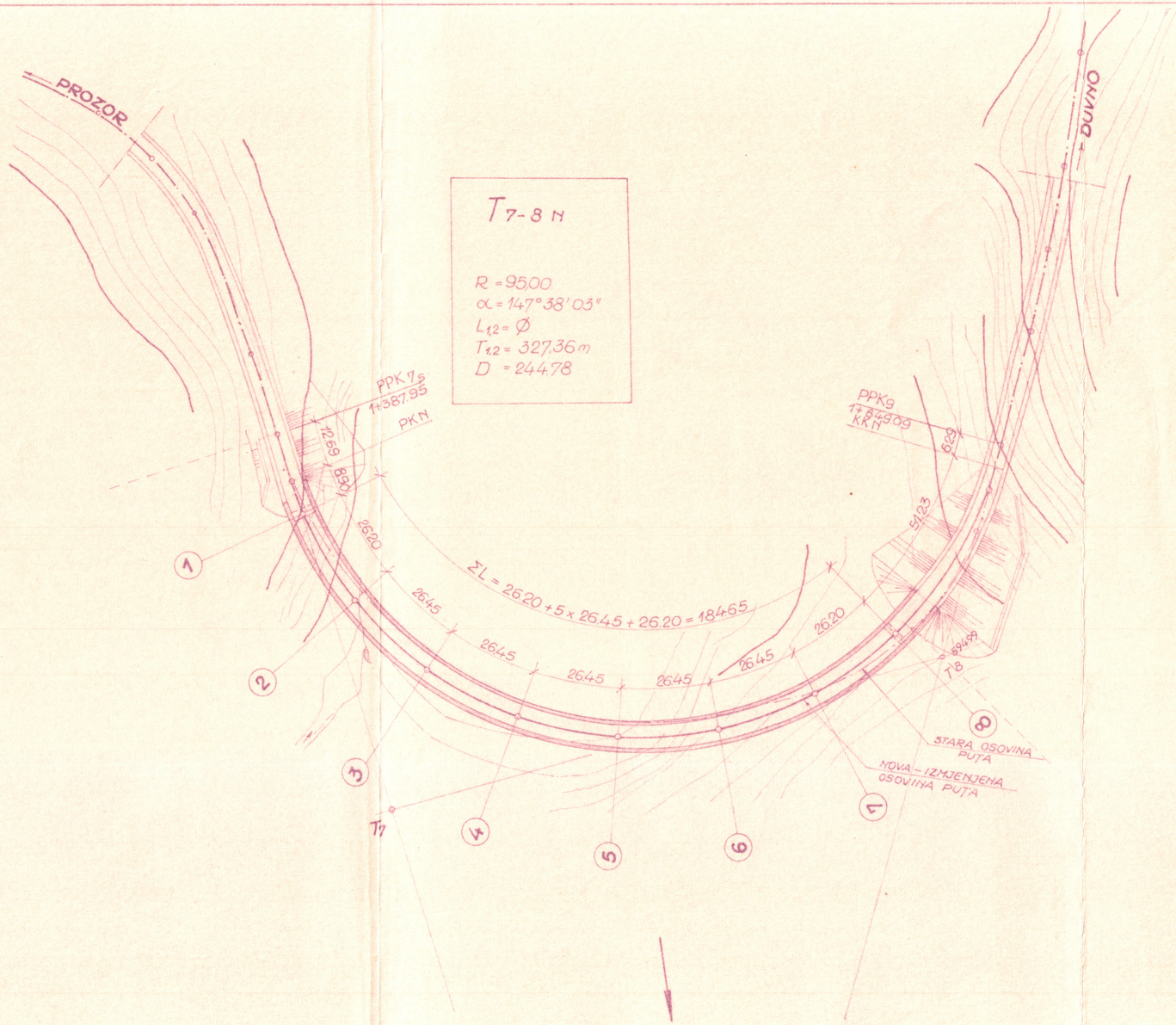
Iz *Glavnog projekta mosta (1966.)* skenirani su građevinski nacrti mosta i kao takvi priloženi su ovom projektu. Priloženi su sljedeći nacrti:

Nacrt 1: Pregledna situacija mosta……MJ 1:1000

Nacrt 2: Pregledna dispozicija – uzdužni i poprečni presjek……MJ 1:200/MJ 1:50

Nacrt 3: Pregledna dipozicija – osnova mosta……MJ 1:200

Nacrt 4: Normalni poprečni presjek mosta……MJ 1:10



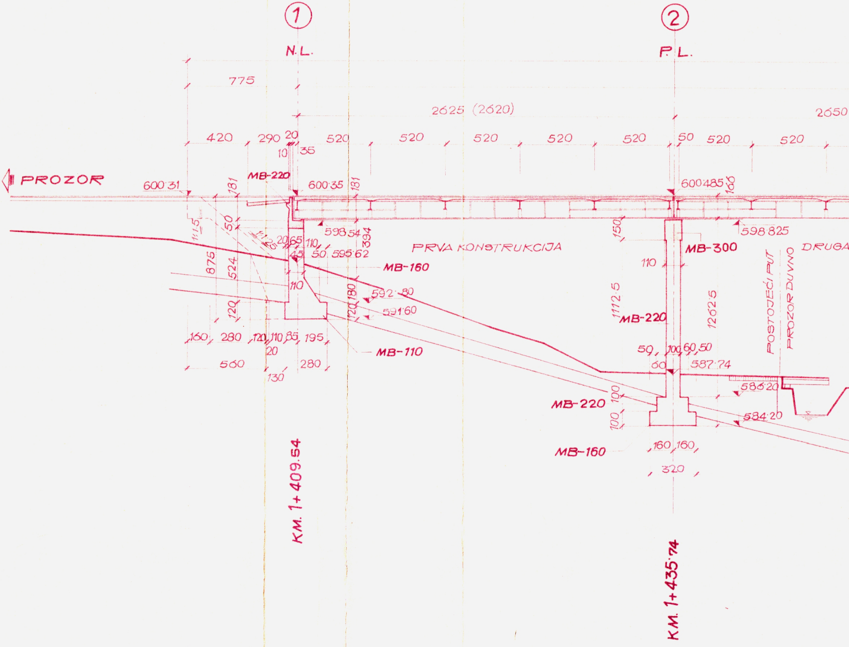
Napomena:

Na dijelu mosta izvršena je izmjena trase tako da je umjesto krivina radiusa $R_7 = 100$; $R_8 = 70$ ubačena zajednička krivina $R_{7-8N} = 95$ m. sa zajedničkim tjemenom T_{7-8N}

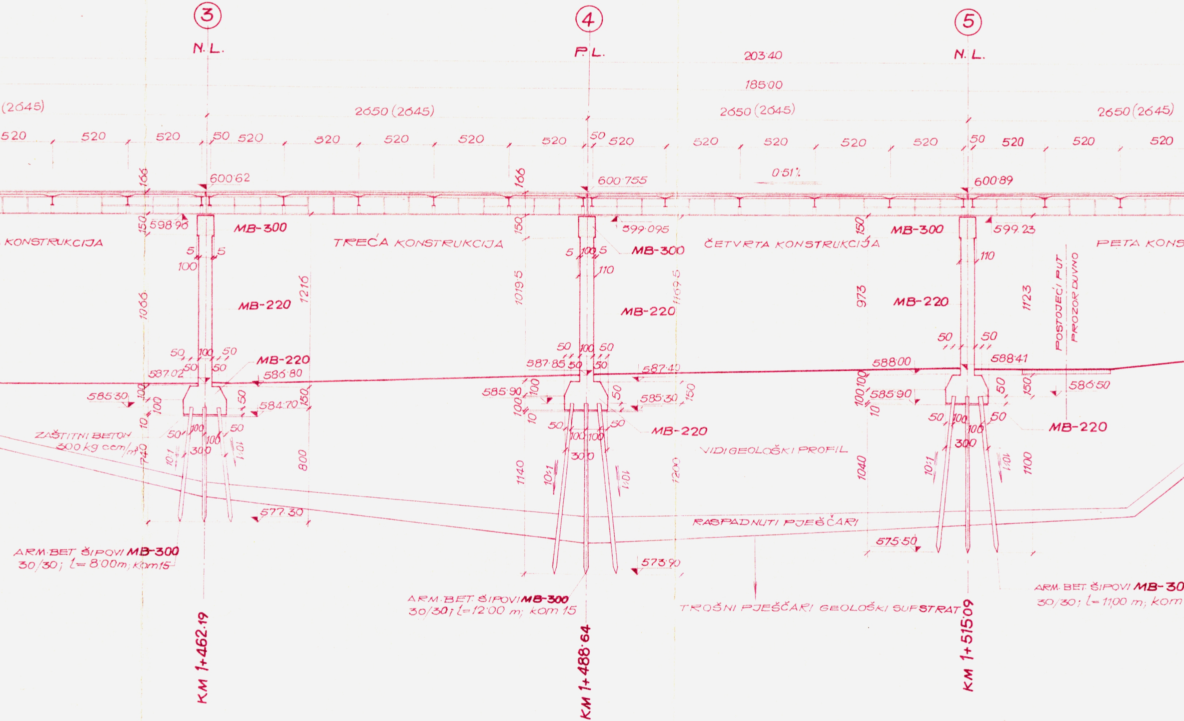
PROJEKTANTSKI BIRO ZA PU „TRASA" SARAJEVO
DIREKTOR: ING. ARON KAMHI

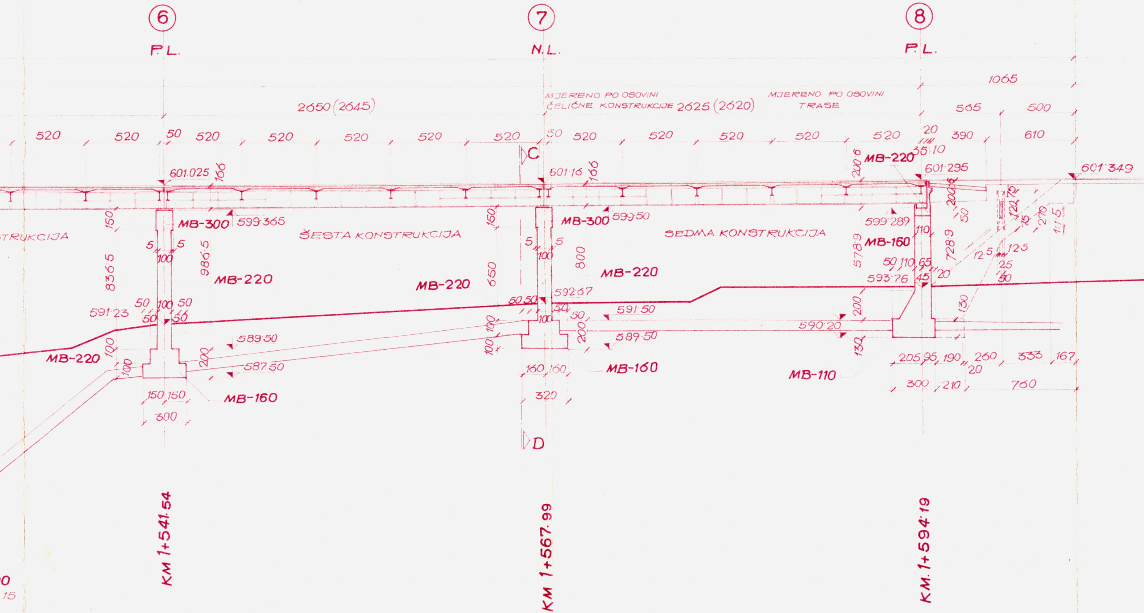
1-IV-

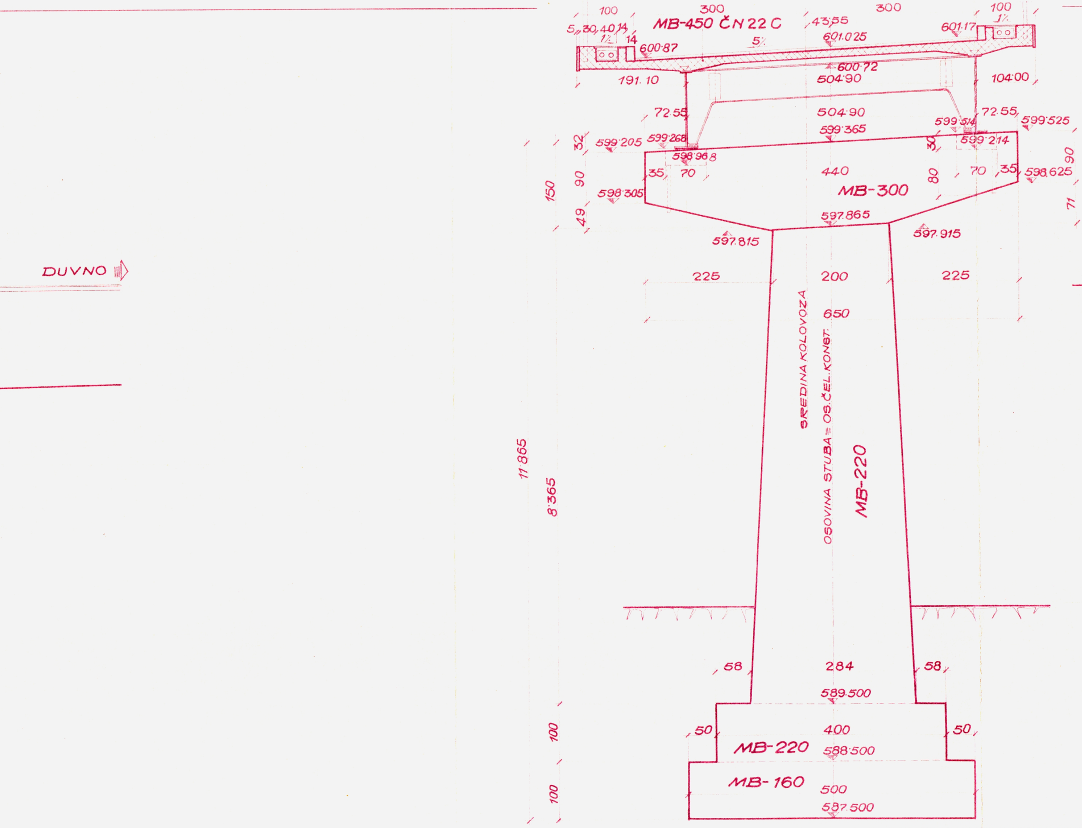
PROJEKTANTSKI BIRO ZA PU „TRASA" SARAJEVO	BROJ 704/66
	H.E. „RAMA"
GRUPA: ING. M. PRŽULJ, ING. B. KOBOEVIĆ, ING. J. KOVAČEVIĆ, ING. Z. MARTINČEVIĆ, VGT. K. ČUČAK, TEH. A. FAZLIĆ, V. LUKIĆ	MOST BR. 4 PREKO AKUMULACIJE „KOVAČEVO POLJE" NA PUTU: PROZOR - DUVNO
	PREGLEDNA SITUACIJA MOSTA
	GLAVNI PROJEKAT 1/IV.
	OKTOBAR 1966 0,57 x 0,30 = P = 0,17 m²


①
N.L.
②
P.L.
775
2625 (2620)
2650
420
290
20
10
35
520
520
520
520
520
50
520
520
PROZOR
600·31
MB-220
600·35
181
181
600·485
166
598·54
394
598·825
50
111·5
20
65
110
45
50
595·62
PRVA KONSTRUKCIJA
MB-300
DRUGA
150
110
MB-160
875
524
110
592·80
591·60
120
180
120
1112·5
MB-220
1262·5
POSTOJEĆI PUT
PROZOR DUVNO
160
280
120
110
85
195
20
MB-110
560
280
130
50
100
60
50
60
587·74
586·20
MB-220
100
100
584·20
MB-160
160
160
320
KM. 1+409.54
KM. 1+435·74

UZDUŽNI PRESJEK MOSTA A-B MJ. 1:200


③
N. L.
④
P. L.
⑤
N. L.
203·40
185·00
(2645)
2650 (2645)
2650 (2645)
2650 (2645)
520
50
0·51%
600·62
600·755
600·89
166
150
598·96
599·095
599·23
KONSTRUKCIJA
TREĆA KONSTRUKCIJA
ČETVRTA KONSTRUKCIJA
PETA KONS
MB-300
MB-220
5
100
110
1066
1216
1019·5
1169·5
973
1123
POSTOJEĆI PUT PROZOR DUVNO
50
587·02
586·80
587·85
587·40
588·00
588·41
585·30
584·70
585·90
585·30
585·90
586·50
ZAŠTITNI BETON 300 kg cem/m³
10:1
30·0
300
740
800
1140
1200
1040
1100
577·30
573·90
575·50
VIDI GEOLOŠKI PROFIL
RASPADNUTI PJEŠČARI
TROŠNI PJEŠČARI GEOLOŠKI SUPSTRAT
ARM. BET. ŠIPOVI MB-300 30/30; l= 8·00m; kom 15
ARM. BET. ŠIPOVI MB-300 30/30; l=12·00 m; kom 15
ARM. BET. ŠIPOVI MB-30 30/30; l= 11,00 m; kom
KM 1+462·19
KM 1+488·64
KM 1+515·09


⑥
P.L.
⑦
N.L.
⑧
P.L.
1065
MJERENO PO OSOVINI
ČELIČNE KONSTRUKCIJE
2625 (2620)
MJERENO PO OSOVINI
TRASE
2650 (2645)
565
500
520
50
390
610
20
35 10
C
D
MB-220
601.025
601·16
601·295
601·349
166
200·6
MB-300
599·365
599·50
599·289
ŠESTA KONSTRUKCIJA
SEDMA KONSTRUKCIJA
STRUKCIJA
MB-160
110
728·9
578·9
150
986·5
836·5
800
650
100
5
MB-220
50 110 65
593·76
45
20
12·5
25
270
1:1·5
591·23
592·67
591·50
590·20
589·50
587·50
200
130
MB-160
MB-110
150 150
300
160 160
320
205 95 190
260
333
167
300 210
760
KM 1+541.54
KM 1+567.99
KM.1+594·19
15


DUVNO
MB-450 ČN 22 C
100
300
43.55
300
100
5
30
40
14
1%
14
600.87
5%
601.025
601.17
1%
600.72
504.90
191.10
104.00
72.55
504.90
72.55
599.514
599.525
599.365
599.205
599.268
599.214
32
30
598.968
35
70
440
70
35
598.625
90
90
150
598.305
MB-300
80
49
71
597.865
597.815
597.915
225
200
225
650
SREDINA KOLOVOZA
OSOVINA STUBA ≡ OS. ČEL. KONST.
MB-220
11.865
8.365
58
284
58
589.500
400
50
50
100
MB-220
588.500
MB-160
500
100
587.500

PRESJE C-D MJ. 1:50

PROJEKTA T D
ZA PU I E
„TRAS "
SAR JEVO

2-IV.

DIREKTOR
Dipl. ing. ARON KMHI

PROJEKTANTSKI BIRO
ZA PUTEVE I MOSTOVE
„TRASER"
SARAJEVO

ZNAK

704/66

H.E. RAMA

MOST BR. 4
PREKO AKUMULACIJE
KOVAČEVO POLJE
NA PUTU PROZOR-DUVNO

GRUPA
ING. M. PRŽULJ,
ING. B. KOBOEVIĆ
ING. J. KOVAČEVIĆ
ING. Z. MARTINČEVIĆ

V.G.T. ČUČAK K.
Teh. A. FAZLIĆ

M. JELAŠKOVIĆ

PREGLEDNA DISPOZICIJA
UZDUŽNI I POPREČNI PRESJEK
1:200
1:50

GLAVNI PROJEKAT

2.IV.

AVGUST 1966

174×0.30
P=0.52

MOST PREKO AKUMULACIONOG BAZENA „KOVAČEVO POLJE"

NA DEVIJACIJI PUTA: RIPCI - RUMBOCI

OSNOVA MOSTA

1:200

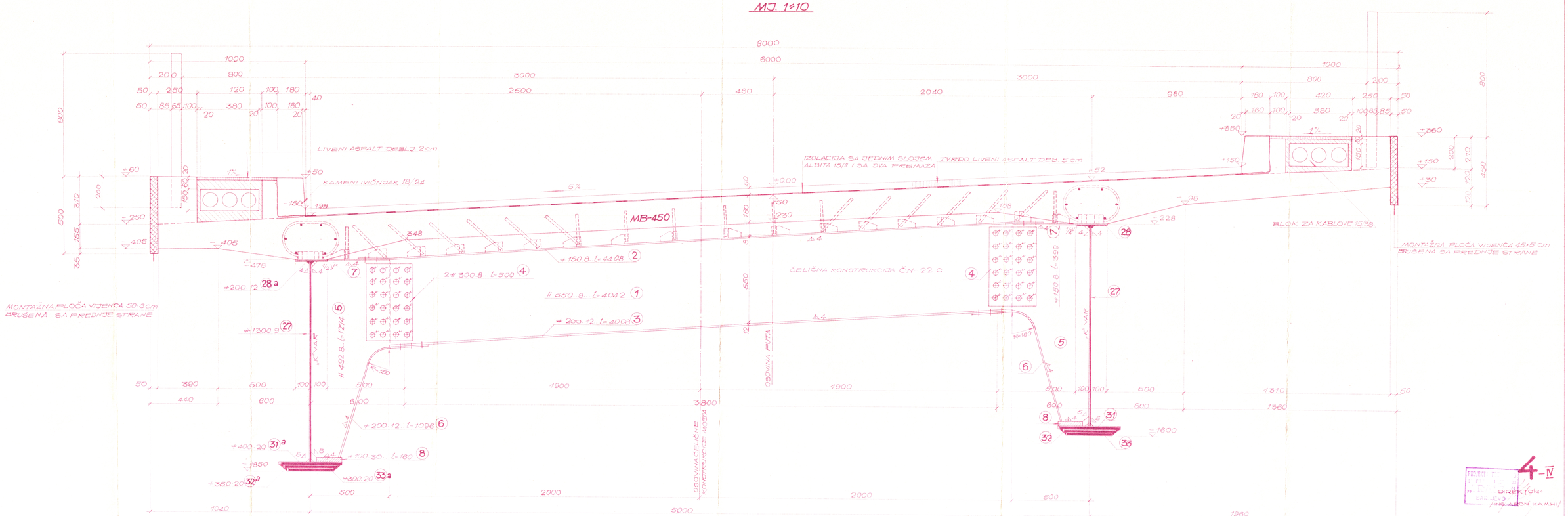
3-IV

PROJEKTOVAO: D.B.B.	ZNAK	BROJ: 704-66	
ZA PROJEKTOVANJE:		OBJEKAT: H.E. „RAMA"	
GRUPA:		NAZIV: MOST BR4 PREKO AKUMULACIJE „KOVAČEVO POLJE" NA PUTU PROZOR - DUVNO	
ING. M. PRŽULJ ING. B. KOBOEVIĆ			
ING. Đ. KOVAČEVIĆ ING. Ž. MARTINČEVIĆ		SADRŽAJ: PREGLEDNA SITUACIJA - OSNOVA MOSTA	R.JED.: 1:200
V.S.T.K. ČUČAK TEH. A. PAVLIĆ		FAZA: GLAVNI PROJEKAT	BR. LIS.: 3.IV
T. FILIPOVIĆ		DATUM: AVGUST 1966	LIST. FORM.: 130×180 = 2340 m²

DIREKTOR
SARAJEVOPROJEKT

POPREČNI PRESJEK U SREDINI RASPONA KONSTRUKCIJA MOSTA

MJ. 1:10



4-IV

DIREKTOR:

704-66

H.E. „RAMA"

GRUPA:

MOST BR. 4. PREKO AKUMULACIJE „KOVAČEVO POLJE" NA PUTU PROZOR-DUVNO

ING. M. PRZULJ
ING. B. KOSOVIĆ
ING. J. KOVAČEVIĆ
ING. Z. MARTINČEVIĆ
V.G.T. K. ČUČAK
TEH. A. PAZLIĆ
M. JELAŠKOVIĆ

NORMALNI POPREČNI PRES. 1:10

GLAVNI PROJEKAT 4.-IV-

AVGUST 1966

2 TEHNIČKI OPIS IDEJNOG RJEŠENJA REKONSTRUKCIJE MOSTA

2.1 Općenito

Budući da su za *Projekt sanacije mosta (2009.)* izvršeni istražni radovi kojima je ustanovljeno da stupovi i upornjaci imaju tek mala oštećenja sa sporim razvojem pogoršanja stanja, da je ispitana tlačna čvrstoća betona upornjaka i stupova iznad projektiranih vrijednosti i da se fizikalna svojstva betona kreću u granicama prihvatljivosti, prilikom odabira idejnog rješenja rekonstrukcije mosta stupovi i upornjaci su zadržani uz mogućnost eventualne nadogradnje – sanacije oštećenih dijelova (površinskog betona izloženog povećanoj koroziji). Stoga se rekonstrukcija mosta odnosi na rekonstrukciju rasponskog sklopa mosta.

Također, prilikom odabira rješenja novog rasponskog sklopa vođeno je računa o svim ograničavajućim parametrima; zadržanim dijelovima konstrukcije, položaju mosta u kružnoj krivini, djelovanju temperature na rasponski sklop, niveleti mosta u odnosu na niveletu ceste, potrebama cestovnog i pješačkog prometa preko mosta.

Uzimajući u obzir sve parametre odabrano je rješenje rasponskog sklopa mosta formiranog od uzdužnih rasponskih nosača, poprečnih nosača iznad oslonaca i kolničke ploče.

Rekonstrukcija rasponskog sklopa globalno obuhvaća potpuno uklanjanje postojeće opreme mosta, kolničkog zastora, armirano betonske kolničke ploče, čeličnih uzdužnih i poprečnih nosača i ležajeva, te njihove zamjene novim konstrukcijskim elementima. Svi novi konstrukcijski elementi proračunati su u skladu s važećim tehničkim propisima i pravilima struke.

U poprečnoj dispoziciji novog rasponskog sklopa usvojen je jedan kolnik s dva vozna traka širine po 3,0 m kao i kod postojećeg mosta, pa tako širina kolnika ceste iznosi 6,0 m. Zajedno sa širinama uzdignutog hodnika (pješačkih staza) na rubovima koji su prošireni s po 1,0 m na 1,45 m, ukupna širina kolnika iznosi 8,90 m. Time je širina mosta povećana za 0,90 m, a tako su ponajviše zadovoljene potrebe pješačkog prometa preko mosta. Poprečni nagib kolnika usvojen je isti kao kod postojećeg mosta, konstantan je i iznosi 5%.

U uzdužnoj dispoziciji novi rasponski sklop podijeljen je na tri dilatacijske cjeline (U1 – S2, S2 – S5, S5 – U2) kako bi se smanjio utjecaj temperature na rasponski sklop, a tako se ujedno, s adekvatnim prijelaznim napravama, osigurala i ˝ugodnija˝ vožnja u odnosu na postojeće stanje sa 7 dilatacijskih cjelina (dilatacije iznad svih oslonaca). Niveleta mosta je u konstantnom padu od 0,51% kao i kod postojećeg mosta.

Ograda postojećeg mosta koja je visine 0,80 m i koja ne zadovoljava kriterije iz smjernica za projektiranje, građenje, održavanje i nadzor na putovima zamijenit će se novom ogradom visine 1,10 m.

Novo rješenje rasponskog sklopa ima zatvoreni sustav odvodnje, sustav sličan kao i kod postojećeg mosta. Voda s kolnika odvodi se slivnicima u odvodne cijevi (tranzitna i lokalne). Na mostu su u svakom uzdignutom hodniku ostavljene po tri PVC cijevi Ø 160 za eventualno provođenje elektro i TK instalacija.

2.2 Nosiva konstrukcija

2.2.1 Rasponski sklop

Uzdužni rasponski nosači

Predviđeni su uskopojasni nosači izvedeni kao predgotovljeni prednapeti nosači. Usvojena su 3 glavna nosača u poprečnoj dispoziciji kolnika, na osnom razmaku od 2,40 m.

Za opterećenje vlastitom težinom i težinom kolničke ploče, nosači su sustava slobodno oslonjene grede. Nakon toga se betonira nastavak nosača nad ležajem, s dijelom kolničke ploče između poprečnih nosača, pa su za ostala opterećenja i djelovanja uzdužni nosači sustava kontinuirane grede. Sprezanje nosača s kolničkom pločom i njihovo kontinuiranje na ležaju vrši se pomoću klasične armature. Sva klasična armatura za preuzimanje negativnih momenata na ležaju smještena je u monolitnom dijelu kolničke ploče.

Budući da je most u kružnoj krivini, duljina predgotovljenih nosača se razlikuje, a sve duljine prikazane su detaljno u nacrtu *Plan polaganja rasponskih nosača*. Visina svih predgotovljenih nosača je 120,0 cm. Poprečni presjek nosača je I oblika, širine donjeg pojasa 60,0 cm i gornjeg 80,0 cm. Širina hrpta je 20,0 cm. Radi potreba sidrenja natega, kontinuiranja (povećani tlačni naponi na donjem rubu) i preuzimanja poprečnih sila, hrbat se uz ležaj postepeno proširuje na 60,0 cm. Donji pojas i hrbat su vertikalni, dok gornji pojas nosača prati poprečni nagib kolnika predmetnog polja.

U proračunu su analizirani mjerodavni rubni i središnji nosači, po jedan koji je najopterećeniji (N4, N7) i po jedan koji je najmanje opterećen (N5, N8). Svi ostali rasponski nosači u poprečnoj dispoziciji armirani su prema armaturi odabranoj za proračunate rasponske nosače. Armatura je usvojena u ovisnosti o vrijednostima maksimalnih reznih sila od stalnog i pokretnog opterećenja u odnosu na vrijednosti maksimalnih reznih sila proračunatih nosača.

Nosači su prednapeti s 3 natege, svaka s odgovarajućim brojem užadi (broj užadi razlikuje se od nosača do nosača i dan je u *Proračun prednapete armature rasponskih nosača*). Uže je isprepleteno od 7 žica

(površina jednog užeta A_1 = 150,0 mm^2). Predviđen je sustav DYWIDAG. Karakteristična vlačna čvrstoća čelika za prednaprezanje iznosi f_{pk} = 1860,0 MPa. Natege su na čelu nosača usidrene pomičnim sidrima.

Nosači se betoniraju na uređenom platou u blizini mosta ili u nekom pogonu, u kvalitetnoj metalnoj oplati. Posebnu pozornost treba posvetiti ispravnoj i preciznoj ugradnji klasične armature i natega, te ispravnoj ugradnji i njezi betona. Beton treba biti kompaktan, dobro zbijen i bez mjesta segregacije. Vanjske plohe betona trebaju biti uzornog izgleda. Najprije iskrojiti, saviti i postaviti armaturu samo za jedan uzdužni nosač.

Nosač se prednapreže kad beton postigne C 35/45 i $E_{cm} \geq$ 33500,0 MPa, tek nakon 28 dana od dana betoniranja. Zahtijeva se visoka čvrstoća i mala deformabilnost betona u vrijeme prednaprezanja jer je on u toj fazi jako naprezan, a nosač ima ˝negativne˝ deformacije (izdizanje). Radove na prednaprezanju mogu obavljati samo za to stručno osposobljene osobe, s ispravnom i atestiranom opremom, prema pravilima prednaprezanja.

Natege treba injektirati odmah po obavljenom konačnom prednaprezanju, na uobičajeni način. Injektiranje treba obaviti stručno i kvalitetno, da se postigne projektirana trajnost (sigurna zaštita od korozije) i sigunost nosača na slom (prionjivost s betonom – kompatibilnost pomaka). Poželjno je da se nosači montiraju odmah nakon prednaprezanja i injektiranja, te dodatno opterete kolničkom pločom, kako bi se što više smanjilo njihovo nepoželjno izdizanje. Montažu treba obaviti stručno i precizno, na uobičajeni način.

Kolnička ploča

Kolnička ploča prati zakrivljenost mosta i ukupne je debljine 20,0 cm. Na mjestu glavnih uzdužnih nosača, s gornjom pojasnicom nosača debljine 10,0 do 15,0 cm ukupna debljina ploče iznosi 30,0 do 35,0 cm. Gornji dio debljine 20,0 cm betonira se na licu mjesta. Radi bolje veze s monolitnim betonom kolničke ploče, gornja ploha rasponskih nosača treba biti što hrapavija.

Prije betoniranja monolitnog dijela kolničke ploče, potrebno je detaljno očistiti gornju površinu nosača, ugraditi potrebnu armaturu i dobro navlažiti podlogu. Gornja ploha monolitnog betona treba biti ravna, glatka i u poprečnom nagibu prema projektu. Prethodno je potrebno geodetski definirati vrh kolničke ploče po širini i duljini objekta.

Na mjestu ugradnje prijelazne naprave u ploči (poprečnom nosaču) treba ostaviti utore prema nacrtima u projektu.

Poprečni nosači

Poprečni nosači omogućavaju prijenos vertikalnih i horizontalnih sila rasponskog sklopa na ležajeve. Oni također povezuju i ukrućuju rasponske nosače.

Visina poprečnih nosača iznad stupova iznosi 128,0 cm, iznad upornjaka U1 143,0 cm, a iznad upornjaka U2 162,60 cm. Širina nosača iznad stupova S1, S3, S4 i S6 iznosi 70,0 cm. Iznad stupova S2 i S5 iznad kojih je izvedena dilatacija rasponske konstrukcije nalaze se po dva poprečna nosača širine po 35,0 cm. Širina poprečnih nosača iznad upornjaka iznosi 40,0 cm.

Vertikalna os poprečnih nosača okomita je na niveletu ceste na tom mjestu. Poprečni nosači betoniraju se zajedno s kolničkom pločom. Prethodno treba izravnati poprečnu armaturu (sidra) po visini uzdužnih nosača, te ugraditi svu potrebnu armaturu poprečnog nosača. Armatura donje zone provlači se kroz otvore u donjem pojasu uzdužnih nosača, dok je armatura gornje zone smještena u monolitnom betonu kolniče ploče.

Oplata nosača se oslanja na naglavnicu stupa (upornjaka).

2.2.2 Stupovi

Budući da se radi o rekonstrukciji rasponskog sklopa mosta, stupovi nisu predmet ovog projekta. Postojeći stupovi su armirano betonski, promjenjivog pravokutnog poprečnog presjeka.

2.2.3 Upornjaci

Budući da se radi o rekonstrukciji rasponskog sklopa mosta, upornjaci nisu predmet ovog projekta. Postojeći upornjaci su izvedeni kao upornjaci s paralelnim krilima.

2.3 Proračun rasponskog sklopa

Za proračun rasponskog sklopa korišten je prostorni model. Svi su proračuni provedeni na strani veće sigurnosti.

Rasponski sklop proračunat je na sljedeća djelovanja:

- stalno opterećenje (vlastita težina)
- dodatno stalno opterećenje
- pokretno opterećenje
- djelovanje vjetra u smjeru konstrukcije
- sila kočenja
- djelovanje jednolike temperature
- djelovanje skupljanja
- izvanredno opterećenje (djelovanje potresa)

Vlastita težina rasponskog sklopa zadana je u software-u SCIA Engineer 20.0 preko zadanih poprečnih presjeka. Ostala opterećenja zadanu su kao površinska, linijska ili koncentrirana opterećenja.

Dodatno stalno opterećenje zadano je dijelom kao površinsko, a dijelom kao linijsko (opterećenje od ograde, cijevi za odvodnju, vijenca).

Pokretno opterećenje zadano je dijelom kao površinsko, a dijelom kao koncentrirane sile. Mjerodavne su sheme opterećenja s glavnim trakom uz rub kolnika. Računato je s više diskontinuiranih položaja vozila duž osi mosta.

Skupljanje betona definirano je preko odgovarajućih koeficijenata. Računato je s jedinstvenim koeficijentom skupljanja za rasponski sklop $\varepsilon_s = 0{,}34‰$.

Jednoliko djelovanje temperature računato je s $\Delta T_1 = \pm 25°C$.

Računsko ubrzanje tla na mjestu predmetnog mosta iznosi a = 0,18g. Most je prosječne važnosti (faktor važnosti $\psi = 1$), a tip tla je A. Faktor ponašanja iznosi q = 1,5 (ograničeno duktilno ponašanje).

Najprije su prikazani osnovni geometrijski podaci modela sa shemama opterećenja. Potom su priloženi rezultati proračuna u grafičkom obliku za sva djelovanja/opterećenja.

Prilikom statičkog proračuna i dimenzioniranja vođeno je računa o odgovarajućim dimenzijama svih presjeka za promatrana djelovanja/opterećenja. Svi presjeci, elementi i objekt kao cjelina imaju dostatnu računsku sigurnost i otpornost.

2.4 Gradiva

Sva potrebna gradiva, te njihovi sastojci, trebaju udovoljavati zahtjevima važećih propisa, normi i pravila struke. Ukratko će se navesti osnovna svojstva i zahtjevi za osnovna gradiva (beton, čelik za armiranje, čelik za prednaprezanje) za glavne konstruktivne elemente.

2.4.1 Beton

Projekt betona za sve konstruktivne elemente i njihove monolitne spojeve, odnosno za sve betone, treba izraditi Izvoditelj i dostaviti ga na suglasnost Projektantu. Projekt betona treba izraditi stručna osoba, detaljno i sveobuhvatno. U njemu treba precizno definirati za svaki element, odnosno za svaki različiti beton:

- fizikalno – mehanička svojstva (kakvoću)
- sastav (mješavinu)
- vodocementni faktor (konzistenciju)
- dodatke (superplastifikatori, ubrzivači, dodaci za prionjivost, dodaci za bubrenje i sl.)
- način proizvodnje, transporta i ugradnje
- način zbijanja (vibriranja)
- njegu
- obradu spojnica (nastavci betoniranja)
- posebne zahtjeve, specifičnosti i sl.

U nastavku će se dati okvirne smjernice i zahtjevi koje treba uvažiti projekt betona, odnosno koje treba poštivati Izvoditelj.

Bridove svih elemenata, osim temelja, koji su između ploha pod kutem $\leq 90^{\circ}$ treba zaobliti ili “skositi”, tako da budu mehanički otporni i postojani. Ivice elemenata trebaju biti precizno izvedene, ravne i u funkciji njihovog estetskog izgleda. U svemu treba poštivati predviđenu geometriju elemenata, te njihov projektirani prostorni položaj. Osobito treba voditi računa o izgledu vanjskih ploha betona. Sve vidljive plohe betona trebaju biti ravne, glatke i ujednačene boje. Posebice treba voditi računa o primjerenom izgledu i geometriji vijenca i ograde, jer o njihovu izgledu ovisi ukupni dojam o kvaliteti izvedbe objekta. Nije dopuštena pojava segregacije u betonu. U slučaju eventualne segregacije nisu dopuštena “krpanja” cementnim mortom. Sanacije takvih ploha treba obaviti stručno, prema posebnim rješenjima. Potrebno je voditi računa o adekvatnoj ugradnji i njezi betona.

Rasponska konstrukcija

- C 35/45 - monolitni dio kolničke ploče
  - poprečni nosači
  - montažni (predgotovljeni) uzdužni nosači
  - nastavak (kontinuitet) uzdužnih nosača iznad ležajeva
  - kolnička ploča između poprečnih nosača

Betonu poprečnih nosača i betonu za kontinuitet uzdužnih nosača dodati sredstvo za prionjivost sa starim betonom, te sredstvo za povećanje volumena.

Vijenac, pješački hodnik, rubnjaci

- C 30/37 - vijenac (agregat Ø ≤ 16,0 mm)
  - pješački hodnik (pješačka staza)
  - rubnjaci

Prijelazne naprave

- C 35/45 - prijelazna naprava (agregat Ø ≤ 16,0 mm; dodatak za prionjivost; dodatak za povećanje volumena)

Smjesa za injektiranje natega

- čvrstoća smjese ≥ 50,0 Mpa
- dodaci za prionjivost, ugradivost i povećanje volumena

2.4.2 Čelik za armiranje

Koristi se čelik B 500B za sve elemente. Zaštitini slojevi betona do armature iznose minimalno 4,50 cm.

Veličinu zaštitnog sloja osigurati dostatnim brojem kvalitetnih razmačnika (distancera). Kvalitetu zaštitnog sloja osigurati kvalitetnom oplatom i ugradnjom betona, te dodacima betonu i ostalim rješenjima prema projektu betona. Veličina i kvaliteta zaštitnog sloja betona presudni su za trajnost objekta. U potpunosti poštivati projektirani raspored i položaj armaturnih šipki, koje trebaju biti nepomične kod betoniranja. Sva upotrijebljena armatura treba imati odgovarajuće ateste o kakvoći.

2.4.3 Čelik za prednaprezanje

Predviđen je sustav prednaprezanja DYWIDAG. Predviđeni čelik je karakteristične vlačne čvrstoće f_{pk} = 1860,0 MPa. Svaka natega ima odgovarajući broj užadi promjera 0,60 inča. Sidra su pomična.

Zaštitni slojevi betona, do zaštitne cijevi kroz koju je provučena užad, iznose oko 8,0 cm. Potrebno je u potpunosti poštivati prostorni položaj natega, što će se osigurati držačima iz betonskog čelika. Prednapeta žica i uređaji za sidrenje trebaju imati ateste o kakvoći. Zahtijeva se ispravno injektiranje natega.

2.5 Oprema i još neka rješenja

2.5.1 Hidroizolacija

Kolnička ploča

Za hidroizolaciju kolničke ploče, predviđena je kvalitetna jednoslojna hidroizolacija iz zavarenih bitumenskih traka debljine 10,0 mm. Traka treba biti otporna prema temperaturnim promjenama, s postojanosti do temperature od + 150°C. Treba imati bitumenizirani uložak od poliesterskog filca koji traci daje veliku tlačnu i vlačnu čvrstoću. Obostrano stabilizirani i elastomerom oplemenjeni sloj traci treba dati fleksibilnost i veliku postojanost na starenje.

Podloga za izradu hidroizolacije treba biti potpuno suha, ravna i čista. Prije zavarivanja bitumenskih traka, treba izvesti epoksidni premaz.

Zavarivanje se obavlja plinskim plamenikom tako da se rastali bitumenska masa ravnomjerno po čitavoj širini omota, stvarajući tzv. talivi bitumenski klin između omota i podloge. Rolanjem omota postiže se homogena veza s podlogom, odnosno međuslojno. Preklopi traka trebaju iznositi ≥ 10,0 cm. Izvedbu trebaju obaviti za to stručno osposobljene osobe, prema pravilima izvođenja hidroizolacija.

Uz slivnike hidroizolacija je zavarena na donji fiksni dio slivnika, omogućavajući otjecanje procjedne vode kroz asfalt u slivnik. Osobito treba paziti na ispravno rješenje ovog detalja, kako bi spoj hidroizolacije i slivnika bio potpuno nepropusan, odnosno da ne dođe do procijeđivanja vode na spoju sa slivnikom.

Uz prijelazne naprave hidroizolacija je riješena prema detalju prijelazne naprave. Izvedbi hidroizolacije treba posvetiti maksimalnu pažnju, jer o njenoj kvaliteti direktno ovisi trajnost objekta. Za vrijeme izvođenja hidroizolacije nužna je stalna nazočnost nadzornog inženjera.

2.5.2 Zastor

Raponska konstrukcija

Zastor na kolničkoj ploči rasponske konstrukcije formira zaštitni sloj asfaltbetona AB – 8 debljine 3,0 cm, ugrađen iznad hidroizolacije (kao njena zaštita), te habajući sloj AB – 11S debljine 4,0 cm. U zaštitnom i habajućem sloju kao vezivo primijeniti modificirani bitumen PmB 50 – 90S. Kakvoća, kontrola i izvedba navedenih slojeva u svemu trebaju zadovoljavati važeće norme i pravila struke.

Na spojevima zastora s ivičnjakom, slivnicima i prijelaznim napravama, u zastoru ostaviti reške dubine sve do hidroizolacije i širine 2,0 cm. Reške zaliti masom za zalijevanje reški, koja mora biti trajnoelastična i vodonepropusna.

2.5.3 Prijelazne naprave

Predviđene su uobičajene vodonepropusne prijelazne naprave, koje udovoljavaju svim tehničkim zahtjevima, s mogućnošću dilatiranja $\pm$ 80,0 mm. Tip naprave odabran je na temelju preciznog proračuna maksimalnih očekivanih dilatiranja rasponske konstrukcije, na strani veće sigurnosti.

Za ugradnju naprava potrebno je u kolničkoj ploči iznad upornjaka, te u kolničkoj ploči iznad stupova iznad kojih je ostvaren diskontinuitet rasponske konstrukcije ostaviti utore, a prema crtežima u projektu, što treba imati na umu kod betoniranja ovih elemenata. Detalj prijelazne naprave prikazan je na nacrtu u projektu.

Prijelazne naprave treba ugraditi što kasnije, kad se obavi što veći iznos deformacija skupljanja. Ugradnju izvršiti kod srednje temperature od oko + 10°C (do 15°C), tako da mogućnost dilatiranja bude $\pm$ 80,0 mm.

Ugradnja prijelazne naprave treba biti kvalitetna, tako da ona bude funkcionalna, trajna, vodonepropusna i što manje "primjetna" u vožnji. Ugradnju obaviti pod stručnim nadzorom proizvođača naprave, sukladno ovom projektu i radioničkim nacrtima isporučitelja.

2.5.4 Ležajevi

Predviđeni su klasični elastomerni ležajevi koji također trebaju udovoljavati svim tehničkim zahtjevima. Svaki se poprečni nosač oslanja preko tri ležaja na stup odnosno upornjak. Na stup S2 i S5 oslanjanju se 2x3 ležaja. Predviđeni su tlocrtno okrugli ležajevi Ø 350 i Ø 500 mm. Visine ležajeva, ovisno o računskoj veličini dilatiranja rasponske konstrukcije, iznose 84,0 mm, 99,0 mm, 129,0 mm, 144,0 mm.

Ležajevi su oslonjeni na uzdignute betonske klupice, čime je omogućeno umetanje preša ispod rasponskih nosača, njihovo odizanje i izmjena ležajeva.

Elastomerni ležajevi omogućavaju slobodno dilatiranje rasponske konstrukcije u svim smjerovima. Elastomerni ležajevi, zbog svoje male krutosti, značajno "omekšavaju" konstrukciju vijadukta i smanjuju potresne sile.

Na temelju provedenih proračuna, može se zaključiti da elastomerni ležajevi mogu pouzdano prenositi sve potresne sile, sile vjetra i kočne sile s rasponske konstrukcije na donji ustroj.

Pristup ležajevima je moguć kroz prostor između naglavnice i poprečnih nosača.

U slučaju potrebe zamjene ležajeva umeću se preše ispod poprečnog nosača kontinuirano po duljini, ravnomjerno se odiže čitav poprečni nosač, te mijenja dotrajali ležaj.

2.5.5 Vijenac, pješački hodnik

Vijenac

Visina vijenca pri bočnom pogledu na vijadukt iznosi 50,0 cm. Ova ploha treba biti vertikalna u prostoru. Vijenac je formiran od predgotovljenih montažnih elemenata duljine 50,0 cm, koji se betoniraju u kvalitetnoj metalnoj oplati. Osobitu pozornost treba posvetiti ugradnji i njezi betona, koji treba biti uzornog izgleda.

Prije same montaže elemenata, potrebno je izravnati rub kolničke ploče u širini od oko 10,0 cm i visini od oko 0,0 – 3,0 cm, a na temelju prethodnih geodetskih izmjera. Visina izravnanja prilagođena je potrebi vertikalnog položaja vanjske plohe vijenca. Nužno je visinski precizno izvesti ovu "pasicu", jer ona definira vrh vijenca. Elementi se polažu na razmaku od 1,0 cm. Monolitizacija elemenata vrši se u sklopu betoniranja pješačkog hodnika.

Dilatacija između elemenata vijenca na mjestu prijelazne naprave (razmak elemenata odgovara potrebama ugradnje naprave) zatvara se pocinčanim čeličnim limom debljine 3,0 mm.

Još se jednom skreće pažnju na potrebu uzornog izgleda vijenca, jer o njemu umnogome ovisi ukupan dojam o kvaliteti izvedbe čitavog objekta. Linija vijenca treba u potpunosti pratiti oblik nivelete objekta.

Pješački hodnik

Pješački hodnik betonira se nakon izvedbe tanjurastih sidara i montaže elemenata vijenca, te ugradnje potrebne armature i PVC cijevi za provođenje elektro i TK instalacija. Predviđen je beton C 30/37, koji treba biti dobro vibriran.

Gornja ploha hodnika treba biti u projektiranom nagibu, te posebno obrađena (u dogovoru s Projektantom) tako da bude otporna na habanje i klizanje.

Rubni dio pješačkog hodnika prema kolniku (˝ivičnjak˝) izvodi se naknadno od kvalitetnijeg betona. On treba biti otporan na udar vozila.

2.5.6 Odvodnja

Detaljna rješenja odvodnje dat će se u izvedbenom projektu, a u nastavku su prikazana samo glavna rješenja odvodnje.

Predviđen je zatvoreni sustav odvodnje kolnika. Naime, vode se s kolnika prihvaćaju u odvodne cijevi, te na kraju objekta (iza krila) odvode u sabirnu šahtu (obrađena u posebnom projektu odvodnje trase). Duž objekta prolazi odvodna cijev Ø 200.

Slivnici su položeni na nižoj strani kolnika, 25,0 cm od rubnjaka. Točne lokacije slivnika dane su u nacrtu *Tlocrt mosta*. Slivnik se sastoji od donjeg fiksnog dijela (koji se ugrađuje u kolničku ploču), gornjeg fiksnog dijela (koji se ugrađuje prije izvedbe zastora) i kišne rešetke. Tlocrtne dimenzije kišne rešetke su 40,0 x 50,0 cm, a promjer vertikalne odvodne cijevi je Ø 120 mm. Slivnik omogućava prihvat površinskih i procjednih voda. Treba biti kvalitetan, trajan, te precizno i ispravno ugrađen. Na lokacijama slivnika treba pažljivo i precizno izbušiti otvor u gornjem pojasu glavnog uzdužnog nosača prema projektu, te ugraditi donji (fiksni) dio slivnika prema predviđenom visinskom položaju. Ovaj dio slivnika treba biti fiksiran kod betoniranja monolitnog dijela ploče. U monolitnom betonu kolničke ploče izvesti padove prema slivniku sukladno detalju u projektu.

Hidroizolaciju kolničke ploče zalijepiti na donji dio slivnika tako da je spriječeno procijeđivanje vode kroz kolničku ploču oko slivnika, odnosno da se omogući ispravno ulijevanje procjednih voda u slivnik.

Kolnički zastor oko slivnika treba oblikovati tako da se postignu predviđeni padovi. Oko slivnika ostaviti rešku do visine hidroizolacije, koju treba naknadno zaliti masom za zalijevanje.

Voda iz slivnika odvodi se u sabirnu cijev, koja prati zakrivljenost ruba kolnika. Vješanje cijevi o ploču izvršeno je na uobičajeni način. Za vješanje cijevi treba obilježiti točan položaj vješaljki, izbušiti rupe u pojasnici rasponskog nosača te kolničkoj ploči, te visinski fiksirati svaku vješaljku. Cijev je bočno pridržana za glavne nosače. Svi čelični elementi za vješanje i bočno učvršćenje cijevi trebaju biti vruće pocinčani (t = 120 μm).

Cijevi za odvodnju predviđene su od centrifugalnog poliestera i trebaju udovoljavati svim tehničkim zahtjevima. Spojevi elemenata moraju biti vodonepropusni i omogućavati postizanje zahtijevane zakrivljenosti cjevovoda (objekta). Na svim mjestima dilatacija rasponske konstrukcije cijev treba imati specijalni element koji prati dilatiranje konstrukcije.

Ugradnju slivnika i montažu cijevi treba obaviti stručno i precizno, odnosno čitava odvodnja treba biti funkcionalna i postojana.

2.5.7 Vođenje elektro i TK instalacija

Eventualni elektro i TK kabeli unutar PVC cijevi trebaju biti ˝opušteni˝ (ne napeti), tako da bez naprezanja mogu pratiti dilatiranja rasponske konstrukcije.

Revizijska okna za instalacije ispred upornjaka nisu predmet ovog projekta.

2.5.8 Ograda

Predviđena je klasična, racionalna metalna ograda visine 1,10 m s horizontalnim prečkama i vertikalnim masivnim stupcima na razmaku od oko 0,75 m. Svi su elementi iz kvadratičastih cijevi, međusobno zavareni. Ograda je podijeljena u samostalne dilatacijske cjeline, s adekvatnim rješenjima na mjestu dilatacija rasponske konstrukcije. Stupci ograde su vertikalni u prostoru, a prečke prate tlocrtni i visinski položaj nivelete.

Svi dijelovi ograde su vruće pocinčani (t = 120 μm) i obojani završnom bojom po izboru Projektanta.

Osobito treba paziti na preciznu izvedbu ograde, jer o njenoj izvedbi umnogome ovisi dojam o kvaliteti izvedbe čitavog objekta.

2.5.9 Uređenje okoliša

Nakon rekonstrukcije predmetnog objekta, potrebno je izvršiti sanaciju okoliša gradilišta kako bi se građevina što bolje uklopila u postojeći prirodni ambijent. Na taj bi se način smanjio osjećaj devastacije

okoliša, te udovoljilo ekološkim aspektima. Zahvaćeni i devastirani okoliš potrebno je biološki sanirati. Prilikom sanacije okoliša gradilišta, posebnu pozornost potrebno je obratiti na sljedeće:

- zatrpati sve udubine materijalom kao na okolnom terenu
- sve putne prilaze gradilištu urediti prema vizualnim zahtjevima okoliša, a one puteve koji trajno ostaju u funkciji sanirati i urediti sukladno potrebama
- prethodno oformljene deponije i pozajmišta urediti i sanirati kako bi se u što većoj mjeri uklopili u prirodni okoliš, a u što manjoj mjeri ugrozili susjedne građevine
- sve privremene građevine, opremu gradilišta, neutrošeni materijal, otpad i slično treba ukloniti, a predmetno zemljište adekvatno sanirati
- kompletnu zonu, devastiranu zahvatom, dostatno urediti

2.5.10 Probno opterećenje

Prije stavljanja objekta u uporabu, potrebno je izvršiti probno ispitivanje glavne rasponske konstrukcije objekta, a sukladno važećim propisima. Ispitivanja treba obaviti prema prethodno izrađenom programu, od strane mjerodavne institucije. Svrha probnog ispitivanja je utvrđivanje ponaša li se izvedena konstrukcija u skladu s projektiranim stanjem. U tom smislu, nužno je utvrđivanje stanja pomaka (deformacija) i naprezanja tipičnih glavnih rasponskih nosača objekta, te utvrđivanje dinamičkih karakteristika dilatacijskih jedinica.

2.5.11 Održavanje objekta

Objekt se treba održavati u stanju projektom predviđene sigurnosti i funkcionalnosti, a sukladno odredbama odgovarajućih zakona, normativa i pravila struke. Prije puštanja objekta u uporabu, mora se izvršiti detaljan vizualni pregled objekta i nulto mjerenje stanja elemenata prema kojem će se tijekom uporabe kontrolirati deformacije. Kontrolni pregledi ne smiju biti duži od 2 godine. Pri svakom pregledu posebnu pozornost posvetiti snimanju možebitnih pukotina i zona drobljenja betona, te svih drugih oštećenja i deformacija bitnih za sigurnost konstrukcije. Ako se vizualnim pregledom stanja konstrukcije uoče promjene i defekti koji mogu umanjiti ili ugroziti sigurnost objekta u uporabi, treba odmah izmjeriti deformacije glavnih elemenata pod stalnim opterećenjem. Na osnovu povećanja deformacija u odnosu na početno stanje, treba utvrditi eventualno smanjenje sigurnosti i propisati daljnje mjere za održavanje projektirane i propisane sigurnosti.

Tekućim (kontrolnim) pregledima potrebno je, između ostalog, kontrolirati:

- stanje pukotina, progiba/deformacija (slijeganja) i eventualna oštećenja rasponske konstukcije, stupova i upornjaka (sa svim dijelovima)
- stanje zaštitnog sloja armature na vidljivim plohama armiranobetonskih elemenata
- stanje i funkcioniranje ležajeva
- stanje i funkcioniranje sustava odvodnje
- stanje zastora kolnika i stupanj ugroženosti hidroizolacije kolničke ploče
- stanje i funkcioniranje prijelaznih naprava
- stanje ograde
- stanje svih instalacija
- stanje svih čeličnih elemenata objekta
- deformabilnost (slijeganje) kolnika ceste na nasipu ispred prijelaza na rasponsku konstrukciju i sl.

Sve uočene nedostatke i oštećenja potrebno je što hitnije otkloniti, kako bi se postiglo projektirano stanje, odnosno povećala sigurnost, trajnost i funkcionalnost objekta. Da bi se što više smanjili troškovi održavanja objekta i povećala njegova uporabna vrijednost, odabrana su takva rješenja, materijali i oprema koji imaju dostatnu kvalitetu i trajnost.

PRORAČUN RASPONSKOG SKLOPA

3 RAZRED IZLOŽENOSTI I TLAČNE ČVRSTOĆE BETONA, DEBLJINA ZAŠTITNOG SLOJA

Uvjeti okoliša: vanjski element

Razred izloženosti:

Tablica 1. Razred izloženosti prema HRN EN 206

Oznaka razreda	Opis okoline	Obavijesni primjeri moguće pojave razreda izloženosti
2	**Korozija uzrokovana karbonatizacijom.**	
XC4	Izmjenično vlažna i suha.	Površina betona u dodiru s vodom.
5	**Korozija uzrokovana smrzavanjem i odmrzavanjem sa ili bez soli za odmrzavanje.**	
XF4	Umjerena zasićenost vodom sa solima za odmrzavanje.	Vertikalne površine betona cestovnih konstrukcija izložene smrzavanju i solima za odmrzavanje iz zraka.

Najmanji potrebni razred tlačne čvrstoće betona:

Tablica 2. Preporučljive granične vrijednosti sastava i svojstava betona

Razred izloženosti	Max. v/c omjer	Min. razred čvrstoće	Min. količina cementa (kg/m^3)	Min. količina zraka (%)	Drugi zahtjevi
Korozija karbonatizacijom					
XC4	0,50	C 30/37	300	-	
Smrzavanje i odmrzavanje					
XF2	0,55	C25/30	300	4,0 [a]	Agregat prema normi EN 12620 s dovoljnom otpornošću na smrzavanje.

a) Kada beton nije aeriran, ponašanje betona treba ispitivati prema prikladnoj metodi u usporedbi s betonom kojemu je otpornost na smrzavanje za relevantni razred izloženosti dokazana.

Odabrani razred tlačne čvrstoće betona: C 35/45

Najmanja debljina zaštitnog sloja:

Čelik za armiranje

Ovisno o razredima agresivnog djelovanja okoliša (korozija):	$c_{min} = 25{,}0$ mm
Kod mostova za rasponski sklop:	$c_{min} = 40{,}0$ mm
Siguran prijenos sila:	$c_{min} = d_{s,max} = 25{,}0$ mm
Nazivna veličina zaštitnog sloja:	$c_{nom} = c_{min} + \Delta c = 40{,}0 + 5{,}0 = 45{,}0$ mm

Čelik za prednaprezanje

Ovisno o razredima agresivnog djelovanja okoliša (korozija):	$c_{min} = 30{,}0$ mm
Siguran prijenos sila:	$c_{min} = d_{duct} = 80{,}0$ mm
Nazivna veličina zaštitnog sloja:	$c_{nom} = c_{min} + \Delta c = 80{,}0 + 0 = 80{,}0$ mm

4 GRADIVA

Beton

Odabrani razred tlačne čvrstoće betona: C 35/45

Karakteristična tlačna čvrstoća valjka: $f_{ck} = 35{,}0\ N/mm^2$

Proračunska tlačna čvrstoća valjka: $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 35/1{,}5 = 23{,}33\ N/mm^2 = 2{,}33\ kN/cm^2$

Srednja osna vlačna čvrstoća: $f_{ctm} = 3{,}20\ N/mm^2$

Sekantni modul elastičnosti: $E_c = 33500{,}0\ N/mm^2$

Čelik za armiranje

Naziv i oznaka čelika: šipka nHRN EN 10080-3 – B500B – Ø·L

Karakteristična granica popuštanja: $f_{yk} = 500{,}0\ N/mm^2$ (Re)

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

Karakteristična vlačna čvrstoća: $f_{tk} = 540{,}0\ N/mm^2$ (Rm)

Razred duktilnosti: razred (B), visoka duktilnost (H)

Modul elastičnosti: $E_s = 200000{,}0\ N/mm^2$

Čelik za prednaprezanje

Oznaka užeta: nHRN EN 10138-3 – Y 1860 S7-16,0-A

Kvaliteta čelika: 1580/1860

Karakteristično naprezanje čelika pri 0,1%-tnoj zaostaloj deformaciji: $f_{p0,1k} = 1580{,}0\ N/mm^2$

Karakteristična vlačna čvrstoća: $f_{pk} = 1860{,}0\ N/mm^2$

Modul elastičnosti: $E_k = 195000{,}0\ N/mm^2$

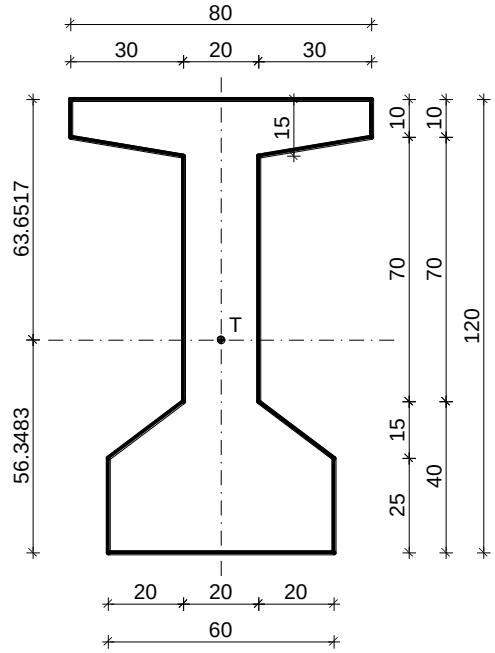
Duktilnost: visoka

Relaksacija: vrlo niska

5 PRORAČUN RASPONSKIH NOSAČA PRIJE KONTINUIRANJA – 1. FAZA

5.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača

Poprečni presjek rasponskog nosača u polju



Slika 13. Presjek u polju

Geometrijske karakteristike proračunavaju se bez uključenja armature i bez odbitka rupa za kablove.

Geometrijske karakteristike presjeka očitane su u software-u AutoCAD 2021 naredbom ˝massprop˝.

$A = 0{,}4450\ m^2$ (površina poprečnog presjeka)

$\rightarrow g_1 = A \cdot \gamma_{AB} = 0{,}4450 \cdot 25{,}5 = 11{,}35\ kN/m'$

$y_g = 0{,}6365\ m$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

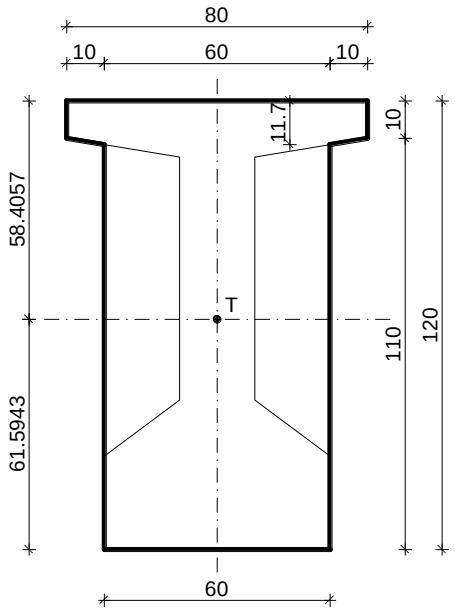
$y_d = 0{,}5635\ m$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

$I_y = 0{,}0757\ m^4$ (moment inercije s obzirom na težište presjeka)

$$W_g = \frac{I_y}{y_g} = \frac{0{,}0757}{0{,}6365} = 0{,}1189\ m^3$$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$$W_d = \frac{I_y}{y_d} = \frac{0{,}0757}{0{,}5635} = 0{,}1343\ m^3$$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

Poprečni presjek rasponskog nosača uz ležaj



Slika 14. Presjek uz ležaj

Geometrijske karakteristike proračunavaju se bez uključenja armature i bez odbitka rupa za kablove.

Geometrijske karakteristike presjeka očitane su u software-u AutoCAD 2021 naredbom ˝massprop˝.

$A = 0{,}7417\ m^2$ (površina poprečnog presjeka)

$\rightarrow g_1 = A \cdot \gamma_{AB} = 0{,}7417 \cdot 25{,}5 = 18{,}91\ kN/m'$

$y_g = 0{,}5841\ m$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

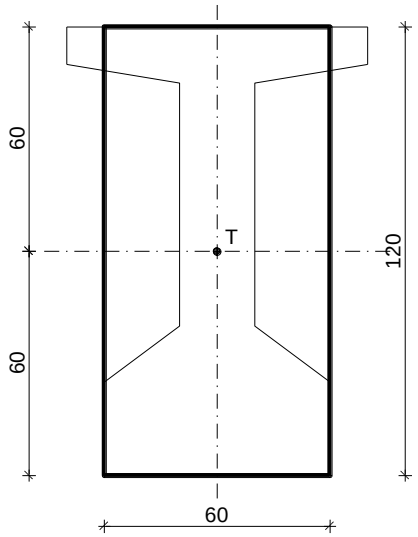
$y_d = 0{,}6159\ m$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

$I_y = 0{,}0927\ m^4$ (moment inercije s obzirom na težište presjeka)

$$W_g = \frac{I_y}{y_g} = \frac{0{,}0927}{0{,}5841} = 0{,}1587\ m^3$$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$$W_d = \frac{I_y}{y_d} = \frac{0{,}0927}{0{,}6159} = 0{,}1505\ m^3$$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

Poprečni presjek rasponskog nosača na kraju



Slika 15. Presjek na kraju

Geometrijske karakteristike proračunavaju se bez uključenja armature i bez odbitka rupa za kablove.

Geometrijske karakteristike presjeka očitane su u software-u AutoCAD 2021 naredbom ˝massprop˝.

$A = 0{,}7200\ \mathrm{m}^2$ (površina poprečnog presjeka)

$\rightarrow g_1 = A \cdot \gamma_{AB} = 0{,}7200 \cdot 25{,}5 = 18{,}36\ \mathrm{kN/m'}$

$y_g = 0{,}6000\ \mathrm{m}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

$y_d = 0{,}6000\ \mathrm{m}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

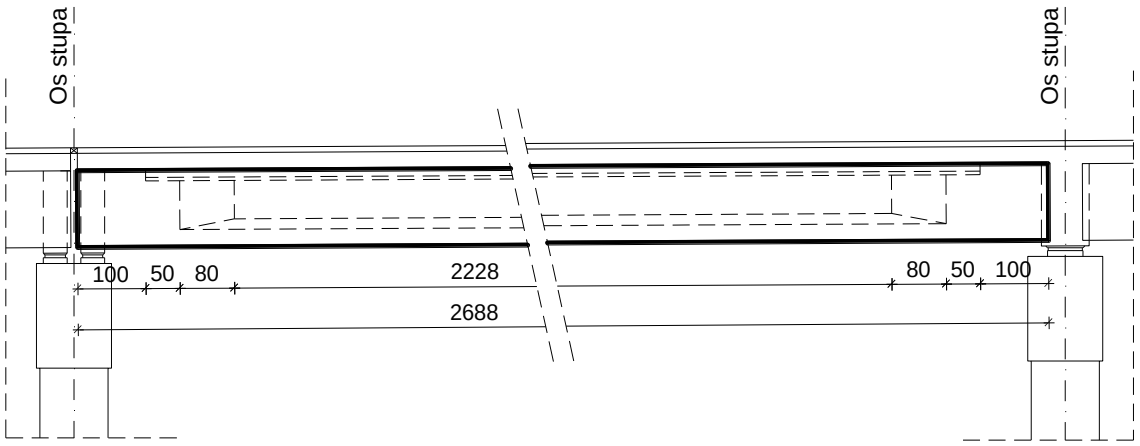
$I_y = 0{,}0864\ \mathrm{m}^4$ (moment inercije s obzirom na težište presjeka)

$$W_g = \frac{I_y}{y_g} = \frac{0{,}0864}{0{,}6000} = 0{,}1440\ \mathrm{m}^3$$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$$W_d = \frac{I_y}{y_d} = \frac{0{,}0864}{0{,}6000} = 0{,}1440\ \mathrm{m}^3$$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

5.2 Prosječna vlastita težina rasponskog nosača

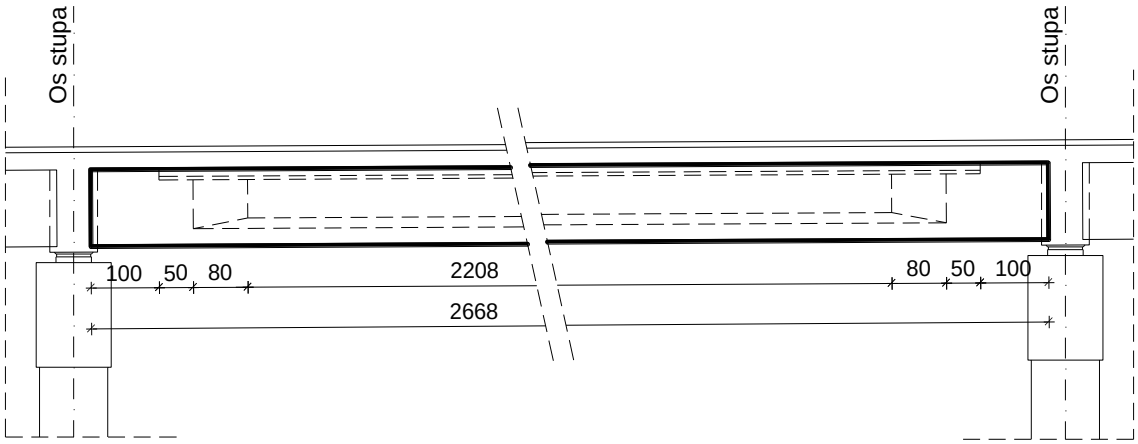
Rubni rasponski nosači



Slika 16. Uzdužni nosač između stupova (polje 2, 3, 5, 6)

$$G_{sr} \cong 11{,}35 \cdot 22{,}28 + 2 \cdot \frac{(11{,}35 + 18{,}91)}{2} \cdot 0{,}80 + 2 \cdot 18{,}91 \cdot 0{,}50 + 2 \cdot 18{,}36 \cdot 1{,}0 = 332{,}72 \text{ kN}$$

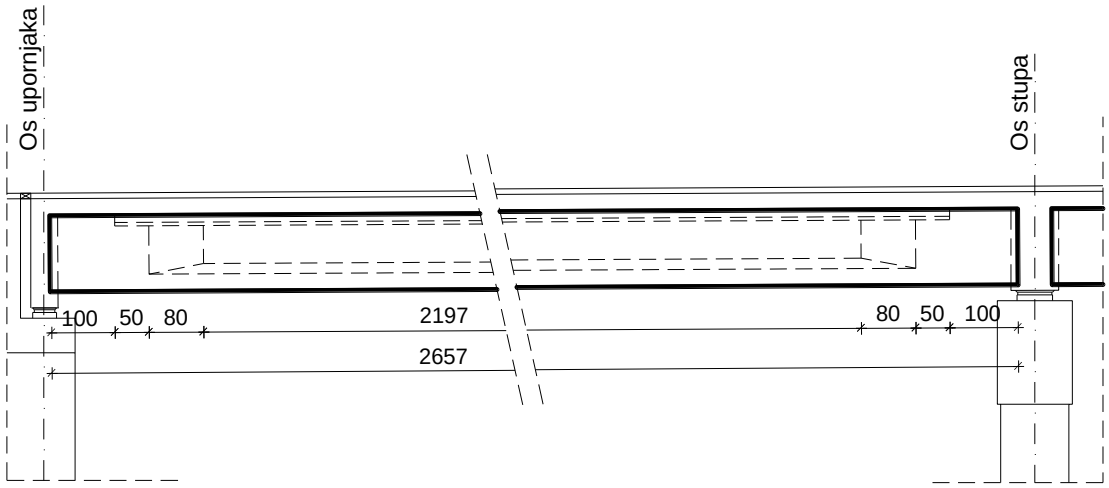
$$g_n \cong \frac{G_{sr}}{l_{uk}} = \frac{332{,}72}{26{,}88} = 12{,}40 \text{ kN/m'}$$ (prosječna težina rasponskog nosača)



Slika 17. Uzdužni nosač između stupova (polje 4)

$$G_{sr} \cong 11{,}35 \cdot 22{,}08 + 2 \cdot \frac{(11{,}35 + 18{,}91)}{2} \cdot 0{,}80 + 2 \cdot 18{,}91 \cdot 0{,}50 + 2 \cdot 18{,}36 \cdot 1{,}0 = 330{,}45 \text{ kN}$$

$$g_n \cong \frac{G_{sr}}{l_{uk}} = \frac{322{,}73}{26{,}68} = 12{,}40 \text{ kN/m'}$$ (prosječna težina rasponskog nosača)

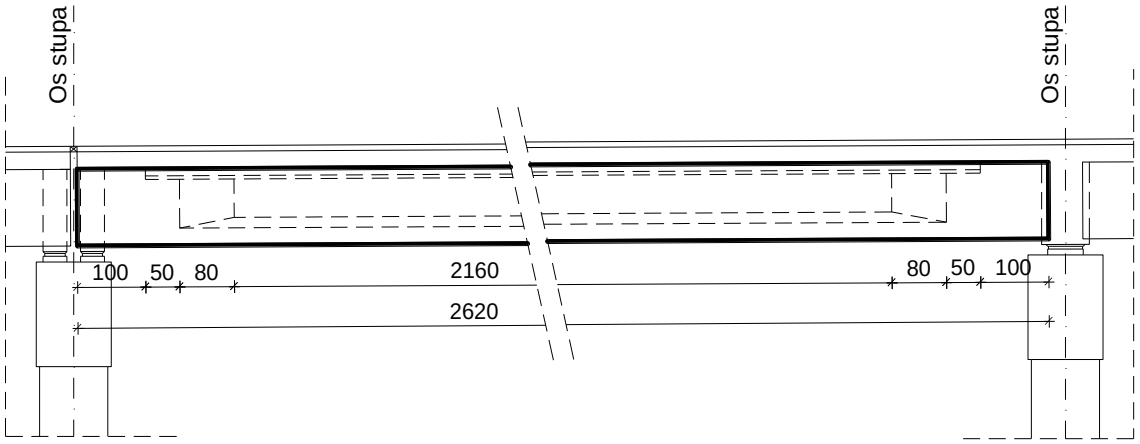


Slika 18. Uzdužni nosač između upornjaka i stupa (polje 1, 7)

$$G_{sr} \cong 11{,}35 \cdot 21{,}97 + 2 \cdot \frac{(11{,}35 + 18{,}91)}{2} \cdot 0{,}80 + 2 \cdot 18{,}91 \cdot 0{,}50 + 2 \cdot 18{,}36 \cdot 1{,}0 = 329{,}20 \text{ kN}$$

$$g_n \cong \frac{G_{sr}}{l_{uk}} = \frac{329{,}20}{26{,}57} = 12{,}40 \text{ kN/m'}$$ (prosječna težina rasponskog nosača)

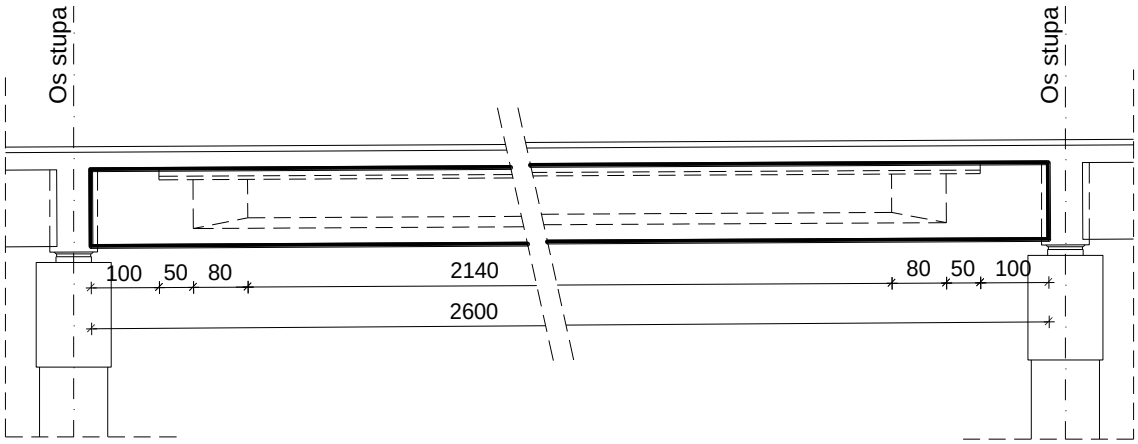
Središnji rasponski nosači



Slika 19. Uzdužni nosač između stupova (polje 2, 3, 5, 6)

$$G_{sr} \cong 11{,}35 \cdot 21{,}60 + 2 \cdot \frac{(11{,}35 + 18{,}91)}{2} \cdot 0{,}80 + 2 \cdot 18{,}91 \cdot 0{,}50 + 2 \cdot 18{,}36 \cdot 1{,}0 = 325{,}0 \text{ kN}$$

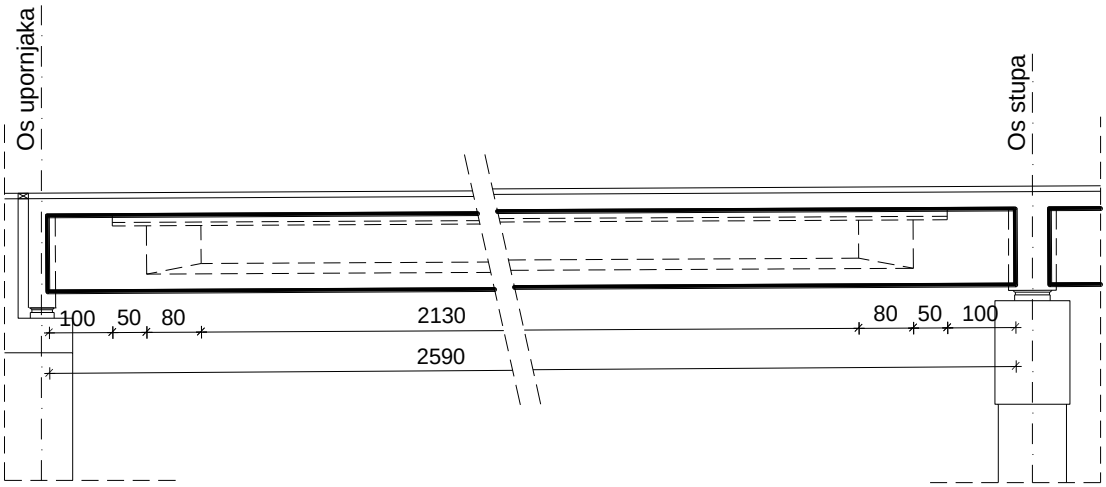
$$g_n \cong \frac{G_{sr}}{l_{uk}} = \frac{325{,}0}{26{,}20} = 12{,}40 \text{ kN/m}'$$ (prosječna težina rasponskog nosača)



Slika 20. Uzdužni nosač između stupova (polje 4)

$$G_{sr} \cong 11{,}35 \cdot 21{,}40 + 2 \cdot \frac{(11{,}35 + 18{,}91)}{2} \cdot 0{,}80 + 2 \cdot 18{,}91 \cdot 0{,}50 + 2 \cdot 18{,}36 \cdot 1{,}0 = 322{,}73 \text{ kN}$$

$$g_n \cong \frac{G_{sr}}{l_{uk}} = \frac{322{,}73}{26{,}0} = 12{,}40 \text{ kN/m}'$$ (prosječna težina rasponskog nosača)



Slika 21. Uzdužni nosač između upornjaka i stupa (polje 1, 7)

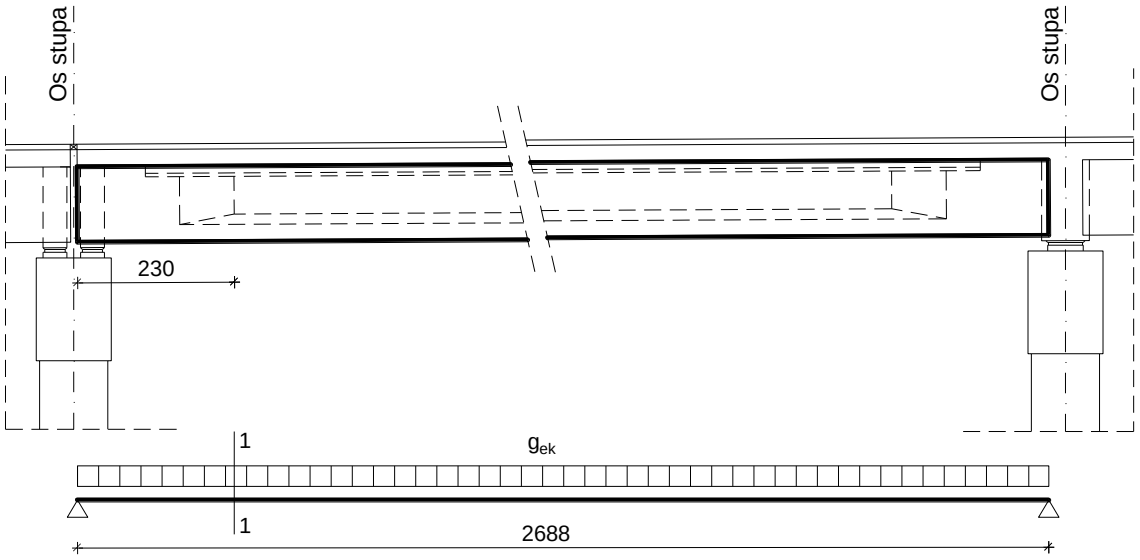
$$G_{sr} \cong 11{,}35 \cdot 21{,}30 + 2 \cdot \frac{(11{,}35 + 18{,}91)}{2} \cdot 0{,}80 + 2 \cdot 18{,}91 \cdot 0{,}50 + 2 \cdot 18{,}36 \cdot 1{,}0 = 321{,}59 \text{ kN}$$

$$g_n \cong \frac{G_{sr}}{l_{uk}} = \frac{321{,}59}{25{,}90} = 12{,}40 \text{ kN/m'}$$ (prosječna težina rasponskog nosača)

5.3 Rezne sile i reakcije od stalnog opterećenja

5.3.1 Rezne sile i reakcije od vlastite težine rasponskog nosača

Rubni rasponski nosač (L = 26,88 m)



Slika 22. Ekvivalentno opterećenje (polje 2, 3, 5, 6)

$g_{ek} = g_n = 12{,}40\ \text{kN/m}'$

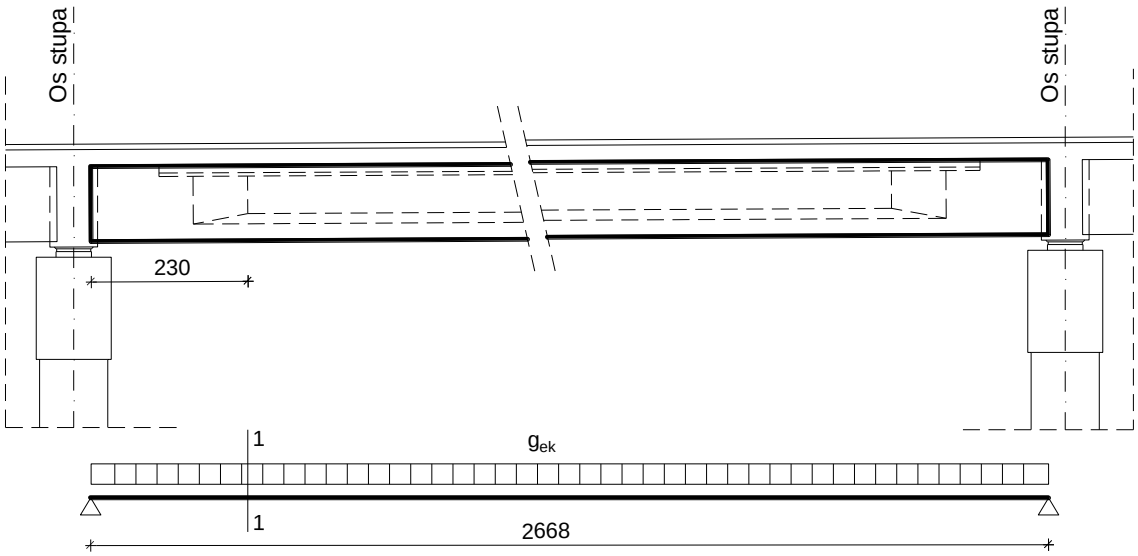
$$R_{g1}^{A} = R_{g1}^{B} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}88}{2} = 166{,}66\ \text{kN}$$

$$M_{g1}^{l/2} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}88^2}{8} = 1119{,}93\ \text{kNm}$$

$$V_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} - g_{ek} \cdot l_{1-1} = 166{,}66 - 12{,}40 \cdot 2{,}30 = 138{,}14\ \text{kN}$$

$$M_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{ek} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 166{,}66 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}40 \cdot 2{,}30^2}{2} = 350{,}52\ \text{kNm}$$

Rubni rasponski nosač (L = 26,68 m)



Slika 23. Ekvivalentno opterećenje (polje 4)

$$g_{ek} = g_n = 12{,}40 \text{ kN/m}'$$

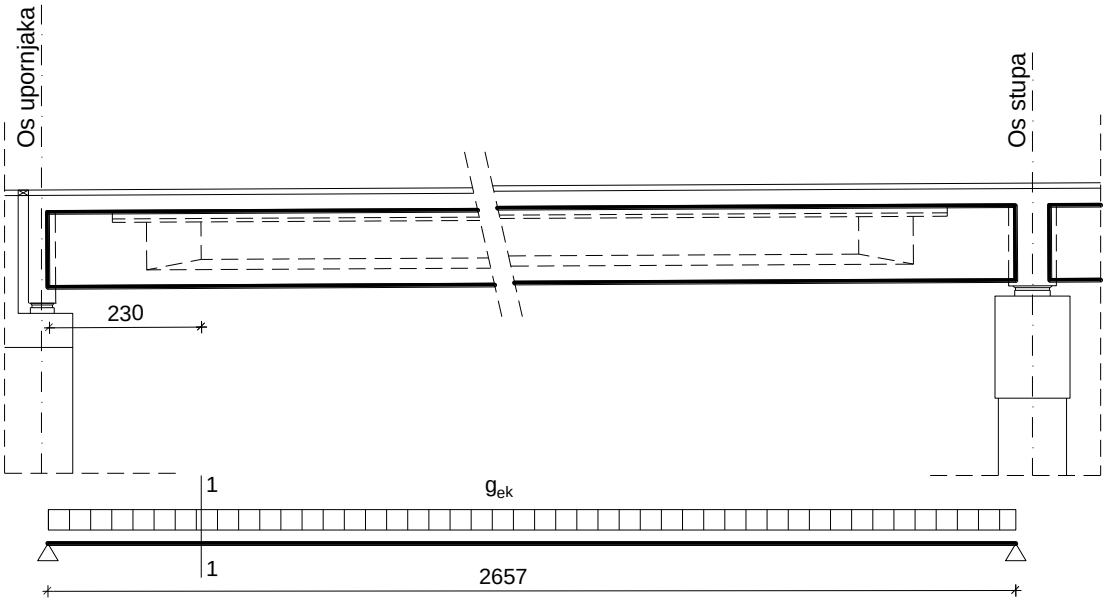
$$R_{g1}^{A} = R_{g1}^{B} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}68}{2} = 165{,}42 \text{ kN}$$

$$M_{g1}^{l/2} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}68^2}{8} = 1103{,}32 \text{ kNm}$$

$$V_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} - g_{ek} \cdot l_{1-1} = 165{,}42 - 12{,}40 \cdot 2{,}30 = 136{,}90 \text{ kN}$$

$$M_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{ek} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 165{,}42 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}40 \cdot 2{,}30^2}{2} = 347{,}67 \text{ kNm}$$

Rubni rasponski nosač (L = 26,57 m)



Slika 24. Ekvivalentno opterećenje (polje 1, 7)

$$g_{ek} = g_n = 12{,}40 \text{ kN/m}'$$

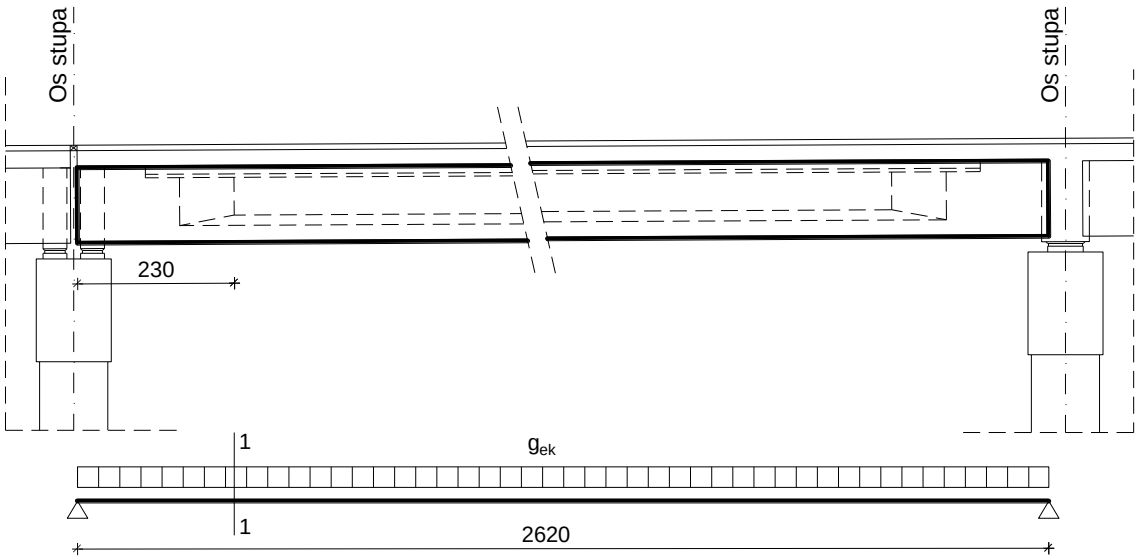
$$R_{g1}^{A} = R_{g1}^{B} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}57}{2} = 165{,}0 \text{ kN}$$

$$M_{g1}^{l/2} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}57^2}{8} = 1096{,}01 \text{ kNm}$$

$$V_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} - g_{ek} \cdot l_{1-1} = 165{,}0 - 12{,}40 \cdot 2{,}30 = 136{,}48 \text{ kN}$$

$$M_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{ek} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 165{,}0 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}40 \cdot 2{,}30^2}{2} = 346{,}70 \text{ kNm}$$

Središnji rasponski nosač (L = 26,20 m)



Slika 25. Ekvivalentno opterećenje (polje 2, 3, 5, 6)

$g_{ek} = g_n = 12{,}40\ \text{kN/m}'$

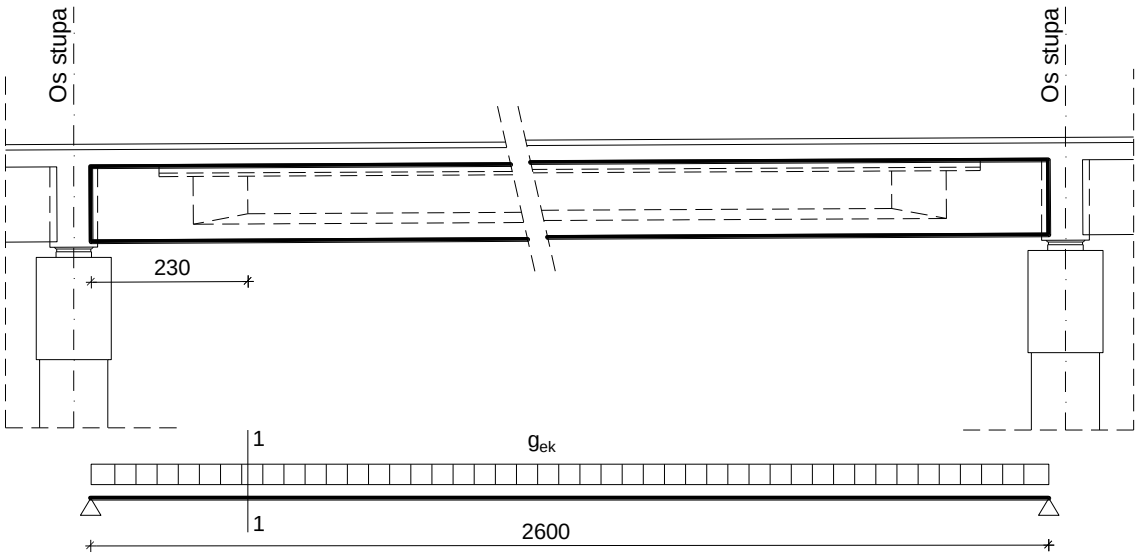
$$R_{g1}^{A} = R_{g1}^{B} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}20}{2} = 162{,}44\ \text{kN}$$

$$M_{g1}^{l/2} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}20^2}{8} = 1063{,}98\ \text{kNm}$$

$$V_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} - g_{ek} \cdot l_{1-1} = 162{,}44 - 12{,}40 \cdot 2{,}30 = 133{,}92\ \text{kN}$$

$$M_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{ek} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 162{,}44 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}40 \cdot 2{,}30^2}{2} = 340{,}81\ \text{kNm}$$

Središnji rasponski nosač (L = 26,0 m)



Slika 26. Ekvivalentno opterećenje (polje 4)

$g_{ek} = g_n = 12{,}40\ \text{kN/m}'$

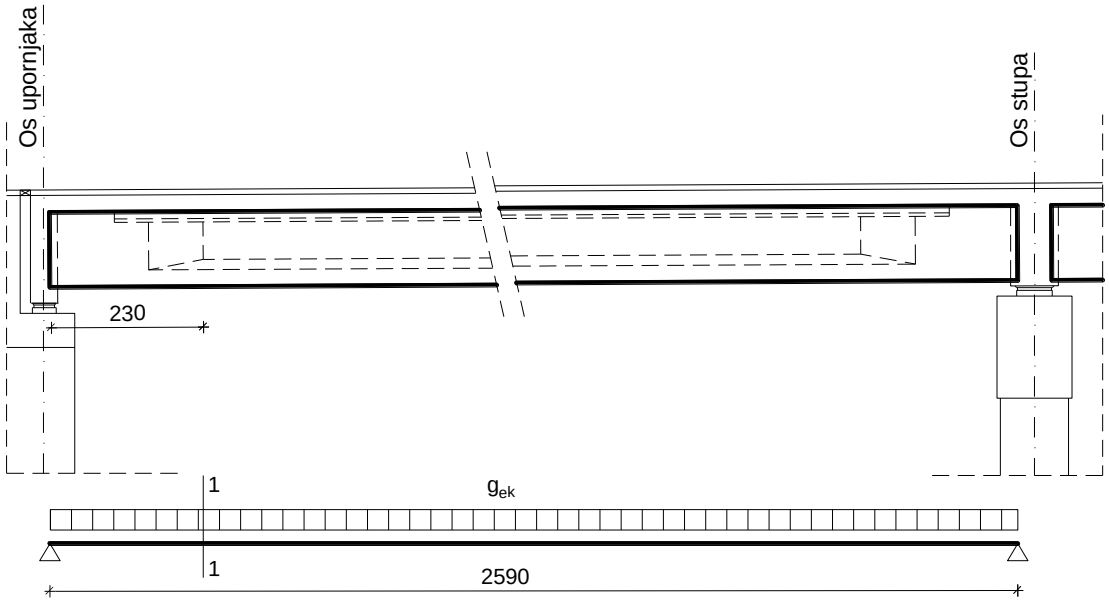
$$R_{g1}^{A} = R_{g1}^{B} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}0}{2} = 161{,}20\ \text{kN}$$

$$M_{g1}^{l/2} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}40 \cdot 26{,}0^2}{8} = 1047{,}80\ \text{kNm}$$

$$V_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} - g_{ek} \cdot l_{1-1} = 161{,}20 - 12{,}40 \cdot 2{,}30 = 132{,}68\ \text{kN}$$

$$M_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{ek} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 161{,}20 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}40 \cdot 2{,}30^2}{2} = 337{,}96\ \text{kNm}$$

Središnji rasponski nosač (L = 25,90 m)



Slika 27. Ekvivalentno opterećenje (polje 1, 7)

$$g_{ek} = g_n = 12{,}40 \text{ kN/m}'$$

$$R_{g1}^{A} = R_{g1}^{B} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}40 \cdot 25{,}90}{2} = 160{,}58 \text{ kN}$$

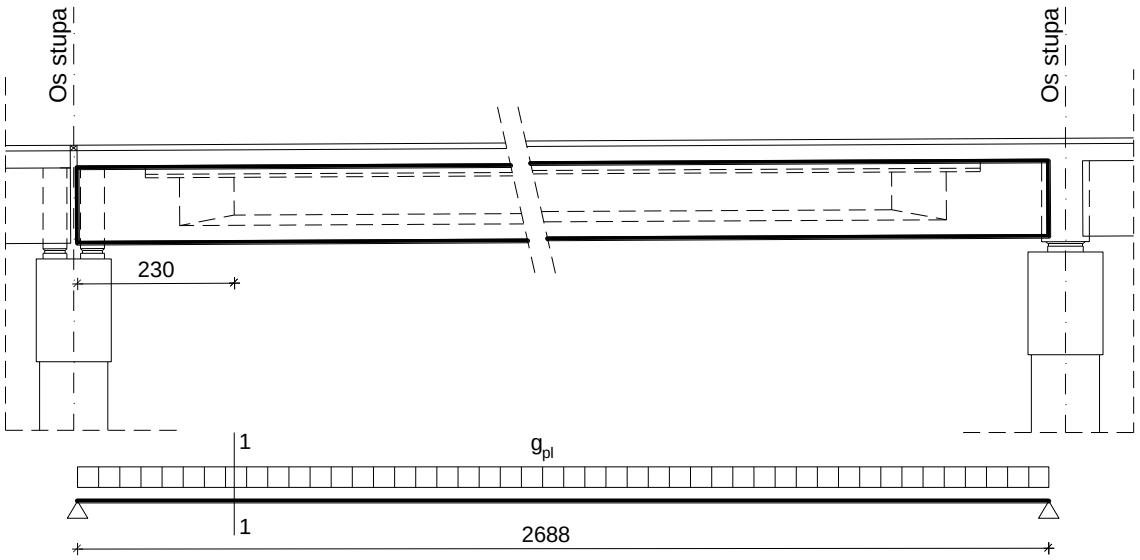
$$M_{g1}^{l/2} = \frac{g_{ek} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}40 \cdot 25{,}90^2}{8} = 1039{,}76 \text{ kNm}$$

$$V_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} - g_{ek} \cdot l_{1-1} = 160{,}58 - 12{,}40 \cdot 2{,}30 = 130{,}06 \text{ kN}$$

$$M_{g1}^{1-1} = R_{g1}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{ek} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 160{,}58 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}40 \cdot 2{,}30^2}{2} = 336{,}54 \text{ kNm}$$

5.3.2 Rezne sile i reakcije od vlastite težine kolničke ploče

Rubni rasponski nosač (L = 26,88 m)



Slika 28. Ekvivalentno opterećenje (polje 2, 3, 5, 6)

$$g_{pl} \approx d_{pl} \cdot l_{pl} \cdot \gamma_{pl} = 0{,}20 \cdot 3{,}04 \cdot 25{,}0 = 15{,}20 \text{ kN/m}'$$

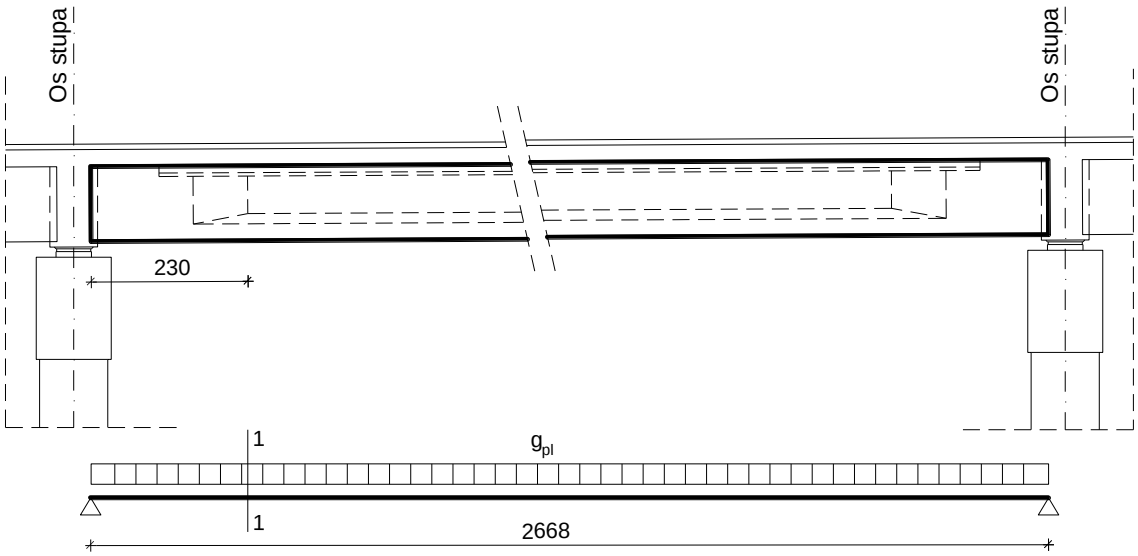
$$R_{g2}^{A} = R_{g2}^{B} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{15{,}20 \cdot 26{,}88}{2} = 204{,}29 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{l/2} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{15{,}20 \cdot 26{,}88^2}{8} = 1372{,}82 \text{ kNm}$$

$$V_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} - g_{pl} \cdot l_{1-1} = 204{,}29 - 15{,}20 \cdot 2{,}30 = 169{,}33 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{pl} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 204{,}29 \cdot 2{,}30 - \frac{15{,}20 \cdot 2{,}30^2}{2} = 429{,}66 \text{ kNm}$$

Rubni rasponski nosač (L = 26,68 m)



Slika 29. Ekvivalentno opterećenje (polje 4)

$$g_{pl} \approx d_{pl} \cdot l_{pl} \cdot \gamma_{pl} = 0{,}20 \cdot 3{,}04 \cdot 25{,}0 = 15{,}20 \text{ kN/m}'$$

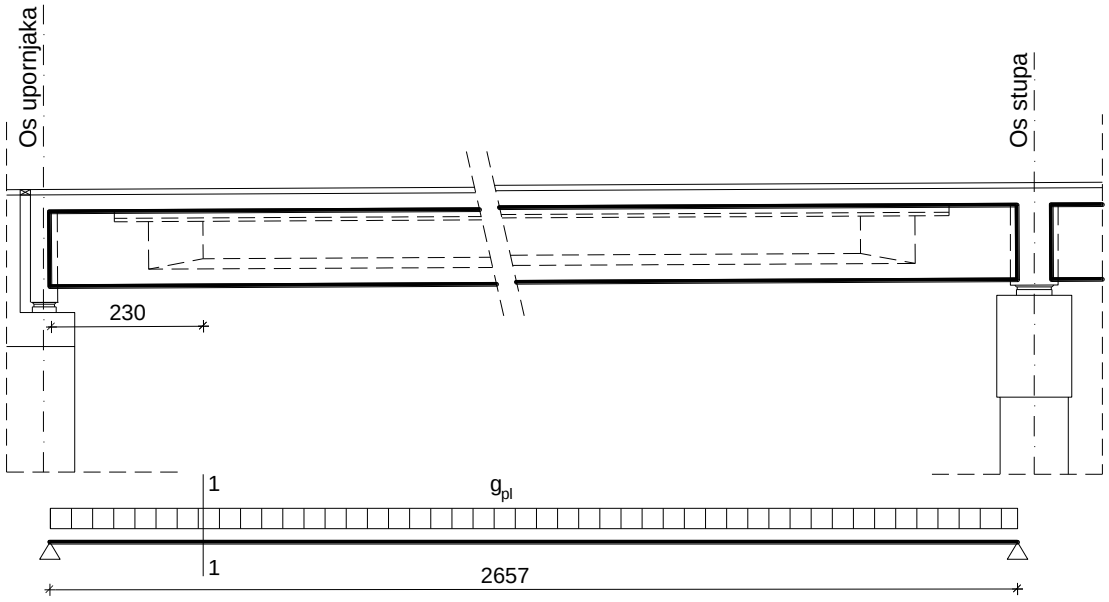
$$R_{g2}^{A} = R_{g2}^{B} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{15{,}20 \cdot 26{,}68}{2} = 202{,}77 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{l/2} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{15{,}20 \cdot 26{,}68^2}{8} = 1352{,}46 \text{ kNm}$$

$$V_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} - g_{pl} \cdot l_{1-1} = 202{,}77 - 15{,}20 \cdot 2{,}30 = 167{,}81 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{pl} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 202{,}77 \cdot 2{,}30 - \frac{15{,}20 \cdot 2{,}30^2}{2} = 426{,}17 \text{ kNm}$$

Rubni rasponski nosač (L = 26,57 m)



Slika 30. Ekvivalentno opterećenje (polje 1, 7)

$$g_{pl} \approx d_{pl} \cdot l_{pl} \cdot \gamma_{pl} = 0{,}20 \cdot 3{,}04 \cdot 25{,}0 = 15{,}20 \text{ kN/m}'$$

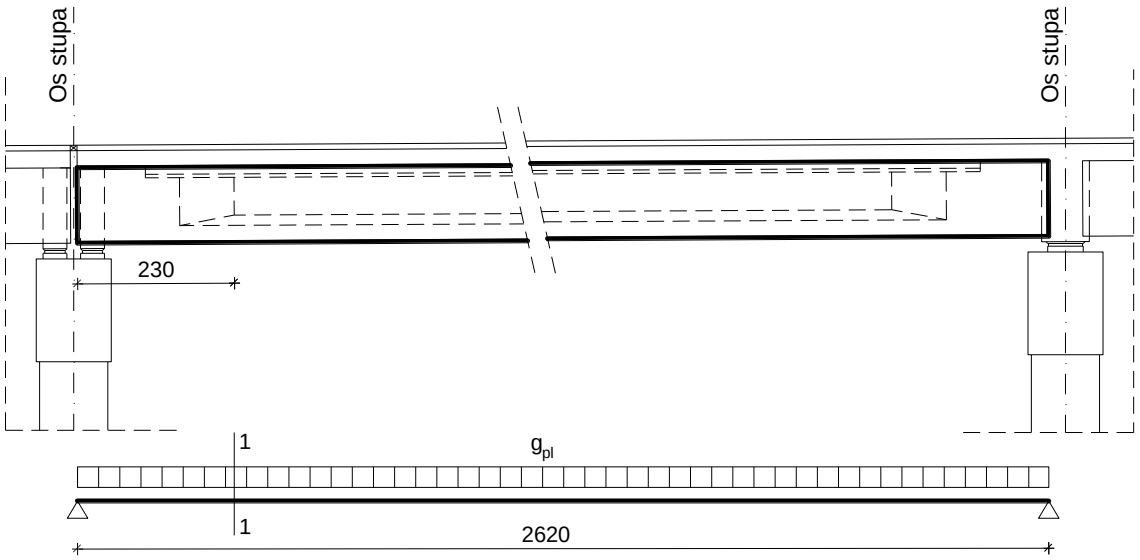
$$R_{g2}^{A} = R_{g2}^{B} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{15{,}20 \cdot 26{,}57}{2} = 201{,}93 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{l/2} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}^{2}}{8} = \frac{15{,}20 \cdot 26{,}57^{2}}{8} = 1341{,}33 \text{ kNm}$$

$$V_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} - g_{pl} \cdot l_{1-1} = 201{,}93 - 15{,}20 \cdot 2{,}30 = 166{,}97 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{pl} \cdot l_{1-1}^{2}}{2} = 201{,}93 \cdot 2{,}30 - \frac{15{,}20 \cdot 2{,}30^{2}}{2} = 424{,}24 \text{ kNm}$$

Središnji rasponski nosač (L = 26,20 m)



Slika 31. Ekvivalentno opterećenje (polje 2, 3, 5, 6)

$$g_{pl} \approx d_{pl} \cdot l_{pl} \cdot \gamma_{pl} = 0{,}20 \cdot 2{,}40 \cdot 25{,}0 = 12{,}0 \text{ kN/m}'$$

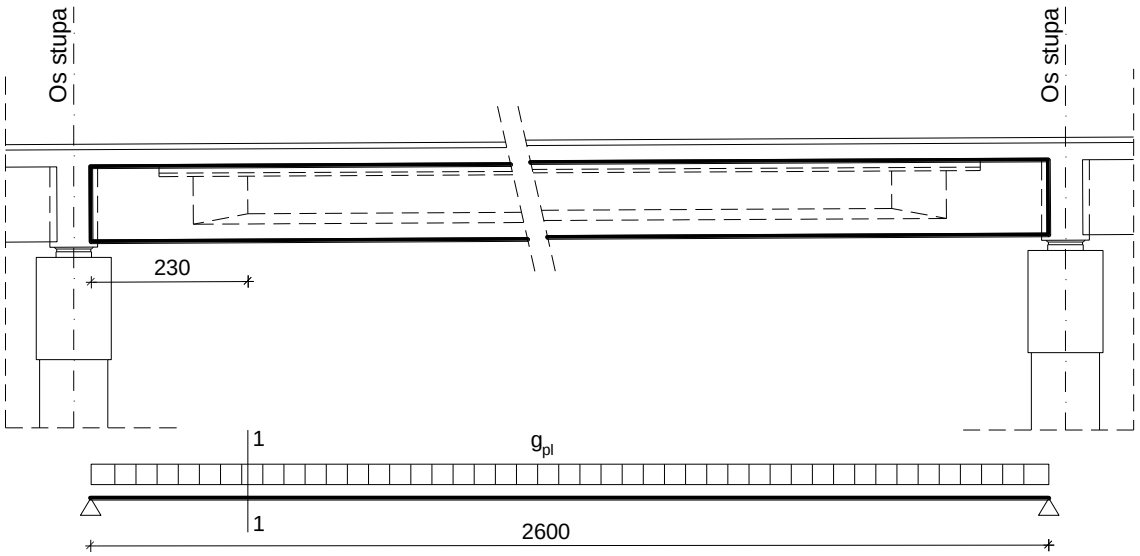
$$R_{g2}^{A} = R_{g2}^{B} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}0 \cdot 26{,}20}{2} = 157{,}20 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{l/2} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}0 \cdot 26{,}20^2}{8} = 1029{,}66 \text{ kNm}$$

$$V_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} - g_{pl} \cdot l_{1-1} = 157{,}20 - 12{,}0 \cdot 2{,}30 = 129{,}60 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{pl} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 157{,}20 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}0 \cdot 2{,}30^2}{2} = 329{,}82 \text{ kNm}$$

Središnji rasponski nosač (L = 26,0 m)



Slika 32. Ekvivalentno opterećenje (polje 4)

$$g_{pl} \approx d_{pl} \cdot l_{pl} \cdot \gamma_{pl} = 0{,}20 \cdot 2{,}40 \cdot 25{,}0 = 12{,}0 \text{ kN/m}'$$

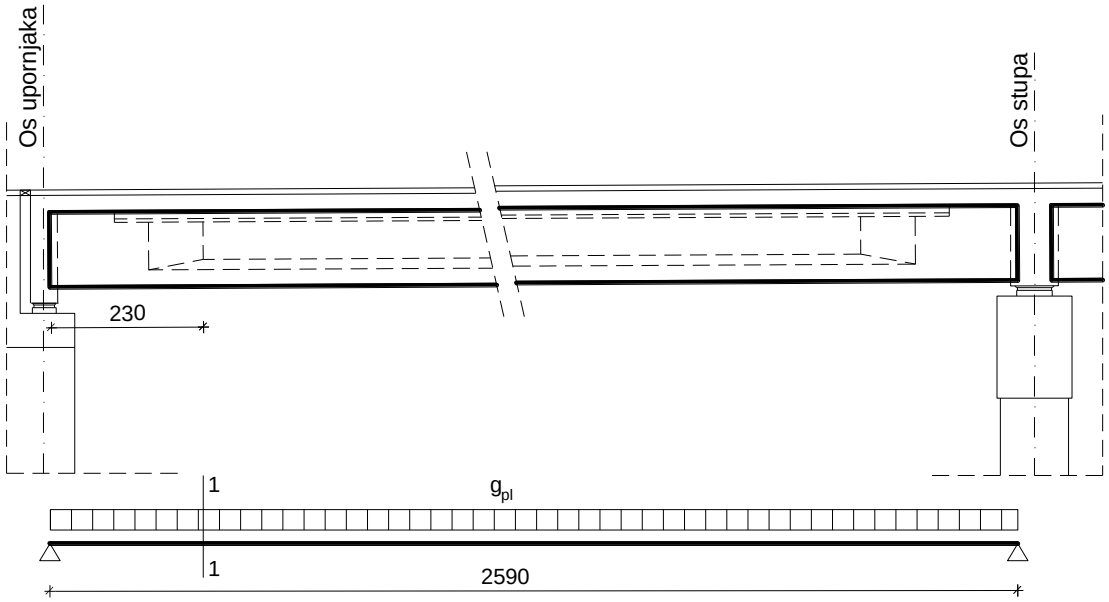
$$R_{g2}^{A} = R_{g2}^{B} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}0 \cdot 26{,}0}{2} = 156{,}0 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{l/2} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}0 \cdot 26{,}0^2}{8} = 1014{,}0 \text{ kNm}$$

$$V_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} - g_{pl} \cdot l_{1-1} = 156{,}0 - 12{,}0 \cdot 2{,}30 = 128{,}40 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{pl} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 156{,}0 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}0 \cdot 2{,}30^2}{2} = 327{,}06 \text{ kNm}$$

Središnji rasponski nosač (L = 25,90 m)



Slika 33. Ekvivalentno opterećenje (polje 1, 7)

$$g_{pl} \approx d_{pl} \cdot l_{pl} \cdot \gamma_{pl} = 0{,}20 \cdot 2{,}40 \cdot 25{,}0 = 12{,}0 \text{ kN/m}'$$

$$R_{g2}^{A} = R_{g2}^{B} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}}{2} = \frac{12{,}0 \cdot 25{,}90}{2} = 155{,}40 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{l/2} = \frac{g_{pl} \cdot l_{ek}^2}{8} = \frac{12{,}0 \cdot 25{,}90^2}{8} = 1006{,}22 \text{ kNm}$$

$$V_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} - g_{pl} \cdot l_{1-1} = 155{,}40 - 12{,}0 \cdot 2{,}30 = 127{,}80 \text{ kN}$$

$$M_{g2}^{1-1} = R_{g2}^{A} \cdot l_{1-1} - \frac{g_{pl} \cdot l_{1-1}^2}{2} = 155{,}40 \cdot 2{,}30 - \frac{12{,}0 \cdot 2{,}30^2}{2} = 325{,}68 \text{ kNm}$$

6 PRORAČUN RASPONSKIH NOSAČA NAKON KONTINUIRANJA – 2. FAZA

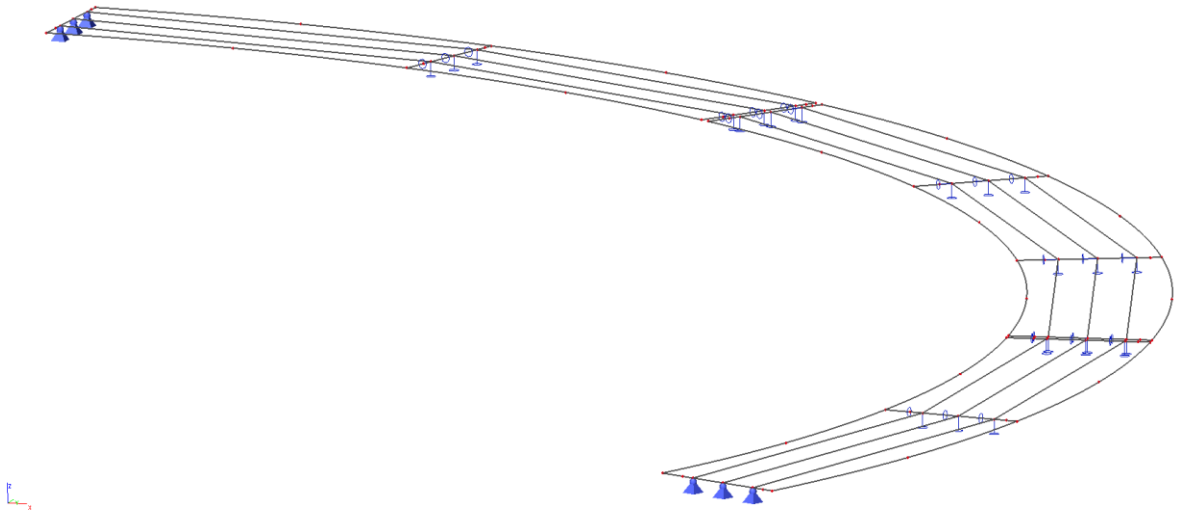
6.1 Proračunski model

Rezne sile i reakcije oslonaca za djelovanja koja se javljaju na rasponski sklop nakon sprezanja predgotovljenih nosača s kolničkom pločom i njihovog kontinuiranja određene su na proračunskom modelu konstrukcije.

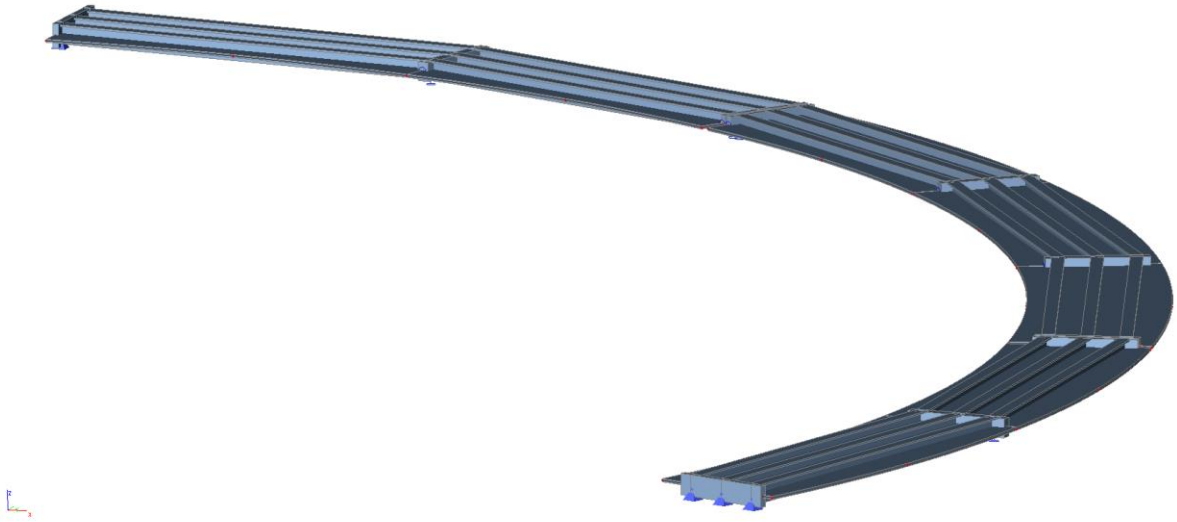
Proračunski model konstrukcije napravljen je u software-u Scia Engineer 20.0. i to kao ˝štapni˝ model s pločom, gdje su uzdužni i poprečni nosači (iznad stupova i iznad upornjaka) simulirani ˝štapnim˝ elementima adekvatnih krutosti i odgovarajućih duljina, a preko njih je postavljena AB ploča.

Veza rasponske konstrukcije s upornjacima i stupovima ostvarena je preko ležajeva pa su shodno tome modelirani ležajevi na pozicijama koje odgovaraju stvarnim pozicijama ležajeva na stupovima i upornjacima.

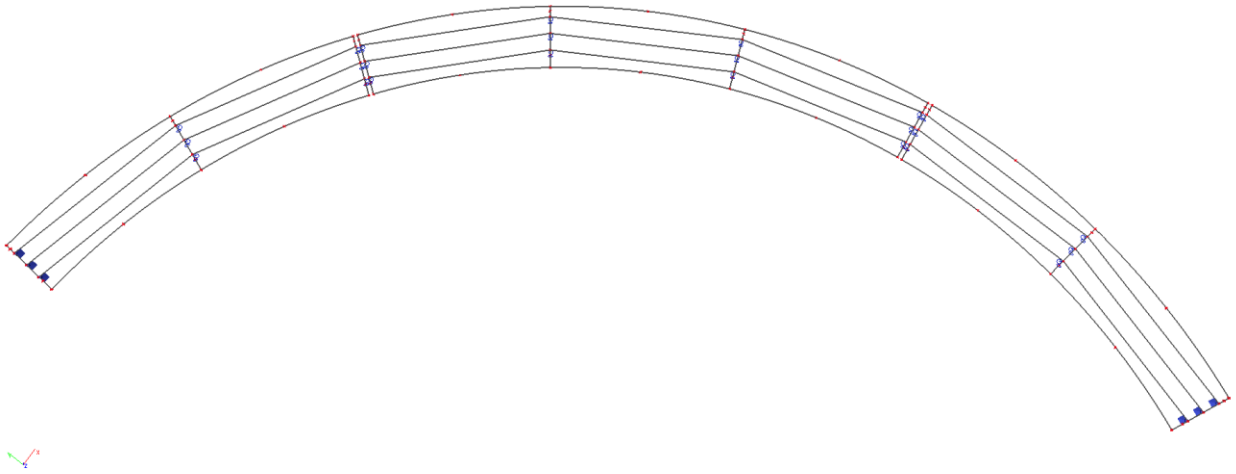
Osnovni gabariti proračunskog modela, te svojstva poprečnog presjeka nakon sprezanja predgotovljenih nosača s kolničkom pločom prikazani su u nastavku.



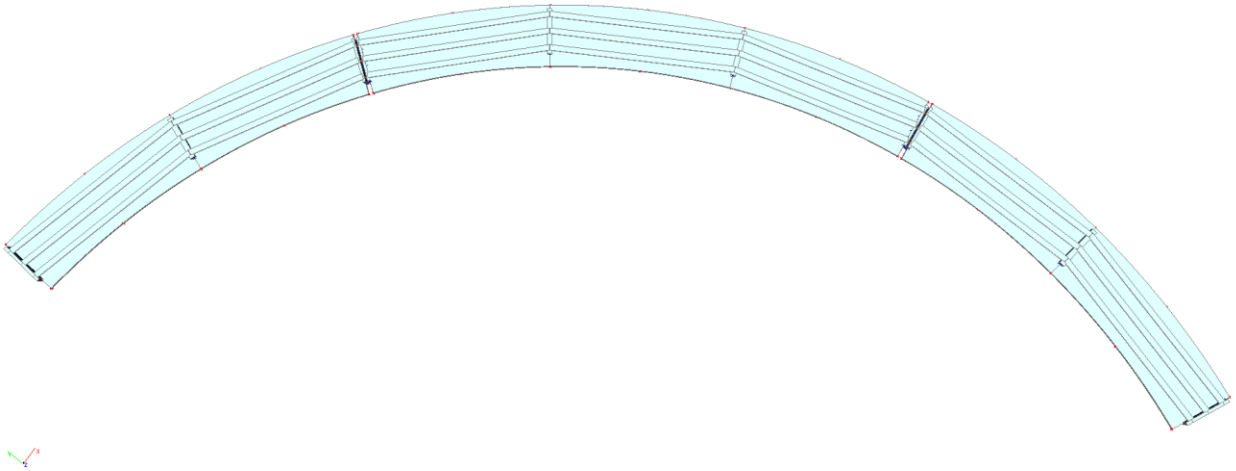
Slika 34. Prikaz proračunskog modela



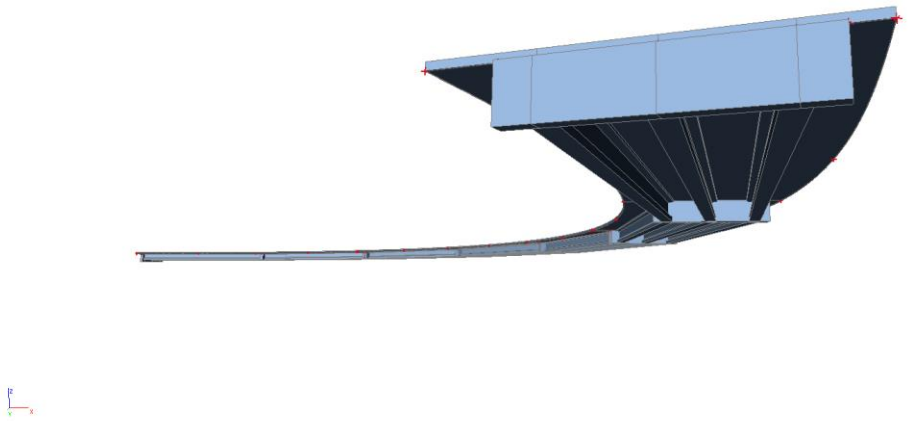
Slika 35. Prikaz renderiranog proračunskog modela



Slika 36. Tlocrt proračunskog modela



Slika 37. Tlocrt renderiranog proračunskog modela

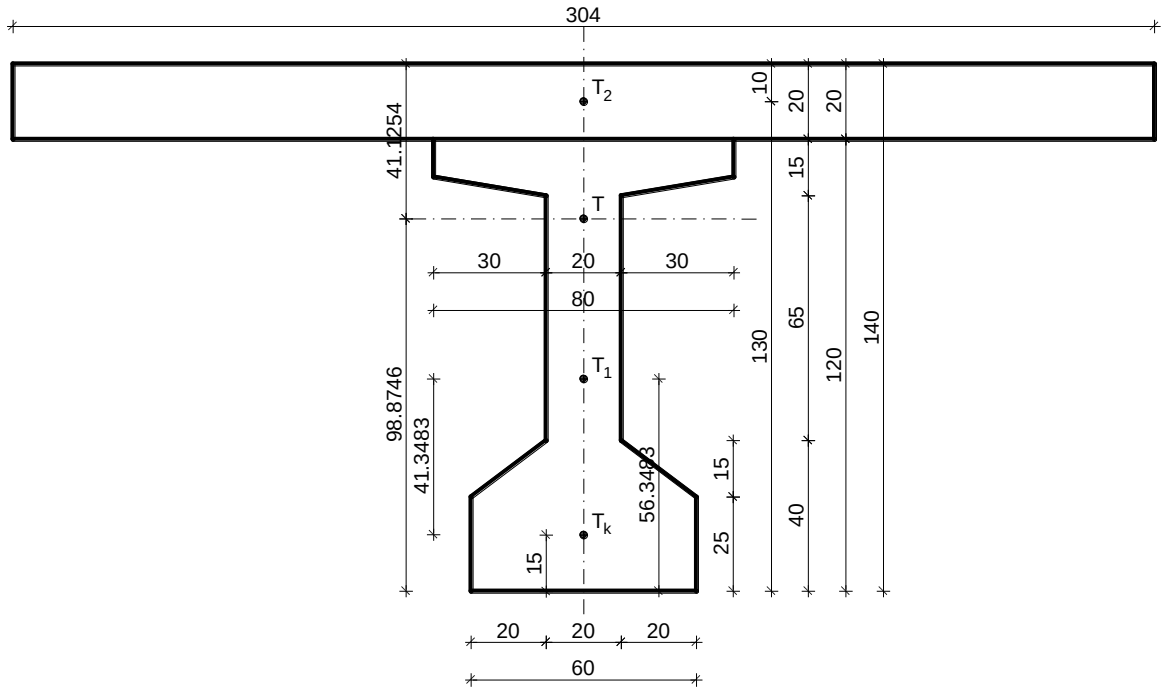


Slika 38. Pogled u smjeru mosta

Slika 39. Pogled okomito na most

6.2 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača

Poprečni presjek rasponskog nosača u polju – rubni rasponski nosač



Slika 40. Presjek u polju nakon sprezanja s kolničkom pločom

Geometrijske karakteristike proračunavaju se bez uključenja armature i bez odbitka rupa za kablove.

Geometrijske karakteristike presjeka očitane su u software-u AutoCAD 2021 naredbom ˝massprop˝.

$A_n = 0{,}4450\ m^2$ (površina poprečnog presjeka rasponskog nosača)

$A_{pl} = 0{,}20 \cdot 3{,}04 = 0{,}6080\ m^2$ (površina poprečnog presjeka kolničke ploče)

$A = A_n + A_{pl} = 0{,}4450 + 0{,}6080 = 1{,}0530\ m^2$ (ukupna površina spregnutog presjeka)

$y_g = 0{,}4113\ m$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

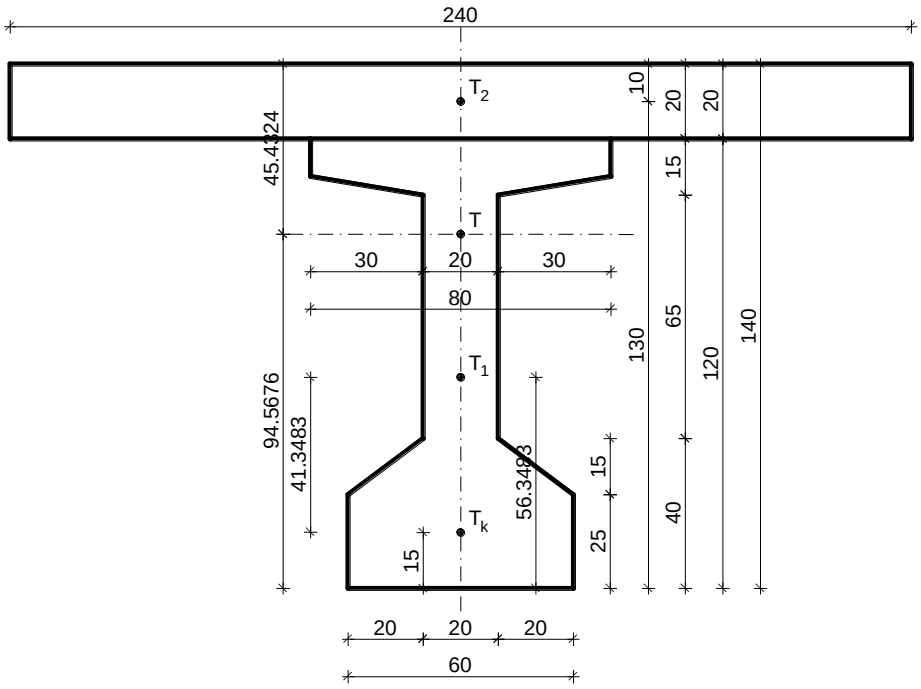
$y_d = 0{,}9887\ m$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

$I_y = 0{,}2171\ m^4$ (moment inercije s obzirom na težište presjeka)

$$W_g = \frac{I_y}{y_g} = \frac{0{,}2171}{0{,}4113} = 0{,}5278\ m^3$$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$$W_d = \frac{I_y}{y_d} = \frac{0{,}2171}{0{,}9887} = 0{,}2196\ m^3$$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

Poprečni presjek rasponskog nosača u polju – središnji rasponski nosač



Slika 41. Presjek u polju nakon sprezanja s kolničkom pločom

Geometrijske karakteristike proračunavaju se bez uključenja armature i bez odbitka rupa za kablove.

Geometrijske karakteristike presjeka očitane su u software-u AutoCAD 2021 naredbom ˝massprop˝.

$A_n = 0{,}4450\ m^2$ (površina poprečnog presjeka rasponskog nosača)

$A_{pl} = 0{,}20 \cdot 2{,}40 = 0{,}4800\ m^2$ (površina poprečnog presjeka kolničke ploče)

$A = A_n + A_{pl} = 0{,}4450 + 0{,}4800 = 0{,}9250\ m^2$ (ukupna površina spregnutog presjeka)

$y_g = 0{,}4543\ m$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

$y_d = 0{,}9457\ m$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

$I_y = 0{,}2026\ m^4$ (moment inercije s obzirom na težište presjeka)

$$W_g = \frac{I_y}{y_g} = \frac{0{,}2026}{0{,}4543} = 0{,}4460\ m^3$$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$$W_d = \frac{I_y}{y_d} = \frac{0{,}2026}{0{,}9457} = 0{,}2142\ m^3$$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

6.3 Analiza opterećenja

6.3.1 Vlastita težina

Vlastita težina elemenata nije uzeta u obzir u proračunskom modelu jer je već prethodno izračunat utjecaj (rezne sile) od vlastite težine uzdužnih nosača prije i nakon sprezanja s kolničkom pločom.

6.3.2 Dodatno stalno opterećenje

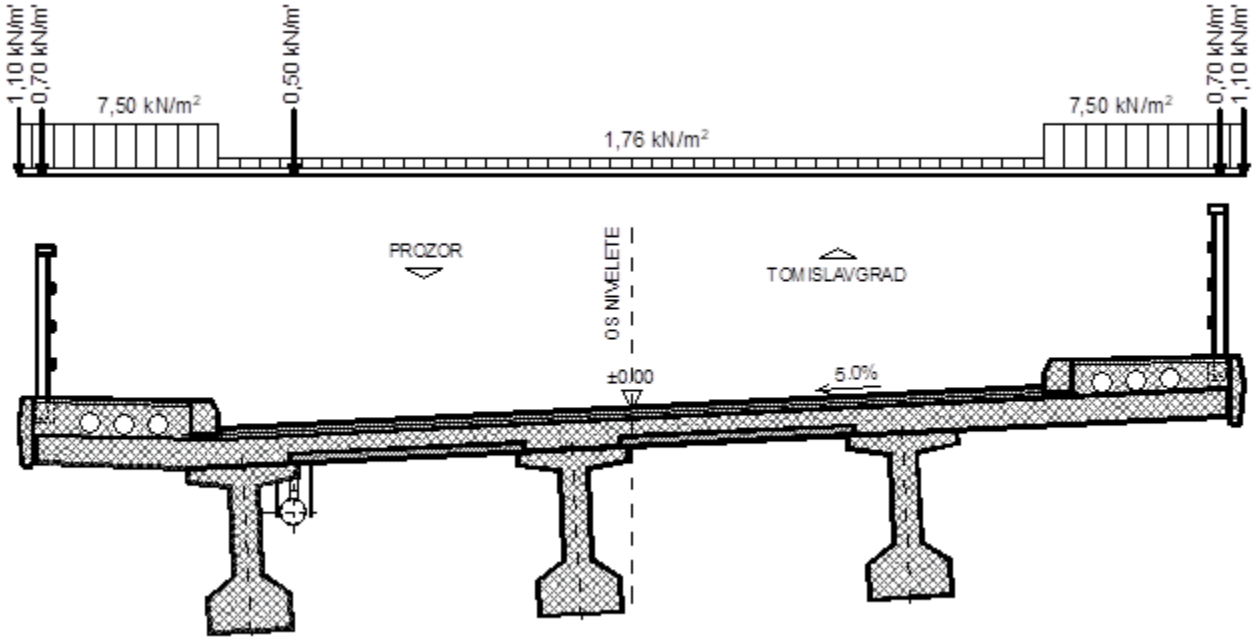
Kolnički zastor: $0{,}08 \cdot 22{,}0 = 1{,}76\ \mathrm{kN/m^2}$

Pješačka staza: $0{,}30 \cdot 25{,}0 = 7{,}50\ \mathrm{kN/m^2}$

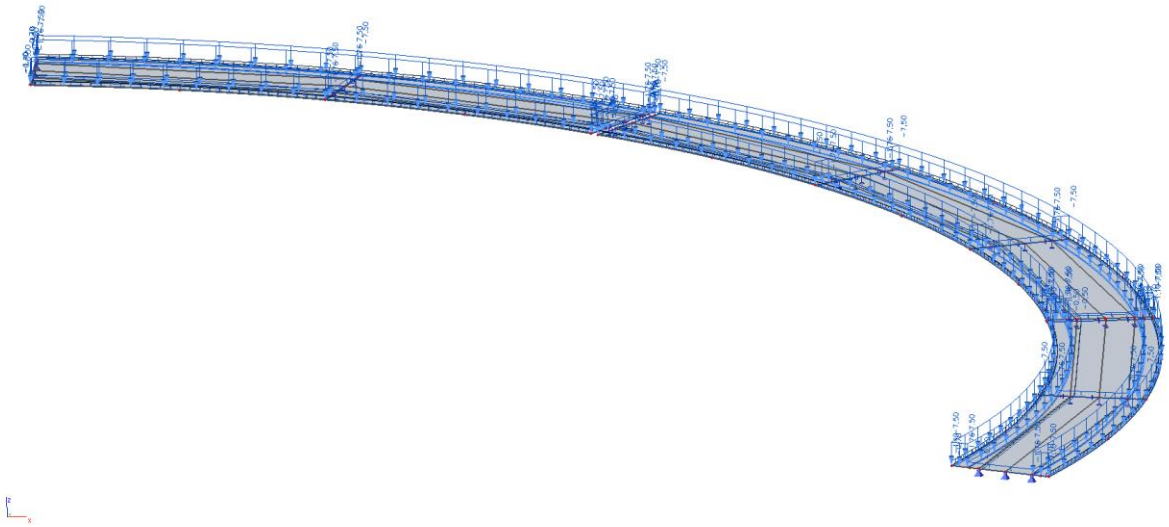
Ograda: $0{,}70\ \mathrm{kN/m'}$

Cijev za odvodnju: $0{,}50\ \mathrm{kN/m'}$

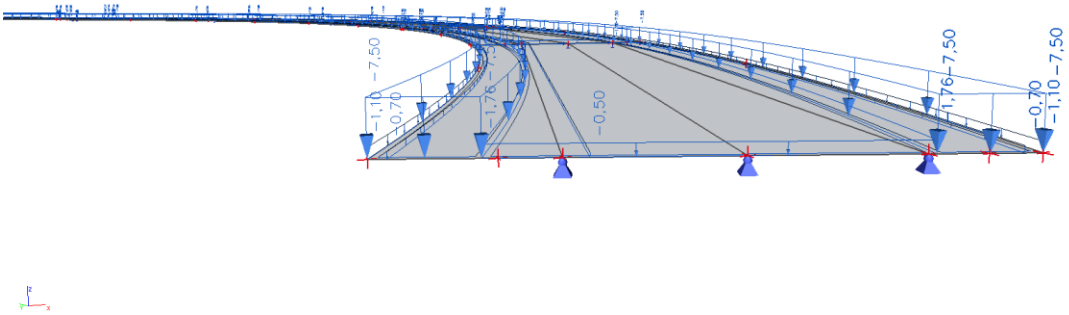
Vijenac: $0{,}0440 \cdot 25{,}0 = 1{,}10\ \mathrm{kN/m'}$



Slika 42. Analiza dodatnog stalnog opterećenja



Slika 43. Dodatno stalno opterećenje



Slika 44. Dodatno stalno opterećenje – vrijednosti

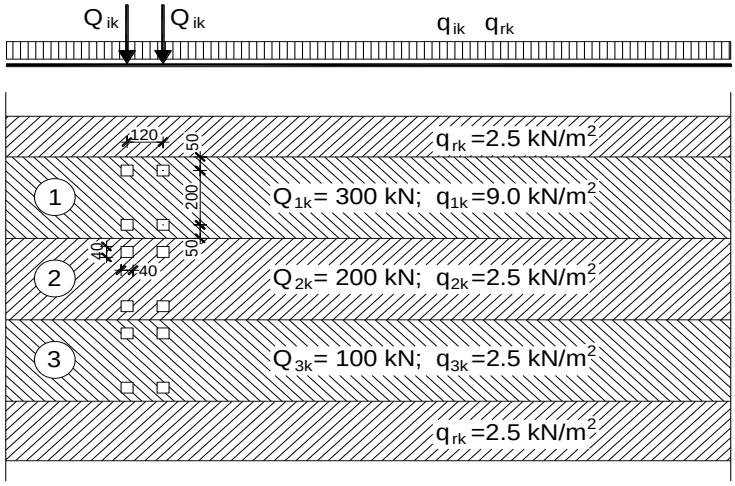
6.3.3 Pokretno opterećenje

Pokretna opterećenja na mostu zamjenjuju se tipskim opterećenjima na način propisan prema EC1. Za cestovne mostove tipska opterećenja predstavljaju tipska vozila čije dimenzije ovise o kategoriji ceste.
Na mostu ukupne širine kolnika *w* predviđa se *n* specifično opterećenih prometnih trakova širine od 2,70 do 3,0 m, te preostala ploha do pune širine mosta.

Tablica 3. Predviđen broj specifično opterećenih prometnih trakova n

Širina kolnika *w* (m)	**Broj prometnih trakova *n***	**Širina prometnog traka (m)**	**Preostala širina kolnika (m)**
w < 5,40 m	1	3	w – 3
5,40 m ≤ w ≤ 6,0 m	2	w/2	0
w > 6,0 m	n = Int (w/3)	3	w – 3 · n

Postupak provedbe opterećenja pokretnim opterećenjem predmetnog mosta prikazan je na *Slici 21.* gdje broj 1 predstavlja glavni trak širine 3,0 m postavljen uz rubnjak. Ostatak mosta opterećen je kao na slici, a uzimajući u obzir ukupnu širinu kolnika *w* i predviđen broj specifično opterećenih prometnih trakova *n*.
Tipska opterećenja postavljaju se u odgovarajućim pozicijama za dobivanje maksimalnih reznih sila u poljima, pri stupovima i pri upornjaku.



Slika 45. Model1 – glavni model pokretnog opterećenja mosta

Napomena: Q_{lk} je osovinsko opterećenje!

Za proračun i dimenzioniranje nosive konstrukcije mosta primijenjen je raspored pokretnog opterećenja Model 1 – glavni model opterećenja.

Ukupna širina kolnika: $\mathrm{w} = 6{,}0\ \mathrm{m} \leq 6{,}0\ \mathrm{m}$

Širina prometnog traka u modelu: $\mathrm{w}/2 = 6{,}0/2 = 3{,}0\ \mathrm{m}$

Broj prometnih trakova: $\mathrm{n} = 2$

Prometni trak 1

Jednoliko raspodijeljeno opterećenje (UDL): $\mathrm{q_{1k}} = 9{,}0\ \mathrm{kN/m^2}$

Dva osovinska opterećenja (TS): $\mathrm{Q_{1k}} = 300\ \mathrm{kN}$

Prometni trak 2

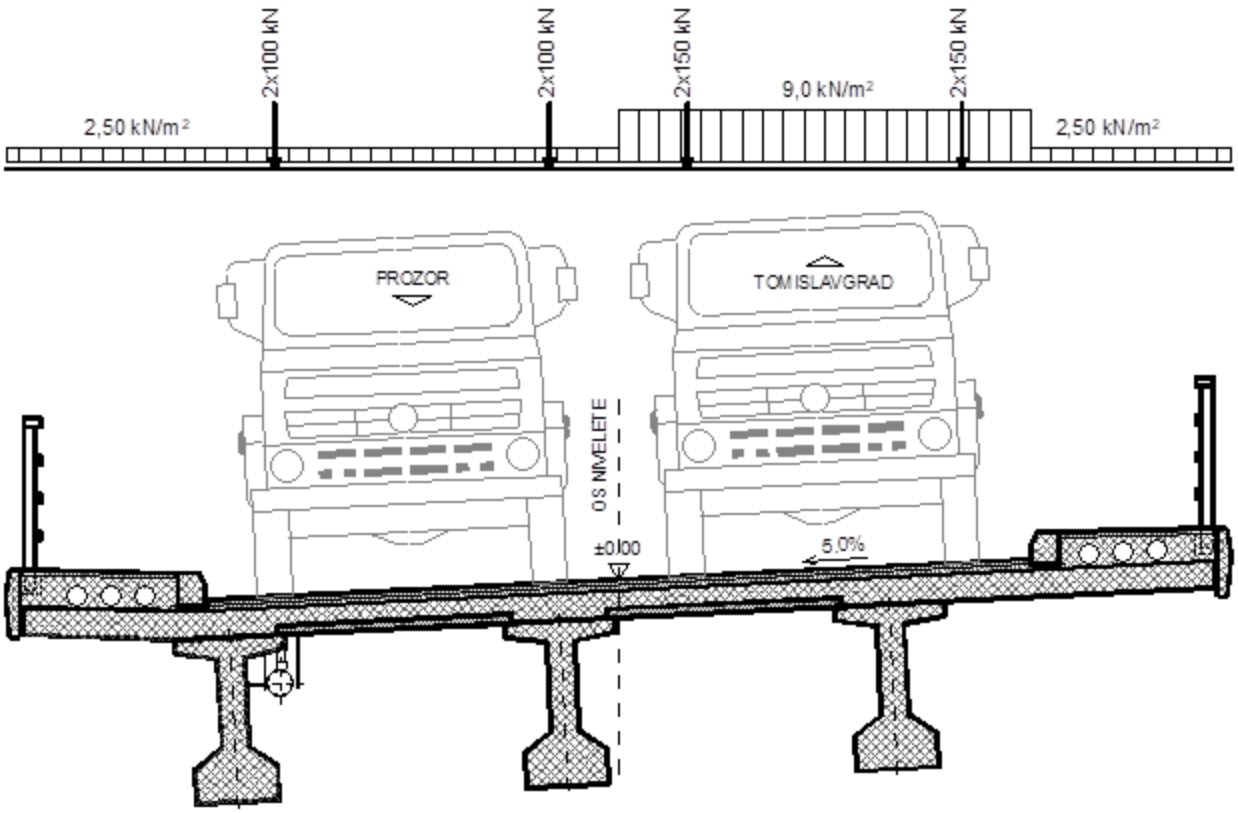
Jednoliko raspodijeljeno opterećenje (UDL): $\mathrm{q_{1k}} = 2{,}5\ \mathrm{kN/m^2}$

Dva osovinska opterećenja (TS): $\mathrm{Q_{1k}} = 200\ \mathrm{kN}$

Ostatak površine

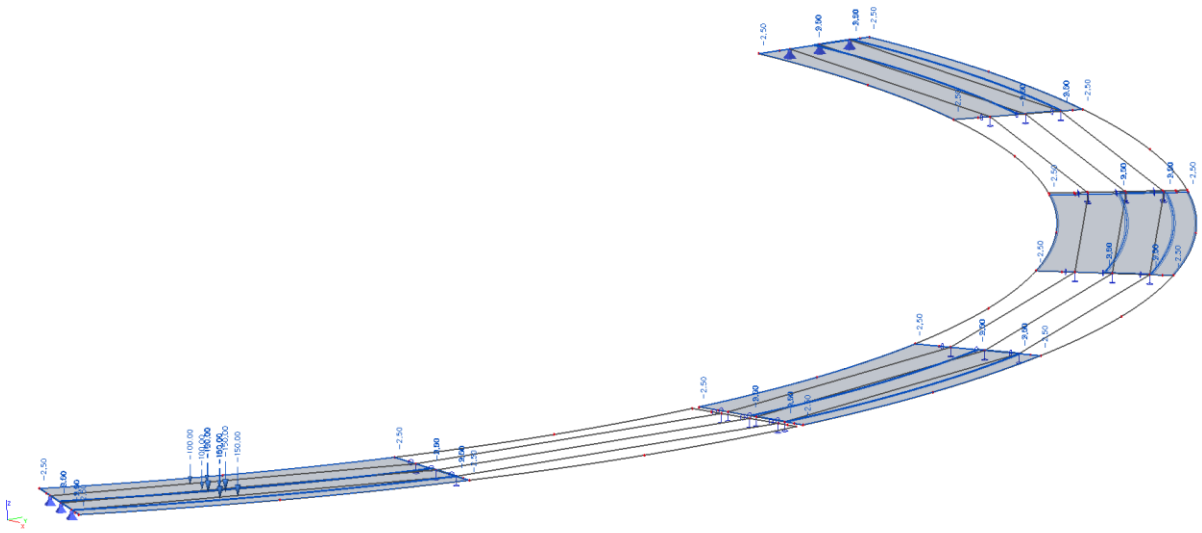
Jednoliko raspodijeljeno opterećenje (UDL): $\mathrm{q_{rk}} = 2{,}5\ \mathrm{kN/m^2}$

Brojčane vrijednosti Q_{ik} i q_{ik} sadrže dinamički koeficijent.

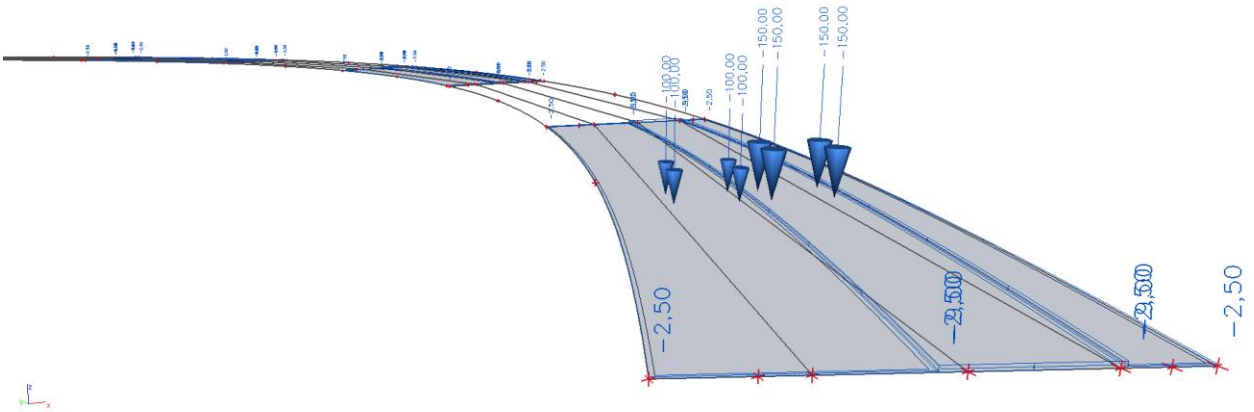


Slika 46. Analiza pokretnog opterećenja

1. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u prvom polju)

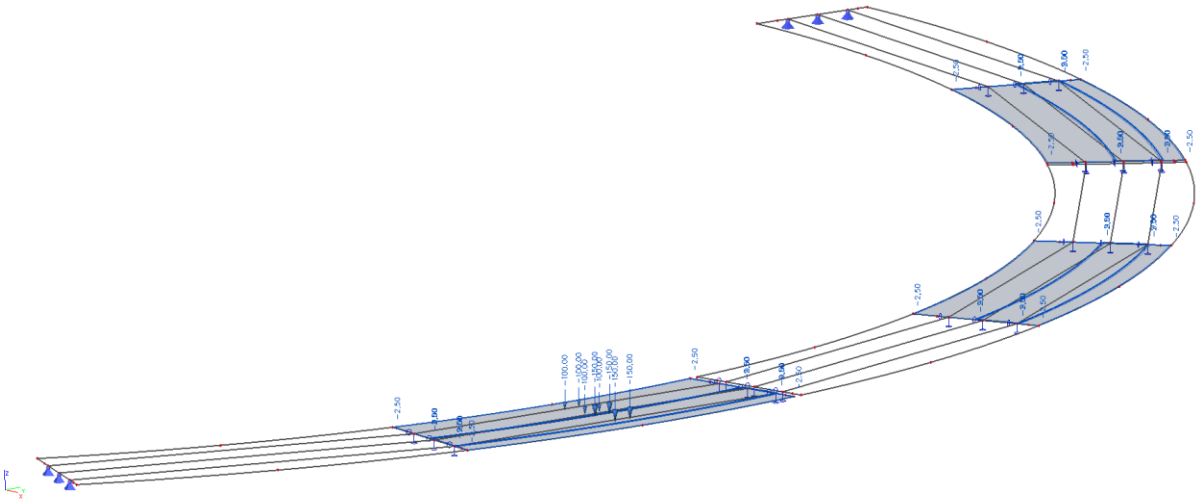


Slika 47. Pokretno opterećenje za maksimalni moment u prvom polju

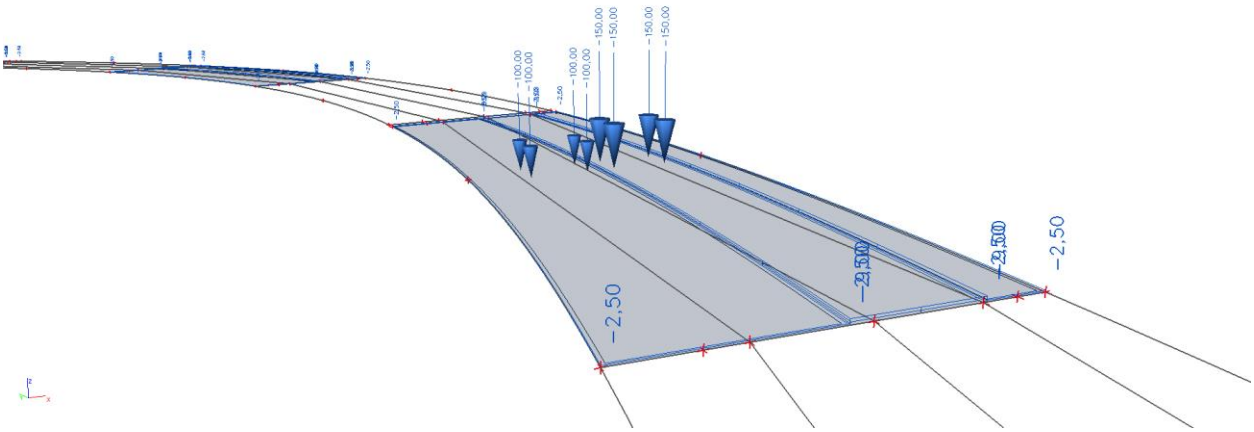


Slika 48. Pokretno opterećenje za maksimalni moment u prvom polju – vrijednosti

2. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u drugom polju)

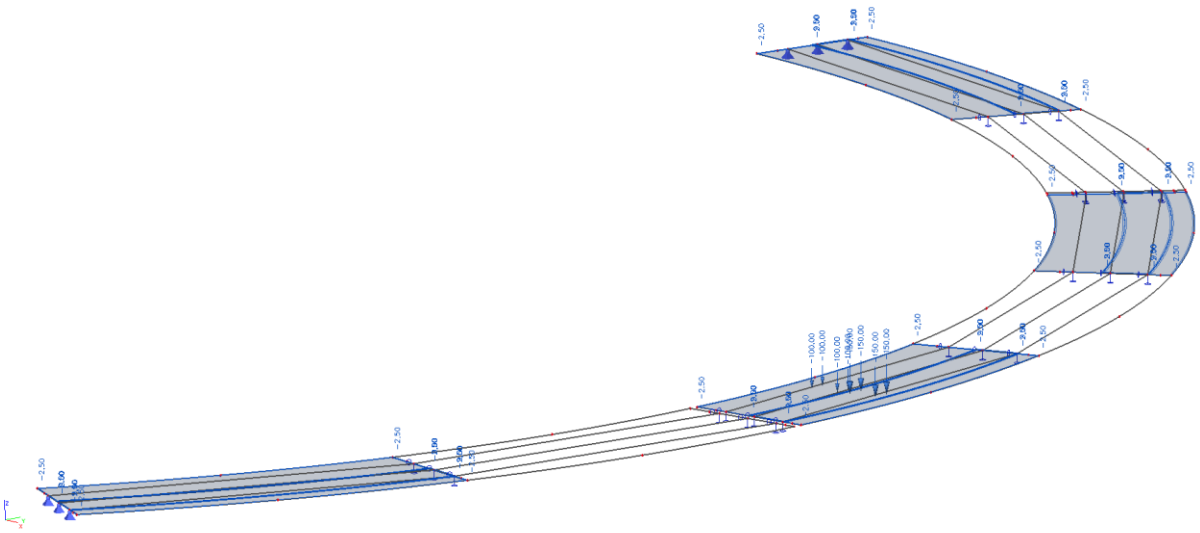


Slika 49. Pokretno opterećenje za maksimalni moment u drugom polju

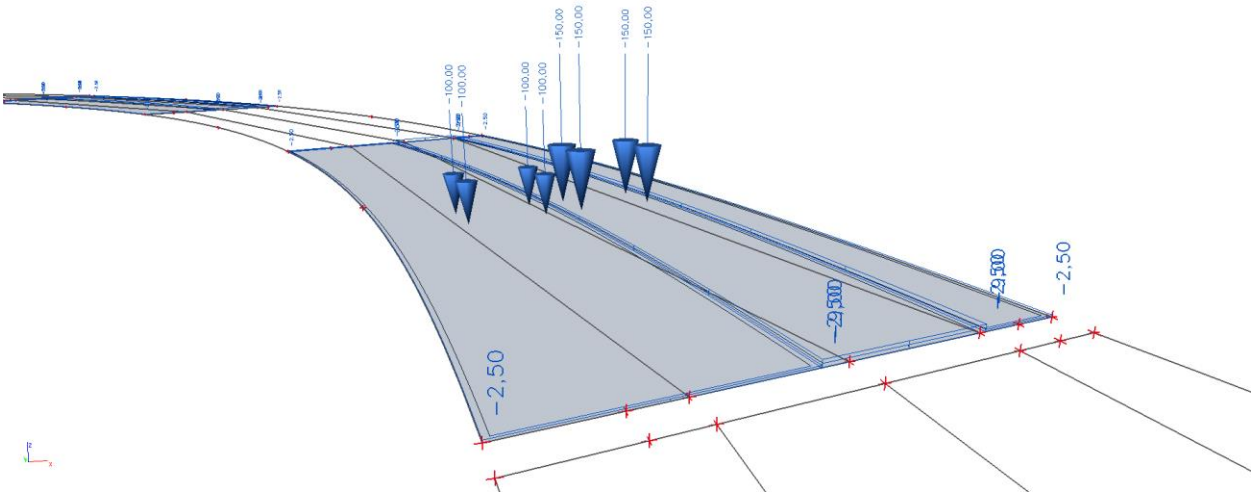


Slika 50. Pokretno opterećenje za maksimalni moment u drugom polju – vrijednosti

3. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u trećem polju)

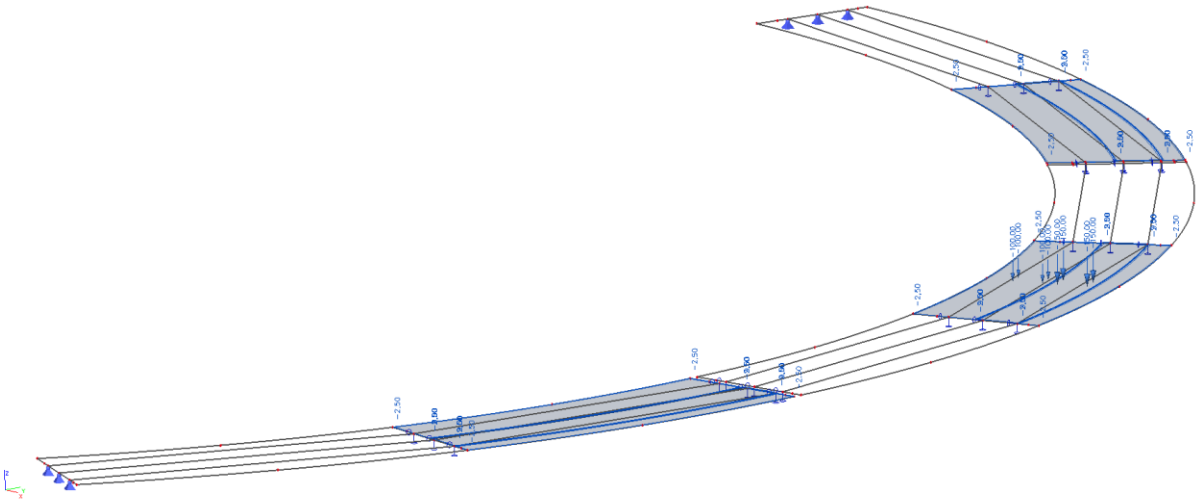


Slika 51. Pokretno opterećenje za maksimalni moment u trećem polju

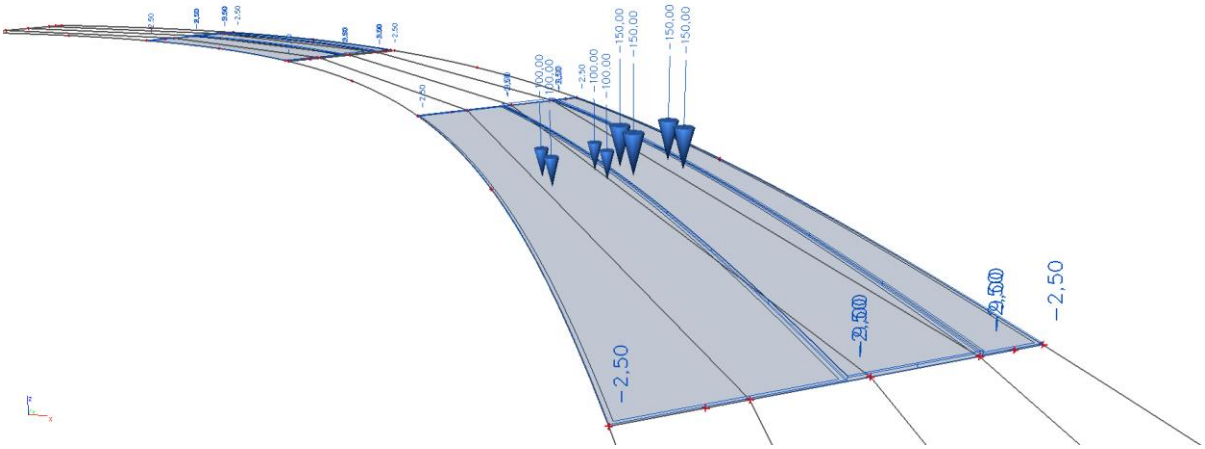


Slika 52. Pokretno opterećenje za maksimalni moment u trećem polju – vrijednosti

4. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u četvrtom polju)

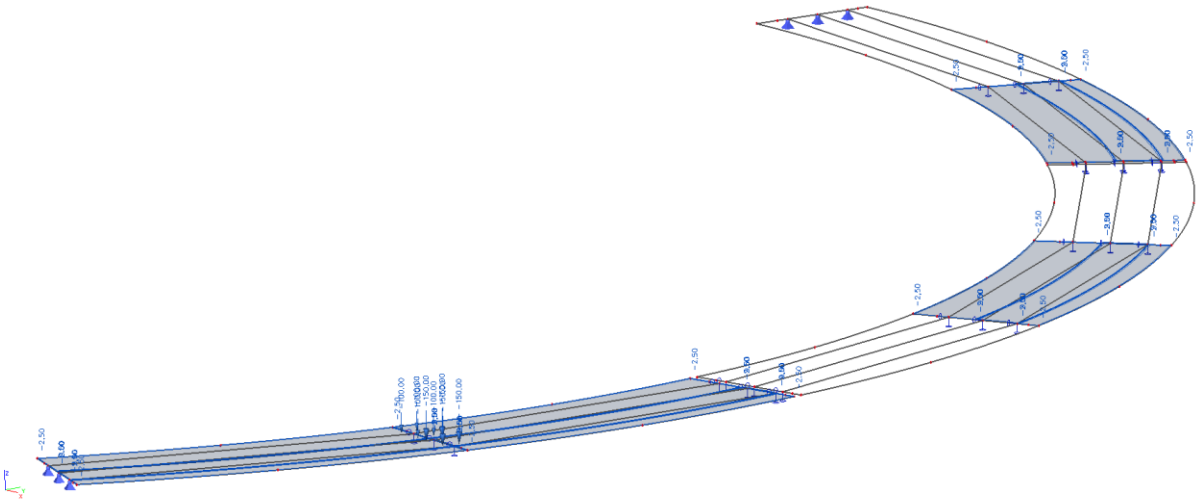


Slika 53. Pokretno opterećenje za maksimalni moment u četvrtom polju

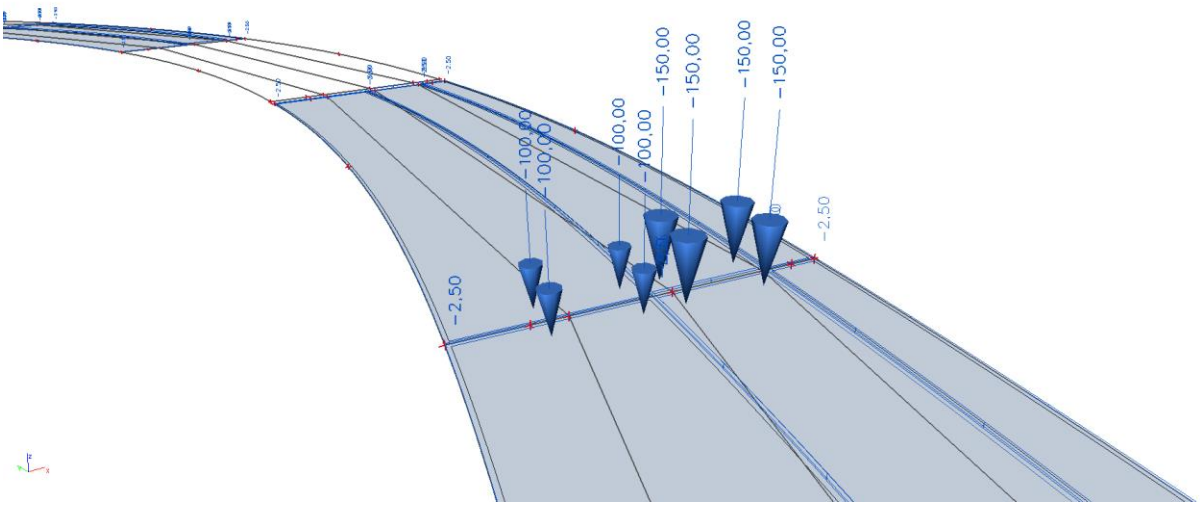


Slika 54. Pokretno opterećenje za maksimalni moment u četvrtom polju – vrijednosti

5. Pokretno opterećenje (maksimalni moment na prvom ležaju)

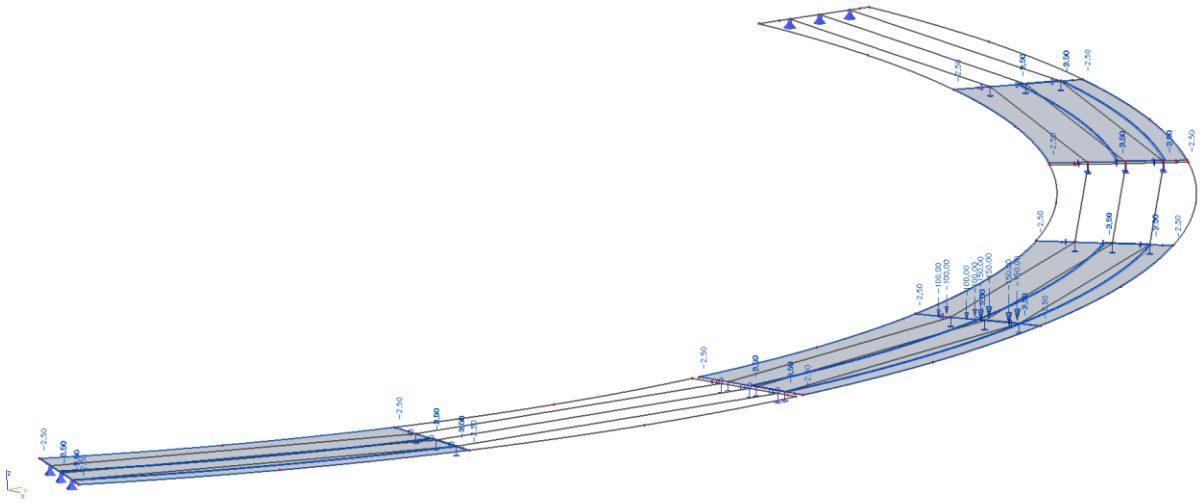


Slika 55. Pokretno opterećenje za maksimalni moment na prvom ležaju

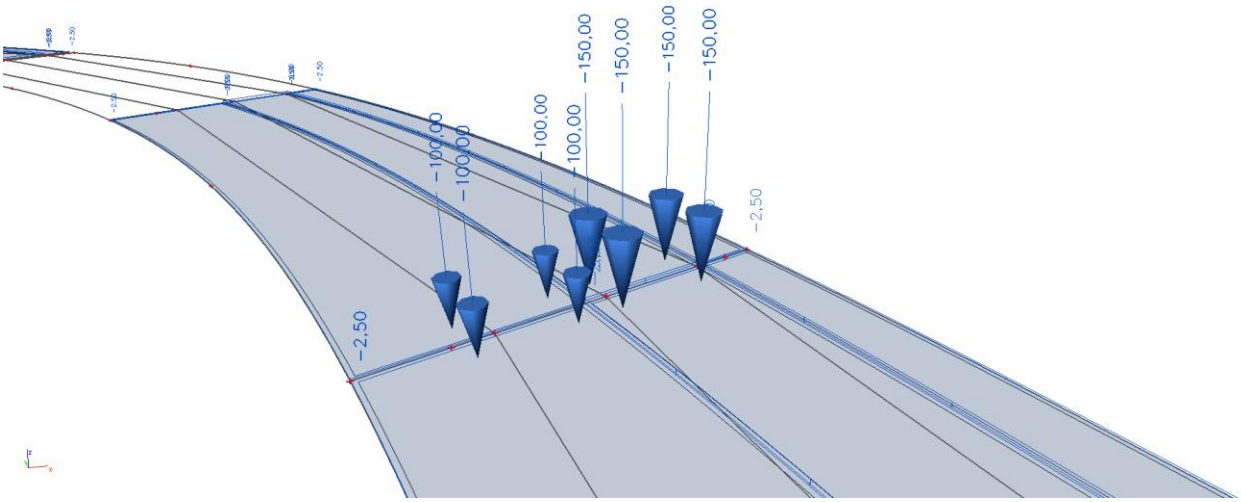


Slika 56. Pokretno opterećenje za maksimalni moment na prvom ležaju – vrijednosti

6. Pokretno opterećenje (maksimalni moment na drugom ležaju)

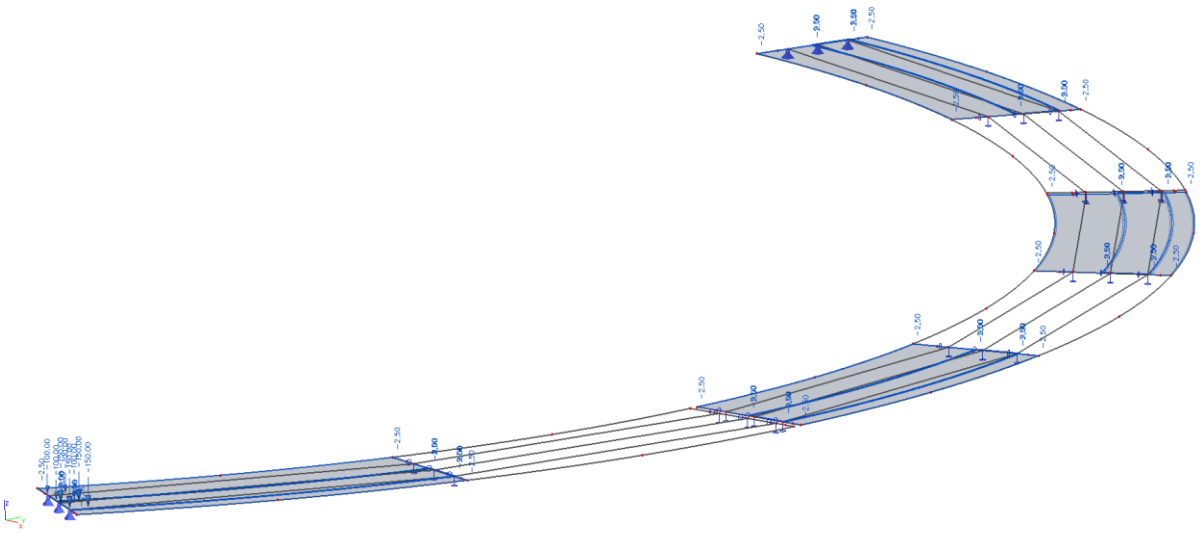


Slika 57. Pokretno opterećenje za maksimalni moment na drugom ležaju

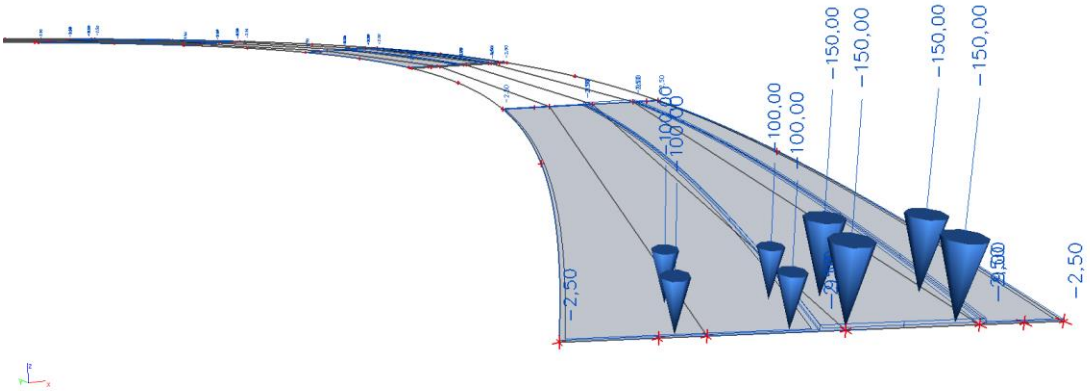


Slika 58. Pokretno opterećenje za maksimalni moment na drugom ležaju – vrijednosti

7. Pokretno opterećenje (maksimalna poprečna sila pri upornjaku)

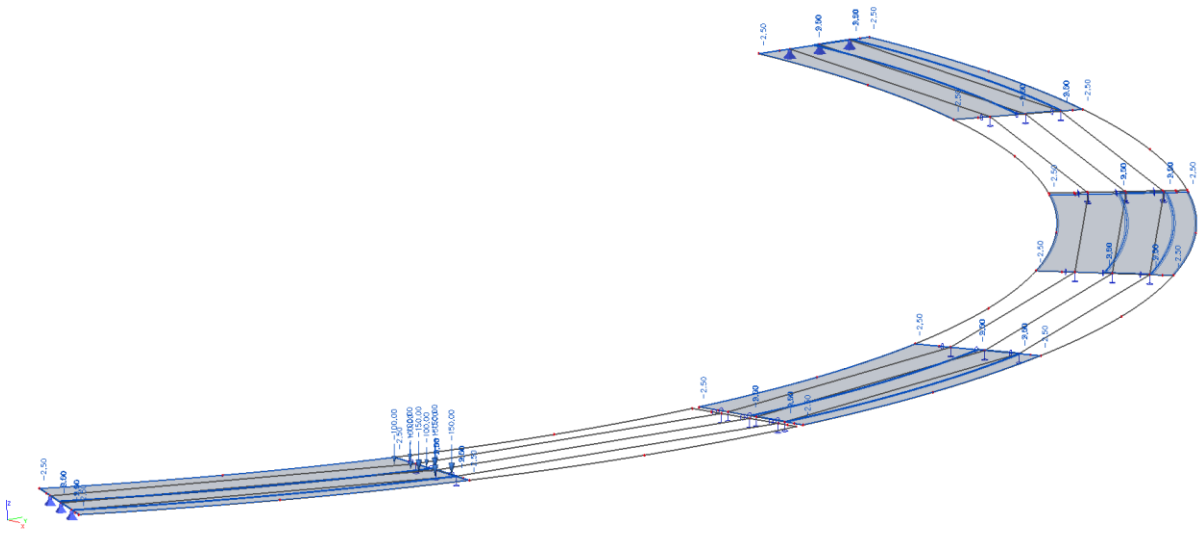


Slika 59. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri upornjaku

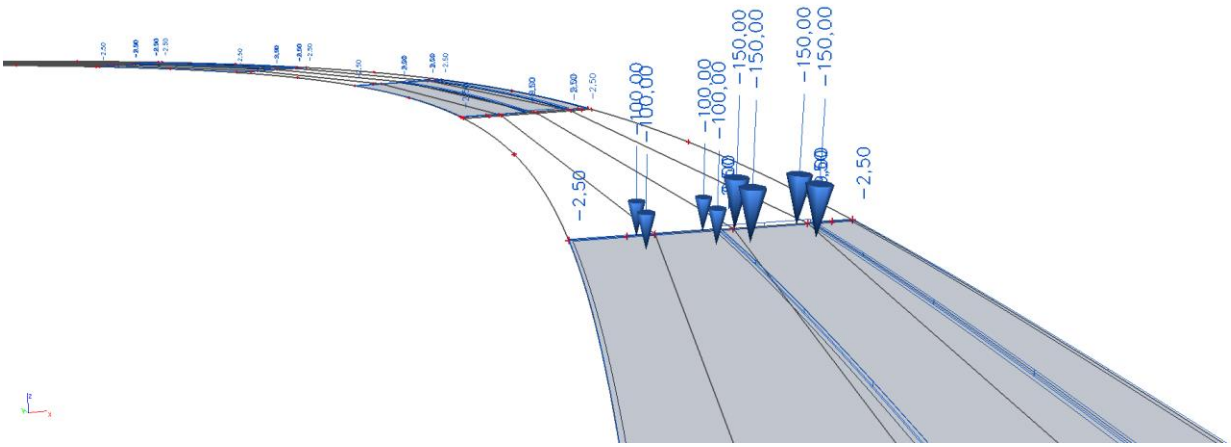


Slika 60. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri upornjaku – vrijednosti

8. Pokretno opterećenje (maksimalna poprečna sila pri prvom stupu)

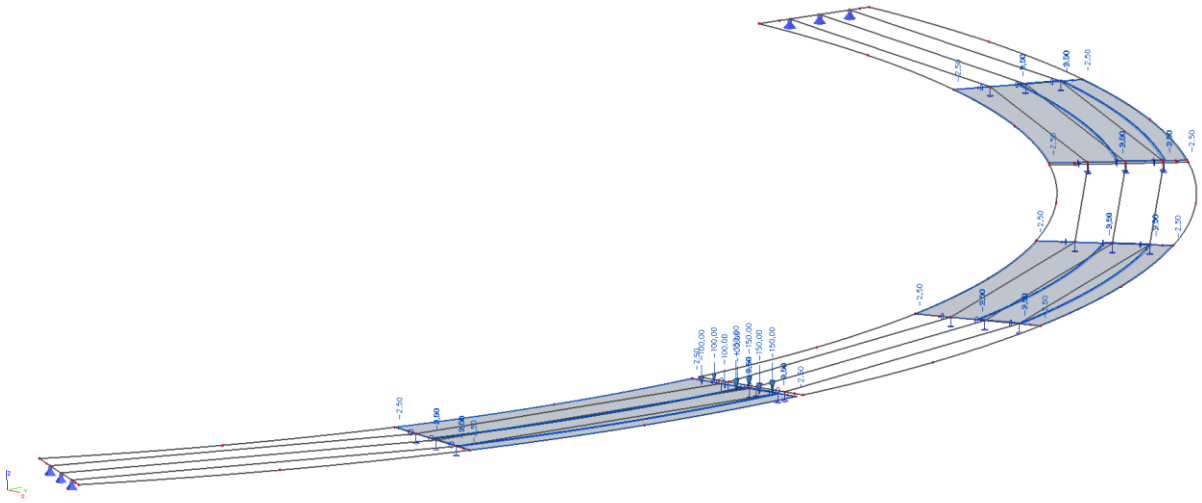


Slika 61. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri prvom stupu

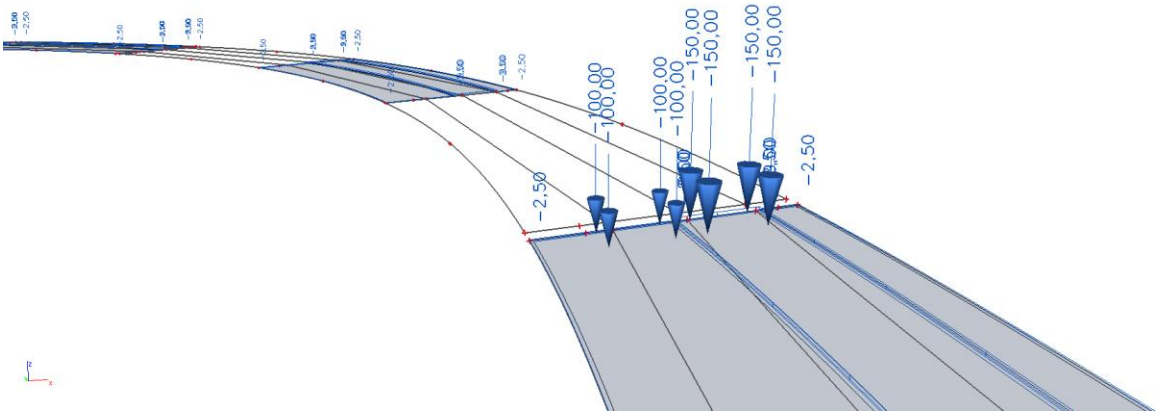


Slika 62. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri prvom stupu – vrijednosti

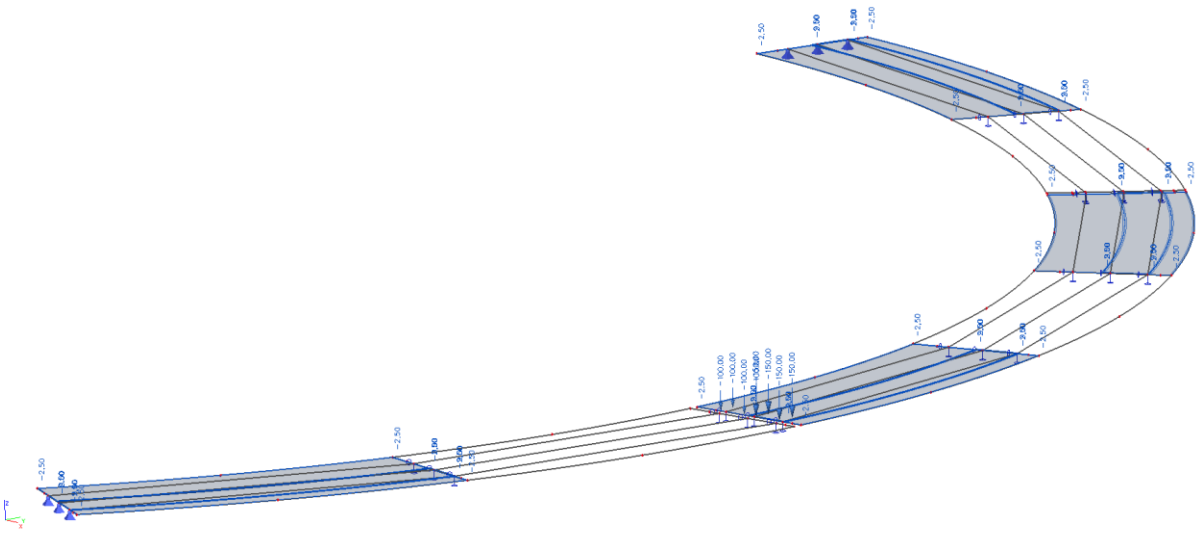
9. Pokretno opterećenje (maksimalna poprečna sila pri drugom stupu)



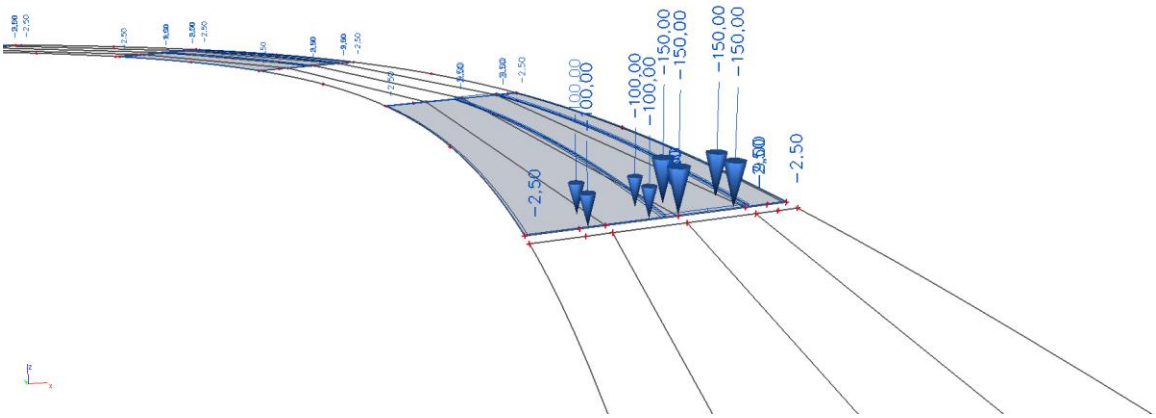
Slika 63. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri drugom stupu – lijevo



Slika 64. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri drugom stupu – lijevo – vrijednosti

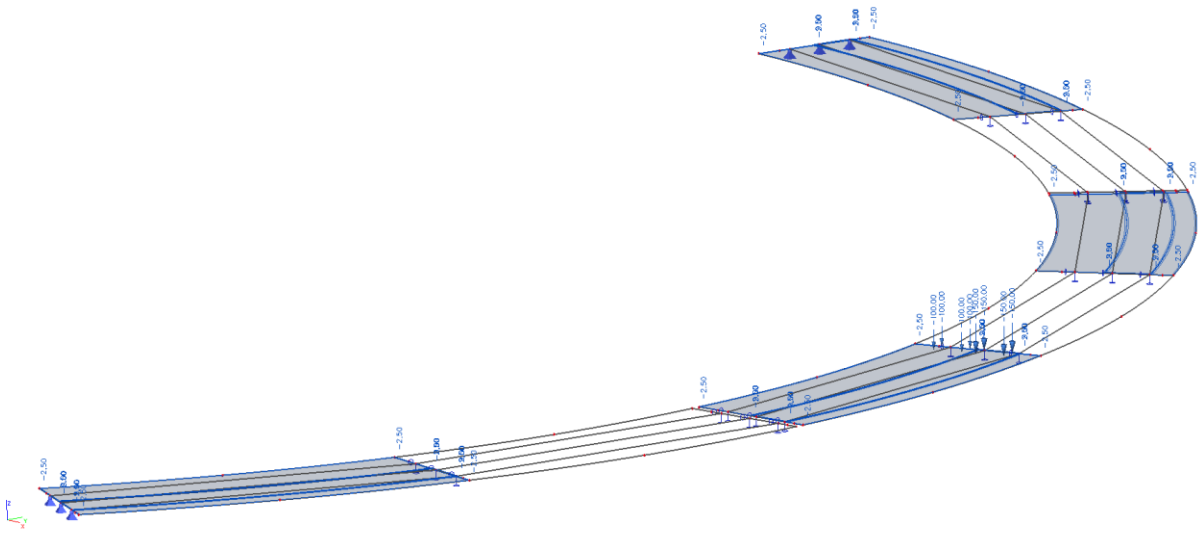


Slika 65. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri drugom stupu – desno

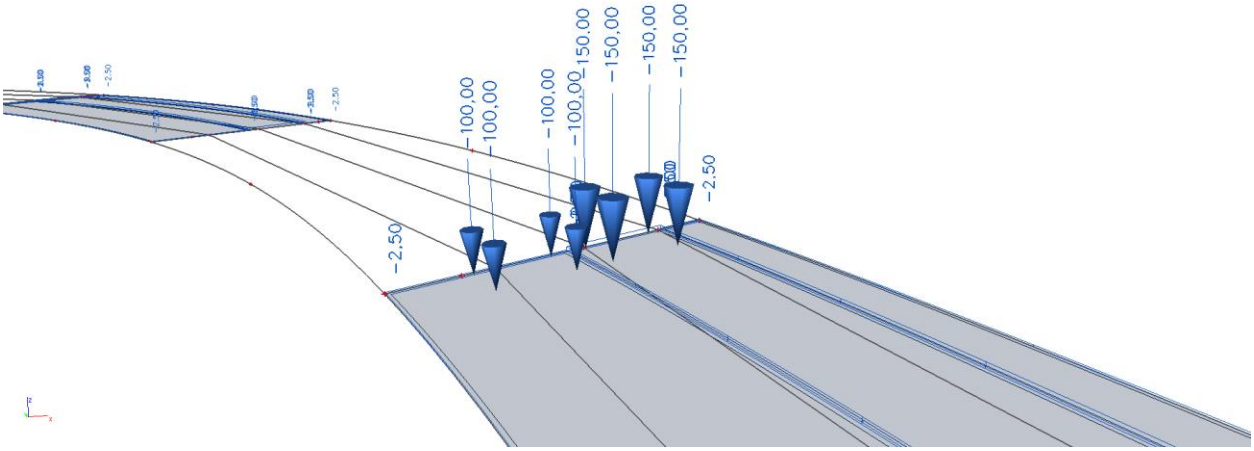


Slika 66. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri drugom stupu – desno – vrijednosti

10. Pokretno opterećenje (maksimalna poprečna sila pri trećem stupu)



Slika 67. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri trećem stupu



Slika 68. Pokretno opterećenje za maksimalnu poprečnu silu pri trećem stupu – vrijednosti

6.4 Rezne sile i reakcije od dodatnog stalnog i pokretnog opterećenja

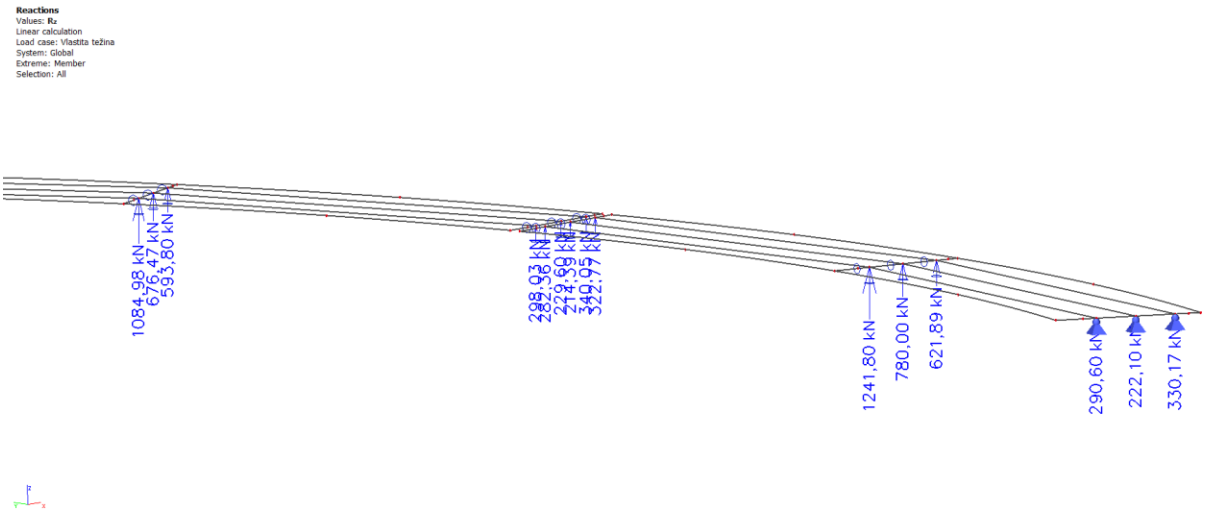
U proračun su uzeta sljedeća opterećenja, te su za ista prikazani rezultati proračuna:

- vlastita težina
- dodatno stalno opterećenje
- pokretno opterećenje – maksimalni moment u prvom polju
- pokretno opterećenje – maksimalni moment u drugom polju
- pokretno opterećenje – maksimalni moment u trećem polju
- pokretno opterećenje – maksimalni moment u četvrtom polju
- pokretno opterećenje – maksimalni moment na prvom ležaju
- pokretno opterećenje – maksimalni moment na drugom ležaju
- pokretno opterećenje – maksimalna poprečna sila pri upornjaku
- pokretno opterećenje – maksimalna poprečna sila pri prvom stupu
- pokretno opterećenje – maksimalna poprečna sila pri drugom stupu – lijevo
- pokretno opterećenje – maksimalna poprečna sila pri drugom stupu – desno
- pokretno opterećenje – maksimalna poprečna sila trećem stupu

Klasična i prednapeta armatura proračunata je za najopterećeniji (N4) i najmanje opterećeni rubni rasponski nosač (N7), te najopterećeniji (N5) i najmanje opterećeni središnji rasponski nosač (N8), pa su za iste prikazani i rezultati proračuna.

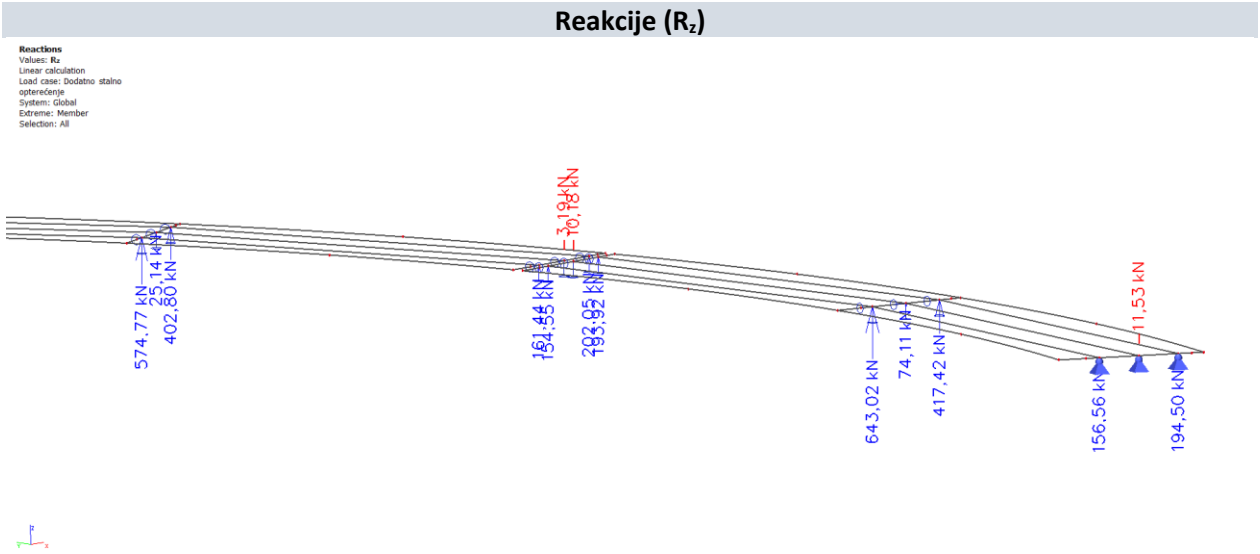
Budući da je predmetni most simetričan, reakcije oslonaca prikazane su za polovicu mosta.

6.4.1 Vlastita težina



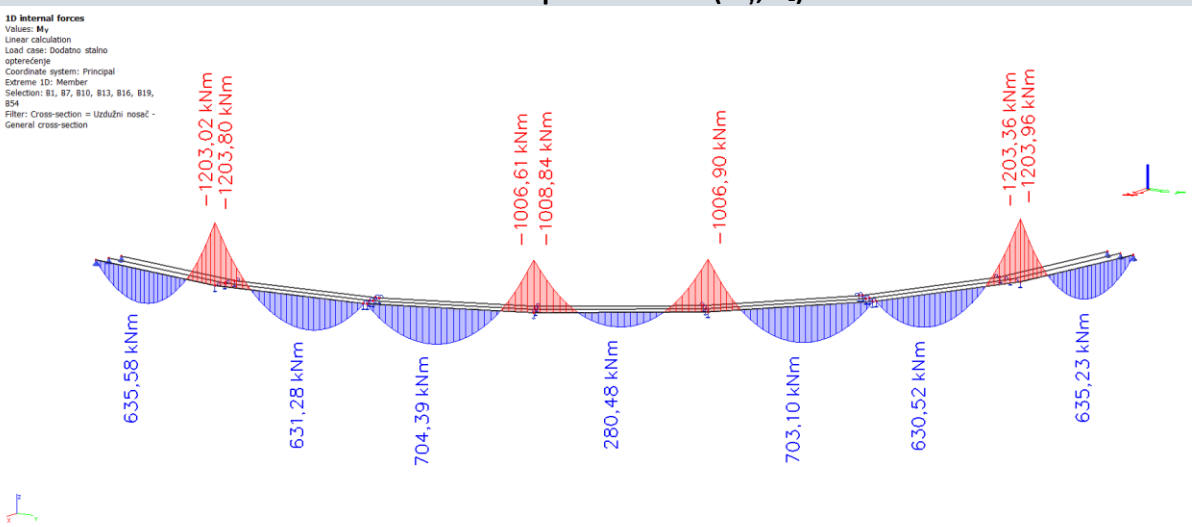
Slika 69. Vlastita težina – reakcije R_z (kN)

6.4.2 Dodatno stalno opterećenje

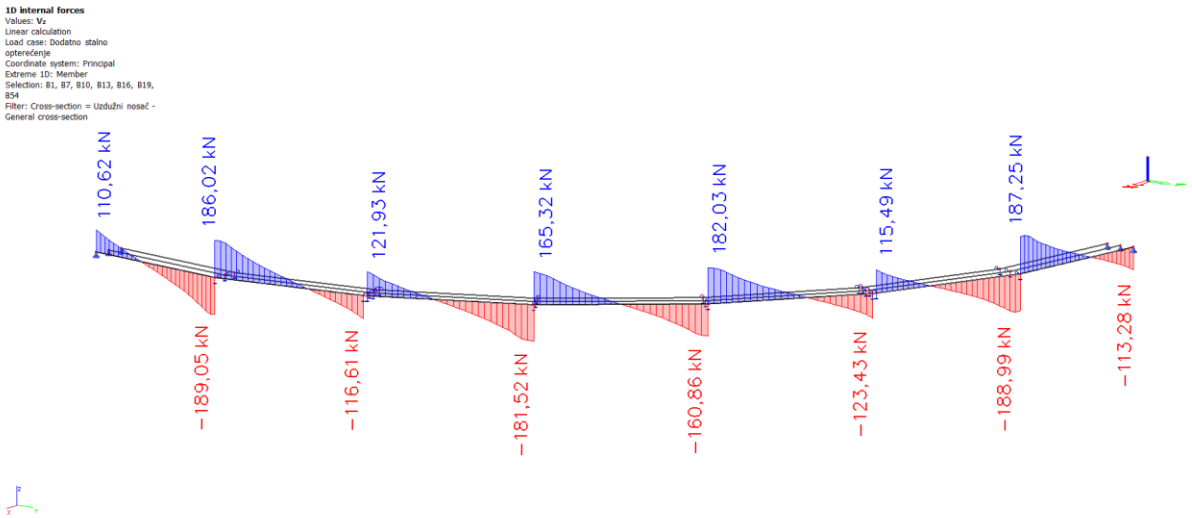


Slika 70. Dodatno stalno opterećenje – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

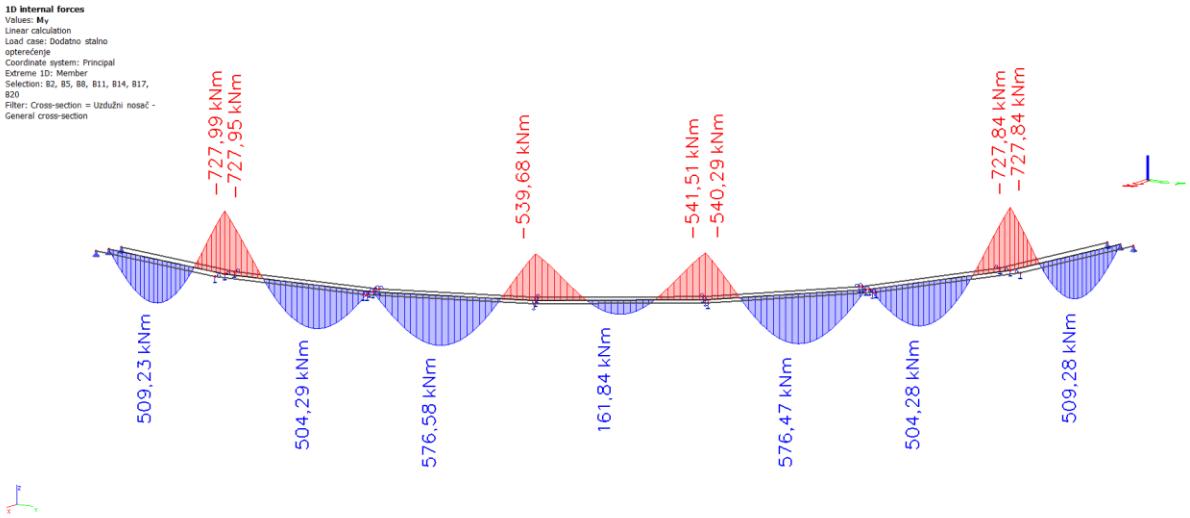


Slika 71. Dodatno stalno opterećenje – momenti M_y (kNm)

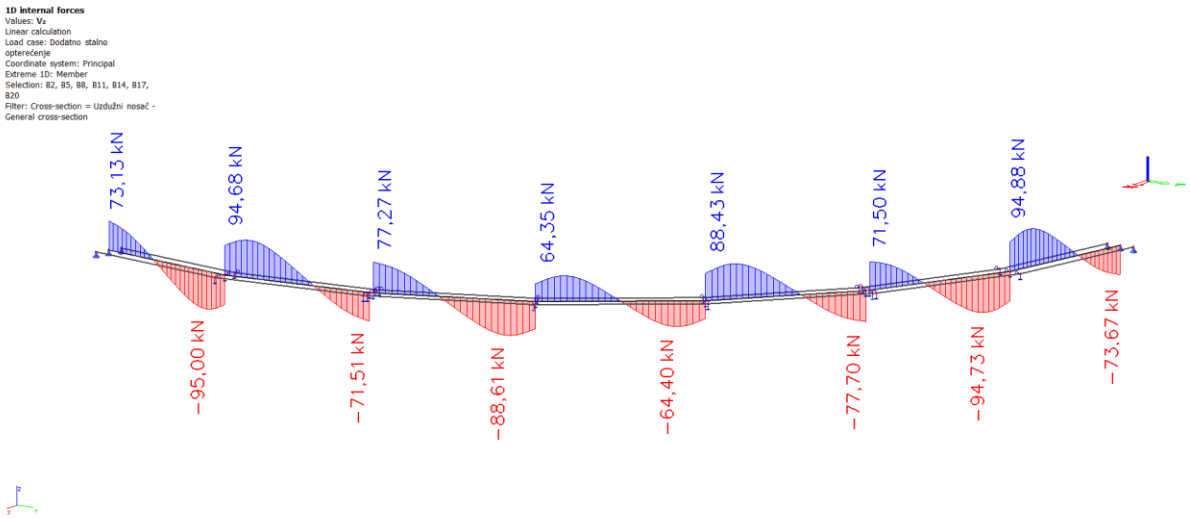


Slika 72. Dodatno stalno opterećenje – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



Slika 73. Dodatno stalno opterećenje – momenti M_y (kNm)

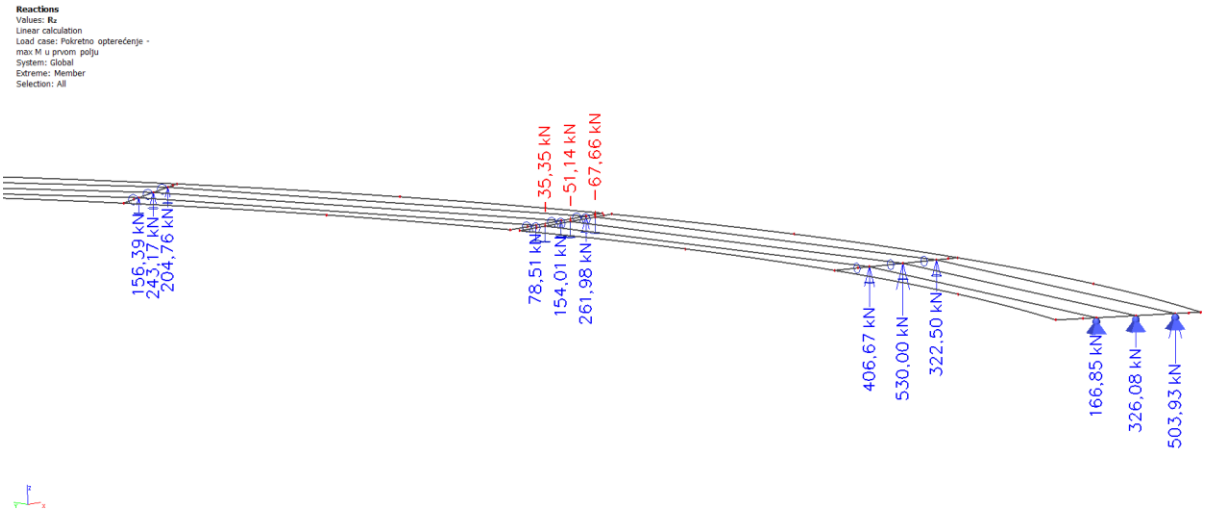


Slika 74. Dodatno stalno opterećenje – poprečne sile V_z (kN)

6.4.3 Pokretno opterećenje

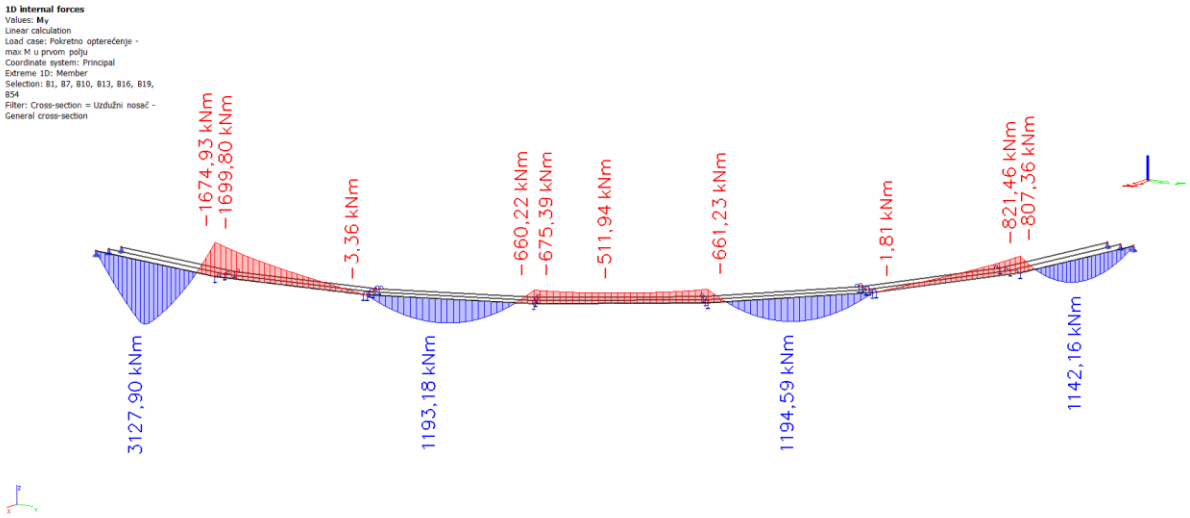
1. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u prvom polju)

Reakcije (R_z)

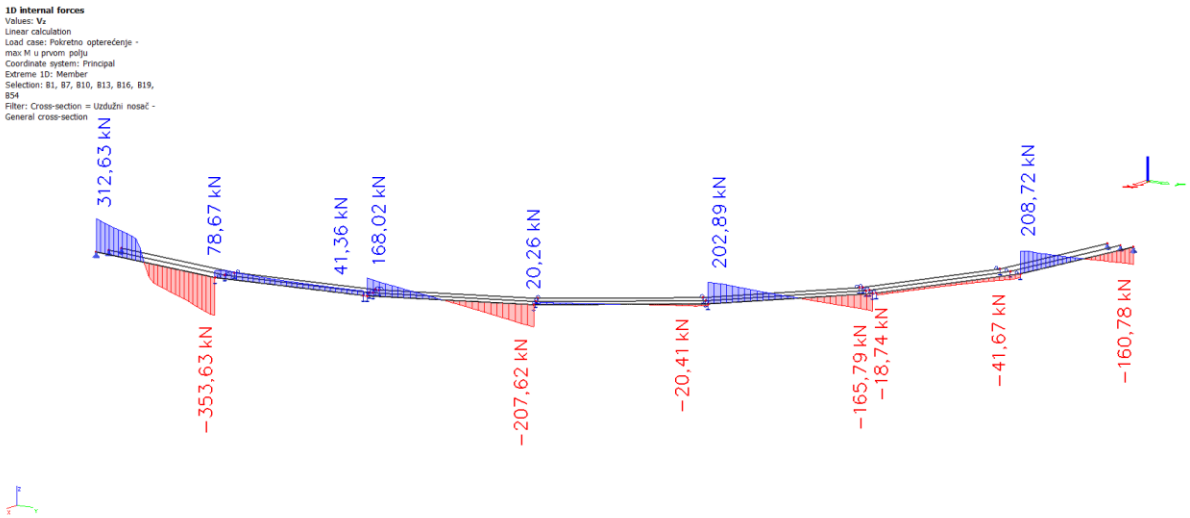


Slika 75. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u prvom polju – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

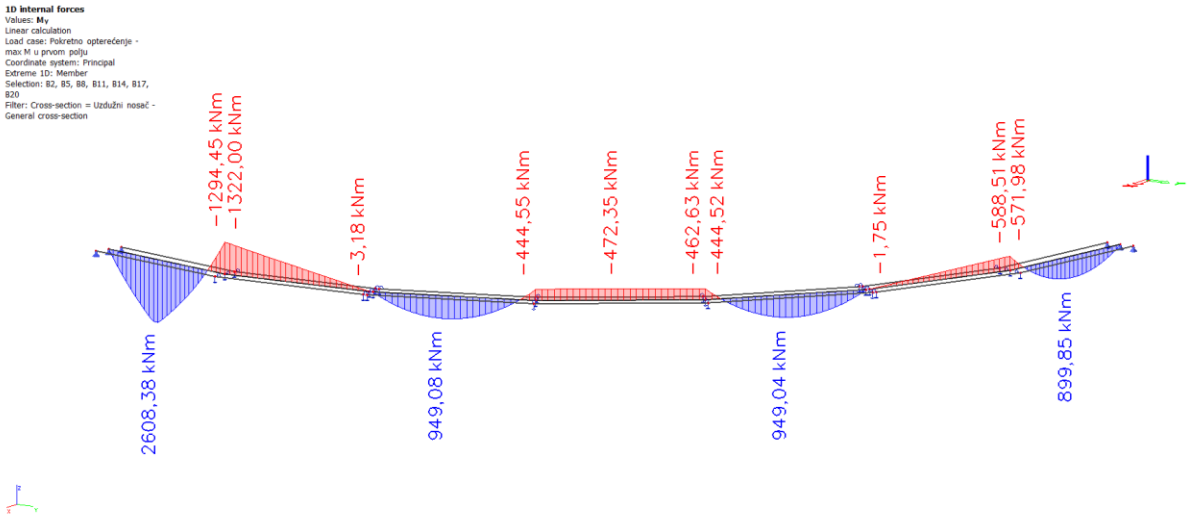


Slika 76. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u prvom polju – momenti M_y (kNm)

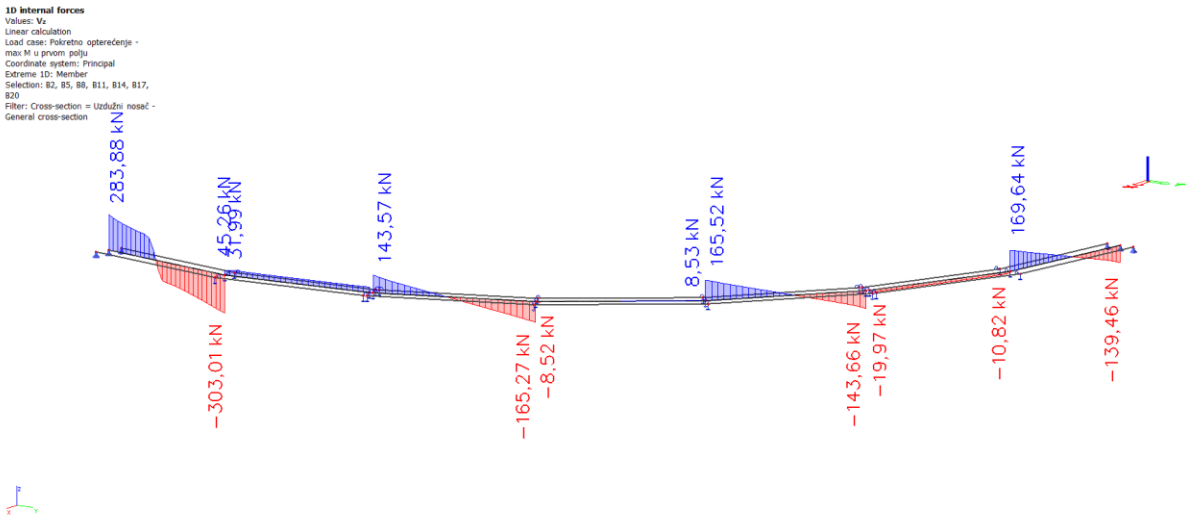


Slika 77. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u prvom polju – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



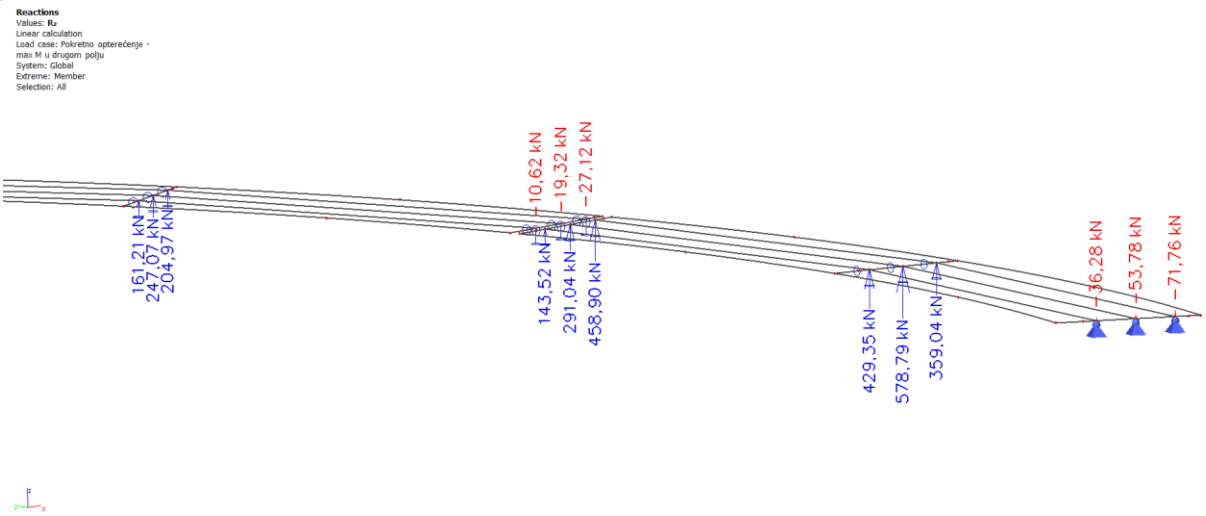
Slika 78. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u prvom polju – momenti M_y (kNm)



Slika 79. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u prvom polju – poprečne sile V_z (kN)

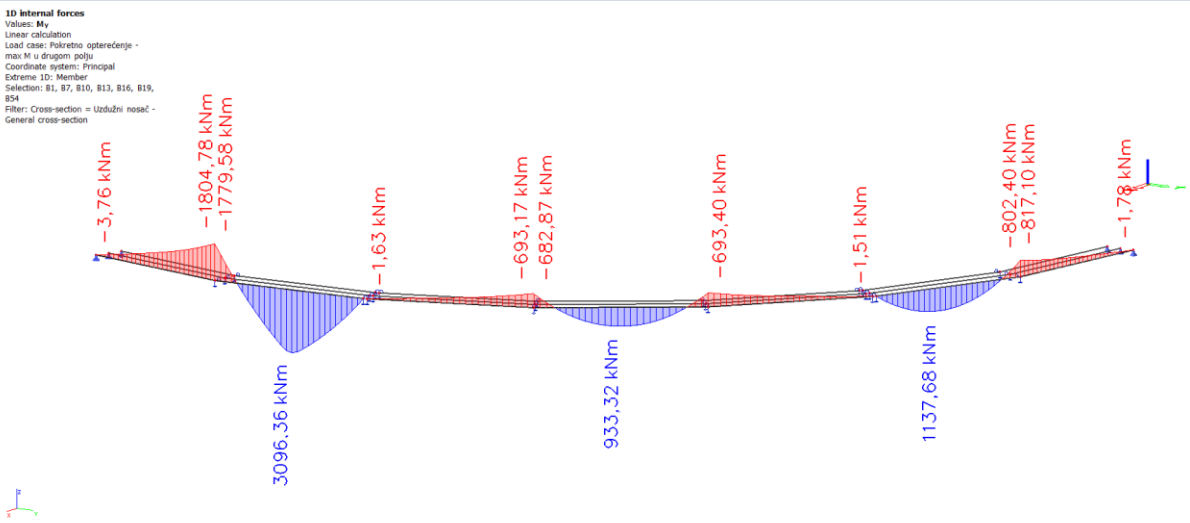
2. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u drugom polju)

Reakcije (R_z)

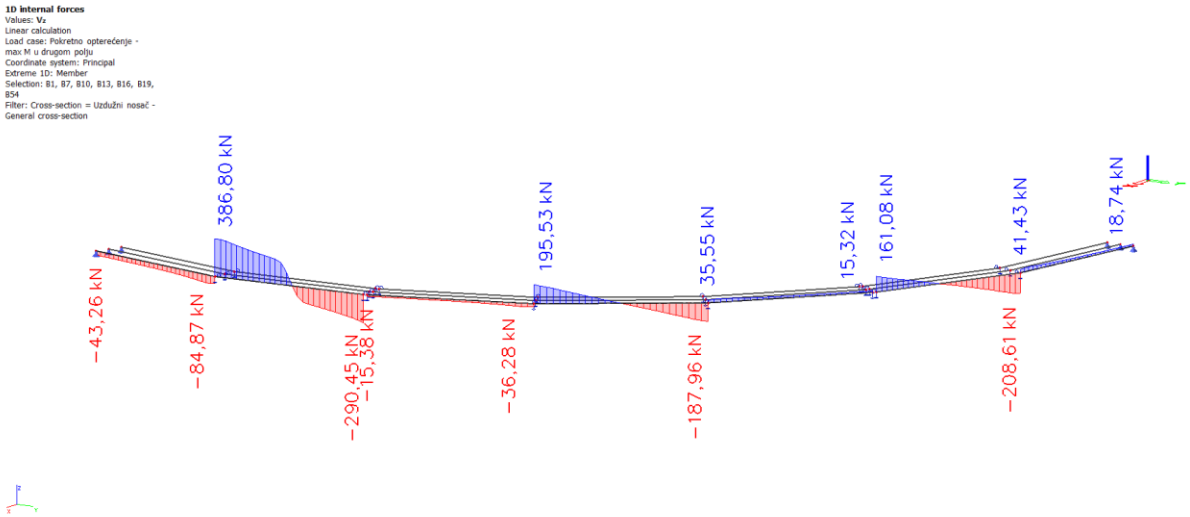


Slika 80. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u drugom polju – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

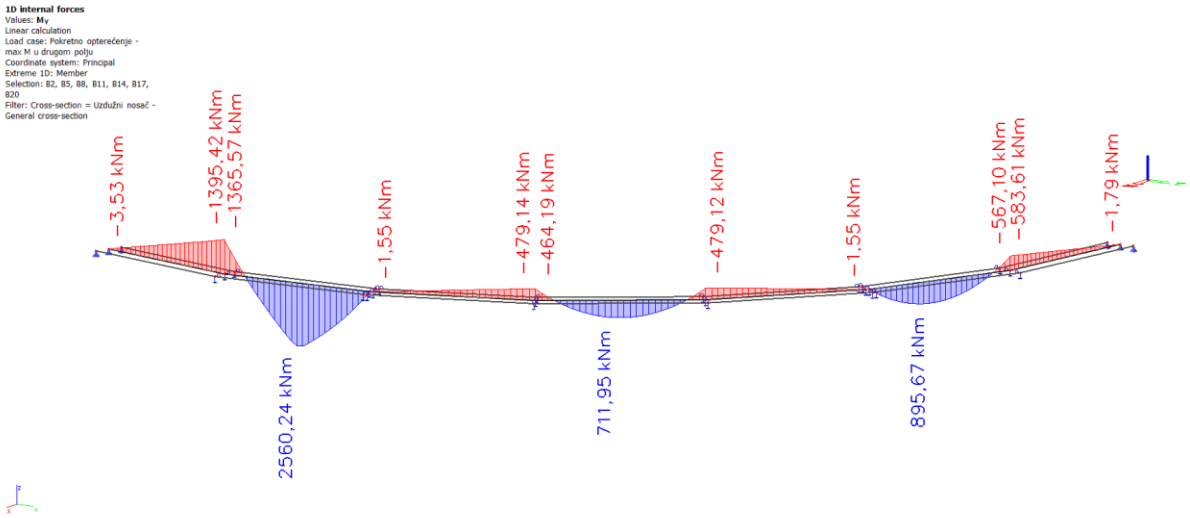


Slika 81. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u drugom polju – momenti M_y (kNm)

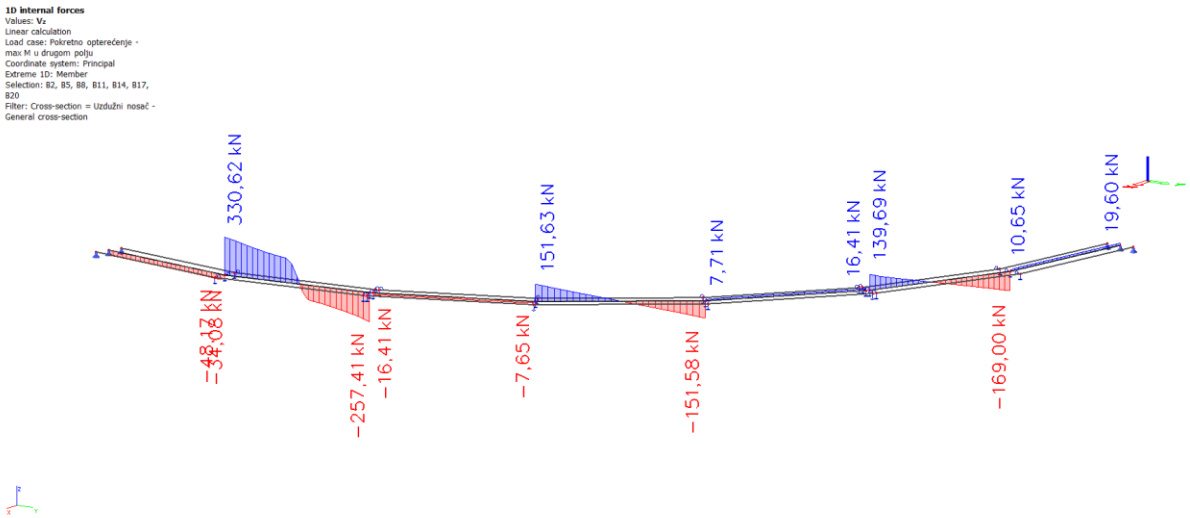


Slika 82. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u drugom polju – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



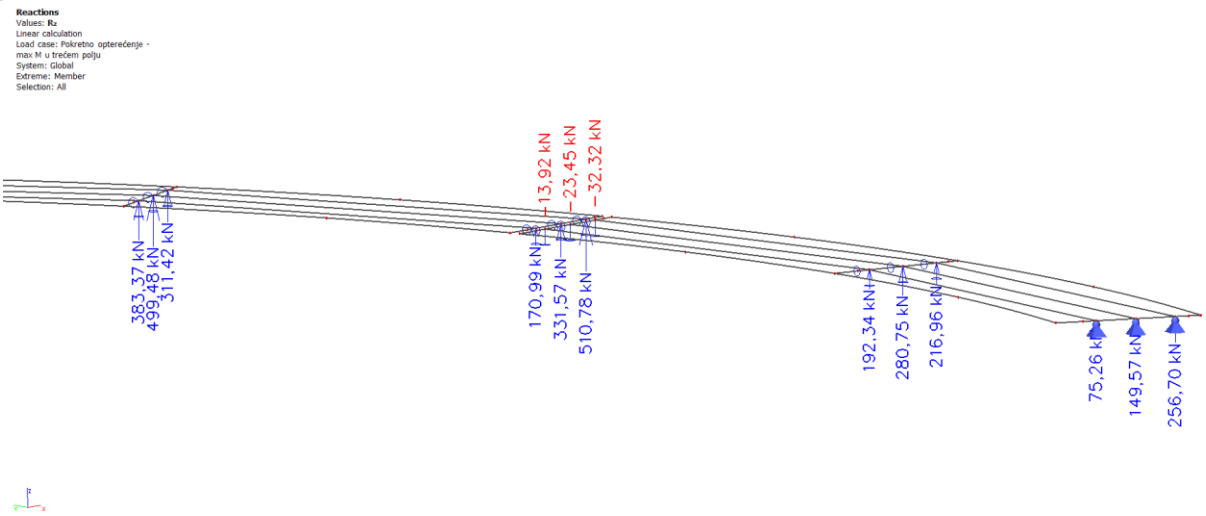
Slika 83. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u drugom polju – momenti M_y (kNm)



Slika 84. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u drugom polju – poprečne sile V_z (kN)

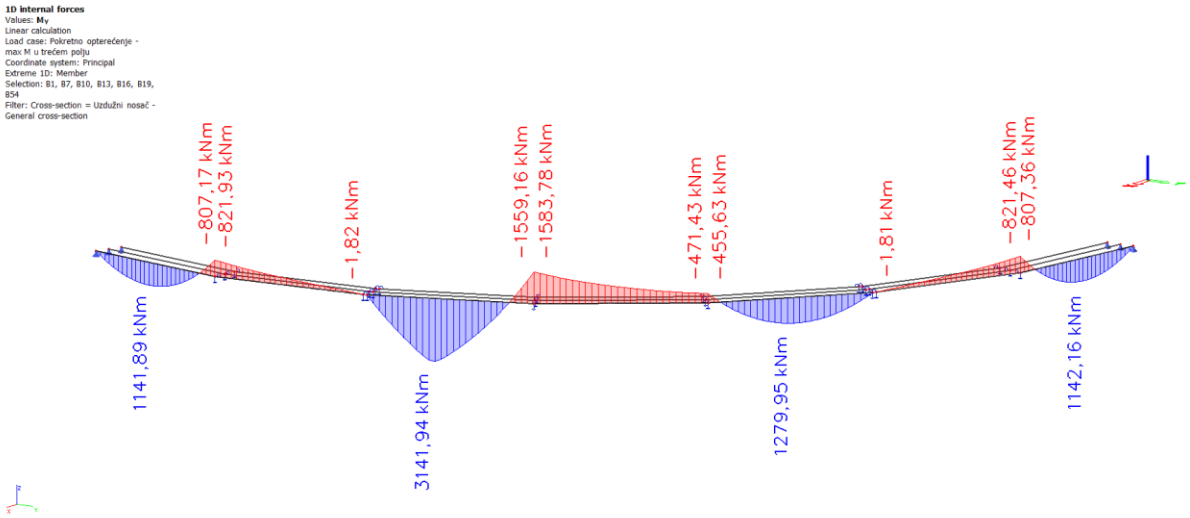
3. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u trećem polju)

Reakcije (R_z)

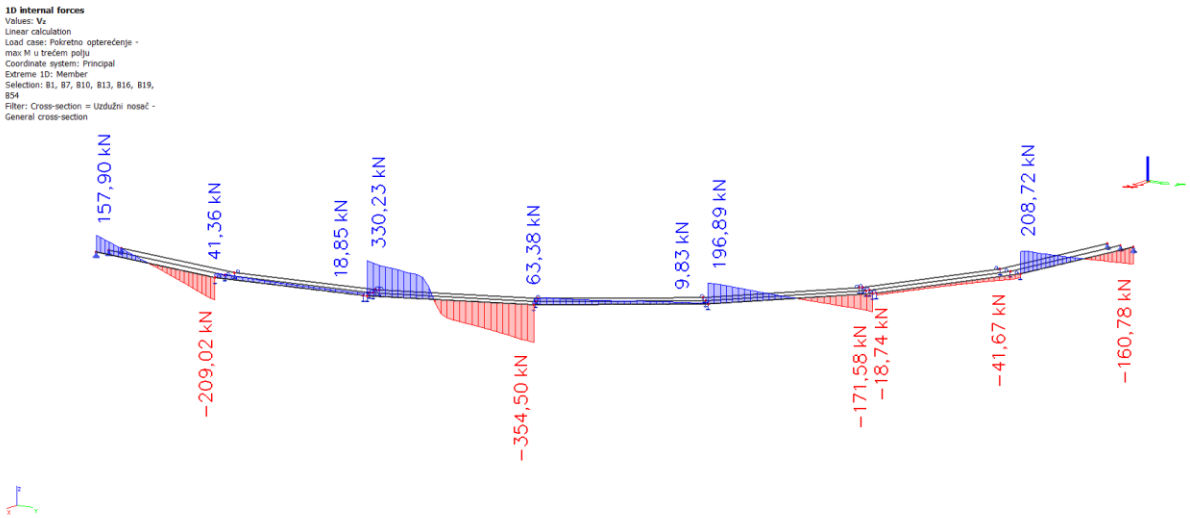


Slika 85. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u trećem polju – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

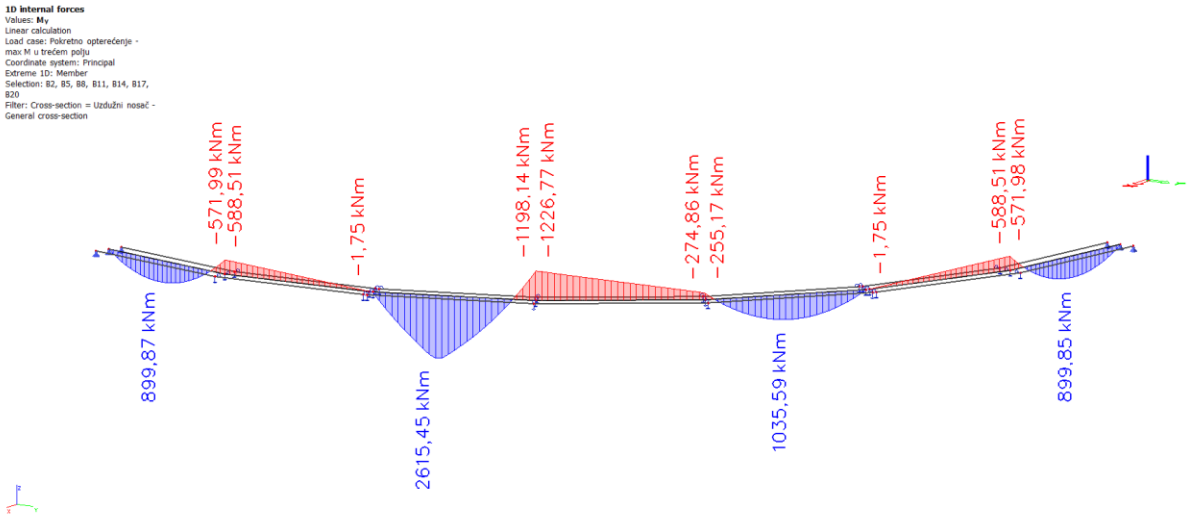


Slika 86. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u trećem polju – momenti M_y (kNm)

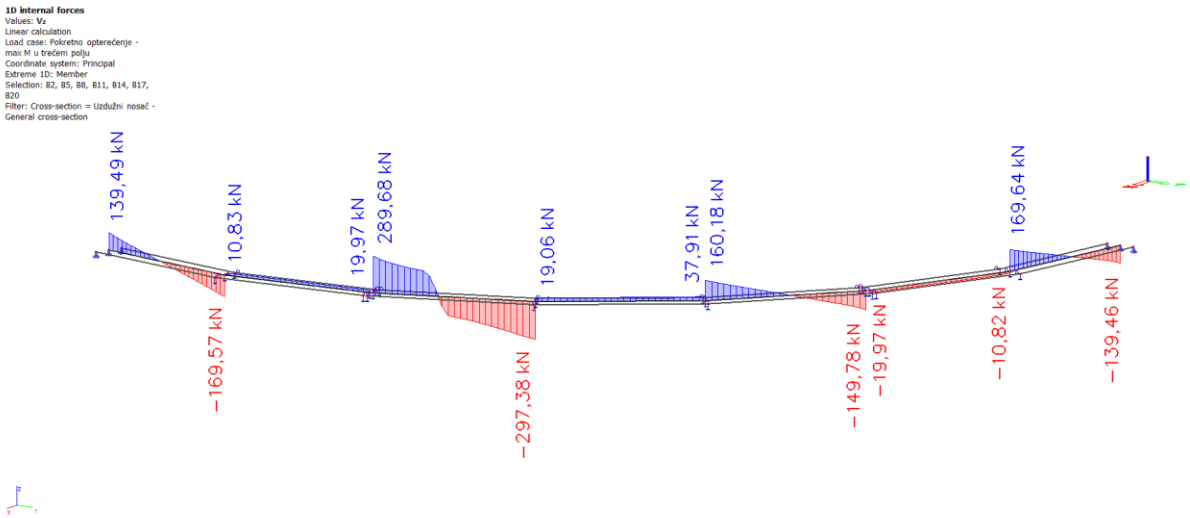


Slika 87. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u trećem polju – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



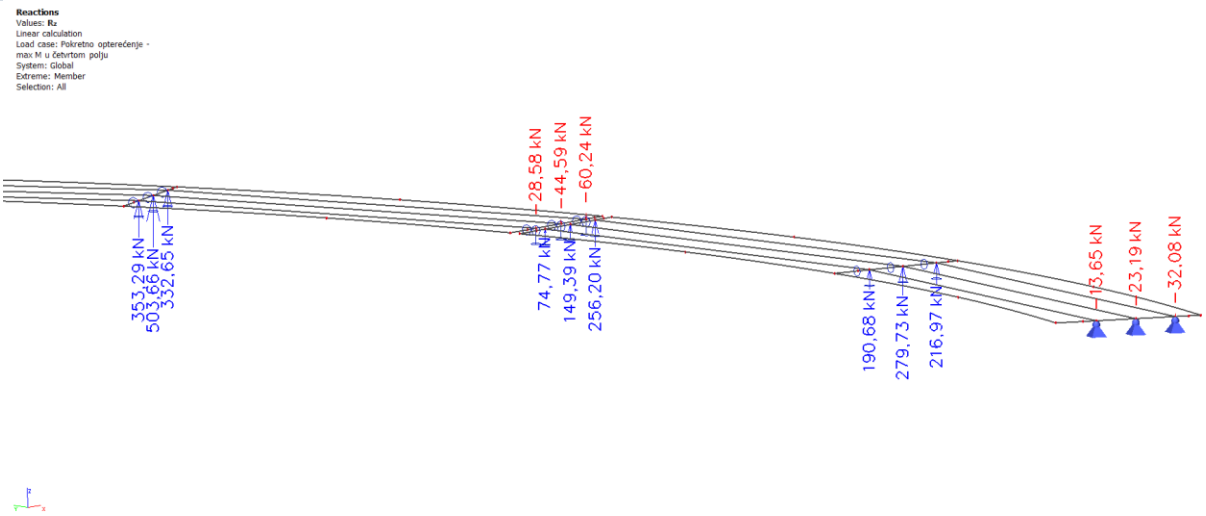
Slika 88. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u trećem polju – momenti M_y (kNm)



Slika 89. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u trećem polju – poprečne sile V_z (kN)

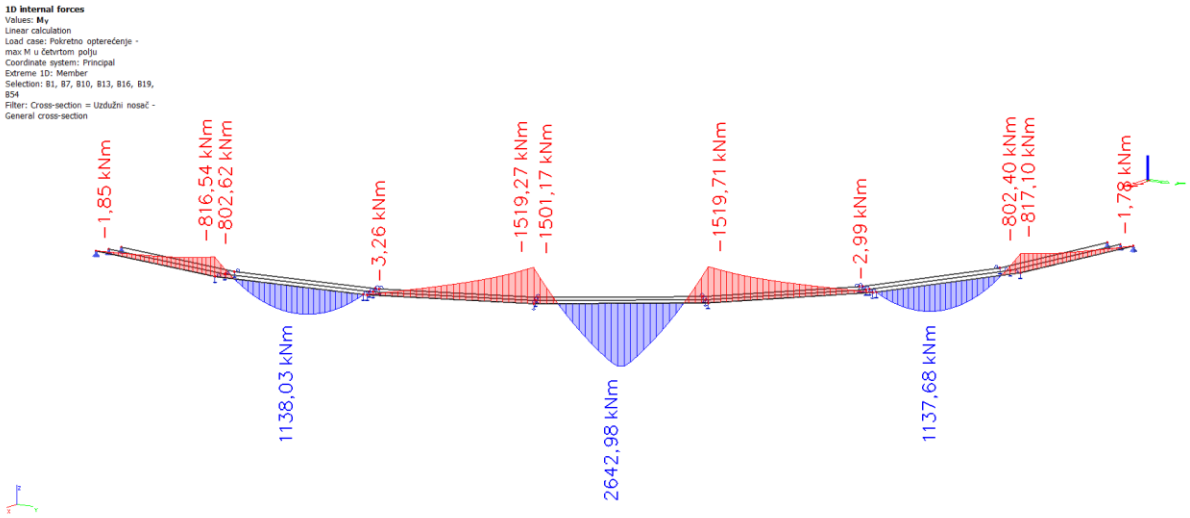
4. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u četvrtom polju)

Reakcije (R_z)

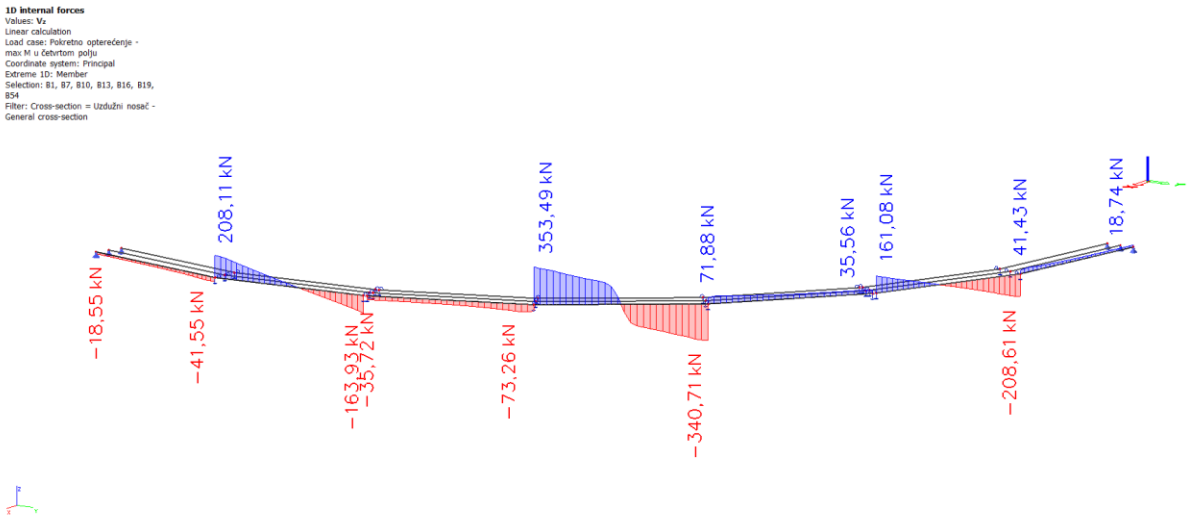


Slika 90. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u četvrtom polju – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

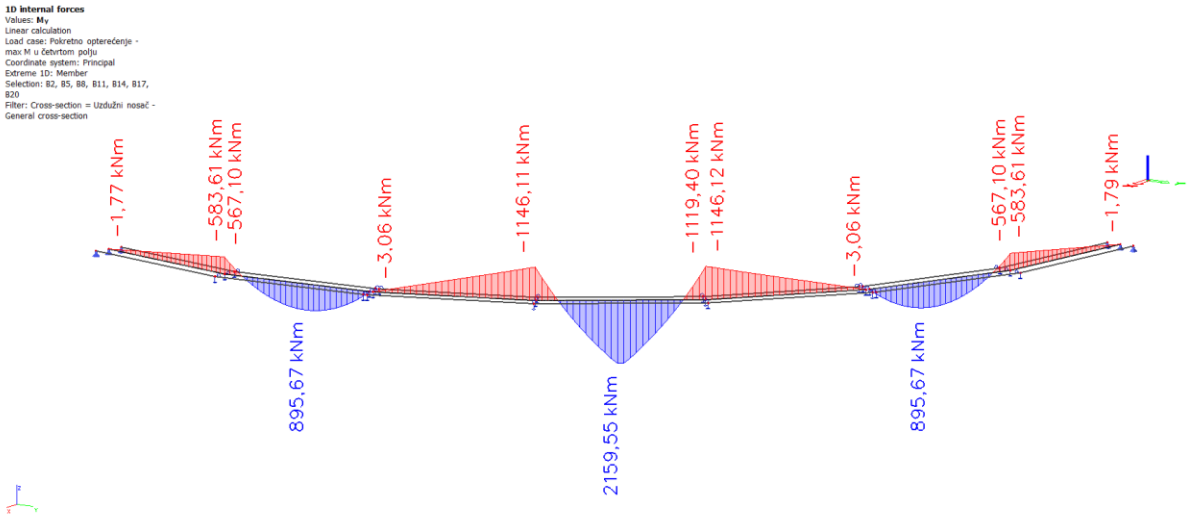


Slika 91. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u četvrtom polju – momenti M_y (kNm)

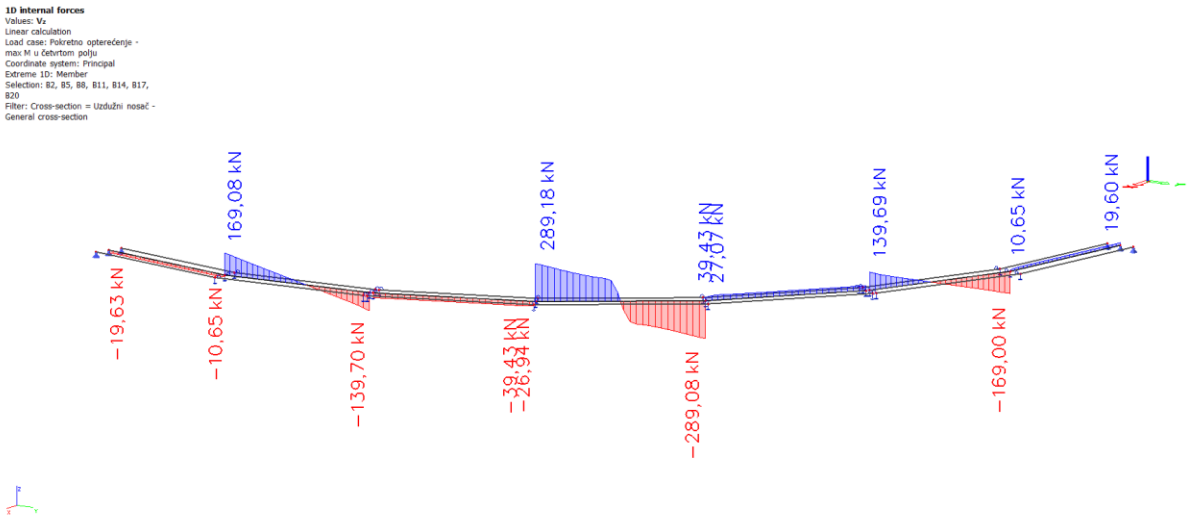


Slika 92. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u četvrtom polju – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



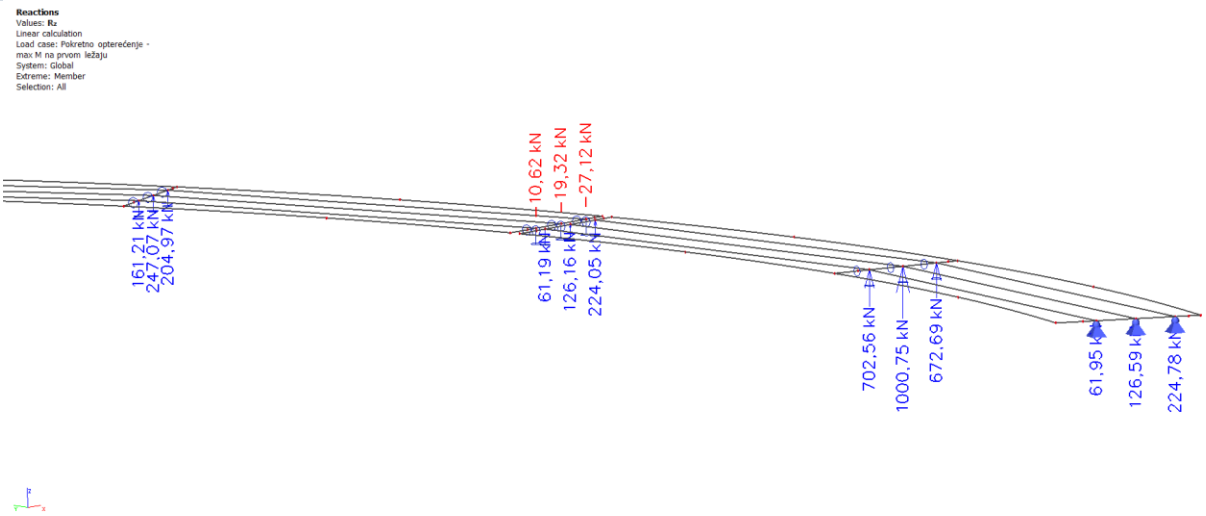
Slika 93. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u četvrtom polju – momenti M_y (kNm)



Slika 94. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u četvrtom polju – poprečne sile V_z (kN)

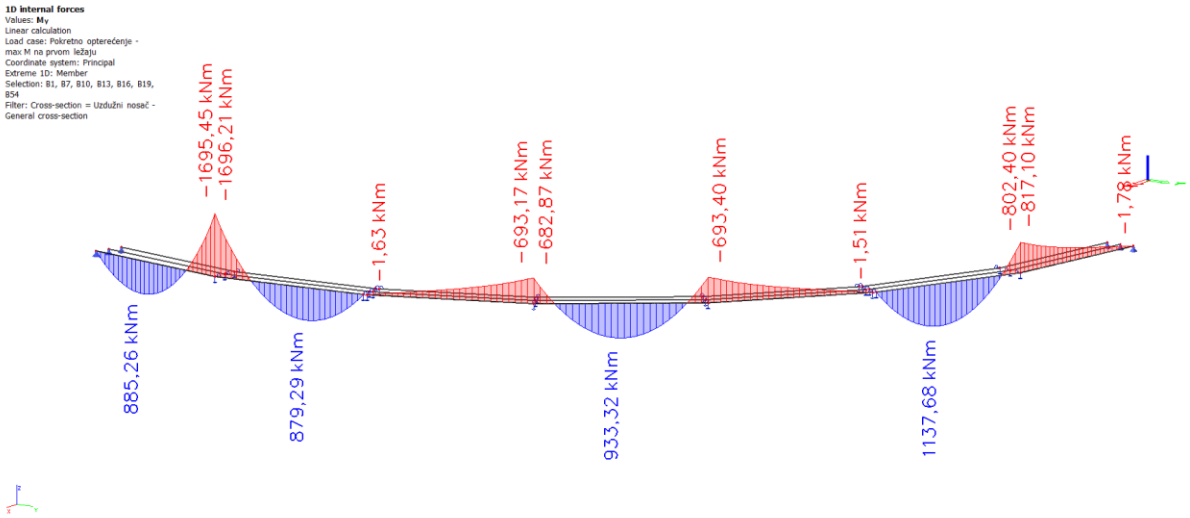
5. Pokretno opterećenje (maksimalni moment na prvom ležaju)

Reakcije (R_z)

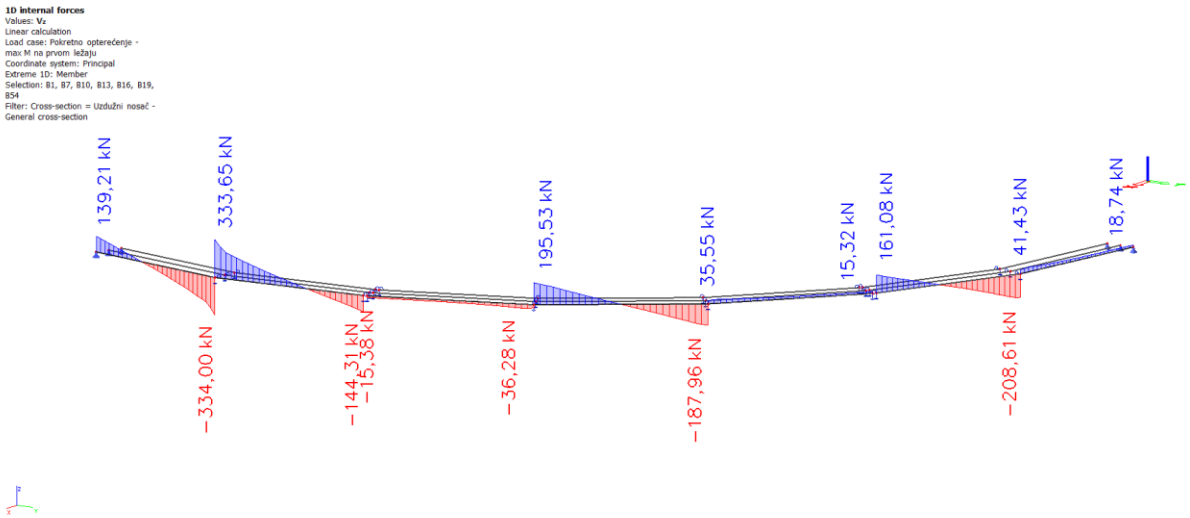


Slika 95. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na prvom ležaju – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

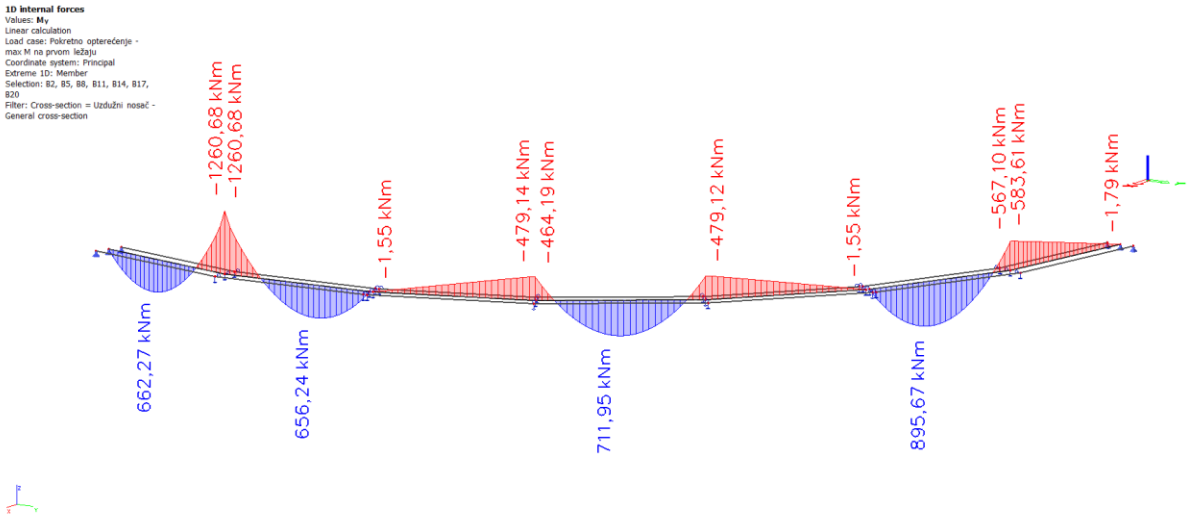


Slika 96. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na prvom ležaju – momenti M_y (kNm)

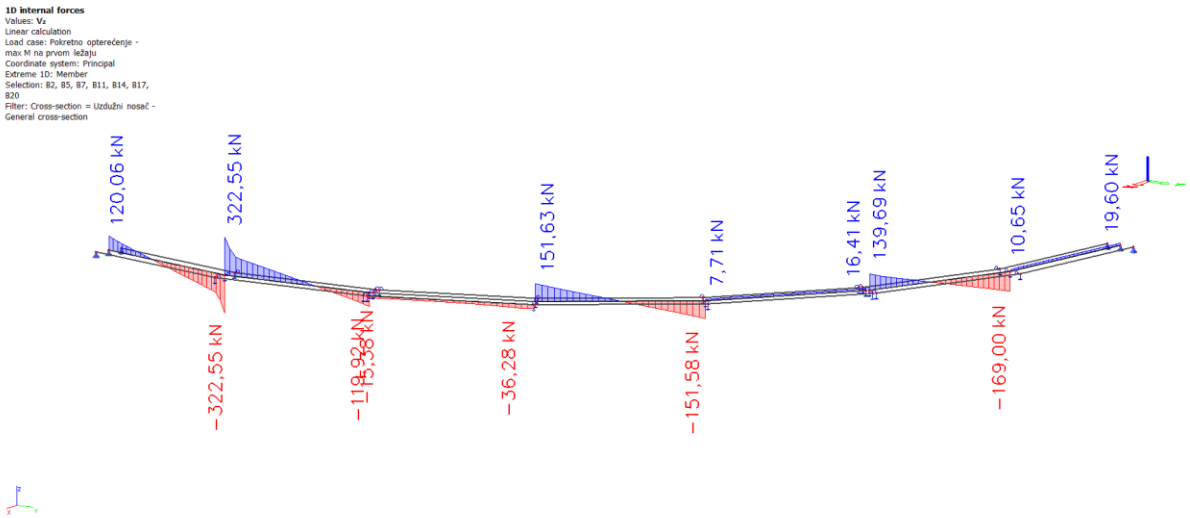


Slika 97. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na prvom ležaju – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



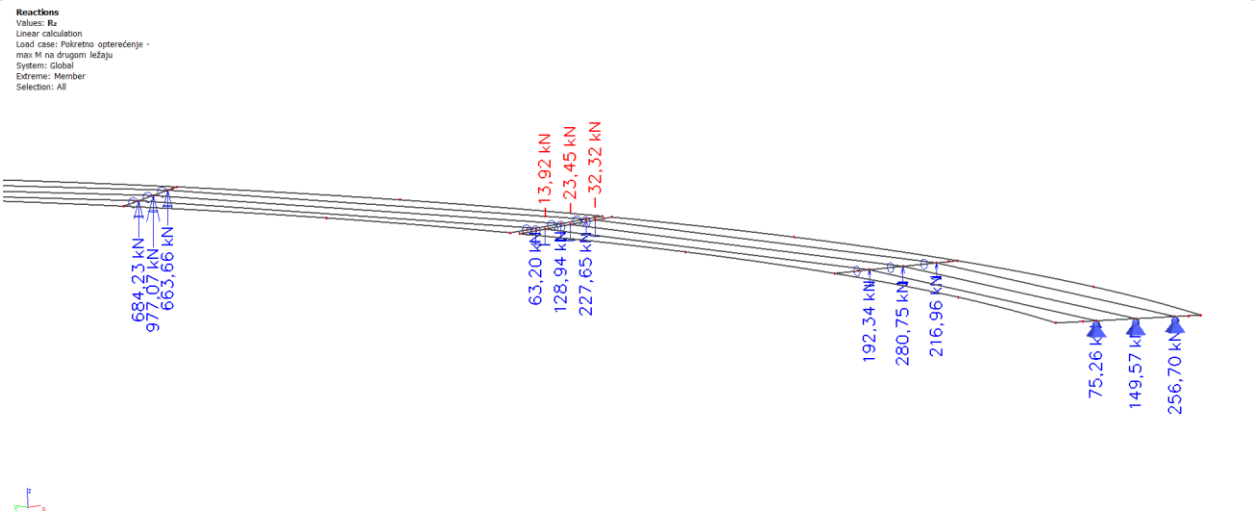
Slika 98. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na prvom ležaju – momenti M_y (kNm)



Slika 99. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na prvom ležaju – poprečne sile V_z (kN)

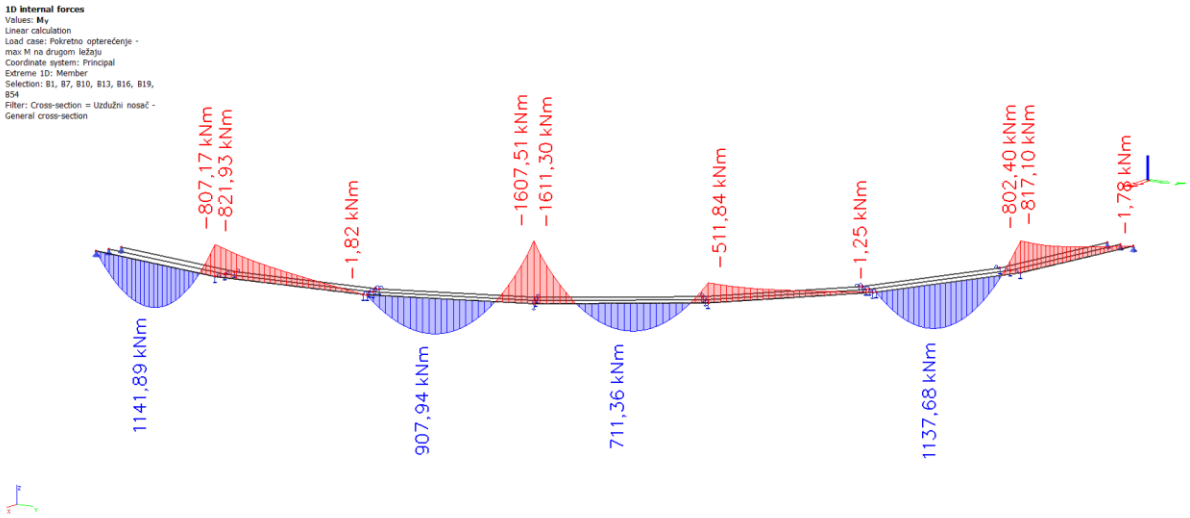
6. Pokretno opterećenje (maksimalni moment na drugom ležaju)

Reakcije (R_z)

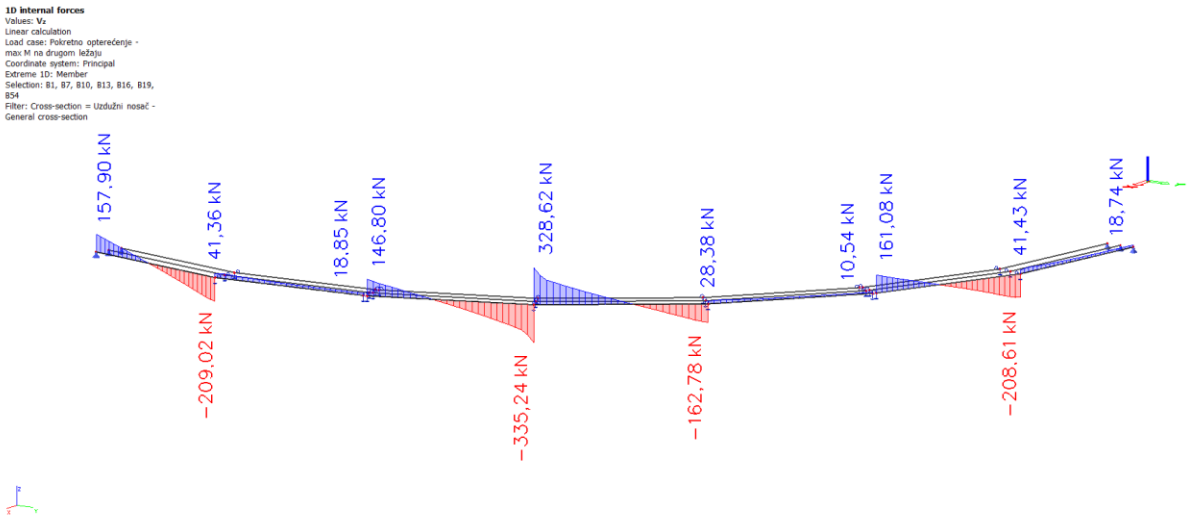


Slika 100. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na drugom ležaju – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

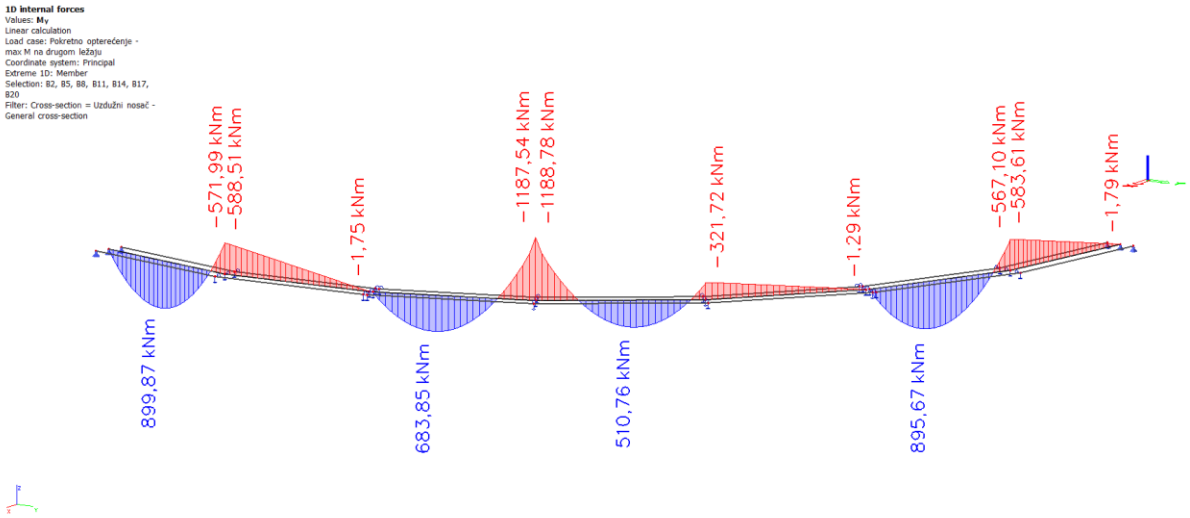


Slika 101. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na drugom ležaju – momenti M_y (kNm)

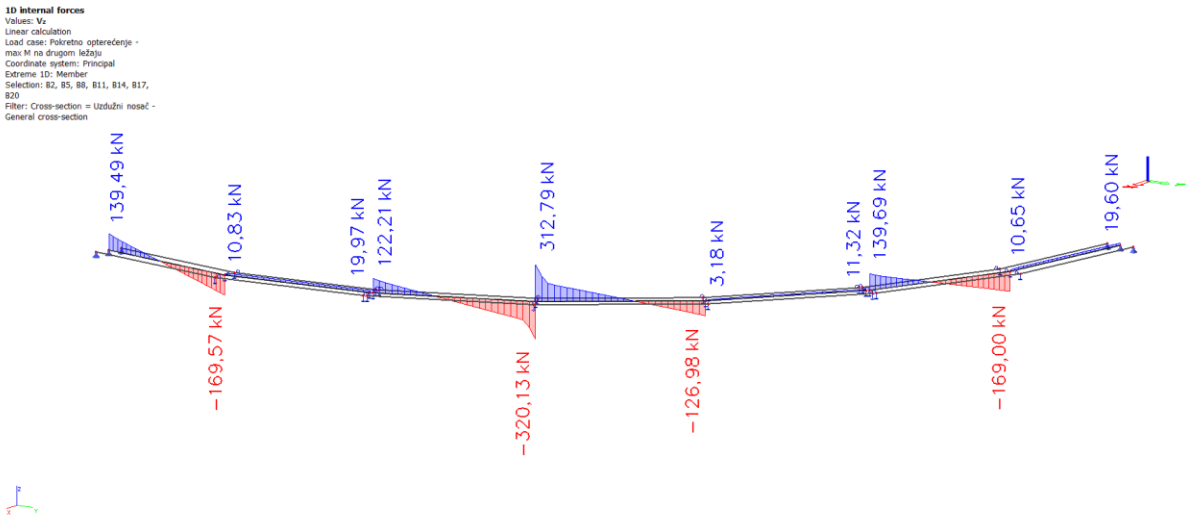


Slika 102. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na drugom ležaju – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



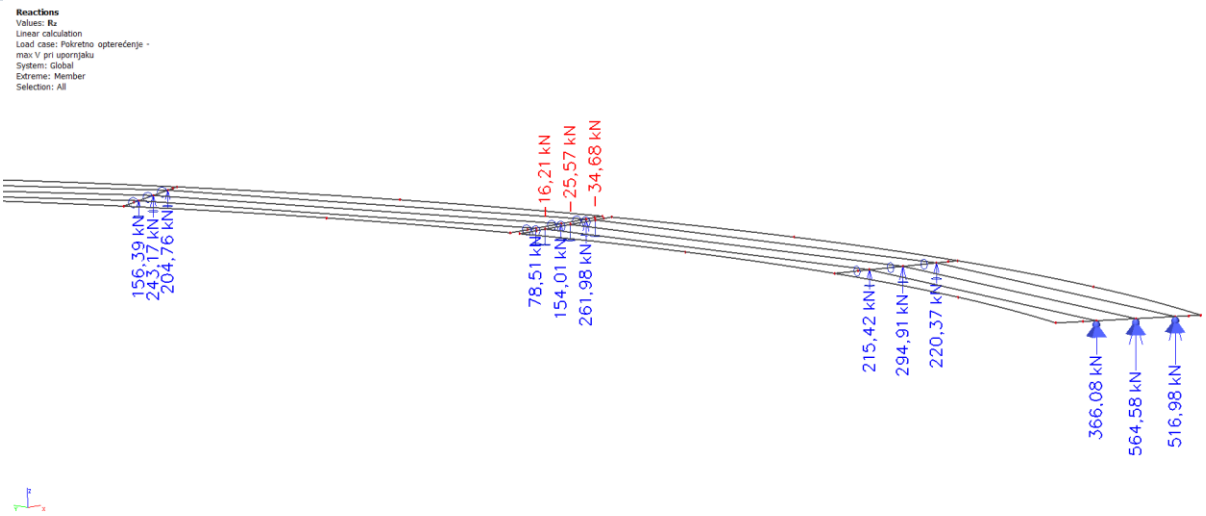
Slika 103. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na drugom ležaju – momenti M_y (kNm)



Slika 104. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti na drugom ležaju – poprečne sile V_z (kN)

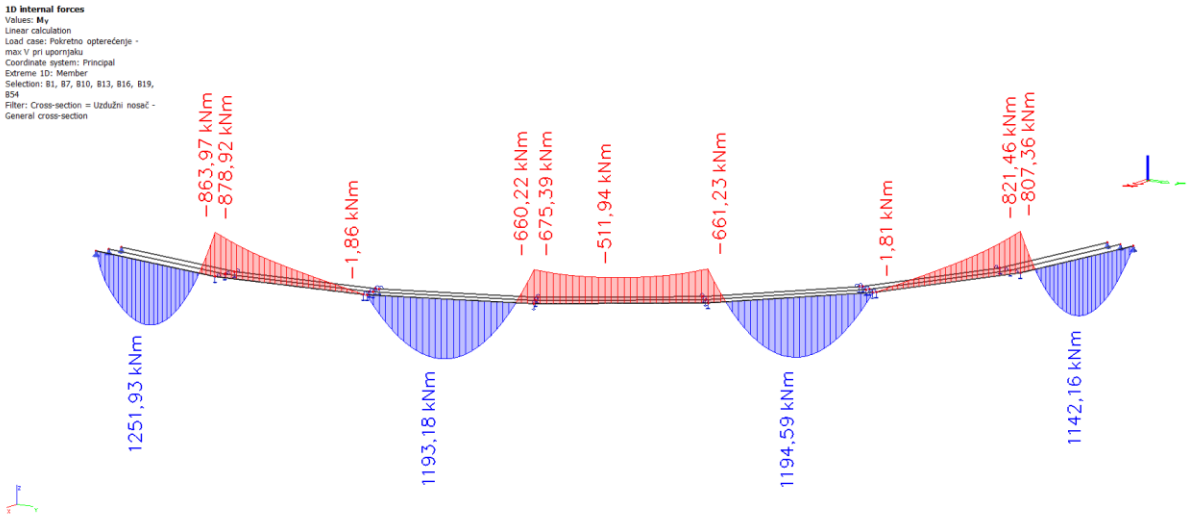
7. Pokretno opterećenje (maksimalna poprečna sila pri upornjaku)

Reakcije (R_z)

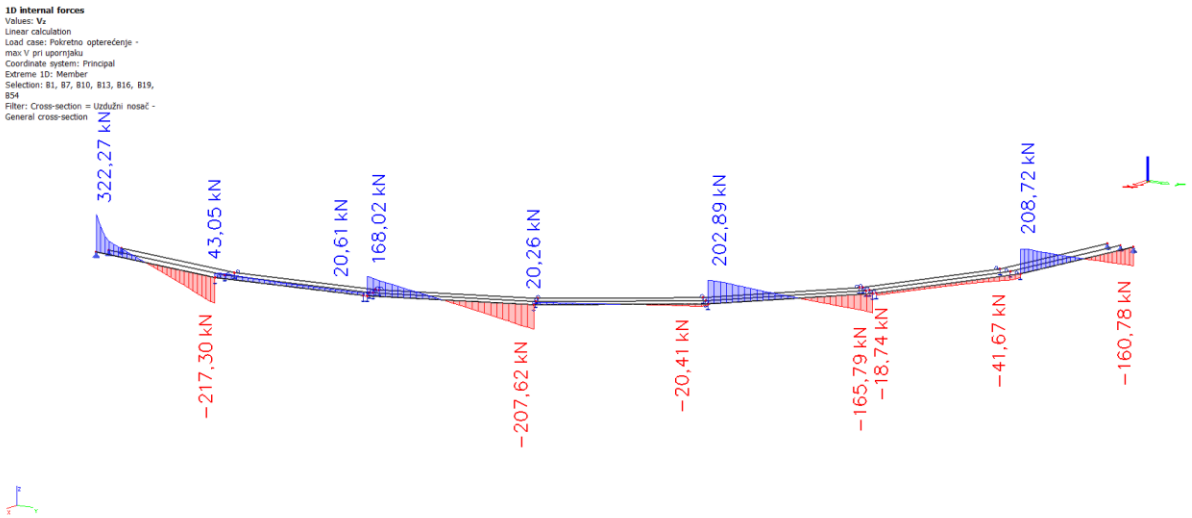


Slika 105. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri upornjaku – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

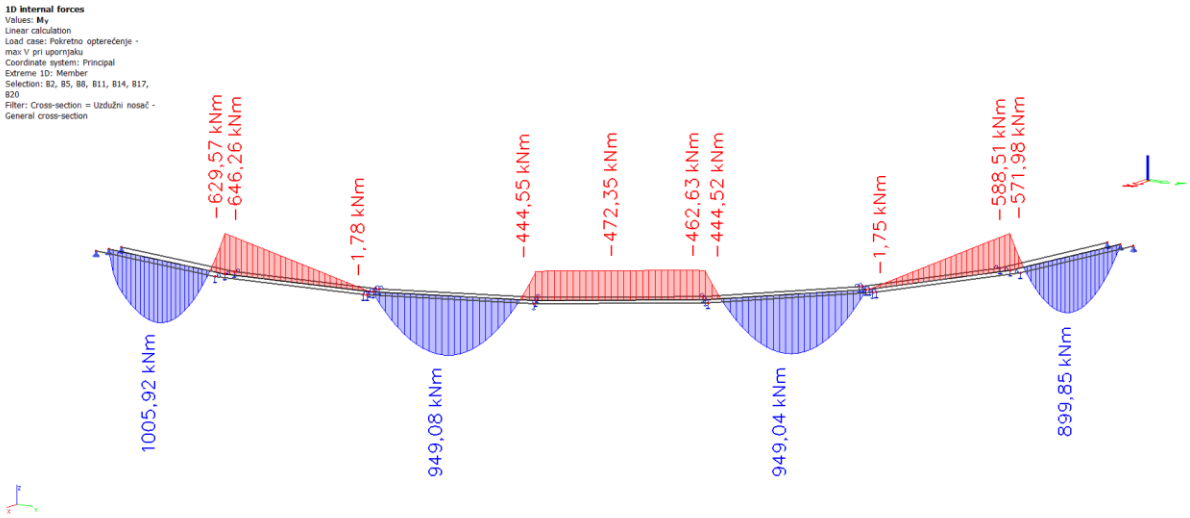


Slika 106. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri upornjaku – momenti M_y (kNm)

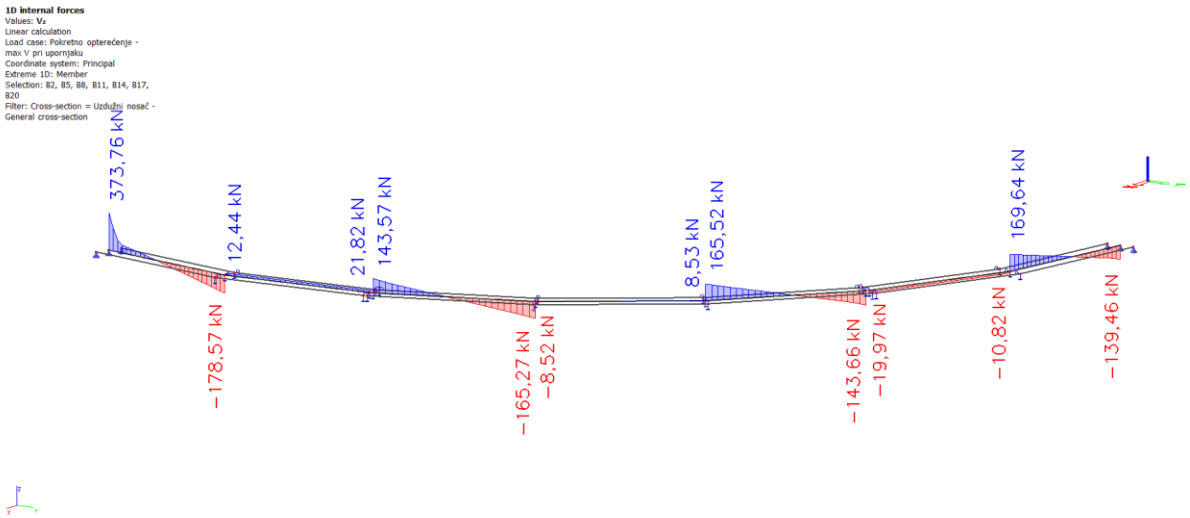


Slika 107. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri upornjaku – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



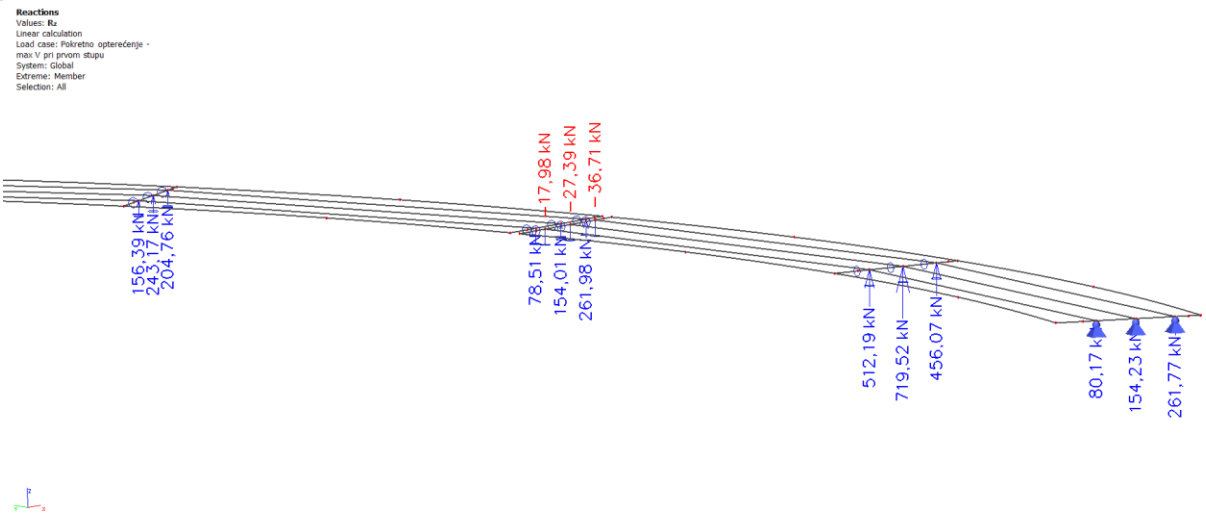
Slika 108. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri upornjaku – momenti M_y (kNm)



Slika 109. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri upornjaku – poprečne sile V_z (kN)

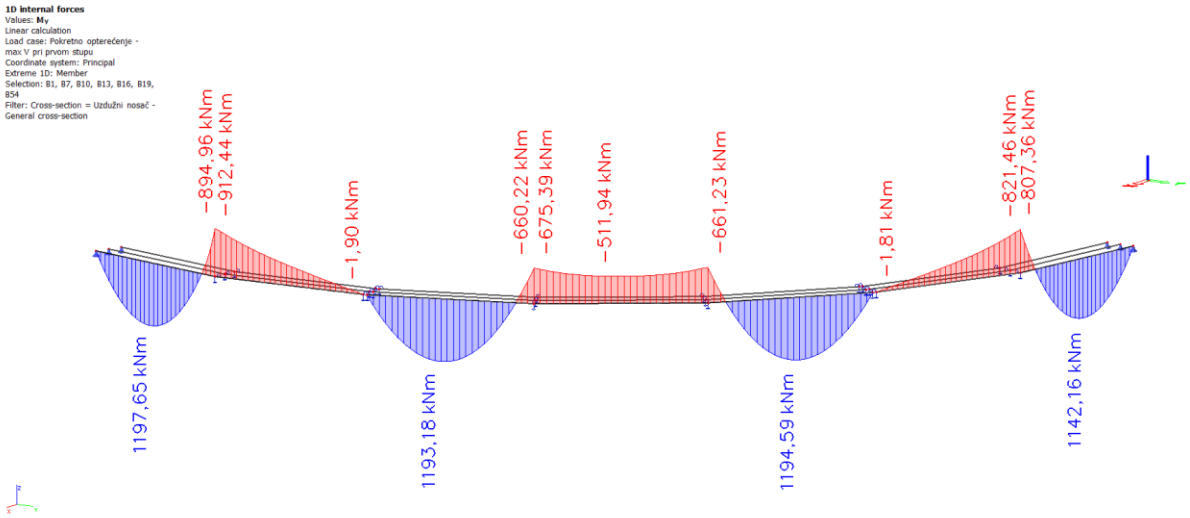
8. Pokretno opterećenje (maksimalna poprečna sila pri prvom stupu)

Reakcije (R_z)

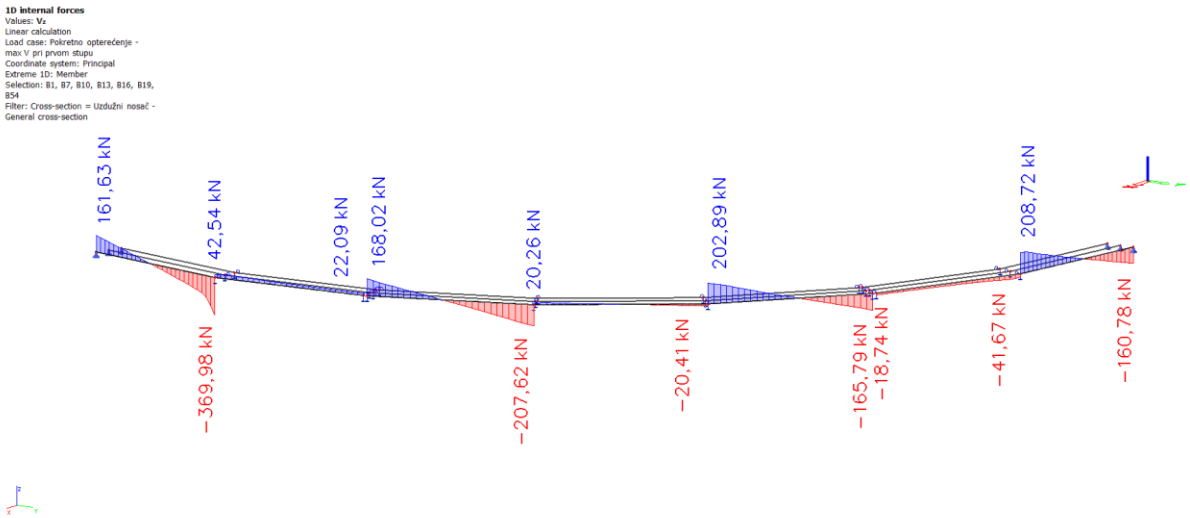


Slika 110. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri prvom stupu – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

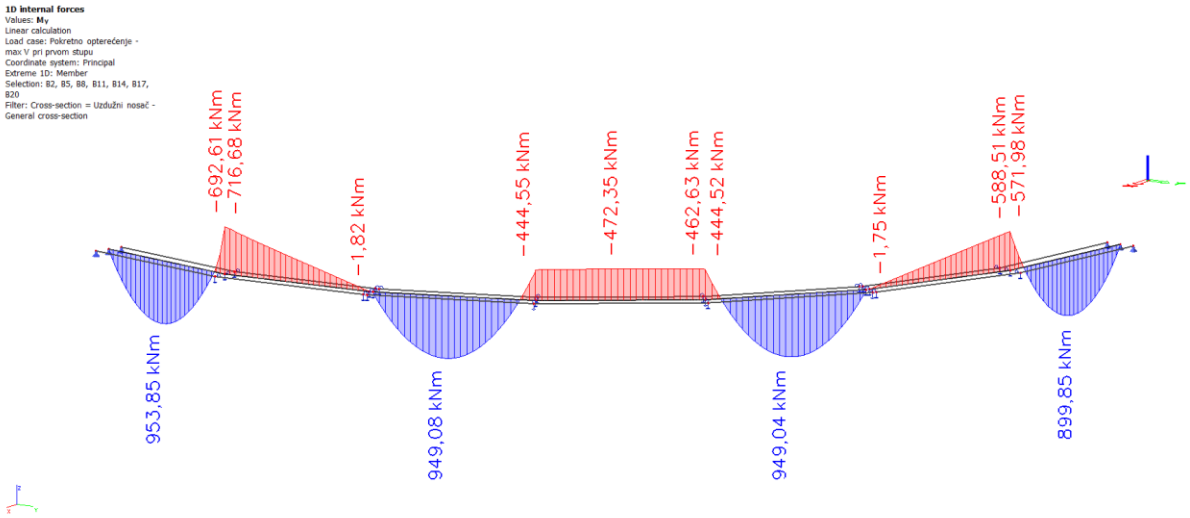


Slika 111. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri prvom stupu – momenti M_y (kNm)

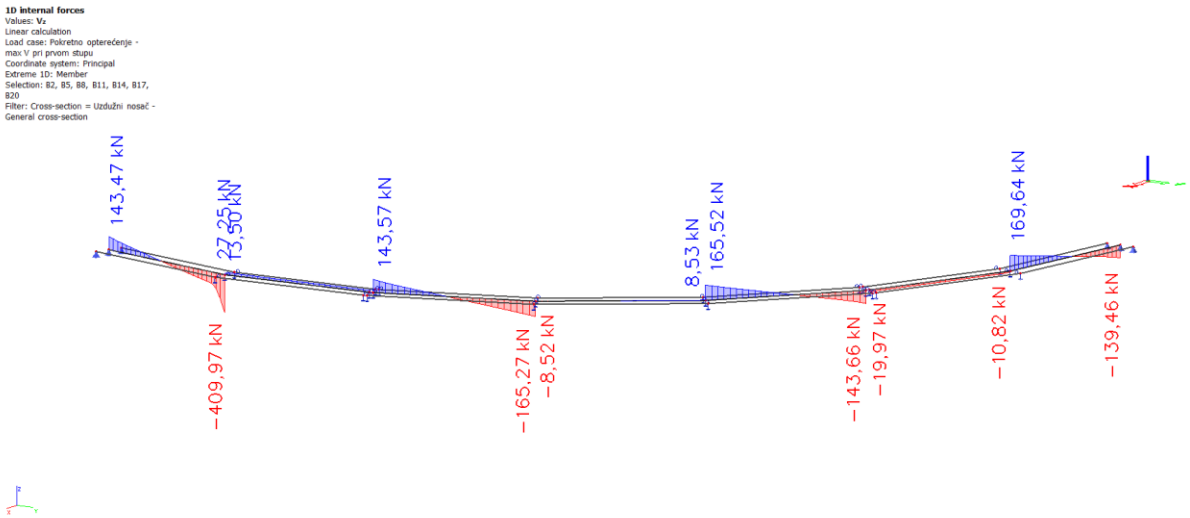


Slika 112. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri prvom stupu – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



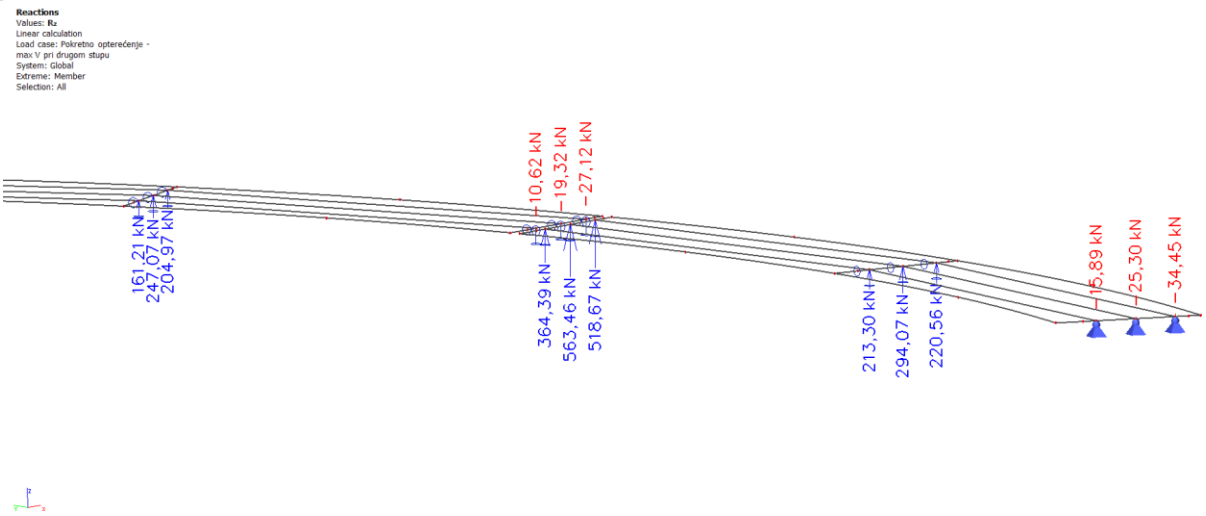
Slika 113. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri prvom stupu – momenti M_y (kNm)



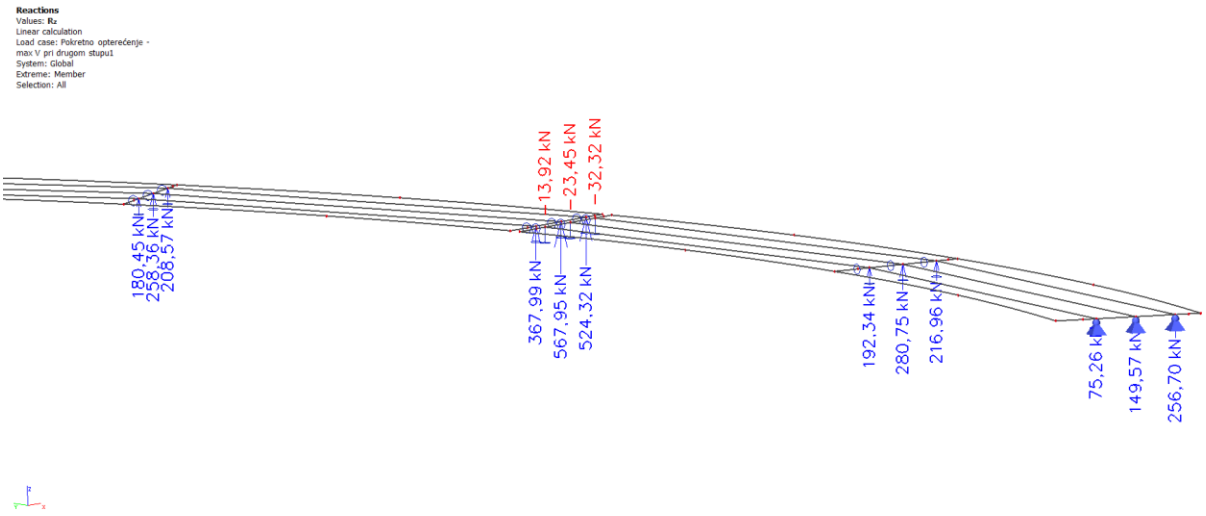
Slika 114. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri prvom stupu – poprečne sile V_z (kN)

9. Pokretno opterećenje (maksimalna poprečna sila pri drugom stupu)

Reakcije (R_z)



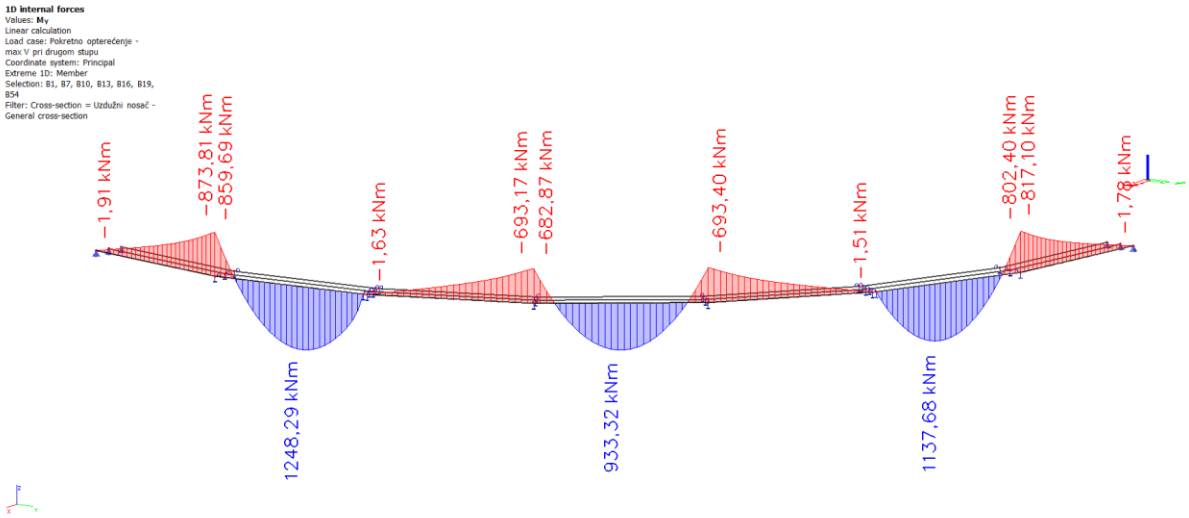
Slika 115. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri drugom stupu – lijevo – reakcije R_z (kN)



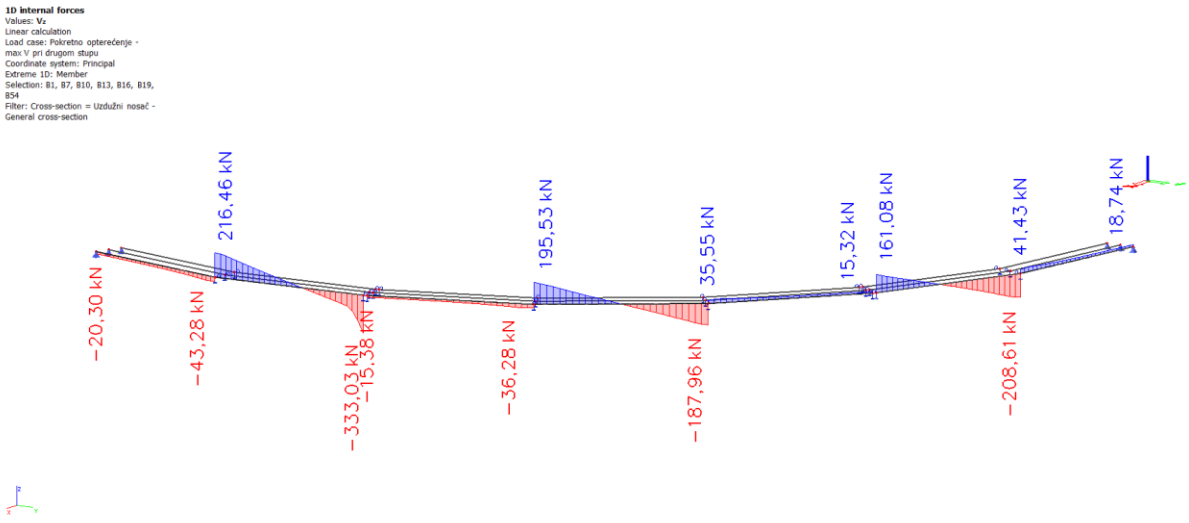
Slika 116. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri drugom stupu – desno – reakcije R_z (kN)

Budući da je na mjestu drugog stupa izvedena dilatacija rasponske konstrukcije, te da su iznad stupa izvedena udvojeni ležajevi, a sheme pokretnog opterećenja za maksimalnu poprečnu silu s lijeve i s desne strane daju približno iste rezultate (približno istu maksimalnu poprečnu silu pri drugom stupu), u nastavku su prikazani samo rezultati dobiveni za shemu pokretnog opterećenja s koncentriranim silama od tipskog vozila s lijeve strane stupa.

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

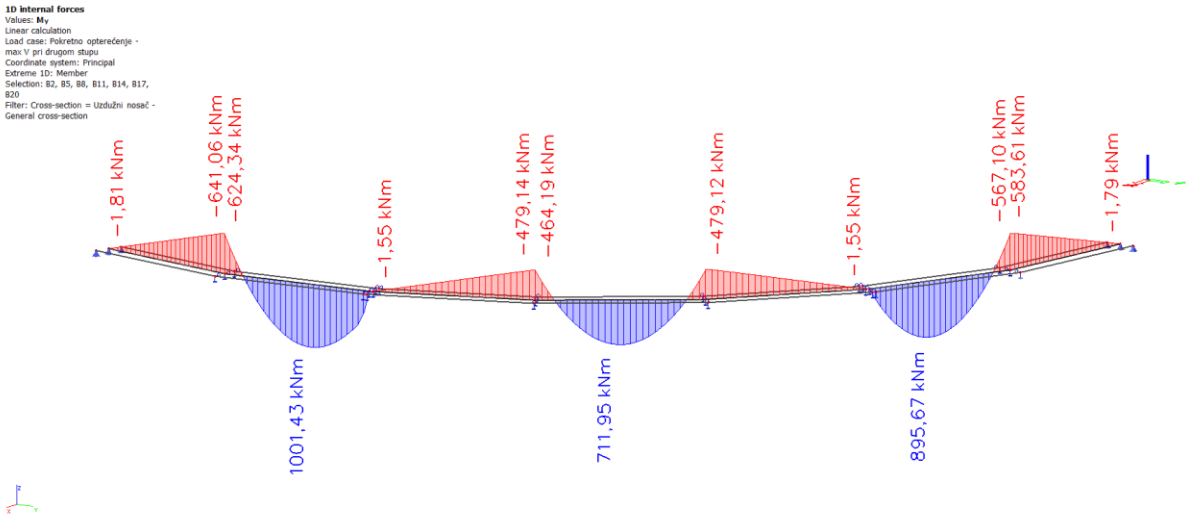


Slika 117. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri drugom stupu – momenti M_y (kNm)

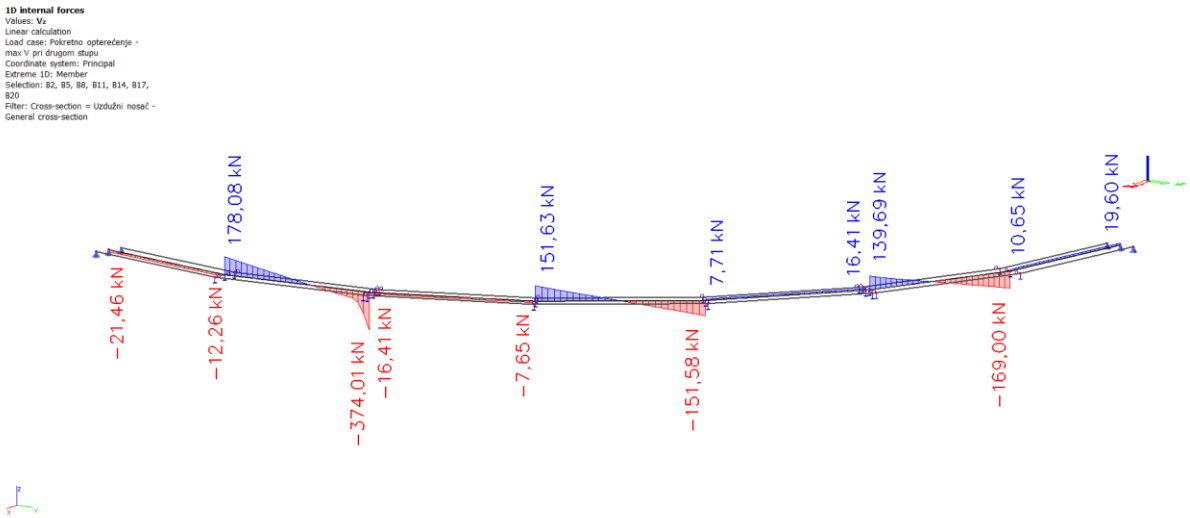


Slika 118. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri drugom stupu – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)



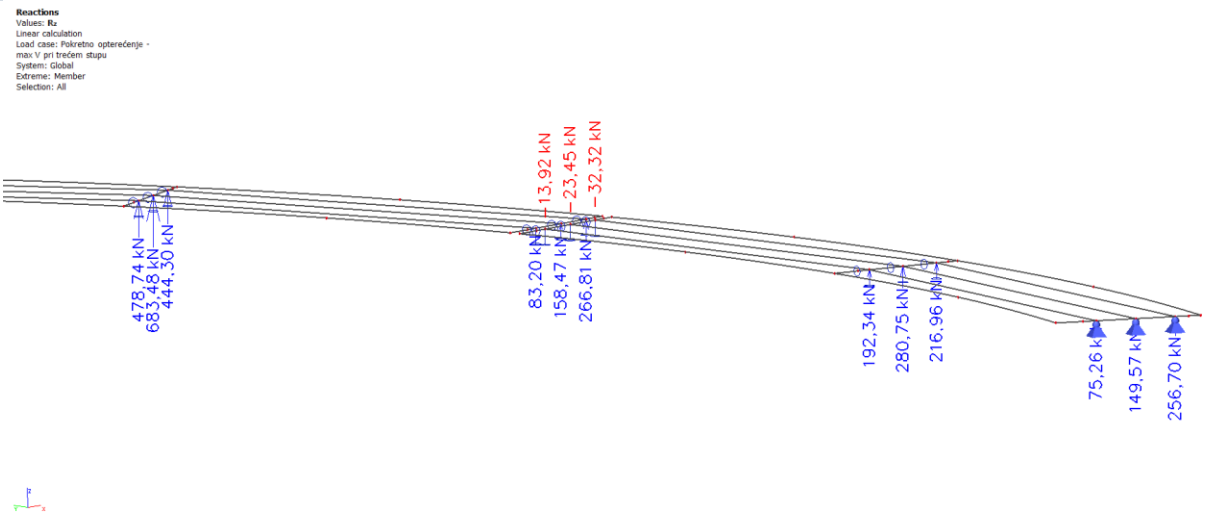
Slika 119. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri drugom stupu – momenti M_y (kNm)



Slika 120. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri drugom stupu – poprečne sile V_z (kN)

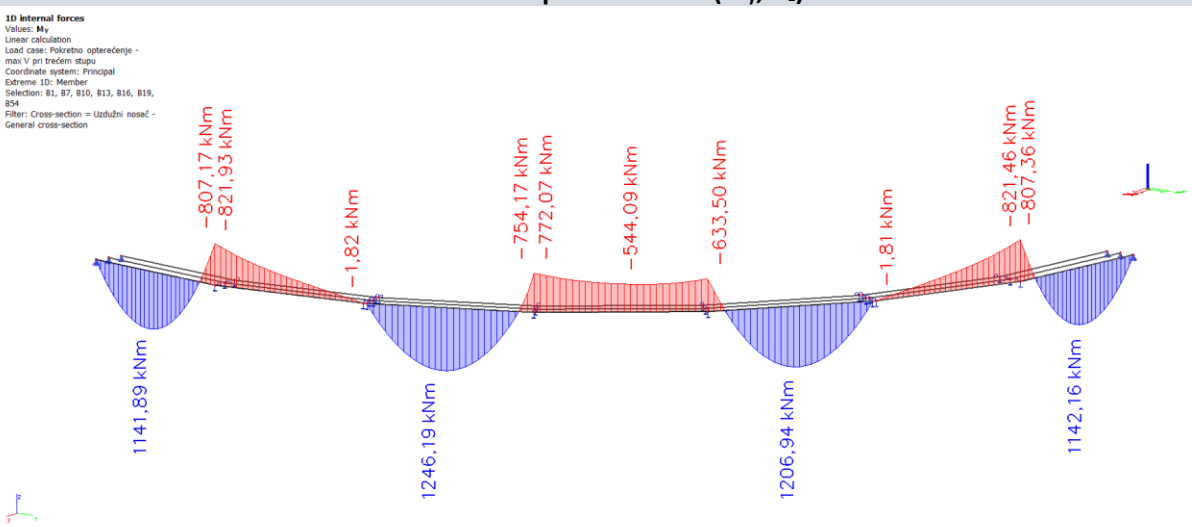
10. Pokretno opterećenje (maksimalna poprečna sila pri trećem stupu)

Reakcije (R_z)

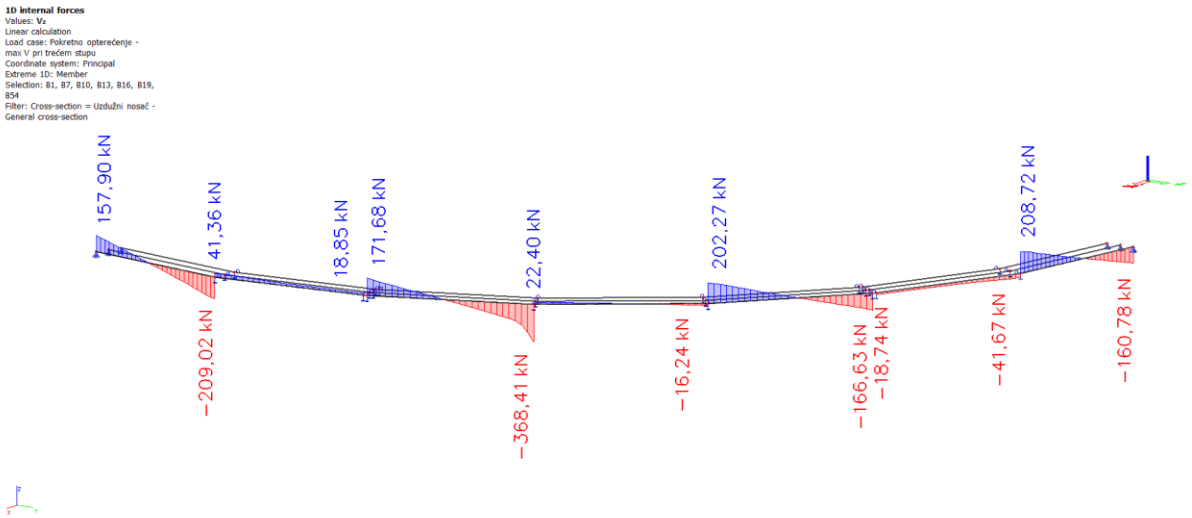


Slika 121. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri trećem stupu – reakcije R_z (kN)

Rubni rasponski nosači (M_y, V_z)

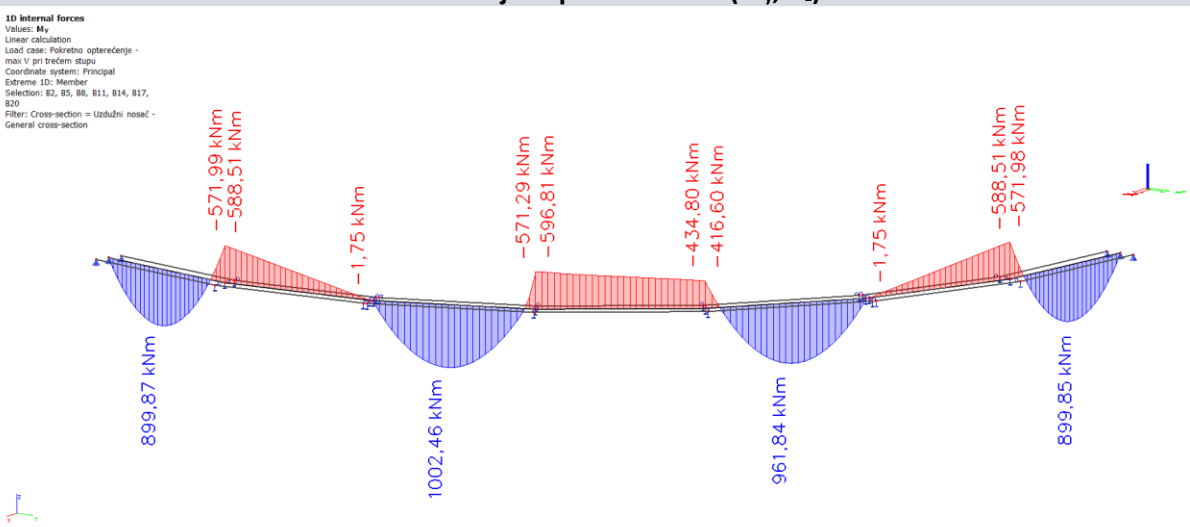


Slika 122. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri trećem stupu – momenti M_y (kNm)

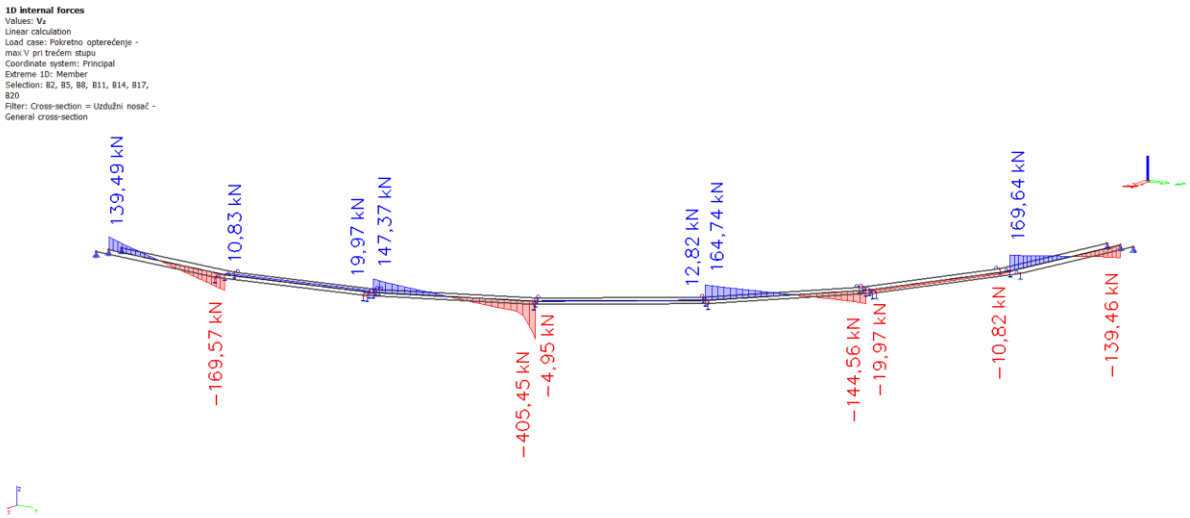


Slika 123. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri trećem stupu – poprečne sile V_z (kN)

Središnji rasponski nosači (M_y, V_z)

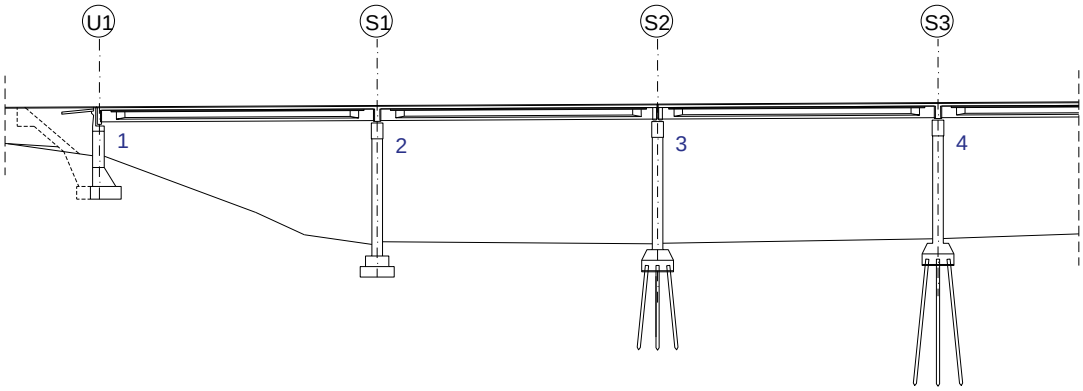


Slika 124. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri trećem stupu – momenti M_y (kNm)



Slika 125. Pokretno opterećenje – maksimalne poprečne sile pri trećem stupu – poprečne sile V_z (kN)

6.4.4 Mjerodavne reakcije oslonaca



Tablica 4. Mjerodavne reakcije oslonaca R_z (kN) – rubni vanjski rasponski nosači

Rubni vanjski rasponski nosači				
Utjecaj	**1**	**2**	**3**	**4**
Vlastita težina	330,17	621,89	340,05	593,80
Dodatno stalno opterećenje	194,50	417,42	202,05	402,80
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	516,98	672,69	524,32	663,66

Tablica 5. Mjerodavne reakcije oslonaca R_z (kN) – središnji rasponski nosači

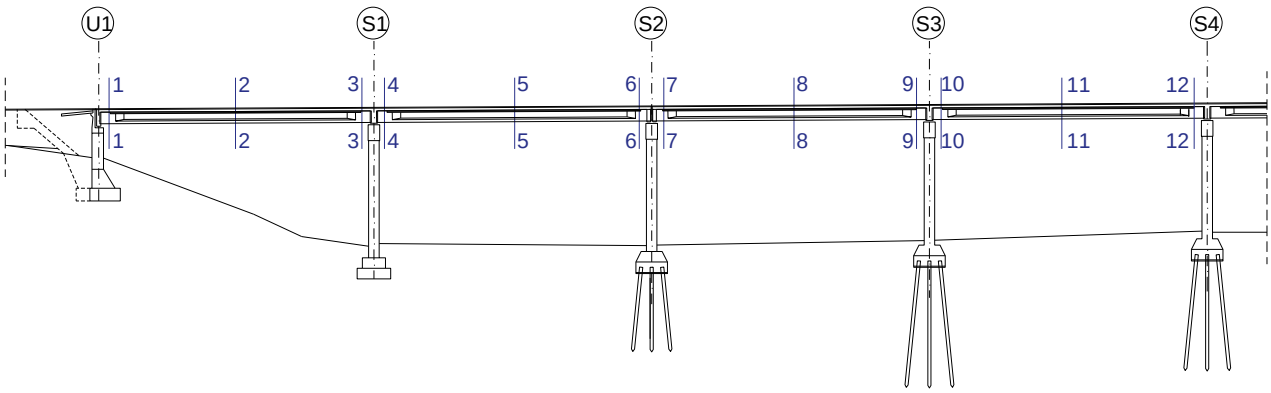
Središnji rasponski nosači				
Utjecaj	**1**	**2**	**3**	**4**
Vlastita težina	222,10	780,00	229,60	676,47
Dodatno stalno opterećenje	-11,53	74,11	-3,19	25,14
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	564,58	1000,75	567,95	977,07

Tablica 6. Mjerodavne reakcije oslonaca R_z (kN) – rubni unutrašnji rasponski nosači

Rubni unutrašnji rasponski nosači				
Utjecaj	**1**	**2**	**3**	**4**
Vlastita težina	290,60	1241,80	298,03	1084,98
Dodatno stalno opterećenje	156,56	643,02	161,44	574,77
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	366,08	702,56	367,99	684,23

6.4.5 Mjerodavne rezne sile

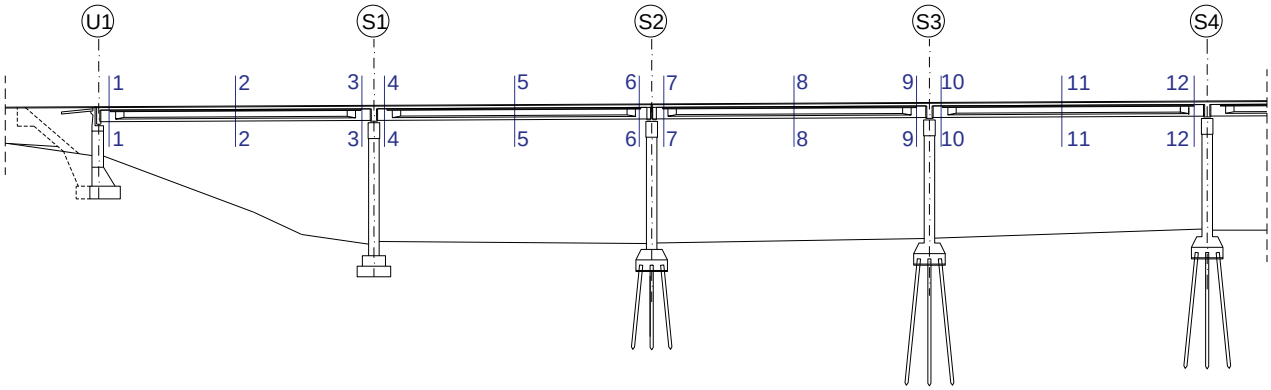
Rubni rasponski nosači



Tablica 7. Mjerodavne rezne sile – rubni vanjski rasponski nosači

Rubni vanjski rasponski nosači							
Utjecaj		**1 – 1**	**2 – 2**	**3 – 3**	**4 – 4**	**5 – 5**	**6 – 6**
Vlastita težina nosača	**M_{g1} (kNm)**	0,0	1096,01	0,0	0,0	1119,93	0,0
	V_{g1} (kN)	165,0	0,0	165,0	166,66	0,0	166,66
Težina kolničke ploče	**M_{g2} (kNm)**	0,0	1341,33	0,0	0,0	1372,82	0,0
	V_{g2} (kN)	201,93	0,0	201,93	204,29	0,0	204,29
Dodatno stalno opterećenje	**$M_{\Delta g}$ (kNm)**	0,0	635,58	1203,02	1203,80	631,28	0,0
	$V_{\Delta g}$ (kN)	110,62	0,0	184,88	185,33	0,0	116,61
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	**M_q (kNm)**	0,0	3127,90	1695,45	1696,21	3096,36	0,0
	V_q (kN)	322,27	0,0	369,98	369,98	0,0	333,03
Utjecaj		**7 – 7**	**8 – 8**	**9 – 9**	**10 – 10**	**11 – 11**	**12 – 12**
Vlastita težina nosača	**M_{g1} (kNm)**	0,0	1119,93	0,0	0,0	1103,32	0,0
	V_{g1} (kN)	166,66	0,0	166,66	165,42	0,0	165,42
Težina kolničke ploče	**M_{g2} (kNm)**	0,0	1372,82	0,0	0,0	1352,46	0,0
	V_{g2} (kN)	204,29	0,0	204,29	202,77	0,0	202,77
Dodatno stalno opterećenje	**$M_{\Delta g}$ (kNm)**	0,0	704,39	1006,61	1008,84	280,48	1008,84
	$V_{\Delta g}$ (kN)	121,93	0,0	181,52	165,32	0,0	160,86
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	**M_q (kNm)**	0,0	3141,94	1607,51	1611,30	2642,98	1611,30
	V_q (kN)	333,03	0,0	368,41	368,41	0,0	333,03

Središnji rasponski nosači



Tablica 8. Mjerodavne rezne sile – središnji rasponski nosači

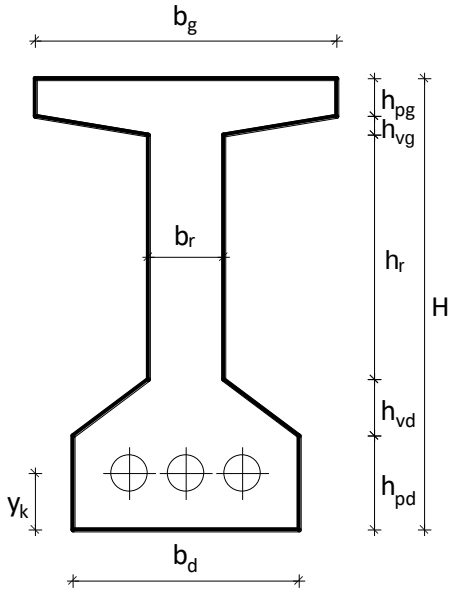
Središnji rasponski nosači							
Utjecaj		**1 – 1**	**2 – 2**	**3 – 3**	**4 – 4**	**5 – 5**	**6 – 6**
Vlastita težina nosača	**M_{g1} (kNm)**	0,0	1039,76	0,0	0,0	1063,98	0,0
	V_{g1} (kN)	160,58	0,0	160,58	162,44	0,0	162,44
Težina kolničke ploče	**M_{g2} (kNm)**	0,0	1006,22	0,0	0,0	1029,66	0,0
	V_{g2} (kN)	155,40	0,0	155,40	157,20	0,0	157,20
Dodatno stalno opterećenje	**$M_{\Delta g}$ (kNm)**	0,0	509,23	727,99	727,95	504,29	0,0
	$V_{\Delta g}$ (kN)	73,13	0,0	74,10	74,06	0,0	71,51
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	**M_q (kNm)**	0,0	2608,38	1260,68	1260,68	2560,24	0,0
	V_q (kN)	373,76	0,0	409,97	409,97	0,0	374,01
Utjecaj		**7 – 7**	**8 – 8**	**9 – 9**	**10 – 10**	**11 – 11**	**12 – 12**
Vlastita težina nosača	**M_{g1} (kNm)**	0,0	1063,98	0,0	0,0	1047,80	0,0
	V_{g1} (kN)	162,44	0,0	162,44	161,20	0,0	161,20
Težina kolničke ploče	**M_{g2} (kNm)**	0,0	1029,66	0,0	0,0	1014,0	0,0
	V_{g2} (kN)	157,20	0,0	157,20	156,0	0,0	156,0
Dodatno stalno opterećenje	**$M_{\Delta g}$ (kNm)**	0,0	576,58	539,68	540,86	161,84	540,86
	$V_{\Delta g}$ (kN)	77,27	0,0	68,44	44,48	0,0	44,60
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	**M_q (kNm)**	0,0	2615,45	1187,54	1188,78	2159,55	1188,78
	V_q (kN)	374,01	0,0	405,45	405,45	0,0	374,01

6.5 Proračun prednapete armature rasponskih nosača

6.5.1 Odabiranje natega najopterećenijeg rubnog nosača (N4)

6.5.1.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača i karakteristike materijala

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 1. fazi



$H = 120{,}0$ cm (ukupna visina presjeka)
$b_g = 80{,}0$ cm (širina gornjeg pojasa)
$b_d = 60{,}0$ cm (širina donjeg pojasa)
$b_r = 20{,}0$ cm (širina rebra)
$h_{pg} = 10{,}0$ cm (visina gornjeg pojasa)
$h_{pd} = 25{,}0$ cm (visina donjeg pojasa)
$h_{vg} = 5{,}0$ cm (visina gornje vute)
$h_{vd} = 15{,}0$ cm (visina donje vute)
$h_r = 65{,}0$ cm (visina rebra)
$y_k = 15{,}0$ cm (položaj težišta kabela)
$L = 26{,}88$ cm (računska duljina nosača)

Tablica 9. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 1. fazi

x	0,00	1,34	2,69	4,03	5,38	6,72
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
b_d (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
b_r (cm)	60,0	60,0	20,0	20,0	20,0	20,0
h_{pg} (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
h_{pd} (cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
h_{vg} (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
h_{vd} (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
h_r (cm)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
A (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
y_d (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
y_g (cm)	58,2	58,2	63,7	63,7	63,7	63,7
I_{xd} (cm^4)	37793541,7	37793541,7	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3
I_y (cm^4)	9339379,7	9339379,7	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4

W_d (cm^3)	151120,5	151120,5	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8
W_g (cm^3)	160472,9	160472,9	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4
k_d (cm)	21,5	21,5	26,7	26,7	26,7	26,7
k_g (cm)	20,3	20,3	30,2	30,2	30,2	30,2
x	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**	**-**
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	-
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	-
b_d (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	-
b_r (cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	-
h_{pg} (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	-
h_{pd} (cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	-
h_{vg} (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-
h_{vd} (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	-
h_r (cm)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	-
A (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
y_d (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
y_g (cm)	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	-
I_{xd} (cm^4)	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	-
I_y (cm^4)	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	-
W_d (cm^3)	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	-
W_g (cm^3)	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	-
k_d (cm)	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	-
k_g (cm)	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	-

x (udaljenost presjeka od kraja nosača)

A (površina poprečnog presjeka)

y_d (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

y_g (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

I_{xd} (moment inercije s obzirom na donji rub)

I_y (moment inercije s obzirom na težište)

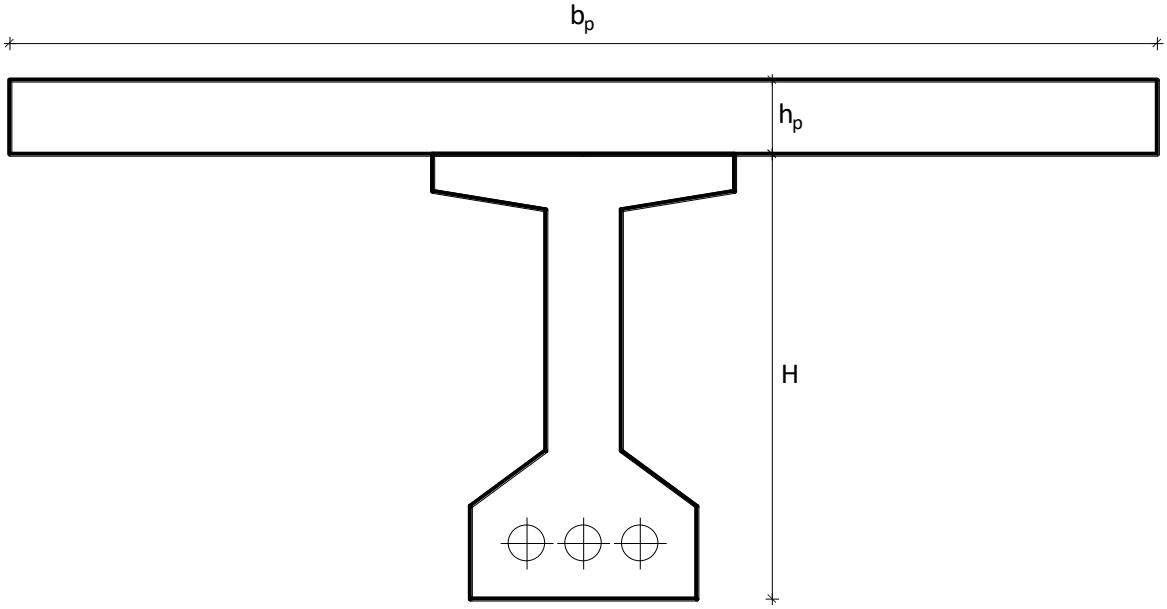
W_d (moment otpora s obzirom na donji rub)

W_g (moment otpora s obzirom na gornji rub)

k_d (donji odsječak jezgre presjeka)

k_g (gornji odsječak jezgre presjeka)

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 2. fazi



$h_p = 20{,}0$ cm (visina ploče)

$b_p = 304{,}0$ cm (sudjelujuća širina ploče)

Tablica 10. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 2. fazi

x	0,00	1,34	2,69	4,03	5,38	6,72
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
A_1 (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
y_{d-1} (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
y_{g-1} (cm)	58,2	58,2	63,7	63,7	63,7	63,7
I_{xd-1} (cm^4)	37793541,7	37793541,7	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3
I_{y-1} (cm^4)	9339379,7	9339379,7	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4
A_2 (cm^2)	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0
A_{1+2} (cm^2)	13530,0	13530,0	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0
$y_{d,2}$ (cm)	92,4	92,4	98,9	98,9	98,9	98,9
$y_{g,2}$ (cm)	47,6	47,6	41,1	41,1	41,1	41,1
$I_{y,2}$ (cm^4)	25113150,4	25113150,4	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5
$W_{d,2}$ (cm^3)	271647,3	271647,3	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8
$W_{g,2}$ (cm^3)	528115,8	528115,8	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4
$k_{d,2}$ (cm)	39,0	39,0	50,1	50,1	50,1	50,1
$k_{g,2}$ (cm)	20,1	20,1	20,9	20,9	20,9	20,9

x	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**	**-**
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	-
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	-
A_1 (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
$y_{d,1}$ (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
$y_{g,1}$ (cm)	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	-
$I_{xd,1}$ (cm^4)	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	-
$I_{y,1}$ (cm^4)	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	-
A_2 (cm^2)	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0	-
A_{1+2} (cm^2)	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0	-
$y_{d,2}$ (cm)	98,9	98,9	98,9	98,9	98,9	-
$y_{g,2}$ (cm)	41,1	41,1	41,1	41,1	41,1	-
$I_{y,2}$ (cm^4)	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5	-
$W_{d,2}$ (cm^3)	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8	-
$W_{g,2}$ (cm^3)	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4	-
$k_{d,2}$ (cm)	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	-
$k_{g,2}$ (cm)	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	-

x (udaljenost presjeka od kraja nosača)

A_1 (površina poprečnog presjeka)

$y_{d,1}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

$y_{g,1}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

$I_{xd,1}$ (moment inercije s obzirom na donji rub)

$I_{y,1}$ (moment inercije s obzirom na težište)

A_2 (površina kolničke ploče)

A_{1+2} (ukupna površina spregnutog presjeka)

$y_{d,2}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba spregnutog presjeka)

$y_{g,2}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba spregnutog presjeka)

$I_{y,2}$ (moment inercije s obzirom na težište)

$W_{d,2}$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

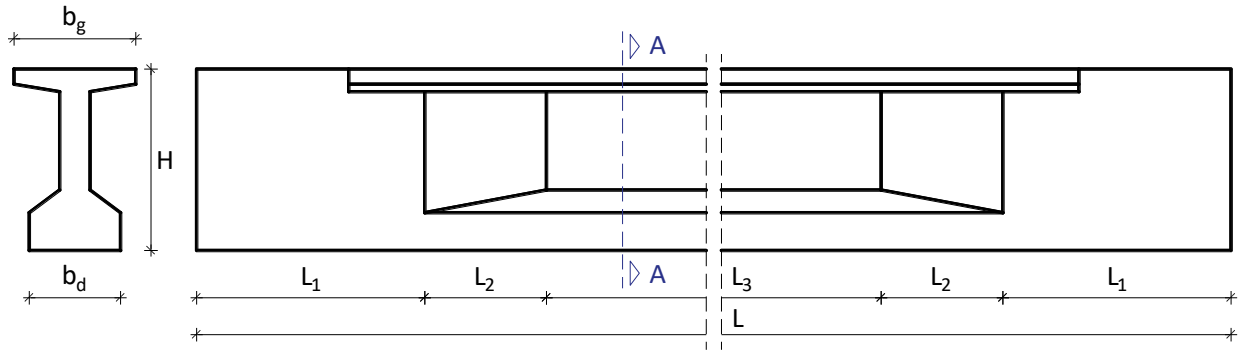
$W_{g,2}$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$k_{d,2}$ (donji odsječak jezgre spregnutog presjeka)

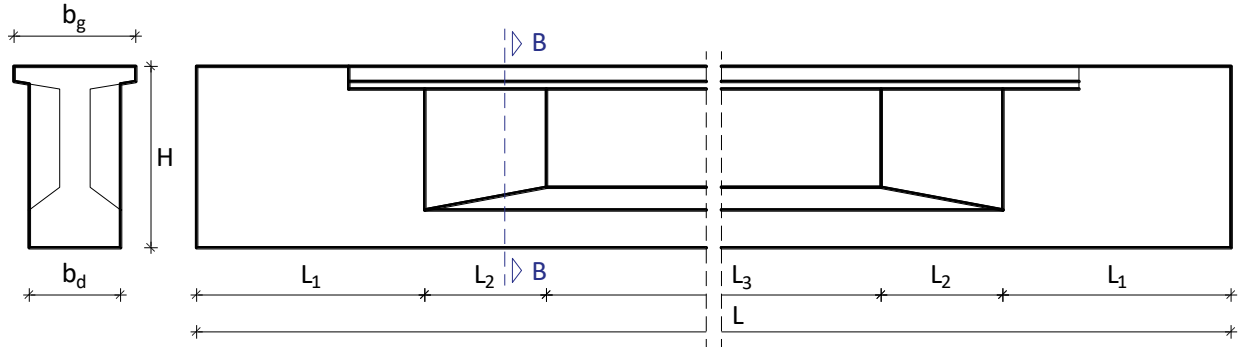
$k_{g,2}$ (gornji odsječak jezgre spregnutog presjeka)

Geometrijske karakteristike rasponskog nosača u uzdužnom smjeru

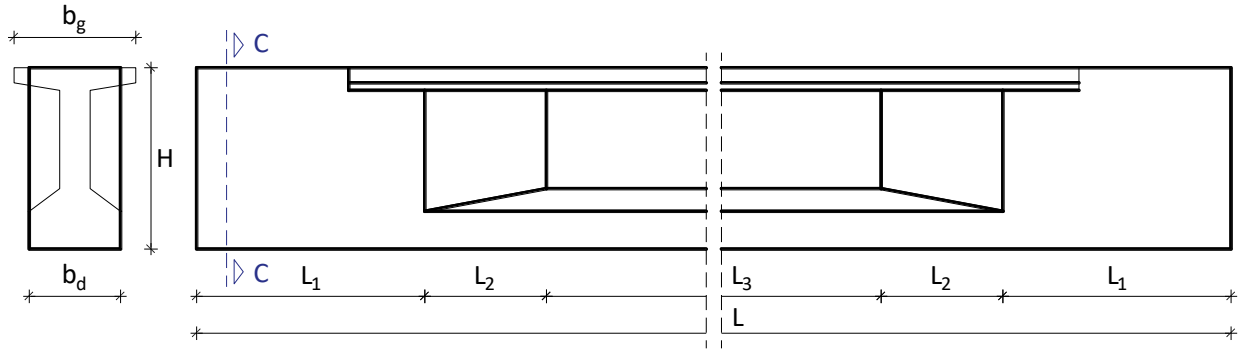
Presjek A – A



Presjek B – B



Presjek C – C



$L = 26{,}88$ m (ukupna duljina nosača)

$L_1 = 1{,}50$ m (duljina proširenog dijela)

$L_2 = 0{,}80$ m (duljina dijela suženja)

$L_3 = 22{,}28$ m (duljina suženog dijela)

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

$f_{cd} = 23{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka)

$f_{ctm} = 3{,}20$ MPa (srednja osna vlačna čvrstoća)

$E_c = 33500{,}0$ MPa (modul elastičnosti betona)

$\gamma_c = 25{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ (specifična težina betona)

$\tau_{Rd} = 0{,}37$ MPa (računska čvrstoća na djelovanje glavnih kosih naprezanja)

Maksimalna dopuštena naprezanja pri prednaprezanju:

$$\sigma_{c,max,t=0} \leq 0{,}6 \cdot f_{ck} = 0{,}6 \cdot 35{,}0 = -21{,}0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max,t=0} \geq 0{,}3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0{,}3 \cdot (35{,}0)^{2/3} = 3{,}20 \text{ MPa}$$

Maksimalna dopuštena naprezanja u eksploataciji:

$$\sigma_{c,max,t=\infty} \leq 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 35{,}0 = -15{,}75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max,t=\infty} \geq 0{,}0 \text{ MPa}$$

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja)

$E_s = 200000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika za armiranje)

Čelik za prednaprezanje (St 1580/1860)

$f_{p0,1k} = 1580{,}0$ MPa (karakteristično naprezanje čelika pri 0,1% − tnoj zaostaloj deformaciji)

$f_{pk} = 1860{,}0$ MPa (karakteristična vlačna čvrstoća)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika za prednaprezanje)

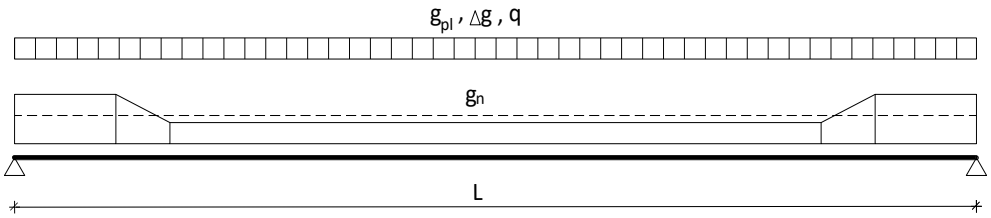
Maksimalno naprezanje nakon prednaprezanja:

$$\sigma_{p0,max} = \min \begin{cases} 0{,}80 \cdot f_{pk} = 0{,}80 \cdot 1860{,}0 = 1488{,}0 \text{ MPa} \\ 0{,}90 \cdot f_{p0,1k} = 0{,}90 \cdot 1580{,}0 = 1422{,}0 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \sigma_{p0,max} = 1422{,}0 \text{ MPa}$$

Maksimalno naprezanje nakon sidrenja:

$$\sigma_{pm0,max} = \min \begin{cases} 0{,}75 \cdot f_{pk} = 0{,}75 \cdot 1860{,}0 = 1395{,}0 \text{ MPa} \\ 0{,}85 \cdot f_{p0,1k} = 0{,}85 \cdot 1580{,}0 = 1343{,}0 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \sigma_{pm0,max} = 1343{,}0 \text{ MPa}$$

6.5.1.2 Analiza opterećenja



Vlastita težina rasponskog nosača

$g_n = 12{,}40\ \mathrm{kN/m'}$

Vlastita težina kolničke ploče

$g_{pl} = 15{,}20\ \mathrm{kN/m'}$

Dodatno stalno opterećenje

$\Delta g = 7{,}80\ \mathrm{kN/m'}$

Izračunati utjecaji od dodatnog stalnog opterećenja (upetost na krajevima):

$M_{\Delta g,x=0} = -1006{,}61\ \mathrm{kNm}$

$M_{\Delta g,x=L} = 0{,}0\ \mathrm{kNm}$

Pokretno opterećenje

$q = 34{,}79\ \mathrm{kN/m'}$

Izračunati utjecaji od pokretnog opterećenja (upetost na krajevima):

$M_{\Delta g,x=0} = -1559{,}16\ \mathrm{kNm}$

$M_{\Delta g,x=L} = 0{,}0\ \mathrm{kNm}$

Tablica 11. Momenti savijanja i računski momenti za provjeru graničnih stanja

x	**0,00**	**1,34**	**2,69**	**4,03**	**5,38**	**6,72**
$M_{g,z}$ (kNm)	0,0	212,8	403,2	571,2	716,8	839,9
$M_{g,p}$ (kNm)	0,0	260,8	494,2	700,1	878,6	1029,6
$M_{\Delta g}$ (kNm)	-1006,6	-772,1	-551,7	-345,4	-153,2	25,0
M_q (kNm)	-1559,2	-806,3	-116,2	511,0	1075,3	1576,9
$M_{Ed,1}$ (kNm)	-3697,7	-1612,4	292,3	2016,4	3560,0	4922,9
$M_{Ed,2}$ (kNm)	-2565,8	-1104,8	229,4	1436,9	2517,5	3471,4
$M_{Ed,3}$ (kNm)	-2098,0	-862,9	264,3	1283,6	2194,9	2998,4
$M_{Ed,4}$ (kNm)	-1318,4	-459,8	322,4	1028,1	1657,3	2209,9
x	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**	-
$M_{g,z}$ (kNm)	940,7	1019,1	1075,1	1108,7	1119,9	-
$M_{g,p}$ (kNm)	1153,2	1249,3	1317,9	1359,1	1372,8	-
$M_{\Delta g}$ (kNm)	189,0	339,0	474,9	596,7	704,4	-
M_q (kNm)	2015,6	2391,4	2704,4	2954,6	3141,9	-
$M_{Ed,1}$ (kNm)	6105,3	7107,1	7928,3	8569,0	9029,0	-
$M_{Ed,2}$ (kNm)	4298,5	4998,8	5572,3	6019,1	6339,1	-
$M_{Ed,3}$ (kNm)	3693,8	4281,4	4761,0	5132,7	5396,5	-
$M_{Ed,4}$ (kNm)	2686,1	3085,7	3408,8	3655,4	3825,5	-

Računski moment za provjeru graničnih stanja nosivosti:

$$M_{Ed,1} = 1{,}35 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (rijetka kombinacija):

$$M_{Ed,2} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot M_q$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (česta kombinacija):

$$M_{Ed,3} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot \Psi_{1,1} \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi_{1,1} = 0{,}70$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (kvazistalna kombinacija):

$$M_{Ed,4} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot \Psi_{2,1} \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi_{2,1} = 0{,}20$

6.5.1.3 Proračun sile prednaprezanja

6.5.1.3.1 Proračun sile prednaprezanja – 1. faza

Presjek je potrebno kontrolirati u svim fazama. Kritične faze su faza uvođenja sile, kad na presjek djeluje puna sila prednaprezanja (bez gubitaka), te konačna faza (kad djeluje sila i puno opterećenje).

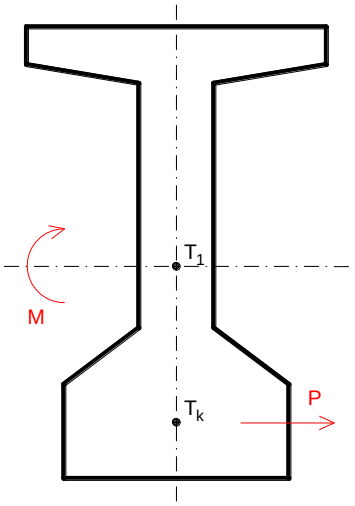
Nakon uvođenja sile prednaprezanja nosač poprima oblik prikazan na *Slici 114.*

Slika 126. Oblik nosača nakon uvođenja sile prednaprezanja

Na nosač djeluje sila prednaprezanja i vlastita težina samog nosača.

Tablica 12. Momenti savijanja i računski momenti – 1. faza

Utjecaj	$M_{g,z}$	$M_{g,p}$	$M_{\Delta g}$	M_q	$M_{Ed,2}$
Koeficijent	1,0	0,0	0,0	0,0	-
Vrijednost	1119,93	0,0	0,0	0,0	1119,93



$A = 0{,}4450\ m^2$ (površina presjeka)

$W_g = 0{,}1189\ m^3$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$W_d = 0{,}1343\ m^3$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

$y_k = 0{,}4135\ m$ (udaljenost težišta natega do težišta presjeka)

Donji rub (tlak)

$$\frac{P_{t=0}}{A} + \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{W_d} - \frac{M_{Ed,2}}{W_d} \leq \sigma_{c,max,t=0} = 21{,}0\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{y_k}{W_d}\right) \leq \sigma_{c,max,t=0} + \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_d}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{0{,}4450} + \frac{0{,}4135}{0{,}1343}\right) \leq 21000{,}0 + \left(\frac{1119{,}93}{0{,}1343}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot 5{,}3261 \leq 29339{,}02$$

$$P_{t=0} \leq 5508{,}54\ kN$$

Gornji rub (vlak)

$$\frac{P_{t=0}}{A} - \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{W_g} + \frac{M_{Ed,2}}{W_g} \leq \sigma_{t,max,t=0} = -3{,}20\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{A} - \frac{y_k}{W_g}\right) \leq \sigma_{t,max,t=0} - \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_g}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{0{,}4450} - \frac{0{,}4135}{0{,}1189}\right) \leq -3200{,}0 - \left(\frac{1119{,}93}{0{,}1189}\right)$$

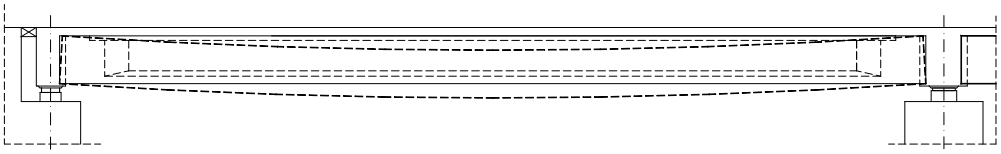
$$P_{t=0} \cdot (-1{,}2305) \leq -12619{,}09$$

$$P_{t=0} \leq 10255{,}26\ kN$$

6.5.1.3.2 Proračun sile prednaprezanja – 2. faza

U konačnici se pretpostavlja potpuna raspodjela naprezanja između presjeka u 1. fazi (montažni nosač) i presjeka u 2. fazi (spregnuti presjek).

Nakon opterećivanja nosač poprima oblik prikazan na *Slici 115.*

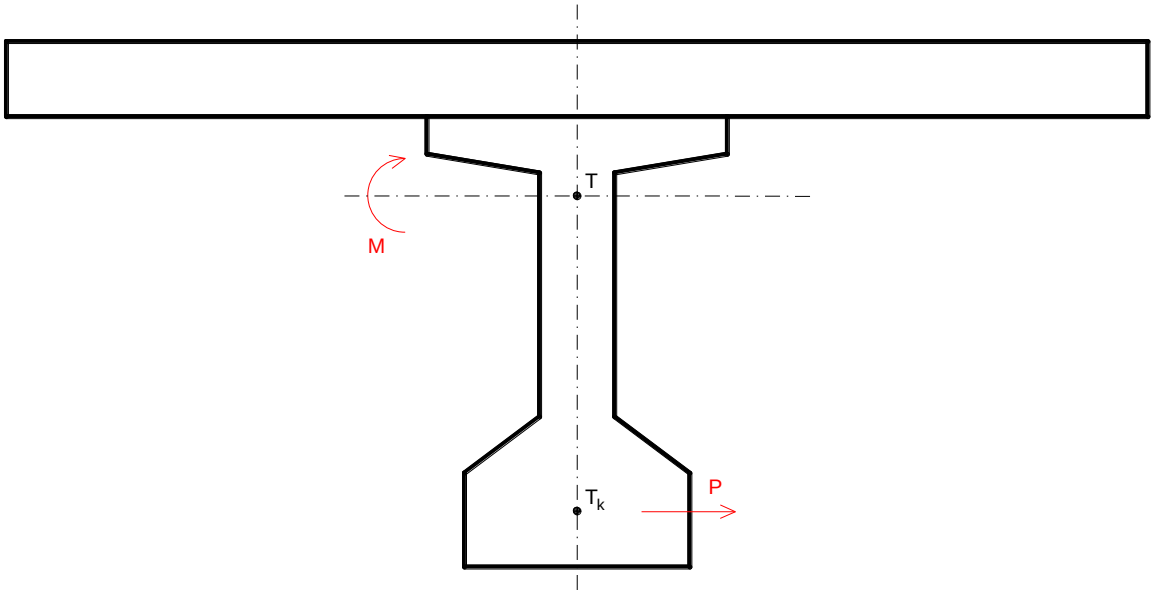


Slika 127. Oblik nosača nakon opterećivanja

Tablica 13. Momenti savijanja i računski momenti – 2. faza

Utjecaj	$M_{g,z}$	$M_{g,p}$	$M_{\Delta g}$	M_q	$M_{Ed,2}$
Koeficijent	1,0	1,0	1,0	0,3	-
Vrijednost	1119,93	1372,82	704,39	3141,94	4139,72

Pretpostavljeni gubici sile: 25,0 %



$A = 1{,}0530\ m^2$ (površina presjeka)

$W_g = 0{,}5278\ m^3$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$W_d = 0{,}2196\ m^3$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

$y_k = 0{,}8387\ m$ (udaljenost težišta natega do težišta presjeka)

Donji rub (vlak)

$$\frac{P_{t=\infty}}{A} + \frac{P_{t=\infty} \cdot y_k}{W_d} - \frac{M_{Ed,2}}{W_d} \geq \sigma_{t,max,t=\infty} = 0{,}0\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{y_k}{W_d}\right) \geq \sigma_{t,max,t=\infty} + \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_d}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{1{,}0530} + \frac{0{,}8387}{0{,}2196}\right) \geq 0{,}0 + \left(\frac{4139{,}72}{0{,}2196}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot 4{,}7689 \geq 18851{,}18$$

$$P_{t=\infty} \geq 3952{,}94\ kN$$

$$P_{t=0} \approx P_{t=\infty} \cdot 1{,}3 = 3952{,}94 \cdot 1{,}3 = 5138{,}82\ kN$$

Gornji rub (tlak)

$$\frac{P_{t=\infty}}{A} - \frac{P_{t=\infty} \cdot y_k}{W_g} + \frac{M_{Ed,2}}{W_g} \geq \sigma_{c,max,t=0} = 15{,}75\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{A} - \frac{y_k}{W_g}\right) \geq \sigma_{c,max,t=\infty} - \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_g}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{1{,}0530} - \frac{0{,}8387}{0{,}5278}\right) \geq 15750{,}0 - \left(\frac{4139{,}72}{0{,}5278}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot (-0{,}6394) \geq 7906{,}65$$

$$P_{t=\infty} \geq -12365{,}73\ kN$$

$$P_{t=0} \approx P_{t=\infty} \cdot 1{,}3 = (-12365{,}73) \cdot 1{,}3 = -16075{,}45\ kN$$

6.5.1.3.3 Odabir sile (sustava) prednaprezanja

Odabran je sustav DYWIDAG, te natega s 8 užadi promjera 0,60 inča.

Površina jednog užeta: $A_1 = 150{,}0\ \text{mm}^2$

Ukupna nominalna površina natege: $A_k = 8 \cdot 150{,}0 = 1200{,}0\ \text{mm}^2$

Ukupno su odabrane 3 natege.

Minimalna sila na preši u sve 3 natege:

$$P_{t=0} = n \cdot A_k \cdot \sigma_{0,dop} = 3 \cdot 0{,}001200 \cdot 1422000 = 5119{,}20\ \text{kN} < 5508{,}54\ \text{kN}$$

Maksimalna sila na preši u sve 3 natege:

$$P_{t=0} = n \cdot A_k \cdot \sigma_{0,dop} = 3 \cdot 0{,}001200 \cdot 1488000 = 5356{,}80\ \text{kN} < 5508{,}54\ \text{kN}$$

Početna sila nakon odbitka svih gubitaka u sve 3 natege je (pretpostavljeni gubici 25,0 %):

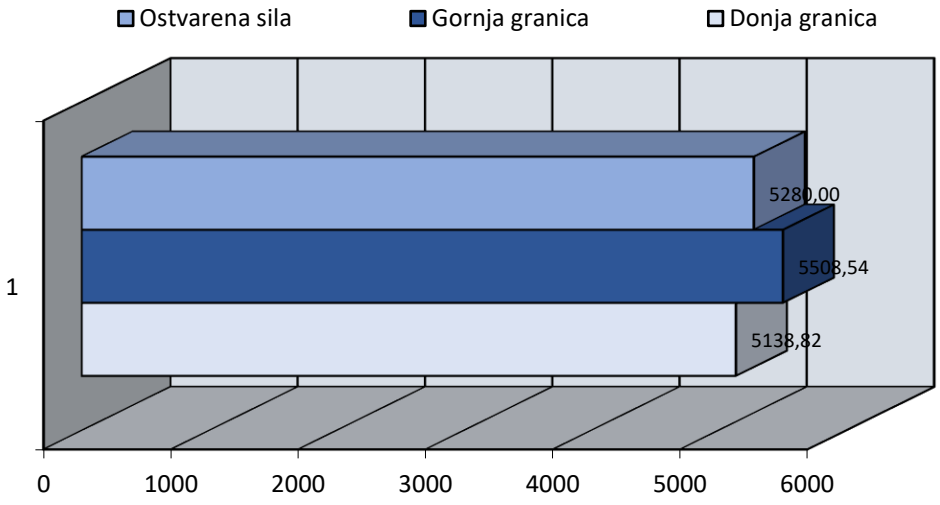
$$P_{t=\infty} = 75\%\ P_{t=0} = 0{,}75 \cdot 5280{,}0 = 3960{,}0\ \text{kN} > 3952{,}94\ \text{kN}$$

Početna sila prednaprezanja (P_{m0}):

$$P_{m0} = 5280{,}0\ \text{kN}$$

Vjerojatna konačna sila prednaprezanja ($P_{m\infty}$):

$$P_{m\infty} = 5350{,}0\ \text{kN}$$



6.5.1.4 Vođenje natega

Tablica 14. Položaj jezgre presjeka

Položaj jezgre presjeka	Y_t (cm)	y_d (cm)	y_g (cm)
1. faza	61,80	40,30	82,10
2. faza	92,40	53,40	112,50

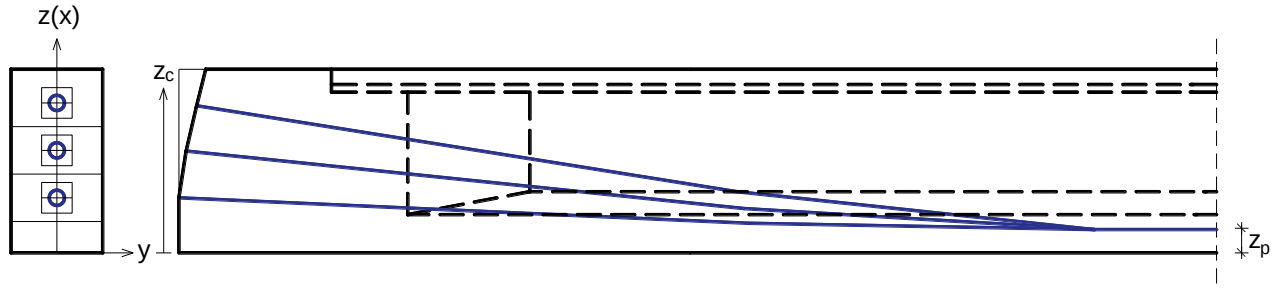
Napomena: Mjereno od dna nosača, presjek na rubu.

6.5.1.4.1 Vođenje natega u vertikalnoj ravnini

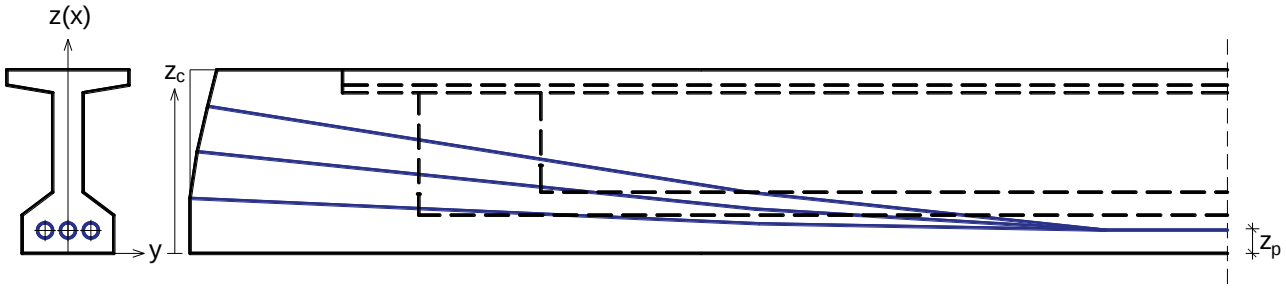
Tablica 15. Nagib tangente i visinski položaj natega na čelu nosača i u polovici raspona nosača

Natega	z_c	z_p	tgα
1	36,0	15,0	0,0313
2	67,0	15,0	0,0774
3	98,0	15,0	0,1235
Težište	67,0	15,0	0,0774

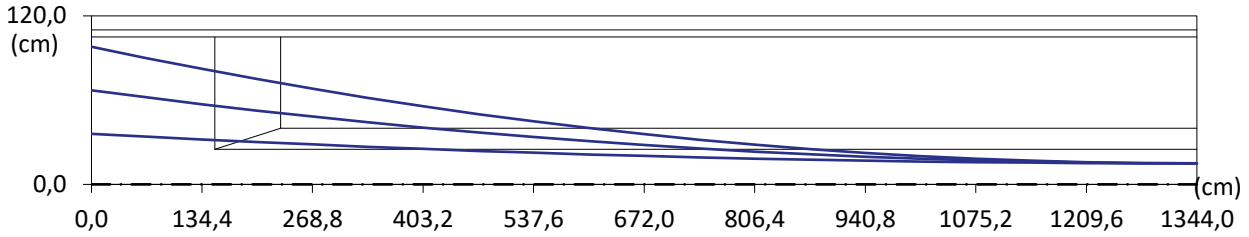
Položaj natega na čelu nosača



Položaj natega u polovici raspona nosača



Shema vođenja natega po duljini nosača



Tablica 16. Vođenje natega u vertikalnoj ravnini

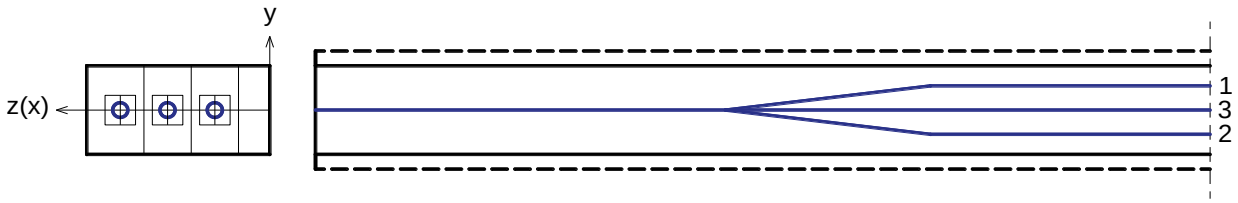
Nateg a	Udaljenost težišta natege od dna nosača (cm)										
	0,00	**1,34**	**2,69**	**4,03**	**5,38**	**6,72**	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**
1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0
2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0
3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0
Težište	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0

6.5.1.4.2 Vođenje natega u horizontalnoj ravnini

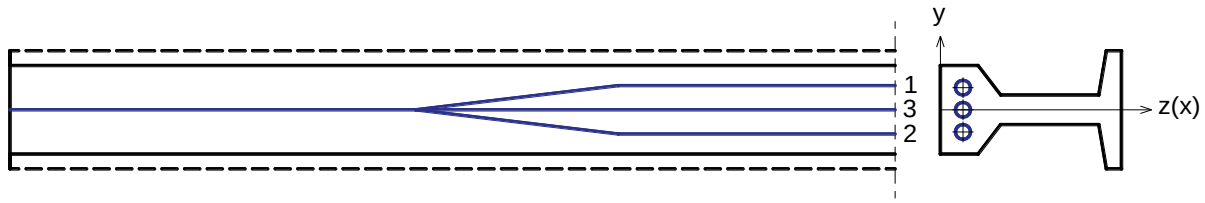
Tablica 17. Računska duljina natega

Natega	Duljina (cm)
1	2688,44
2	2690,68
3	2694,81

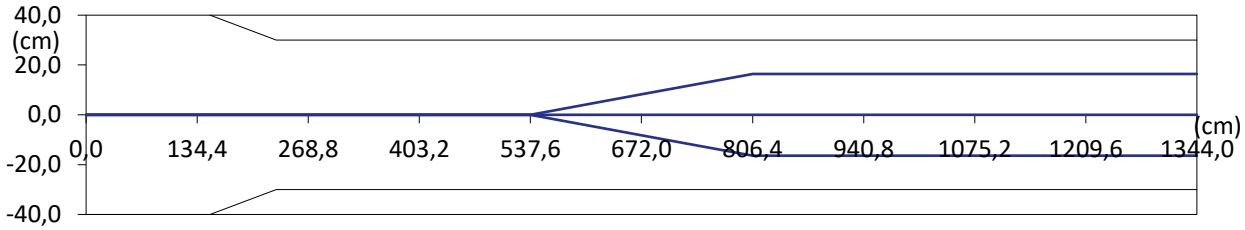
Položaj natega na čelu nosača



Položaj natega u polovici raspona nosača



Shema vođenja natega po duljini nosača

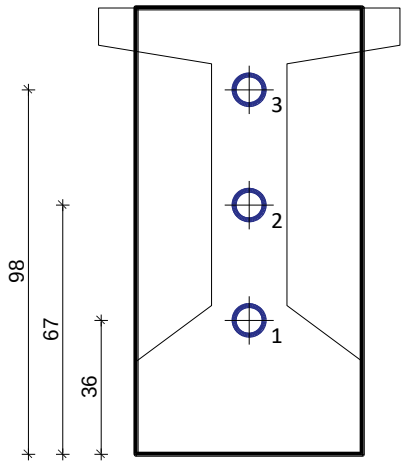


Tablica 18. Vođenje natega u horizontalnoj ravnini

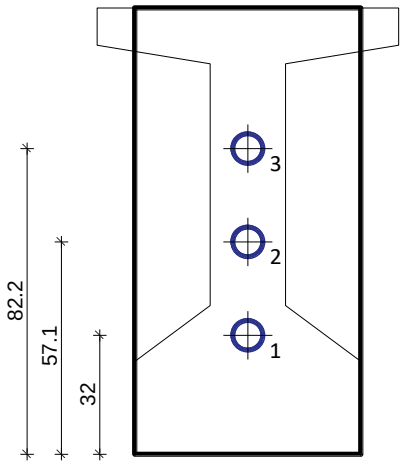
Nateg a	Udaljenost težišta natege od dna nosača (cm)										
	0,00	**1,34**	**2,69**	**4,03**	**5,38**	**6,72**	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,2	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Težište	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

6.5.1.4.3 Položaj natega u poprečnom presjeku

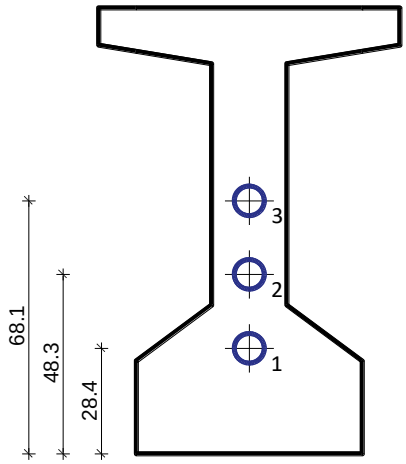
Presjek 1 ; x = 0,0 m



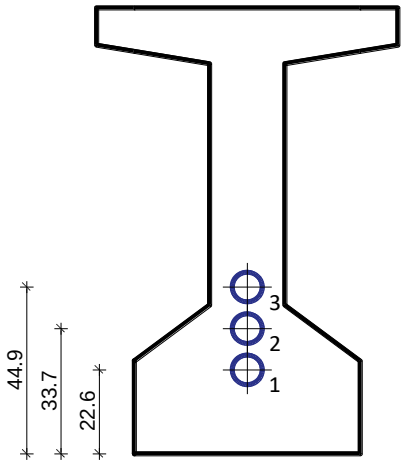
Presjek 2 ; x = 1,34 m



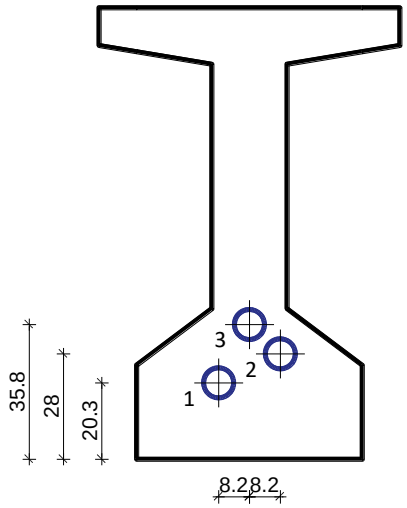
Presjek 3 ; x = 2,69 m



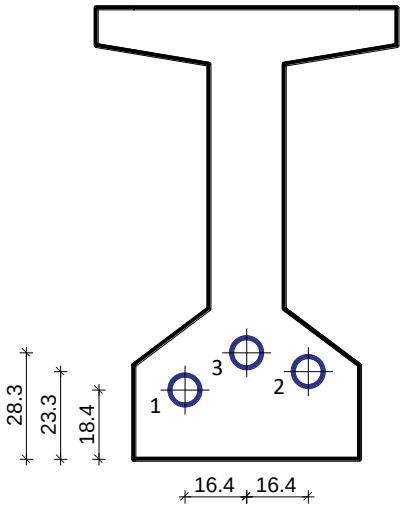
Presjek 4 ; x = 5,38 m



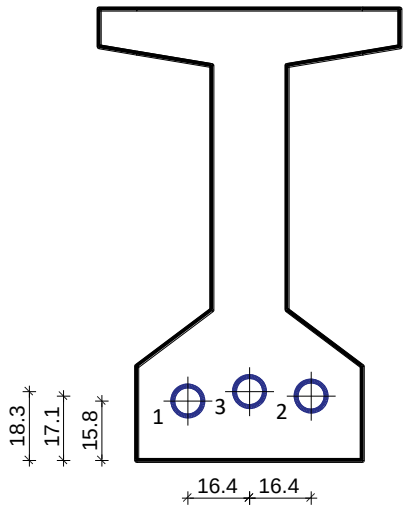
Presjek 5 ; x = 6,72 m



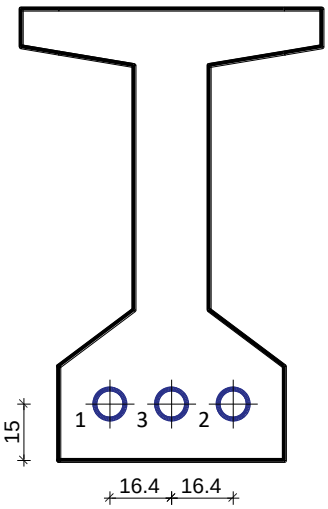
Presjek 6 ; x = 8,06 m



Presjek 7 ; x = 10,75 m



Presjek 6 ; x = 13,44 m



6.5.1.5 Proračun gubitaka sile prednaprezanja u sredini nosača

6.5.1.5.1 Gubici od trenja

$$\Delta P_{tr} = P_{m0} \cdot \left[1 - e^{(-\mu\alpha - \lambda x)}\right]$$

Eksperimentalne konstante (prema deklaraciji proizvođača):

$\mu = 0{,}19$ (koeficijent trenja)

$\beta = 0{,}30\ °/m$ (dozvoljeni skretni kut)

$\lambda = \mu \cdot \beta = 0{,}19 \cdot 0{,}30 = 0{,}057\ °/m = 0{,}000995\ rad/m$

Tablica 19. Kut skretanja natege

Natega	1	2	3
Nagib tangente *tgα*	0,0313	0,0774	0,1235
Kut skretanja natege *α* (rad)	0,0312	0,0772	0,1229

Tablica 20. Gubici od trenja

Natega	1	2	3
Početna sila prednaprezanja $P_{m0,i}$	1760,0	1760,0	1760,0
Gubici od trenja $\Delta P_{tr,i}$	33,64	48,67	63,46

$\Delta P_{tr} = 145{,}77\ kN = 2{,}76\ \%$

6.5.1.5.2 Gubici od elastičnog skraćenja betona

$$\Delta P_{el} = A_k \cdot 0{,}5 \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right) \cdot n_k \cdot \sigma_{ck}$$

$n = 3$ (broj natega)

$n_k = \frac{E_k}{E_c} = \frac{195000{,}0}{33500{,}0} = 5{,}82$ (odnos modula elastičnosti)

Naprezanje u betonu na mjestu natege:

$$\sigma_{ck} = \frac{P_{t=0}}{A} + \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{\frac{I_1}{y_k}} - \frac{M_{Ed,2}}{\frac{I_1}{y_k}} = \frac{5280{,}0}{0{,}4450} + \frac{5280{,}0 \cdot 0{,}4135}{\frac{0{,}0757}{0{,}4135}} - \frac{1119{,}93}{\frac{0{,}0757}{0{,}4135}} = 17673{,}56\ kN/m^2 = 17{,}67\ MN/m^2$$

$\Delta P_{el} = 123{,}41\ kN = 2{,}34\ \%$

6.5.1.5.3 Gubici od prokliznuća klina

$$\Delta P_{kl} = P_{m0} \cdot l_{sl} \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha}{x} + \lambda\right)$$

Svaki sustav prednaprezanja daje pretpostavljeno prokliznuće klina. Za sustav DYWIDAG može se uzeti 2,0 mm.

$\Delta l_s = 2{,}0$ mm (prokliznuće klina)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika natega)

$A_k = 3 \cdot 8 \cdot 150{,}0 = 3600{,}0$ mm^2 (ukupna površina natega)

$\mu = 0{,}19$ (koeficijent trenja)

$\lambda = 0{,}000995$ rad/m

Duljina utjecaja prokliznuća klina:

$$l_{sl} = \sqrt{\frac{\Delta l_s \cdot E_k \cdot A_k}{P_{m0} \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha}{x} + \lambda\right)}} = \sqrt{\frac{2{,}0/1000 \cdot 195000{,}0 \cdot 1000 \cdot 3600{,}0/1000000}{5280{,}0 \cdot 0{,}19 \cdot \left(\frac{0{,}2313/3}{13{,}44} + 0{,}000995\right)}} = 14{,}42 \text{ m}$$

$\Delta P_{kl} = 97{,}38$ kN $= 1{,}84$ %

6.5.1.5.4 Ukupni gubici u (t = 0) (u trenutku prednaprezanja)

$$\Delta P_{uk} = \Delta P_{tr} + \Delta P_{el} + \Delta P_{kl}$$

Gubici od trenja: $\Delta P_{tr} = 145{,}77$ kN $= 2{,}76$ %

Gubici od elastičnog skraćenja betona: $\Delta P_{el} = 123{,}41$ kN $= 2{,}34$ %

Gubici od prokliznuća klina: $\Delta P_{kl} = 97{,}38$ kN $= 1{,}84$ %

Ukupni gubici: $\Delta P_{uk} = 145{,}77 + 123{,}41 + 97{,}38 = 366{,}56$ kN

Sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak: $P_{t=0} - \Delta P_{uk} = 4913{,}44$ kN

Početni gubitak sile prednaprezanja: $\Delta P_{uk} = 6{,}94$ %

6.5.1.5.5 Gubici od puzanja i skupljanja betona

$$\Delta \mathbf{P_{ps}} = \mathbf{A_k} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{ps}}$$

$\varphi_{\infty,t=28} = 1{,}7$ (konačni koeficijent puzanja betona opterećenog nakon 28 dana)

$\varepsilon_{s\infty} = 0{,}00034$ (konačni koeficijent skupljanja)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika natega)

$A_k = 3600{,}0\ mm^2$ (ukupna površina natega)

$n_k = 5{,}82$ (odnos modula elastičnosti)

$\sigma_{ck} = 17{,}67$ (naprezanje u betonu na mjestu natege)

Pad naprezanja:

$$\Delta\sigma_{ps} = \frac{\varepsilon_{s\infty} \cdot E_k + n_k \cdot \varphi_{\infty,t=28} \cdot \sigma_{ck}}{1 + n_k \cdot \left(\frac{A_k}{A_c}\right) \cdot \left(1 + y_k^2 \cdot \frac{A_c}{I_c}\right) \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \varphi_{\infty,t=28}\right)}$$

$$\Delta\sigma_{ps} = \frac{0{,}00034 \cdot 195000 + 5{,}82 \cdot 1{,}7 \cdot 17{,}67}{1 + 5{,}82 \cdot \left(\frac{0{,}003600}{0{,}4450}\right) \cdot \left(1 + 0{,}4135^2 \cdot \frac{0{,}4450}{0{,}0757}\right) \cdot (1 + 0{,}8 \cdot 1{,}7)} = 197{,}19 \text{ MPa}$$

$\Delta P_{ps} = 709{,}88$ kN $= 13{,}44$ %

6.5.1.5.6 Gubici od relaksacije čelika

$$\Delta \mathbf{P_{re}} = \mathbf{A_k} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{re}}$$

$r = 1{,}7$ % (konačna vrijednost relaksacije čelika)

Pad naprezanja:

$$\Delta\sigma_{re} = r \cdot \sigma_{p0,max} = \frac{1{,}7}{100} \cdot 1422{,}0 = 24{,}17 \text{ MPa}$$

$\Delta P_{re} = 87{,}01$ kN $= 1{,}65$ %

6.5.1.5.7 Ukupni gubici u (t = ∞) (konačni gubici)

$$\mathbf{\Delta P_{uk} = \Delta P_{tr} + \Delta P_{el} + \Delta P_{kl} + \Delta P_{ps} + \Delta P_{re}}$$

Gubici od trenja: $\Delta P_{tr} = 145{,}77\ \text{kN} = 2{,}76\ \%$

Gubici od elastičnog skraćenja betona: $\Delta P_{el} = 123{,}41\ \text{kN} = 2{,}34\ \%$

Gubici od prokliznuća klina: $\Delta P_{kl} = 97{,}38\ \text{kN} = 1{,}84\ \%$

Gubici od puzanja i skupljanja betona: $\Delta P_{ps} = 709{,}88\ \text{kN} = 13{,}44\ \%$

Gubici od relaksacije čelika: $\Delta P_{re} = 87{,}01\ \text{kN} = 1{,}65\ \%$

Ukupni gubici: $\Delta P_{uk} = 145{,}77 + 123{,}41 + 97{,}38 + 709{,}88 + 87{,}01 = 1163{,}45\ \text{kN}$

Konačni gubitak sile prednaprezanja: $\Delta P_{uk} = 22{,}04\ \%$

Konačna sila prednaprezanja: $P_{t=\infty} = P_{t=0} - \Delta P_{uk} = 4116{,}55\ \text{kN} > 3952{,}94\ \text{kN}$

6.5.1.6 Kontrola bočne stabilnosti nosača

$b_g = 80{,}0\ \text{cm}$

$L = 26{,}88\ \text{m} = 2688{,}0\ \text{cm}$

$H = 120{,}0\ \text{cm}$

$$b_g \geq \sqrt[4]{\left(\frac{L}{50}\right) \cdot H} = \sqrt[4]{\left(\frac{2688{,}0}{50}\right) \cdot 120{,}0} = 65{,}71\ \text{cm}$$

Kontrola bočne stabilnosti nosača nije potrebna!

6.5.1.7 Stanje naprezanja po duljini nosača za radno opterećenje

Tablica 21. Računski momenti za provjeru graničnih stanja uporabe

x	**0,00**	**1,34**	**2,69**	**4,03**	**5,38**	**6,72**
$M_{g,z}$	0,0	212,8	403,2	571,2	716,8	839,9
$M_{g,p}$	0,0	260,8	494,2	700,1	878,6	1029,6
$M_{\Delta g}$	-1006,6	-772,1	-551,7	-345,4	-153,2	25,0
M_q	-1559,2	-806,3	-116,2	511,0	1075,3	1576,9
$M_{Ed,r1}$	-201,3	212,8	403,2	571,2	716,8	839,9
$M_{Ed,r2}$	-1318,4	-540,4	310,8	1079,2	1764,8	2367,6
x	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**	**-**
$M_{g,z}$	940,7	1019,1	1075,1	1108,7	1119,9	-
$M_{g,p}$	1153,2	1249,3	1317,9	1359,1	1372,8	-
$M_{\Delta g}$	189,0	339,0	474,9	596,7	704,4	-
M_q	2015,6	2391,4	2704,4	2954,6	3141,9	-
$M_{Ed,r1}$	940,7	1019,1	1075,1	1108,7	1119,9	-
$M_{Ed,r2}$	2887,6	3324,8	3679,2	3950,9	4139,7	-

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe – 1. faza – stanje neposredno nakon prednaprezanja:

$$M_{Ed,1} = M_{g,z}$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe – 2. faza – konačno stanje:

$$M_{Ed,3} = \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + \Psi \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi = 0{,}30$

1. faza

$\sigma_{c,max,t=0} = -21{,}0$ MPa (maksimalno tlačno dopušteno naprezanje pri rednparezanju)

$\sigma_{t,max,t=0} = 3{,}20$ MPa (maksimalno vlačno dopušteno naprezanje pri prednaprezanju)

x	**0,00**	**1,34**	**2,69**	**4,03**	**5,38**	**6,72**
A_1 (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
$y_{d,1}$ (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
$W_{d,1}$ (cm^3)	151120,5	151120,5	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8
$W_{g,1}$ (cm^3)	160472,9	160472,9	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4
P_{poc} (kN)	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2
Natega 1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3
Natega 2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
Natega 3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8
Natega ukupno	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
atan α	0,0774	0,0627	0,0495	0,0379	0,0279	0,0194
ΔP_{tr} (kN)	0,0	21,1	40,7	58,8	75,4	90,5
ΔP_{kl} (kN)	97,5	88,4	79,3	70,2	61,1	52,0
ΔP_{el} (kN)	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4
$P_{t=0}$ (kN)	4898,3	4886,3	4875,8	4866,8	4859,3	4853,3
σ_g (MPa)	**-3,7**	**-6,5**	**-11,0**	**-9,2**	**-7,7**	**-6,4**
σ_d (MPa)	**-9,6**	**-6,7**	**-10,9**	**-12,4**	**-13,8**	**-14,9**
x	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**	**-**
A_1 (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
$y_{d,1}$ (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
$W_{d,1}$ (cm^3)	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	-
$W_{g,1}$ (cm^3)	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	-
P_{poc} (kN)	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2	-
Natega 1	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0	-
Natega 2	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
Natega 3	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0	-
Natega ukupno	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
atan α	0,0124	0,0070	0,0031	0,0008	0,0000	-
ΔP_{tr} (kN)	104,1	116,2	126,8	135,9	143,5	-
ΔP_{kl} (kN)	42,9	33,8	24,7	15,6	6,5	-
ΔP_{el} (kN)	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	-
$P_{t=0}$ (kN)	4848,8	4845,8	4844,3	4844,3	4845,8	-
σ_g (MPa)	**-5,3**	**-4,5**	**-3,9**	**-3,6**	**-3,5**	-
σ_d (MPa)	**-15,8**	**-16,5**	**-17,0**	**-17,4**	**-17,5**	-

2. faza

$\sigma_{c,max,t=\infty} = -15{,}75$ MPa (maksimalno tlačno dopušteno naprezanje u eksploataciji)

$\sigma_{t,max,t=\infty} = 0{,}0$ MPa (maksimalno vlačno dopušteno naprezanje u eksploataciji)

x	**0,00**	**1,34**	**2,69**	**4,03**	**5,38**	**6,72**
A_{1+2} (cm2)	13530,0	13530,0	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0
$y_{d,2}$ (cm)	92,4	92,4	98,9	98,9	98,9	98,9
$W_{d,2}$ (cm^3)	271647,3	271647,3	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8
$W_{g,2}$ (cm^3)	528115,8	528115,8	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4
$I_{x,2}$ (cm^4)	25113150,4	25113150,4	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5
P_{poc} (kN)	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2
σ_{ck} (MPa)	-8,9	-6,6	-10,9	-12,0	-13,0	-13,8
Natega 1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3
Natega 2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
Natega 3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8
Natega ukupno	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
atan σ	0,0774	0,0627	0,0495	0,0379	0,0279	0,0194
ΔP_{tr} (kN)	0,0	21,1	40,7	58,8	75,4	90,5
ΔP_{kl} (kN)	97,5	88,4	79,3	70,2	61,1	52,0
ΔP_{el} (kN)	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4
ΔP_{ps} (kN)	528,3	447,8	567,4	593,4	613,9	629,8
ΔP_{rel} (kN)	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0
$P_{t=\infty}$ (kN)	4283,0	4351,4	4221,4	4186,3	4158,3	4136,5
σ_g (MPa)	2,3	1,5	0,2	-1,1	-2,2	-3,2
σ_{gn} (MPa)	**-1,5**	**-5,0**	**-10,9**	**-10,3**	**-9,9**	**-9,6**
σ_d (MPa)	**-12,7**	**-8,3**	**-9,2**	**-7,7**	**-6,3**	**-4,9**

Napomena: x je udaljenost presjeka od kraja nosača.

x	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**	**-**
A_{1+2} (cm2)	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0	-
$y_{d,2}$ (cm)	98,9	98,9	98,9	98,9	98,9	-
$W_{d,2}$ (cm^3)	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8	-
$W_{g,2}$ (cm^3)	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4	-
$I_{x,2}$ (cm^4)	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5	-
P_{poc} (kN)	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2	5119,2	-
σ_{ck} (MPa)	-14,5	-15,0	-15,4	-15,6	-15,7	-
Natega 1	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0	-
Natega 2	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
Natega 3	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0	-
Natega ukupno	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
atan σ	0,0124	0,0070	0,0031	0,0008	0,0000	-
ΔP_{tr} (kN)	104,1	116,2	126,8	135,9	143,5	-
ΔP_{kl} (kN)	42,9	33,8	24,7	15,6	6,5	-
ΔP_{el} (kN)	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	-
ΔP_{ps} (kN)	641,8	650,5	656,5	660,1	661,4	-
ΔP_{rel} (kN)	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	-
$P_{t=\infty}$ (kN)	4120,0	4108,2	4100,8	4097,2	4097,3	-
σ_g (MPa)	-4,0	-4,8	-5,4	-5,9	-6,2	-
σ_{gn} (MPa)	**-9,4**	**-9,3**	**-9,3**	**-9,4**	**-9,7**	-
σ_d (MPa)	**-3,7**	**-2,7**	**-1,7**	**-0,9**	**-0,1**	-

Napomena: x je udaljenost presjeka od kraja nosača.

6.5.1.8 Kontrola progiba

Pri prednaprezanju

$P_{t=0} = 4913{,}44$ kN (sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak)

$M_{Ed,r1} = 1119{,}93$ kNm (moment savijanja)

$E_{c,1} = 33500{,}0$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,1} = 0{,}0757$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,1} = 0{,}4135$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=0} \cdot y_{k,1} + M_{Ed,r1}\right) \cdot L^2}{E_{c,1} \cdot I_{y,1}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-4913{,}44 \cdot 0{,}4135 + 1119{,}93) \cdot 26{,}88^2}{33500{,}0 \cdot 1000 \cdot 0{,}0757} = -0{,}0271 \text{ m} = -2{,}71 \text{ cm}$$

Faza betoniranja ploče

$P_{t=0} = 4913{,}44$ kN (sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak)

$M_{Ed,r1} = 1119{,}93 + 1372{,}82 = 2492{,}75$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 0{,}30$

$E_{c,1} = \frac{33500{,}0}{1 + 0{,}30} = 25769{,}23$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,1} = 0{,}0757$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,1} = 0{,}4135$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=0} \cdot y_{k,1} + M_{Ed,r1}\right) \cdot L^2}{E_{c,1} \cdot I_{y,1}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-4913{,}44 \cdot 0{,}4135 + 2492{,}75) \cdot 26{,}88^2}{25769{,}23 \cdot 1000 \cdot 0{,}0757} = 0{,}0178 \text{ m} = 1{,}78 \text{ cm}$$

Konačno stanje – radno opterećenje

$P_{t=\infty} = 4116{,}55$ kN (konačna sila prednaprezanja)

$M_{Ed,r2} = 1119{,}93 + 1372{,}82 + 704{,}39 + 0{,}30 \cdot 3141{,}94 = 4139{,}72$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 1{,}70$

$E_{c,2} = \frac{33500{,}0}{1 + 1{,}70} = 12407{,}41$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,2} = 0{,}2171$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,2} = 0{,}8387$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=\infty} \cdot y_{k,2} + M_{Ed,r2}\right) \cdot L^2}{E_{c,2} \cdot I_{y,2}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-4116{,}55 \cdot 0{,}8387 + 4139{,}72) \cdot 26{,}88^2}{12407{,}41 \cdot 1000 \cdot 0{,}2171} = 0{,}0192 \text{ m} = 1{,}92 \text{ cm}$$

Konačno stanje – granično opterećenje

$P_{t=\infty} = 4116{,}55$ kN (konačna sila prednaprezanja)

$M_{Ed,r2} = 1119{,}93 + 1372{,}82 + 704{,}39 + 0{,}70 \cdot 3141{,}94 = 5396{,}50$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 1{,}70$

$E_{c,2} = \frac{33500{,}0}{1 + 1{,}70} = 12407{,}41$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,2} = 0{,}2171$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,2} = 0{,}8387$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=\infty} \cdot y_{k,2} + M_{Ed,r2}\right) \cdot L^2}{E_{c,2} \cdot I_{y,2}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-4116{,}55 \cdot 0{,}8387 + 5396{,}50) \cdot 26{,}88^2}{12407{,}41 \cdot 1000 \cdot 0{,}2171} = 0{,}0543 \text{ m} = 5{,}43 \text{ cm}$$

Dozvoljeni progib

$$f_{dop} = \frac{L}{300} = \frac{26{,}88}{300} = 0{,}0896 \text{ m} = 8{,}96 \text{ cm}$$

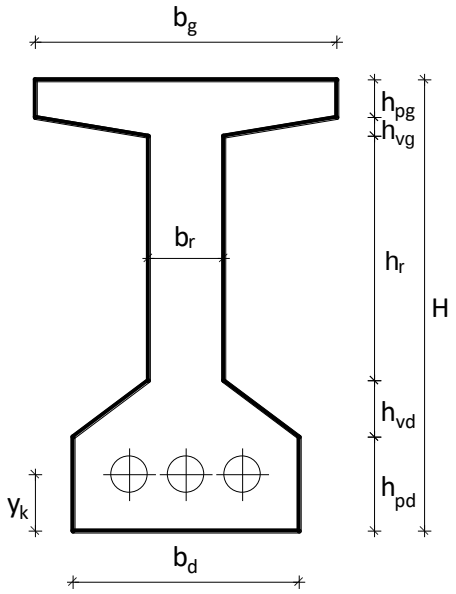
Nosaču pri izvedbi dati progib: 6,0 cm.

Napomena: U slučaju maksimalne računske sile progib nosača će se povećati. Međutim, takva stanja su rijetka i neracionalno je nosač kontrolirati na njih.

6.5.2 Odabiranje natega najmanje opterećenog rubnog nosača (N7)

6.5.2.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača i materijali

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 1. fazi



$H = 120{,}0$ cm (ukupna visina presjeka)
$b_g = 80{,}0$ cm (širina gornjeg pojasa)
$b_d = 60{,}0$ cm (širina donjeg pojasa)
$b_r = 20{,}0$ cm (širina rebra)
$h_{pg} = 10{,}0$ cm (visina gornjeg pojasa)
$h_{pd} = 25{,}0$ cm (visina donjeg pojasa)
$h_{vg} = 5{,}0$ cm (visina gornje vute)
$h_{vd} = 15{,}0$ cm (visina donje vute)
$h_r = 65{,}0$ cm (visina rebra)
$y_k = 15{,}0$ cm (položaj težišta kabela)
$L = 26{,}68$ cm (računska duljina nosača)

Tablica 22. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 1. fazi

x	0,00	1,33	2,67	4,00	5,34	6,67
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
b_d (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
b_r (cm)	60,0	60,0	20,0	20,0	20,0	20,0
h_{pg} (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
h_{pd} (cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
h_{vg} (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
h_{vd} (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
h_r (cm)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
A (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
y_d (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
y_g (cm)	58,2	58,2	63,7	63,7	63,7	63,7
I_{xd} (cm^4)	37793541,7	37793541,7	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3
I_y (cm^4)	9339379,7	9339379,7	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4
W_d (cm^3)	151120,5	151120,5	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8
W_g (cm^3)	160472,9	160472,9	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4

k_d (cm)	21,5	21,5	26,7	26,7	26,7	26,7
k_g (cm)	20,3	20,3	30,2	30,2	30,2	30,2
x	**8,00**	**9,34**	**10,67**	**12,01**	**13,34**	**-**
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	-
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	-
b_d (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	-
b_r (cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	-
h_{pg} (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	-
h_{pd} (cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	-
h_{vg} (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-
h_{vd} (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	-
h_r (cm)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	-
A (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
y_d (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
y_g (cm)	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	-
I_{xd} (cm^4)	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	-
I_y (cm^4)	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	-
W_d (cm^3)	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	-
W_g (cm^3)	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	-
k_d (cm)	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	-
k_g (cm)	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	-

x (udaljenost presjeka od kraja nosača)

A (površina poprečnog presjeka)

y_d (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

y_g (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

I_{xd} (moment inercije s obzirom na donji rub)

I_y (moment inercije s obzirom na težište)

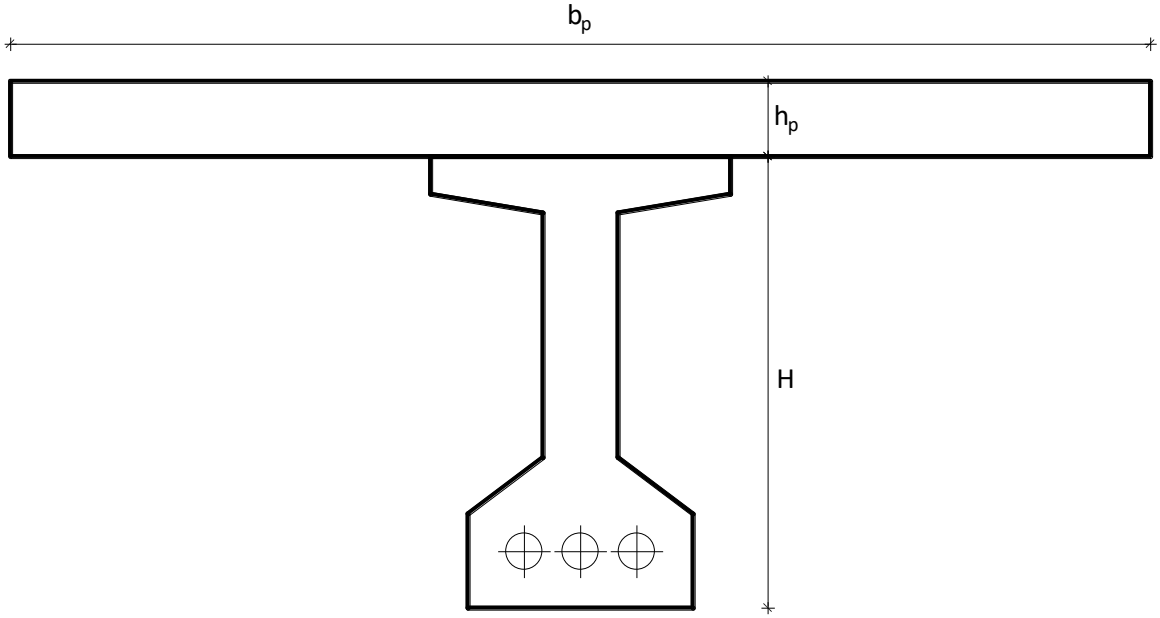
W_d (moment otpora s obzirom na donji rub)

W_g (moment otpora s obzirom na gornji rub)

k_d (donji odsječak jezgre presjeka)

k_g (gornji odsječak jezgre presjeka)

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 2. fazi



$h_p = 20{,}0$ cm (visina ploče)

$b_p = 304{,}0$ cm (sudjelujuća širina ploče)

Tablica 23. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 2. fazi

x	0,00	1,34	2,69	4,03	5,38	6,72
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
A_1 (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
y_{d-1} (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
y_{g-1} (cm)	58,2	58,2	63,7	63,7	63,7	63,7
I_{xd-1} (cm^4)	37793541,7	37793541,7	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3
I_{y-1} (cm^4)	9339379,7	9339379,7	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4
A_2 (cm^2)	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0
A_{1+2} (cm^2)	13530,0	13530,0	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0
$y_{d,2}$ (cm)	92,4	92,4	98,9	98,9	98,9	98,9
$y_{g,2}$ (cm)	47,6	47,6	41,1	41,1	41,1	41,1
$I_{y,2}$ (cm^4)	25113150,4	25113150,4	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5
$W_{d,2}$ (cm^3)	271647,3	271647,3	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8
$W_{g,2}$ (cm^3)	528115,8	528115,8	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4
$k_{d,2}$ (cm)	39,0	39,0	50,1	50,1	50,1	50,1
$k_{g,2}$ (cm	20,1	20,1	20,9	20,9	20,9	20,9

x	**8,06**	**9,41**	**10,75**	**12,10**	**13,44**	**-**
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	-
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	-
A_1 (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
$y_{d,1}$ (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
$y_{g,1}$ (cm)	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	-
$I_{xd,1}$ (cm^4)	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	-
$I_{y,1}$ (cm^4)	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	-
A_2 (cm^2)	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0	6080,0	-
A_{1+2} (cm^2)	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0	-
$y_{d,2}$ (cm)	98,9	98,9	98,9	98,9	98,9	-
$y_{g,2}$ (cm)	41,1	41,1	41,1	41,1	41,1	-
$I_{y,2}$ (cm^4)	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5	-
$W_{d,2}$ (cm^3)	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8	-
$W_{g,2}$ (cm^3)	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4	-
$k_{d,2}$ (cm)	50,1	50,1	50,1	50,1	50,1	-
$k_{g,2}$ (cm	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	-

x (udaljenost presjeka od kraja nosača)

A_1 (površina poprečnog presjeka)

$y_{d,1}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

$y_{g,1}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

$I_{xd,1}$ (moment inercije s obzirom na donji rub)

$I_{y,1}$ (moment inercije s obzirom na težište)

A_2 (površina kolničke ploče)

A_{1+2} (ukupna površina spregnutog presjeka)

$y_{d,2}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba spregnutog presjeka)

$y_{g,2}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba spregnutog presjeka)

$I_{y,2}$ (moment inercije s obzirom na težište)

$W_{d,2}$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

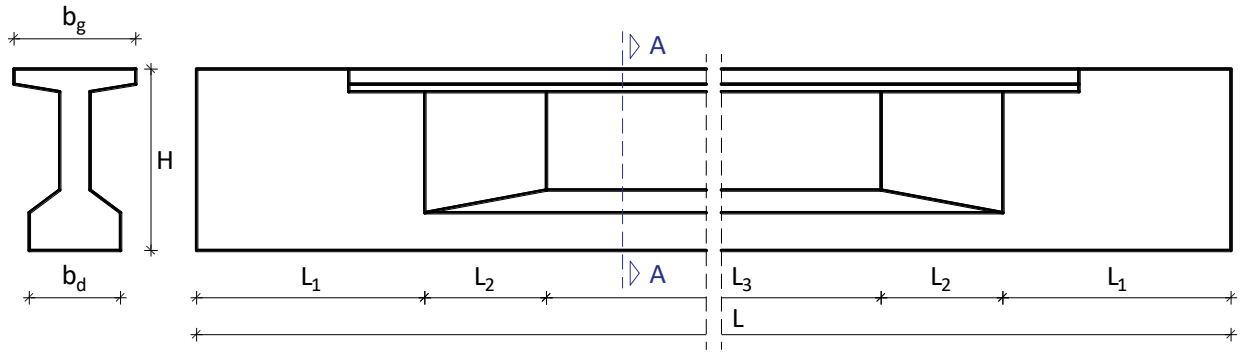
$W_{g,2}$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$k_{d,2}$ (donji odsječak jezgre spregnutog presjeka)

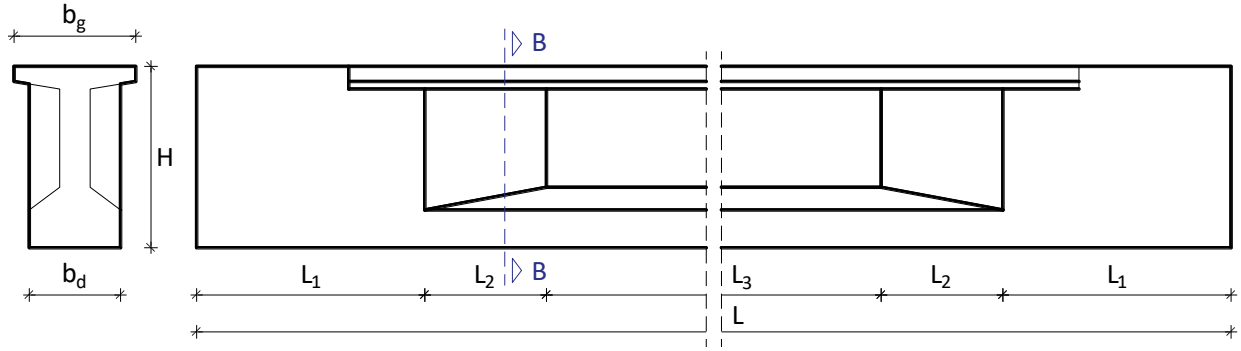
$k_{g,2}$ (gornji odsječak jezgre spregnutog presjeka)

Geometrijske karakteristike rasponskog nosača u uzdužnom smjeru

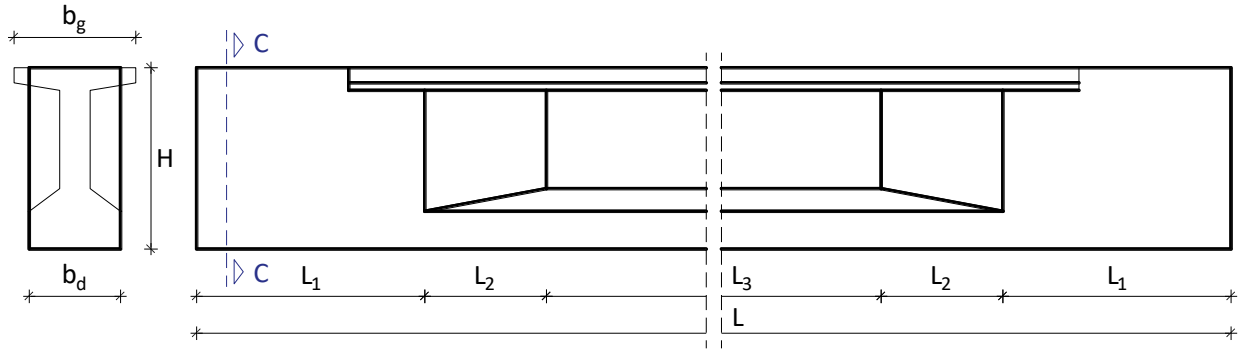
Presjek A – A



Presjek B – B



Presjek C – C



$L = 26{,}68$ m (ukupna duljina nosača)

$L_1 = 1{,}50$ m (duljina proširenog dijela)

$L_2 = 0{,}80$ m (duljina dijela suženja)

$L_3 = 22{,}08$ m (duljina suženog dijela)

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

$f_{cd} = 2{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka)

$f_{ctm} = 3{,}20$ MPa (srednja osna vlačna čvrstoća)

$E_c = 33500{,}0$ MPa (modul elastičnosti betona)

$\gamma_c = 25{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ (specifična težina betona)

$\tau_{Rd} = 0{,}37$ MPa (računska čvrstoća na djelovanje glavnih kosih naprezanja)

Maksimalna dopuštena naprezanja pri prednaprezanju:

$$\sigma_{c,max,t=0} \leq 0{,}6 \cdot f_{ck} = 0{,}6 \cdot 35{,}0 = -21{,}0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max,t=0} \geq 0{,}3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0{,}3 \cdot (35{,}0)^{2/3} = 3{,}20 \text{ MPa}$$

Maksimalna dopuštena naprezanja u eksploataciji:

$$\sigma_{c,max,t=\infty} \leq 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 35{,}0 = -15{,}75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max,t=\infty} \geq 0{,}0 \text{ MPa}$$

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja)

$E_s = 200000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika za armiranje)

Čelik za prednaprezanje (St 1580/1860)

$f_{p0,1k} = 1580{,}0$ MPa (karakteristično naprezanje čelika pri 0,1% − tnoj zaostaloj deformaciji)

$f_{pk} = 1860{,}0$ MPa (karakteristična vlačna čvrstoća)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika za prednaprezanje)

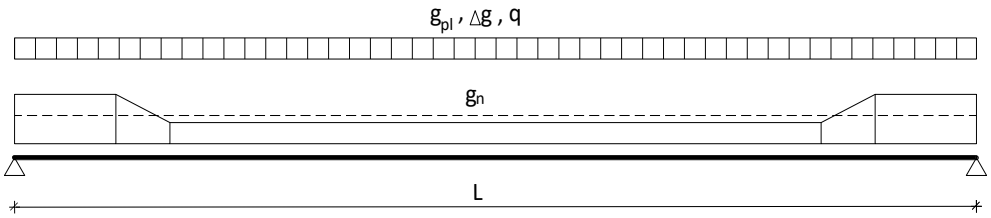
Maksimalno naprezanje nakon prednaprezanja:

$$\sigma_{p0,max} = \min \begin{cases} 0{,}80 \cdot f_{pk} = 0{,}80 \cdot 1860{,}0 = 1488{,}0 \text{ MPa} \\ 0{,}90 \cdot f_{p0,1k} = 0{,}90 \cdot 1580{,}0 = 1422{,}0 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \sigma_{p0,max} = 1422{,}0 \text{ MPa}$$

Maksimalno naprezanje nakon sidrenja:

$$\sigma_{pm0,max} = \min \begin{cases} 0{,}75 \cdot f_{pk} = 0{,}75 \cdot 1860{,}0 = 1395{,}0 \text{ MPa} \\ 0{,}85 \cdot f_{p0,1k} = 0{,}85 \cdot 1580{,}0 = 1343{,}0 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \sigma_{pm0,max} = 1343{,}0 \text{ MPa}$$

6.5.2.2 Analiza opterećenja



Vlastita težina rasponskog nosača

$g_n = 12{,}40\ \mathrm{kN/m'}$

Vlastita težina kolničke ploče

$g_{pl} = 15{,}20\ \mathrm{kN/m'}$

Dodatno stalno opterećenje

$\Delta g = 14{,}49\ \mathrm{kN/m'}$

Izračunati utjecaji od dodatnog stalnog opterećenja (upetost na krajevima):

$M_{\Delta g,x=0} = -1007{,}11\ \mathrm{kNm}$

$M_{\Delta g,x=L} = -1008{,}84\ \mathrm{kNm}$

Pokretno opterećenje

$q = 46{,}57\ \mathrm{kN/m'}$

Izračunati utjecaji od pokretnog opterećenja (upetost na krajevima):

$M_{\Delta g,x=0} = -1494{,}91\ \mathrm{kNm}$

$M_{\Delta g,x=L} = -1501{,}17\ \mathrm{kNm}$

Tablica 24. Momenti savijanja i računski momenti za provjeru graničnih stanja

x	**0,00**	**1,33**	**2,67**	**4,00**	**5,34**	**6,67**
$M_{g,z}$ (kNm)	0,0	209,6	397,2	562,7	706,1	827,5
$M_{g,p}$ (kNm)	0,0	257,0	486,9	689,8	865,6	1014,3
$M_{\Delta g}$ (kNm)	-1007,1	-762,3	-543,3	-350,0	-182,6	-40,9
M_q (kNm)	-1494,9	-708,2	-4,3	616,7	1154,8	1610,0
$M_{Ed,1}$ (kNm)	-3602,0	-1461,4	453,6	2143,3	3607,5	4846,2
$M_{Ed,2}$ (kNm)	-2502,0	-1003,9	336,5	1519,1	2543,9	3410,9
$M_{Ed,3}$ (kNm)	-2053,5	-791,4	337,8	1334,1	2197,4	2927,9
$M_{Ed,4}$ (kNm)	-1306,1	-437,3	339,9	1025,7	1620,1	2122,9
x	**8,00**	**9,34**	**10,67**	**12,01**	**13,34**	-
$M_{g,z}$ (kNm)	926,8	1004,0	1059,2	1092,3	1103,3	-
$M_{g,p}$ (kNm)	1136,1	1230,7	1298,4	1338,9	1352,5	-
$M_{\Delta g}$ (kNm)	74,9	165,0	229,3	267,8	280,5	-
M_q (kNm)	1982,3	2271,8	2478,4	2602,1	2642,9	-
$M_{Ed,1}$ (kNm)	5859,5	6647,4	7209,8	7546,8	7658,4	-
$M_{Ed,2}$ (kNm)	4120,1	4671,6	5065,2	5301,1	5379,2	-
$M_{Ed,3}$ (kNm)	3525,4	3990,0	4321,7	4520,5	4586,3	-
$M_{Ed,4}$ (kNm)	2534,3	2854,1	3082,5	3219,5	3264,9	-

Računski moment za provjeru graničnih stanja nosivosti:

$$M_{Ed,1} = 1{,}35 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (rijetka kombinacija):

$$M_{Ed,2} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot M_q$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (česta kombinacija):

$$M_{Ed,3} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot \Psi_{1,1} \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi_{1,1} = 0{,}70$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (kvazistalna kombinacija):

$$M_{Ed,4} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot \Psi_{2,1} \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi_{2,1} = 0{,}20$

6.5.2.3 Proračun sile prednaprezanja

6.5.2.3.1 Proračun sile prednaprezanja – 1. faza

Presjek je potrebno kontrolirati u svim fazama. Kritične faze su faza uvođenja sile, kad na presjek djeluje puna sila prednaprezanja (bez gubitaka), te konačna faza (kad djeluje sila i puno opterećenje).

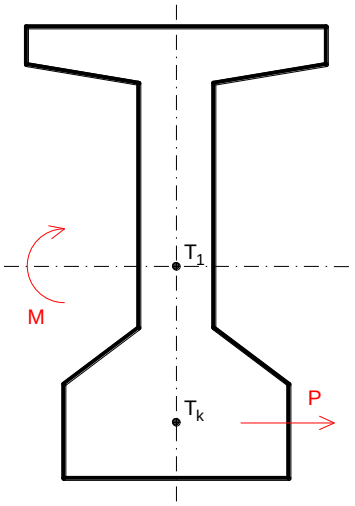
Nakon uvođenja sile prednaprezanja nosač poprima oblik prikazan na *Slici 114.*

Slika 128. Oblik nosača nakon uvođenja sile prednaprezanja

Na nosač djeluje sila prednaprezanja i vlastita težina samog nosača.

Tablica 25. Momenti savijanja i računski momenti – 1. faza

Utjecaj	$M_{g,z}$	$M_{g,p}$	$M_{\Delta g}$	M_q	$M_{Ed,2}$
Koeficijent	1,0	0,0	0,0	0,0	-
Vrijednost	1103,32	0,0	0,0	0,0	1103,32



$A = 0{,}4450\ m^2$ (površina presjeka)

$W_g = 0{,}1189\ m^3$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$W_d = 0{,}1343\ m^3$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

$y_k = 0{,}4135\ m$ (udaljenost težišta natega do težišta presjeka)

Donji rub (tlak)

$$\frac{P_{t=0}}{A} + \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{W_d} - \frac{M_{Ed,2}}{W_d} \leq \sigma_{c,max,t=0} = 21{,}0\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{y_k}{W_d}\right) \leq \sigma_{c,max,t=0} + \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_d}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{0{,}4450} + \frac{0{,}4135}{0{,}1343}\right) \leq 21000{,}0 + \left(\frac{1103{,}32}{0{,}1343}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot 5{,}3261 \leq 29215{,}34$$

$$P_{t=0} \leq 5485{,}32\ kN$$

Gornji rub (vlak)

$$\frac{P_{t=0}}{A} - \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{W_g} + \frac{M_{Ed,2}}{W_g} \leq \sigma_{t,max,t=0} = -3{,}20\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{A} - \frac{y_k}{W_g}\right) \leq \sigma_{t,max,t=0} - \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_g}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{0{,}4450} - \frac{0{,}4135}{0{,}1189}\right) \leq -3200{,}0 - \left(\frac{1103{,}32}{0{,}1189}\right)$$

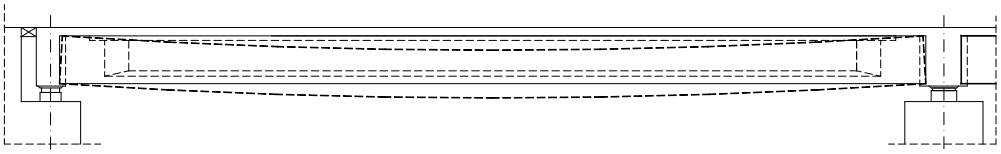
$$P_{t=0} \cdot (-1{,}2305) \leq -12479{,}39$$

$$P_{t=0} \leq 10141{,}73\ kN$$

6.5.2.3.2 Proračun sile prednaprezanja – 2. faza

U konačnici se pretpostavlja potpuna raspodjela naprezanja između presjeka u 1. fazi (montažni nosač) i presjeka u 2. fazi (spregnuti presjek).

Nakon opterećivanja nosač poprima oblik prikazan na *Slici 115.*

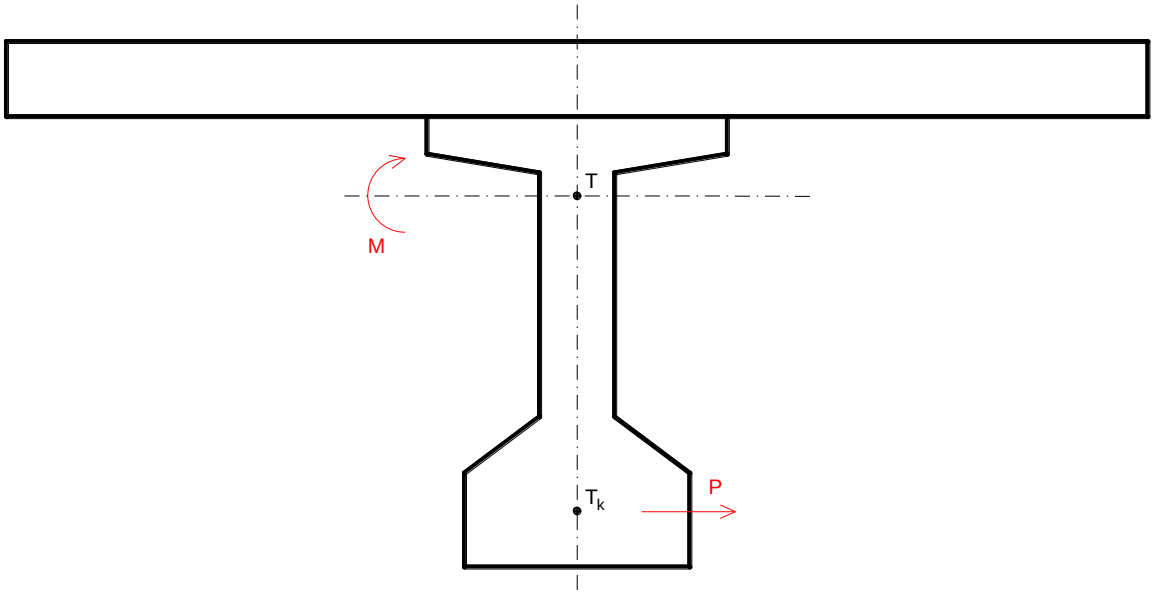


Slika 129. Oblik nosača nakon opterećivanja

Tablica 26. Momenti savijanja i računski momenti – 2. faza

Utjecaj	$M_{g,z}$	$M_{g,p}$	$M_{\Delta g}$	M_q	$M_{Ed,2}$
Koeficijent	1,0	1,0	1,0	0,3	-
Vrijednost	1103,32	1352,46	280,48	2642,98	3529,15

Pretpostavljeni gubici sile: 25,0 %



$A = 1{,}0530\ m^2$ (površina presjeka)

$W_g = 0{,}5278\ m^3$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$W_d = 0{,}2196\ m^3$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

$y_k = 0{,}8387\ m$ (udaljenost težišta nategа do težišta presjeka)

Donji rub (vlak)

$$\frac{P_{t=\infty}}{A} + \frac{P_{t=\infty} \cdot y_k}{W_d} - \frac{M_{Ed,2}}{W_d} \geq \sigma_{t,max,t=\infty} = 0{,}0\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{y_k}{W_d}\right) \geq \sigma_{t,max,t=\infty} + \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_d}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{1{,}0530} + \frac{0{,}8387}{0{,}2196}\right) \geq 0{,}0 + \left(\frac{3529{,}15}{0{,}2196}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot 4{,}7689 \geq 16070{,}81$$

$$P_{t=\infty} \geq 3369{,}92\ kN$$

$$P_{t=0} \approx P_{t=\infty} \cdot 1{,}3 = 3369{,}92 \cdot 1{,}3 = 4380{,}90\ kN$$

Gornji rub (tlak)

$$\frac{P_{t=\infty}}{A} - \frac{P_{t=\infty} \cdot y_k}{W_g} + \frac{M_{Ed,2}}{W_g} \geq \sigma_{c,max,t=0} = 15{,}75\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{A} - \frac{y_k}{W_g}\right) \geq \sigma_{c,max,t=\infty} - \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_g}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{1{,}0530} - \frac{0{,}8387}{0{,}5278}\right) \geq 15750{,}0 - \left(\frac{3529{,}15}{0{,}5278}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot (-0{,}6394) \geq 9063{,}47$$

$$P_{t=\infty} \geq -14174{,}96\ kN$$

$$P_{t=0} \approx P_{t=\infty} \cdot 1{,}3 = (-14174{,}96) \cdot 1{,}3 = -18427{,}45\ kN$$

6.5.2.3.3 Odabir sile (sustava) prednaprezanja

Odabran je sustav DYWIDAG, te natega sa 7 užadi promjera 0,60 inča.

Površina jednog užeta: $A_1 = 150{,}0\ \text{mm}^2$

Ukupna nominalna površina natege: $A_k = 7 \cdot 150{,}0 = 1050{,}0\ \text{mm}^2$

Ukupno su odabrane 3 natege.

Minimalna sila na preši u sve 3 natege:

$$P_{t=0} = n \cdot A_k \cdot \sigma_{0,dop} = 3 \cdot 0{,}001050 \cdot 1422000 = 4479{,}30\ \text{kN} < 5485{,}32\ \text{kN}$$

Maksimalna sila na preši u sve 3 natege:

$$P_{t=0} = n \cdot A_k \cdot \sigma_{0,dop} = 3 \cdot 0{,}001050 \cdot 1488000 = 4687{,}20\ \text{kN} < 5485{,}32\ \text{kN}$$

Početna sila nakon odbitka svih gubitaka u sve 3 natege je (pretpostavljeni gubici 25,0 %):

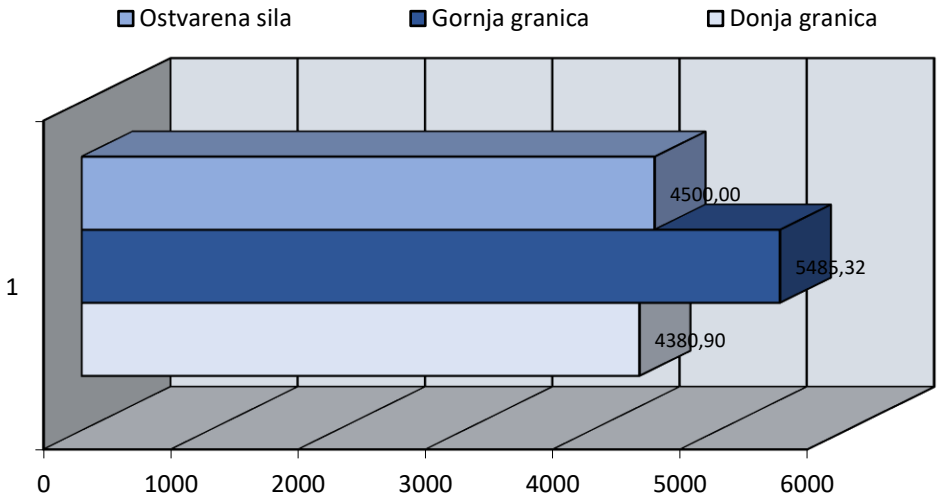
$$P_{t=\infty} = 75\%\ P_{t=0} = 0{,}75 \cdot 4500{,}0 = 3375{,}0\ \text{kN} > 3369{,}92\ \text{kN}$$

Početna sila prednaprezanja (P_{m0}):

$$P_{m0} = 4500{,}0\ \text{kN}$$

Vjerojatna konačna sila prednaprezanja ($P_{m\infty}$):

$$P_{m\infty} = 4700{,}0\ \text{kN}$$



6.5.2.4 Vođenje natega

Tablica 27. Položaj jezgre presjeka

Položaj jezgre presjeka	Y_t (cm)	y_d (cm)	y_g (cm)
1. faza	61,80	40,30	82,10
2. faza	92,40	53,40	112,50

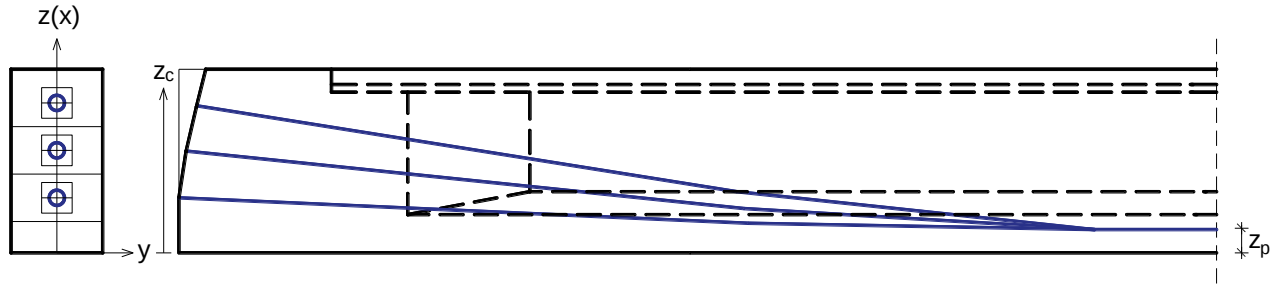
Napomena: Mjereno od dna nosača, presjek na rubu.

6.5.2.4.1 Vođenje natega u vertikalnoj ravnini

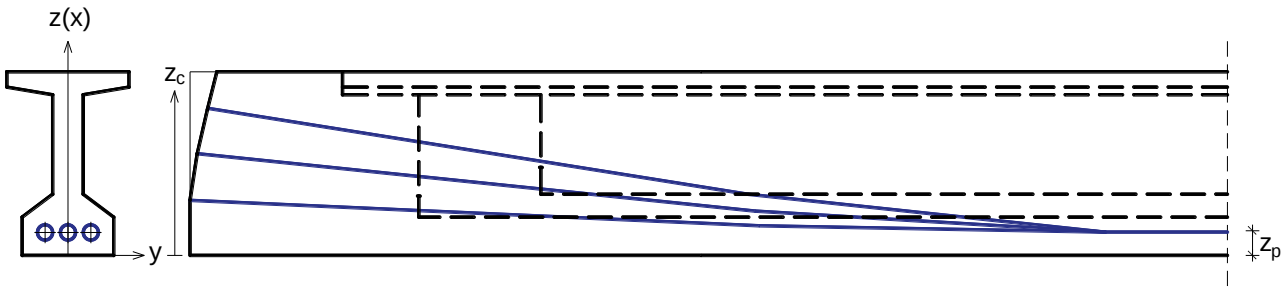
Tablica 28. Nagib tangente i visinski položaj natega na čelu nosača i u polovici raspona nosača

Natega	z_c	z_p	tgα
1	36,0	15,0	0,0315
2	67,0	15,0	0,0780
3	98,0	15,0	0,1244
Težište	67,0	15,0	0,0780

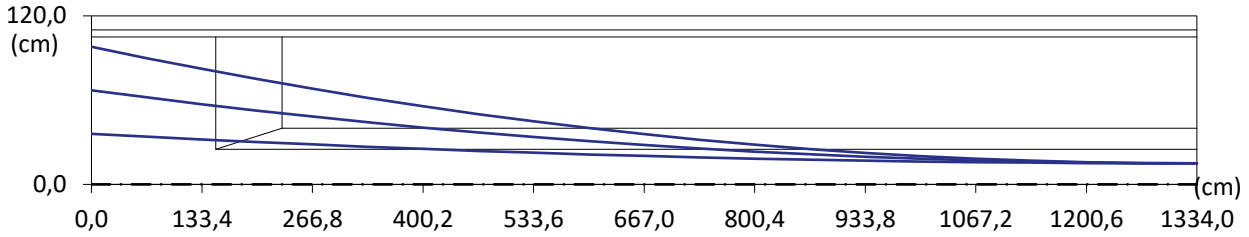
Položaj natega na čelu nosača



Položaj natega u polovici raspona nosača



Shema vođenja natega po duljini nosača



Tablica 29. Vođenje natega u vertikalnoj ravnini

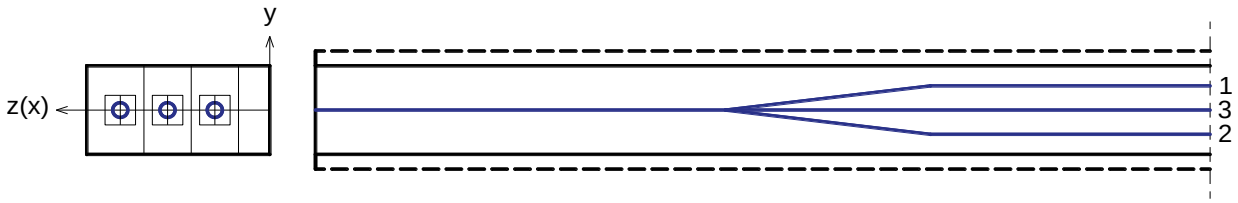
Nateg a	Udaljenost težišta natege od dna nosača (cm)										
	0,00	**1,33**	**2,67**	**4,00**	**5,34**	**6,67**	**8,00**	**9,34**	**10,67**	**12,01**	**13,34**
1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0
2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0
3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0
Težište	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0

6.5.2.4.2 Vođenje natega u horizontalnoj ravnini

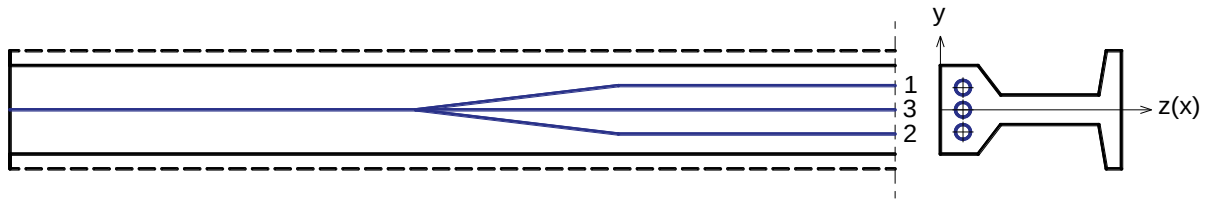
Tablica 30. Računska duljina natega

Natega	Duljina (cm)
1	2668,44
2	2670,70
3	2674,87

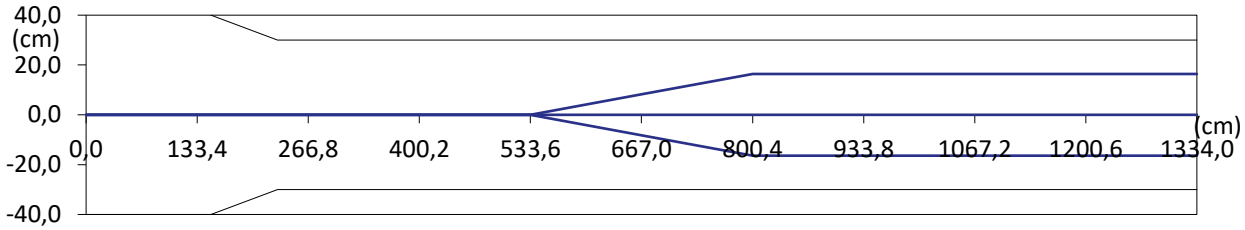
Položaj natega na čelu nosača



Položaj natega u polovici raspona nosača



Shema vođenja natega po duljini nosača

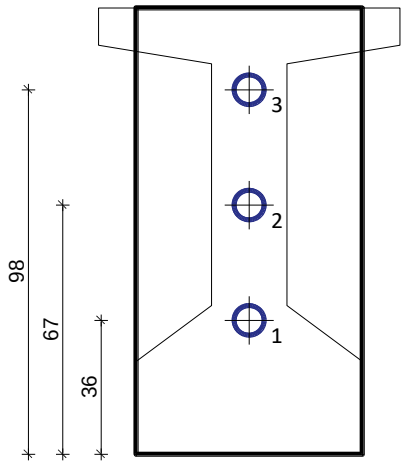


Tablica 31. Vođenje natega u horizontalnoj ravnini

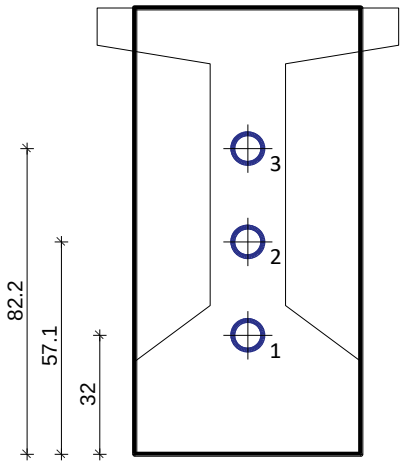
Nateg a	Udaljenost težišta natege od dna nosača (cm)										
	0,00	**1,33**	**2,67**	**4,00**	**5,34**	**6,67**	**8,00**	**9,34**	**10,67**	**12,01**	**13,34**
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,2	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Težište	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

6.5.2.4.3 Položaj natega u poprečnom presjeku

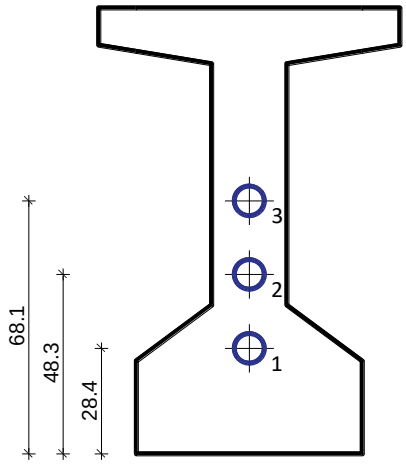
Presjek 1 ; x = 0,0 m



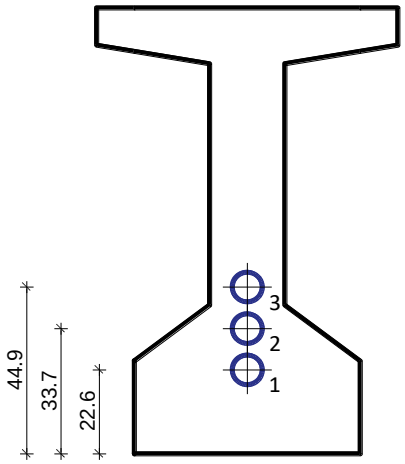
Presjek 2 ; x = 1,33 m



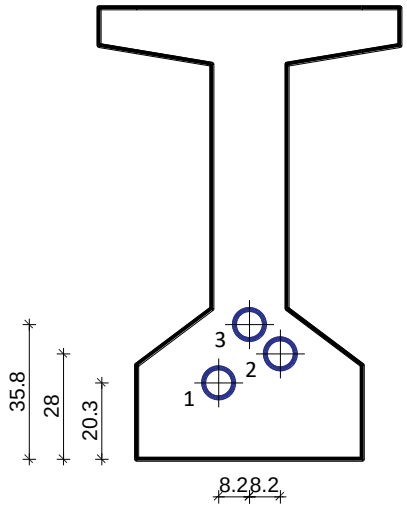
Presjek 3 ; x = 2,67 m



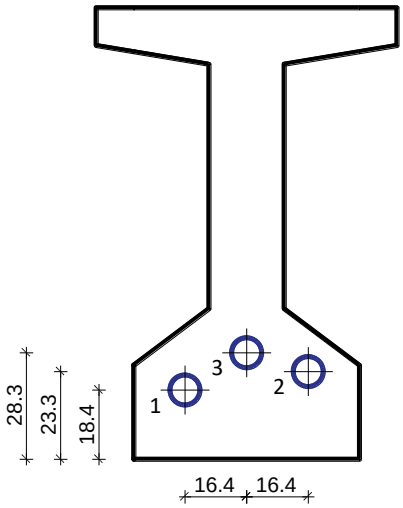
Presjek 4 ; x = 5,34 m



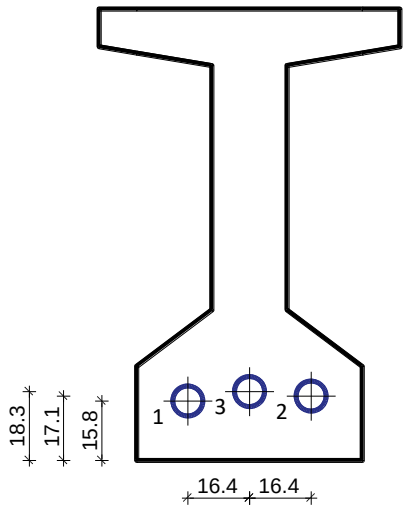
Presjek 5 ; x = 6,67 m



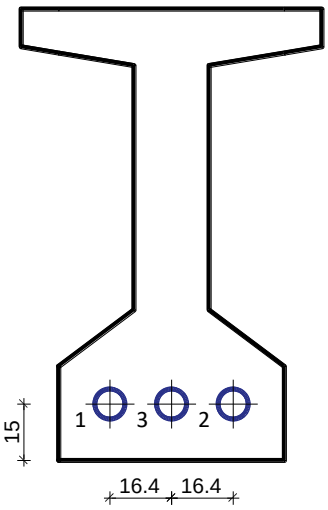
Presjek 6 ; x = 8,00 m



Presjek 7 ; x = 10,67 m



Presjek 6 ; x = 13,34 m



6.5.2.5 Proračun gubitaka sile prednaprezanja u sredini nosača

6.5.2.5.1 Gubici od trenja

$$\Delta P_{tr} = P_{m0} \cdot \left[1 - e^{(-\mu\alpha - \lambda x)}\right]$$

Eksperimentalne konstante (prema deklaraciji proizvođača):

$\mu = 0{,}19$ (koeficijent trenja)

$\beta = 0{,}30\ °/m$ (dozvoljeni skretni kut)

$\lambda = \mu \cdot \beta = 0{,}19 \cdot 0{,}30 = 0{,}057\ °/m = 0{,}000995\ rad/m$

Tablica 32. Kut skretanja natege

Natega	1	2	3
Nagib tangente *tgα*	0,0315	0,0780	0,1244
Kut skretanja natege *α* (rad)	0,0315	0,0778	0,1238

Tablica 33. Gubici od trenja

Natega	1	2	3
Početna sila prednaprezanja $P_{m0,i}$	1500,0	1500,0	1500,0
Gubici od trenja $\Delta P_{tr,i}$	28,61	41,50	54,19

$\Delta P_{tr} = 124{,}30\ kN = 2{,}76\ \%$

6.5.2.5.2 Gubici od elastičnog skraćenja betona

$$\Delta P_{el} = A_k \cdot 0{,}5 \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right) \cdot n_k \cdot \sigma_{ck}$$

$n = 3$ (broj natega)

$n_k = \frac{E_k}{E_c} = \frac{195000{,}0}{33500{,}0} = 5{,}82$ (odnos modula elastičnosti)

Naprezanje u betonu na mjestu natege:

$$\sigma_{ck} = \frac{P_{t=0}}{A} + \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{\frac{I_1}{y_k}} - \frac{M_{Ed,2}}{\frac{I_1}{y_k}} = \frac{4500{,}0}{0{,}4450} + \frac{4500 \cdot 0{,}4135}{\frac{0{,}0757}{0{,}4135}} - \frac{1103{,}32}{\frac{0{,}0757}{0{,}4135}} = 14249{,}71\ kN/m^2 = 14{,}25\ MN/m^2$$

$\Delta P_{el} = 87{,}08\ kN = 1{,}94\ \%$

6.5.2.5.3 Gubici od prokliznuća klina

$$\Delta P_{kl} = P_{m0} \cdot l_{sl} \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha}{x} + \lambda\right)$$

Svaki sustav prednaprezanja daje pretpostavljeno prokliznuće klina. Za sustav DYWIDAG može se uzeti 2,0 mm.

$\Delta l_s = 2{,}0$ mm (prokliznuće klina)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika natega)

$A_k = 3 \cdot 7 \cdot 150{,}0 = 3150{,}0$ mm^2 (ukupna površina natega)

$\mu = 0{,}19$ (koeficijent trenja)

$\lambda = 0{,}000995$ rad/m

Duljina utjecaja prokliznuća klina:

$$l_{sl} = \sqrt{\frac{\Delta l_s \cdot E_k \cdot A_k}{P_{m0} \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha}{x} + \lambda\right)}} = \sqrt{\frac{2{,}0/1000 \cdot 195000{,}0 \cdot 1000 \cdot 3150{,}0/1000000}{4500{,}0 \cdot 0{,}19 \cdot \left(\frac{0{,}2313/3}{13{,}34} + 0{,}000995\right)}} = 14{,}52 \text{ m}$$

$\Delta P_{kl} = 84{,}66$ kN $= 1{,}88$ %

6.5.2.5.4 Ukupni gubici u (t = 0) (u trenutku prednaprezanja)

$$\Delta P_{uk} = \Delta P_{tr} + \Delta P_{el} + \Delta P_{kl}$$

Gubici od trenja: $\Delta P_{tr} = 124{,}30$ kN $= 2{,}76$ %

Gubici od elastičnog skraćenja betona: $\Delta P_{el} = 87{,}08$ kN $= 1{,}94$ %

Gubici od prokliznuća klina: $\Delta P_{kl} = 84{,}66$ kN $= 1{,}88$ %

Ukupni gubici: $\Delta P_{uk} = 124{,}30 + 87{,}08 + 84{,}66 = 296{,}04$ kN

Sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak: $P_{t=0} - \Delta P_{uk} = 4203{,}96$ kN

Početni gubitak sile prednaprezanja: $\Delta P_{uk} = 6{,}58$ %

6.5.2.5.5 Gubici od puzanja i skupljanja betona

$$\Delta \mathbf{P_{ps}} = \mathbf{A_k} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{ps}}$$

$\varphi_{\infty,t=28} = 1{,}7$ (konačni koeficijent puzanja betona opterećenog nakon 28 dana)

$\varepsilon_{s\infty} = 0{,}00034$ (konačni koeficijent skupljanja)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika natega)

$A_k = 3150{,}0\ mm^2$ (ukupna površina natega)

$n_k = 5{,}82$ (odnos modula elastičnosti)

$\sigma_{ck} = 14{,}25$ (naprezanje u betonu na mjestu natege)

Pad naprezanja:

$$\Delta\sigma_{ps} = \frac{\varepsilon_{s\infty} \cdot E_k + n_k \cdot \varphi_{\infty,t=28} \cdot \sigma_{ck}}{1 + n_k \cdot \left(\frac{A_k}{A_c}\right) \cdot \left(1 + y_k^2 \cdot \frac{A_c}{I_c}\right) \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \varphi_{\infty,t=28}\right)}$$

$$\Delta\sigma_{ps} = \frac{0{,}00034 \cdot 195000 + 5{,}82 \cdot 1{,}7 \cdot 14{,}25}{1 + 5{,}82 \cdot \left(\frac{0{,}003150}{0{,}4450}\right) \cdot \left(1 + 0{,}4135^2 \cdot \frac{0{,}4450}{0{,}0757}\right) \cdot (1 + 0{,}8 \cdot 1{,}7)} = 173{,}47 \text{ MPa}$$

$\Delta P_{ps} = 546{,}43$ kN $= 12{,}14$ %

6.5.2.5.6 Gubici od relaksacije čelika

$$\Delta \mathbf{P_{re}} = \mathbf{A_k} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{re}}$$

$r = 1{,}7$ % (konačna vrijednost relaksacije čelika)

Pad naprezanja:

$$\Delta\sigma_{re} = r \cdot \sigma_{p0,max} = \frac{1{,}7}{100} \cdot 1422{,}0 = 24{,}17 \text{ MPa}$$

$\Delta P_{re} = 76{,}14$ kN $= 1{,}69$ %

6.5.2.5.7 Ukupni gubici u (t = ∞) (konačni gubici)

$$\Delta \mathbf{P_{uk}} = \Delta \mathbf{P_{tr}} + \Delta \mathbf{P_{el}} + \Delta \mathbf{P_{kl}} + \Delta \mathbf{P_{ps}} + \Delta \mathbf{P_{re}}$$

Gubici od trenja: $\Delta P_{tr} = 124{,}30\ \text{kN} = 2{,}76\ \%$

Gubici od elastičnog skraćenja betona: $\Delta P_{el} = 87{,}08\ \text{kN} = 1{,}94\ \%$

Gubici od prokliznuća klina: $\Delta P_{kl} = 84{,}66\ \text{kN} = 1{,}88\ \%$

Gubici od puzanja i skupljanja betona: $\Delta P_{ps} = 546{,}43\ \text{kN} = 12{,}14\ \%$

Gubici od relaksacije čelika: $\Delta P_{re} = 76{,}14\ \text{kN} = 1{,}69\ \%$

Ukupni gubici: $\Delta P_{uk} = 124{,}30 + 87{,}08 + 84{,}66 + 546{,}43 + 76{,}14 = 918{,}61\ \text{kN}$

Konačni gubitak sile prednaprezanja: $\Delta P_{uk} = 20{,}41\ \%$

Konačna sila prednaprezanja: $P_{t=\infty} = P_{t=0} - \Delta P_{uk} = 3570{,}52\ \text{kN} > 3369{,}92\ \text{kN}$

6.5.2.6 Kontrola bočne stabilnosti nosača

$b_g = 80{,}0\ \text{cm}$

$L = 26{,}68\ \text{m} = 2668{,}0\ \text{cm}$

$H = 120{,}0\ \text{cm}$

$$b_g \geq \sqrt[4]{\left(\frac{L}{50}\right) \cdot H} = \sqrt[4]{\left(\frac{2668{,}0}{50}\right) \cdot 120{,}0} = 65{,}34\ \text{cm}$$

Kontrola bočne stabilnosti nosača nije potrebna!

6.5.2.7 Stanje naprezanja po duljini nosača za radno opterećenje

Tablica 34. Računski momenti za provjeru graničnih stanja uporabe

x	**0,00**	**1,33**	**2,67**	**4,00**	**5,34**	**6,67**
$M_{g,z}$	0,0	209,6	397,2	562,7	706,1	827,5
$M_{g,p}$	0,0	257,0	486,9	689,8	865,6	1014,3
$M_{\Delta g}$	-1007,1	-762,3	-543,3	-350,0	-182,6	-40,9
M_q	-1494,9	-708,2	-4,3	616,7	1154,8	1610,0
$M_{Ed,r1}$	-201,4	209,6	397,2	562,7	706,1	827,5
$M_{Ed,r2}$	-1306,1	-508,2	339,5	1087,4	1735,5	2283,9
x	**8,00**	**9,34**	**10,67**	**12,01**	**13,34**	**-**
$M_{g,z}$	926,8	1004,0	1059,2	1092,3	1103,3	-
$M_{g,p}$	1136,1	1230,7	1298,4	1338,9	1352,5	-
$M_{\Delta g}$	74,9	165,0	229,3	267,8	280,5	-
M_q	1982,3	2271,8	2478,4	2602,1	2642,9	-
$M_{Ed,r1}$	926,8	1004,0	1059,2	1092,3	1103,3	-
$M_{Ed,r2}$	2732,5	3081,3	3330,4	3479,7	3529,2	-

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe – 1. faza – stanje neposredno nakon prednaprezanja:

$$M_{Ed,1} = M_{g,z}$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe – 2. faza – konačno stanje:

$$M_{Ed,3} = \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + \Psi \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi = 0{,}30$

1. faza

$\sigma_{c,max,t=0} = -21{,}0$ MPa (maksimalno tlačno dopušteno naprezanje pri rednparezanju)

$\sigma_{t,max,t=0} = 3{,}20$ MPa (maksimalno vlačno dopušteno naprezanje pri prednaprezanju)

x	**0,00**	**1,33**	**2,67**	**4,00**	**5,34**	**6,67**
A_1 (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
$y_{d,1}$ (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
$W_{d,1}$ (cm^3)	151120,5	151120,5	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8
$W_{g,1}$ (cm^3)	160472,9	160472,9	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4
P_{poc} (kN)	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3
Natega 1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3
Natega 2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
Natega 3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8
Natega ukupno	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
atan α	0,0780	0,0632	0,0499	0,0382	0,0281	0,0195
ΔP_{tr} (kN)	0,0	18,5	35,7	51,6	66,1	79,3
ΔP_{kl} (kN)	84,8	77,0	69,2	61,4	53,6	45,8
ΔP_{el} (kN)	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1
$P_{t=0}$ (kN)	4307,4	4296,7	4287,4	4279,3	4272,5	4267,1
σ_g (MPa)	**-3,1**	**-5,8**	**-10,1**	**-8,6**	**-7,4**	**-6,4**
σ_d (MPa)	**-8,6**	**-5,7**	**-9,3**	**-10,5**	**-11,5**	**-12,4**
x	**8,00**	**9,34**	**10,67**	**12,01**	**13,34**	**-**
A_1 (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
$y_{d,1}$ (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
$W_{d,1}$ (cm^3)	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	-
$W_{g,1}$ (cm^3)	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	-
P_{poc} (kN)	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	-
Natega 1	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0	-
Natega 2	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
Natega 3	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0	-
Natega ukupno	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
atan α	0,0125	0,0070	0,0031	0,0008	0,0000	-
ΔP_{tr} (kN)	91,2	101,8	111,1	119,0	125,6	-
ΔP_{kl} (kN)	38,0	30,2	22,4	14,6	6,8	-
ΔP_{el} (kN)	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	-
$P_{t=0}$ (kN)	4263,0	4260,2	4258,8	4258,7	4259,8	-
σ_g (MPa)	**-5,5**	**-4,9**	**-4,4**	**-4,1**	**-4,0**	-
σ_d (MPa)	**-13,2**	**-13,7**	**-14,1**	**-14,4**	**-14,5**	-

2. faza

$\sigma_{c,max,t=\infty} = -15{,}75$ MPa (maksimalno tlačno dopušteno naprezanje u eksploataciji)

$\sigma_{t,max,t=\infty} = 0{,}0$ MPa (maksimalno vlačno dopušteno naprezanje u eksploataciji)

x	**0,00**	**1,33**	**2,67**	**4,00**	**5,34**	**6,67**
A_{1+2} (cm2)	13530,0	13530,0	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0
$y_{d,2}$ (cm)	92,4	92,4	98,9	98,9	98,9	98,9
$W_{d,2}$ (cm^3)	271647,3	271647,3	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8
$W_{g,2}$ (cm^3)	528115,8	528115,8	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4
$I_{x,2}$ (cm^4)	25113150,4	25113150,4	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5
P_{poc} (kN)	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3
σ_{ck} (MPa)	-7,9	-5,7	-9,4	-10,3	-11,0	-11,7
Natega 1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3
Natega 2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
Natega 3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8
Natega ukupno	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
atan σ	0,0780	0,0632	0,0499	0,0382	0,0281	0,0195
ΔP_{tr} (kN)	0,0	18,5	35,7	51,6	66,1	79,3
ΔP_{kl} (kN)	84,8	77,0	69,2	61,4	53,6	45,8
ΔP_{el} (kN)	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1
ΔP_{ps} (kN)	436,7	367,6	458,2	476,4	490,8	501,9
ΔP_{rel} (kN)	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1
$P_{t=\infty}$ (kN)	3794,6	3853,0	3753,0	3726,7	3705,6	3689,1
σ_g (MPa)	2,2	1,4	0,1	-1,1	-2,1	-3,0
σ_{gn} (MPa)	**-0,9**	**-4,4**	**-10,0**	**-9,7**	**-9,5**	**-9,4**
σ_d (MPa)	**-11,8**	**-7,4**	**-7,8**	**-6,1**	**-4,6**	**-3,4**

Napomena: x je udaljenost presjeka od kraja nosača.

x	**8,00**	**9,34**	**10,67**	**12,01**	**13,34**	**-**
A_{1+2} (cm2)	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0	10530,0	-
$y_{d,2}$ (cm)	98,9	98,9	98,9	98,9	98,9	-
$W_{d,2}$ (cm^3)	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8	219611,8	-
$W_{g,2}$ (cm^3)	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4	527996,4	-
$I_{x,2}$ (cm^4)	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5	21714039,5	-
P_{poc} (kN)	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	-
σ_{ck} (MPa)	-12,2	-12,6	-12,9	-13,1	-13,2	-
Natega 1	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0	-
Natega 2	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
Natega 3	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0	-
Natega ukupno	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
atan σ	0,0125	0,0070	0,0031	0,0008	0,0000	-
ΔP_{tr} (kN)	91,2	101,8	111,1	119,0	125,6	-
ΔP_{kl} (kN)	38,0	30,2	22,4	14,6	6,8	-
ΔP_{el} (kN)	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	-
ΔP_{ps} (kN)	510,3	516,5	520,7	523,2	524,2	-
ΔP_{rel} (kN)	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1	-
$P_{t=\infty}$ (kN)	3676,5	3667,6	3661,9	3659,3	3659,5	-
σ_g (MPa)	-3,7	-4,3	-4,7	-4,9	-5,0	-
σ_{gn} (MPa)	**-9,2**	**-9,1**	**-9,1**	**-9,0**	**-9,0**	-
σ_d (MPa)	**-2,4**	**-1,6**	**-1,0**	**-0,7**	**-0,6**	-

Napomena: x je udaljenost presjeka od kraja nosača.

6.5.2.8 Kontrola progiba

Pri prednaprezanju

$P_{t=0} = 4203{,}96$ kN (sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak)

$M_{Ed,r1} = 1103{,}32$ kNm (moment savijanja)

$E_{c,1} = 33500{,}0$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,1} = 0{,}0757$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,1} = 0{,}4135$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=0} \cdot y_{k,1} + M_{Ed,r1}\right) \cdot L^2}{E_{c,1} \cdot I_{y,1}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-4203{,}96 \cdot 0{,}4135 + 1103{,}32) \cdot 26{,}68^2}{33500{,}0 \cdot 1000 \cdot 0{,}0757} = -0{,}0186 \text{ m} = -1{,}86 \text{ cm}$$

Faza betoniranja ploče

$P_{t=0} = 4203{,}96$ kN (sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak)

$M_{Ed,r1} = 1103{,}32 + 1352{,}46 = 2455{,}78$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 0{,}30$

$E_{c,1} = \frac{33500{,}0}{1 + 0{,}30} = 25769{,}23$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,1} = 0{,}0757$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,1} = 0{,}4135$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=0} \cdot y_{k,1} + M_{Ed,r1}\right) \cdot L^2}{E_{c,1} \cdot I_{y,1}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-4203{,}96 \cdot 0{,}4135 + 2455{,}78) \cdot 26{,}68^2}{25769{,}23 \cdot 1000 \cdot 0{,}0757} = 0{,}0273 \text{ m} = 2{,}73 \text{ cm}$$

Konačno stanje – radno opterećenje

$P_{t=\infty} = 3570{,}52$ kN (konačna sila prednaprezanja)

$M_{Ed,r2} = 1103{,}32 + 1352{,}46 + 280{,}48 + 0{,}30 \cdot 2642{,}98 = 3529{,}15$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 1{,}70$

$E_{c,2} = \frac{33500{,}0}{1 + 1{,}70} = 12407{,}41$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,2} = 0{,}2171$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,2} = 0{,}8387$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=\infty} \cdot y_{k,2} + M_{Ed,r2}\right) \cdot L^2}{E_{c,2} \cdot I_{y,2}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-3570{,}52 \cdot 0{,}8387 + 3529{,}15) \cdot 26{,}68^2}{12407{,}41 \cdot 1000 \cdot 0{,}2171} = 0{,}0147 \text{ m} = 1{,}47 \text{ cm}$$

Konačno stanje – granično opterećenje

$P_{t=\infty} = 3570{,}52$ kN (konačna sila prednaprezanja)

$M_{Ed,r2} = 1103{,}32 + 1352{,}46 + 280{,}48 + 0{,}70 \cdot 2642{,}98 = 4586{,}35$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 1{,}70$

$E_{c,2} = \frac{33500{,}0}{1 + 1{,}70} = 12407{,}41$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,2} = 0{,}2171$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,2} = 0{,}8387$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=\infty} \cdot y_{k,2} + M_{Ed,r2}\right) \cdot L^2}{E_{c,2} \cdot I_{y,2}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-3570{,}52 \cdot 0{,}8387 + 4586{,}35) \cdot 26{,}68^2}{12407{,}41 \cdot 1000 \cdot 0{,}2171} = 0{,}0438 \text{ m} = 4{,}38 \text{ cm}$$

Dozvoljeni progib

$$f_{dop} = \frac{L}{300} = \frac{26{,}68}{300} = 0{,}0889 \text{ m} = 8{,}89 \text{ cm}$$

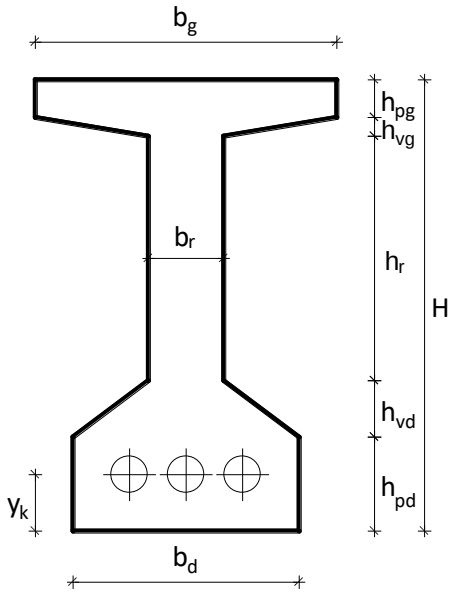
Nosaču pri izvedbi dati progib: 5,0 cm.

Napomena: U slučaju maksimalne računske sile progib nosača će se povećati. Međutim, takva stanja su rijetka i neracionalno je nosač kontrolirati na njih.

6.5.3 Odabiranje natega najopterećenijeg središnjeg nosača (N5)

6.5.3.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača i materijali

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 1. fazi



$H = 120{,}0$ cm (ukupna visina presjeka)
$b_g = 80{,}0$ cm (širina gornjeg pojasa)
$b_d = 60{,}0$ cm (širina donjeg pojasa)
$b_r = 20{,}0$ cm (širina rebra)
$h_{pg} = 10{,}0$ cm (visina gornjeg pojasa)
$h_{pd} = 25{,}0$ cm (visina donjeg pojasa)
$h_{vg} = 5{,}0$ cm (visina gornje vute)
$h_{vd} = 15{,}0$ cm (visina donje vute)
$h_r = 65{,}0$ cm (visina rebra)
$y_k = 15{,}0$ cm (položaj težišta kabela)
$L = 26{,}20$ cm (računska duljina nosača)

Tablica 35. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 1. fazi

x	0,00	1,31	2,62	3,93	5,24	6,55
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
b_d (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
b_r (cm)	60,0	60,0	20,0	20,0	20,0	20,0
h_{pg} (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
h_{pd} (cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
h_{vg} (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
h_{vd} (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
h_r (cm)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
A (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
y_d (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
y_g (cm)	58,2	58,2	63,7	63,7	63,7	63,7
I_{xd} (cm^4)	37793541,7	37793541,7	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3
I_y (cm^4)	9339379,7	9339379,7	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4
W_d (cm^3)	151120,5	151120,5	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8
W_g (cm^3)	160472,9	160472,9	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4

k_d (cm)	21,5	21,5	26,7	26,7	26,7	26,7
k_g (cm)	20,3	20,3	30,2	30,2	30,2	30,2
x	**7,86**	**9,17**	**10,48**	**11,79**	**13,10**	**-**
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	-
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	-
b_d (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	-
b_r (cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	-
h_{pg} (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	-
h_{pd} (cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	-
h_{vg} (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-
h_{vd} (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	-
h_r (cm)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	-
A (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
y_d (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
y_g (cm)	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	-
I_{xd} (cm^4)	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	-
I_y (cm^4)	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	-
W_d (cm^3)	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	-
W_g (cm^3)	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	-
k_d (cm)	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	-
k_g (cm)	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	-

x (udaljenost presjeka od kraja nosača)

A (površina poprečnog presjeka)

y_d (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

y_g (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

I_{xd} (moment inercije s obzirom na donji rub)

I_y (moment inercije s obzirom na težište)

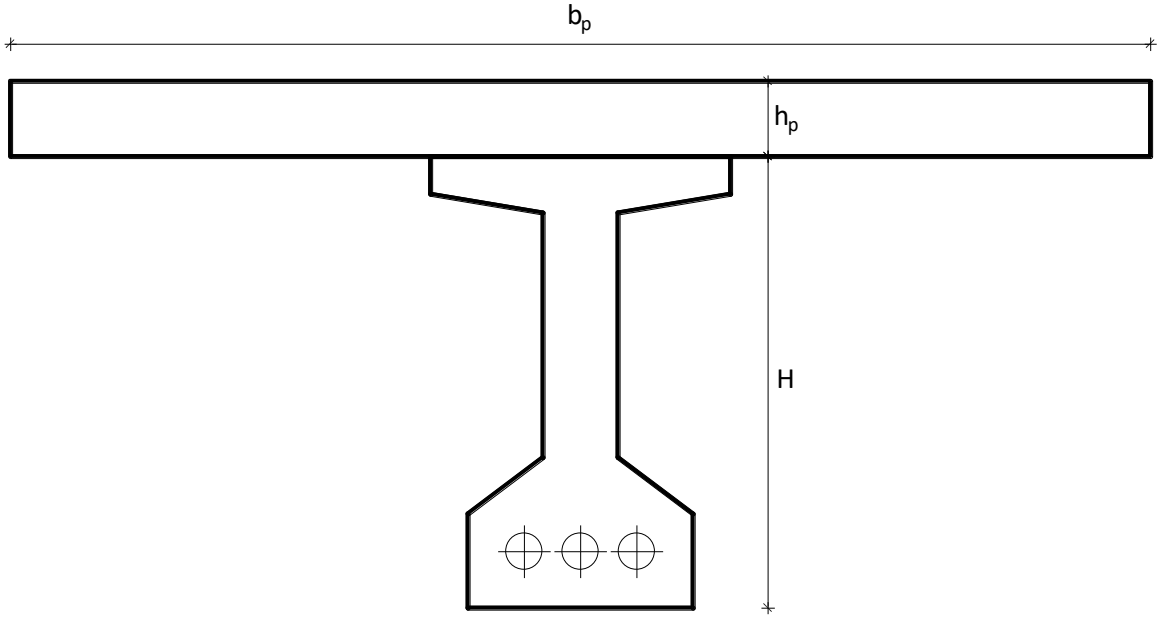
W_d (moment otpora s obzirom na donji rub)

W_g (moment otpora s obzirom na gornji rub)

k_d (donji odsječak jezgre presjeka)

k_g (gornji odsječak jezgre presjeka)

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 2. fazi



$h_p = 20{,}0$ cm (visina ploče)

$b_p = 240{,}0$ cm (sudjelujuća širina ploče)

Tablica 36. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 2. fazi

x	0,00	1,31	2,62	3,93	5,24	6,55
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
A_1 (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
y_{d-1} (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
y_{g-1} (cm)	58,2	58,2	63,7	63,7	63,7	63,7
I_{xd-1} (cm^4)	37793541,7	37793541,7	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3
I_{y-1} (cm^4)	9339379,7	9339379,7	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4
A_2 (cm^2)	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0
A_{1+2} (cm^2)	12250,0	12250,0	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0
$y_{d,2}$ (cm)	88,5	88,5	94,6	94,6	94,6	94,6
$y_{g,2}$ (cm)	51,5	51,5	45,4	45,4	45,4	45,4
$I_{y,2}$ (cm^4)	23076847,2	23076847,2	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6
$W_{d,2}$ (cm^3)	260685,2	260685,2	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5
$W_{g,2}$ (cm^3)	448301,4	448301,4	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0
$k_{d,2}$ (cm)	36,6	36,6	48,2	48,2	48,2	48,2
$k_{g,2}$ (cm	21,3	21,3	23,2	23,2	23,2	23,2

x	**7,86**	**9,17**	**10,48**	**11,79**	**13,10**	**-**
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	-
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	-
A_1 (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
$y_{d,1}$ (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
$y_{g,1}$ (cm)	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	-
$I_{xd,1}$ (cm^4)	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	-
$I_{y,1}$ (cm^4)	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	-
A_2 (cm^2)	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0	-
A_{1+2} (cm^2)	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0	-
$y_{d,2}$ (cm)	94,6	94,6	94,6	94,6	94,6	-
$y_{g,2}$ (cm)	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	-
$I_{y,2}$ (cm^4)	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6	-
$W_{d,2}$ (cm^3)	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5	-
$W_{g,2}$ (cm^3)	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0	-
$k_{d,2}$ (cm)	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2	-
$k_{g,2}$ (cm	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	-

x (udaljenost presjeka od kraja nosača)

A_1 (površina poprečnog presjeka)

$y_{d,1}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

$y_{g,1}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

$I_{xd,1}$ (moment inercije s obzirom na donji rub)

$I_{y,1}$ (moment inercije s obzirom na težište)

A_2 (površina kolničke ploče)

A_{1+2} (ukupna površina spregnutog presjeka)

$y_{d,2}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba spregnutog presjeka)

$y_{g,2}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba spregnutog presjeka)

$I_{y,2}$ (moment inercije s obzirom na težište)

$W_{d,2}$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

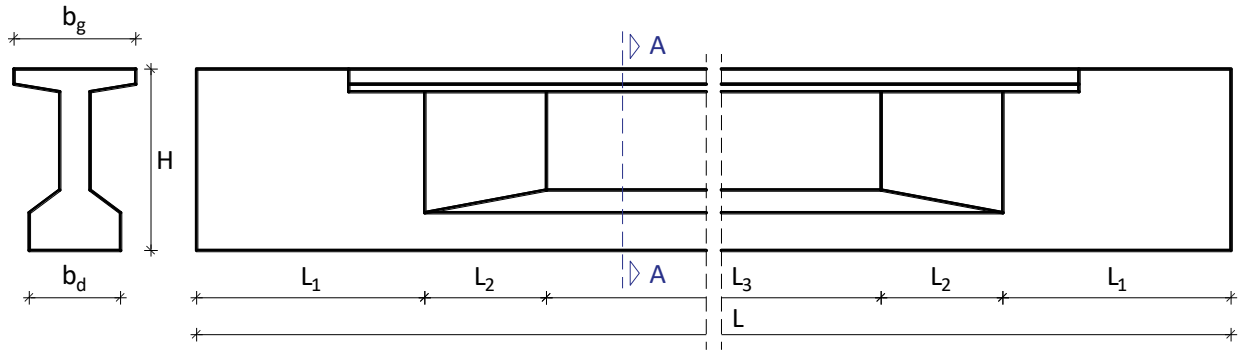
$W_{g,2}$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$k_{d,2}$ (donji odsječak jezgre spregnutog presjeka)

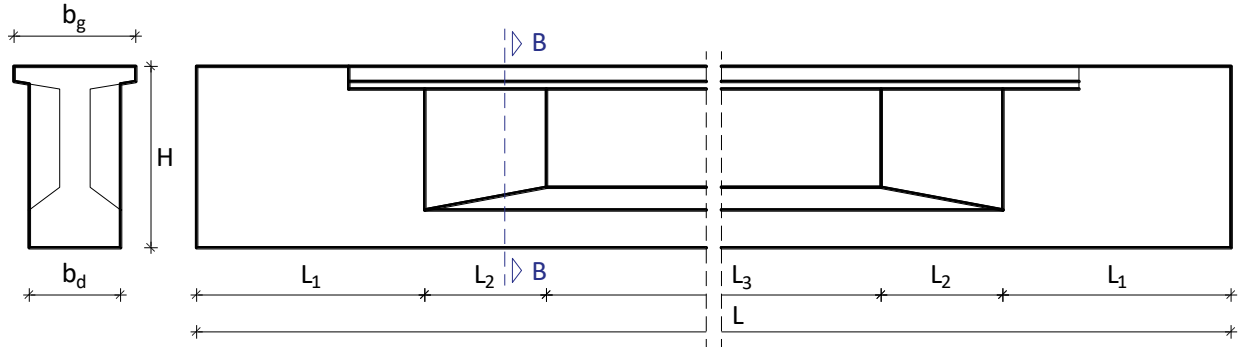
$k_{g,2}$ (gornji odsječak jezgre spregnutog presjeka)

Geometrijske karakteristike rasponskog nosača u uzdužnom smjeru

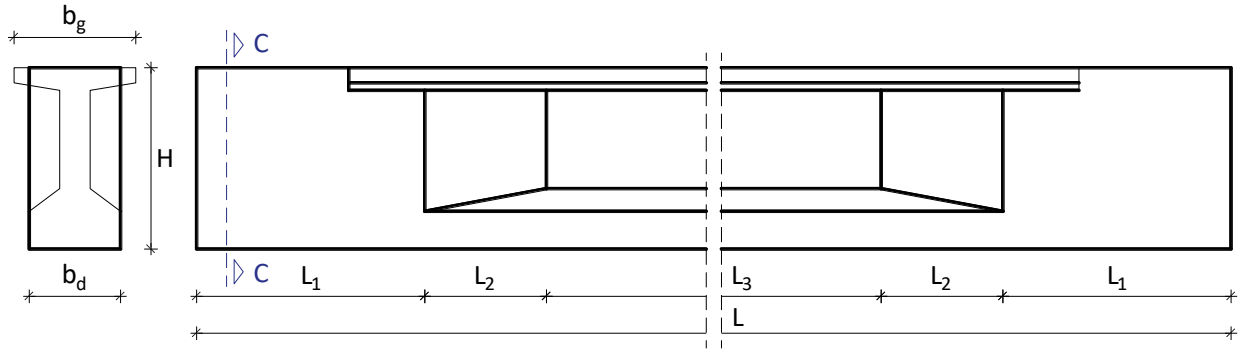
Presjek A – A



Presjek B – B



Presjek C – C



$L = 26{,}20$ m (ukupna duljina nosača)

$L_1 = 1{,}50$ m (duljina proširenog dijela)

$L_2 = 0{,}80$ m (duljina dijela suženja)

$L_3 = 21{,}60$ m (duljina suženog dijela)

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

$f_{cd} = 2{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka)

$f_{ctm} = 3{,}20$ MPa (srednja osna vlačna čvrstoća)

$E_c = 33500{,}0$ MPa (modul elastičnosti betona)

$\gamma_c = 25{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ (specifična težina betona)

$\tau_{Rd} = 0{,}37$ MPa (računska čvrstoća na djelovanje glavnih kosih naprezanja)

Maksimalna dopuštena naprezanja pri prednaprezanju:

$$\sigma_{c,max,t=0} \leq 0{,}6 \cdot f_{ck} = 0{,}6 \cdot 35{,}0 = -21{,}0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max,t=0} \geq 0{,}3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0{,}3 \cdot (35{,}0)^{2/3} = 3{,}20 \text{ MPa}$$

Maksimalna dopuštena naprezanja u eksploataciji:

$$\sigma_{c,max,t=\infty} \leq 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 35{,}0 = -15{,}75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max,t=\infty} \geq 0{,}0 \text{ MPa}$$

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja)

$E_s = 200000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika za armiranje)

Čelik za prednaprezanje (St 1580/1860)

$f_{p0,1k} = 1580{,}0$ MPa (karakteristično naprezanje čelika pri 0,1% − tnoj zaostaloj deformaciji)

$f_{pk} = 1860{,}0$ MPa (karakteristična vlačna čvrstoća)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika za prednaprezanje)

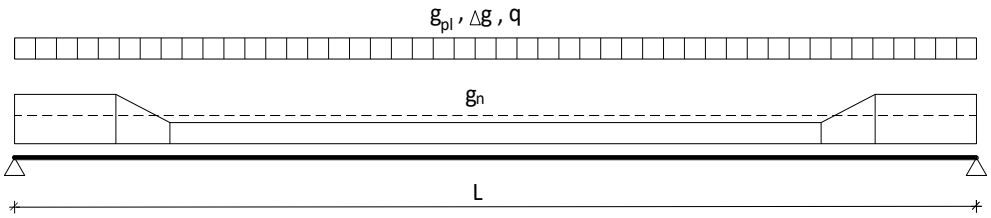
Maksimalno naprezanje nakon prednaprezanja:

$$\sigma_{p0,max} = \min \begin{cases} 0{,}80 \cdot f_{pk} = 0{,}80 \cdot 1860{,}0 = 1488{,}0 \text{ MPa} \\ 0{,}90 \cdot f_{p0,1k} = 0{,}90 \cdot 1580{,}0 = 1422{,}0 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \sigma_{p0,max} = 1422{,}0 \text{ MPa}$$

Maksimalno naprezanje nakon sidrenja:

$$\sigma_{pm0,max} = \min \begin{cases} 0{,}75 \cdot f_{pk} = 0{,}75 \cdot 1860{,}0 = 1395{,}0 \text{ MPa} \\ 0{,}85 \cdot f_{p0,1k} = 0{,}85 \cdot 1580{,}0 = 1343{,}0 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \sigma_{pm0,max} = 1343{,}0 \text{ MPa}$$

6.5.3.2 Analiza opterećenja



Vlastita težina rasponskog nosača

$g_n = 12{,}40\ \mathrm{kN/m'}$

Vlastita težina kolničke ploče

$g_{pl} = 12{,}0\ \mathrm{kN/m'}$

Dodatno stalno opterećenje

$\Delta g = 6{,}72\ \mathrm{kN/m'}$

Izračunati utjecaji od dodatnog stalnog opterećenja (upetost na krajevima):

$M_{\Delta g,x=0} = -539{,}68\ \mathrm{kNm}$

$M_{\Delta g,x=L} = 0{,}0\ \mathrm{kNm}$

Pokretno opterećenje

$q = 30{,}48\ \mathrm{kN/m'}$

Izračunati utjecaji od pokretnog opterećenja (upetost na krajevima):

$M_{\Delta g,x=0} = -1198{,}14\ \mathrm{kNm}$

$M_{\Delta g,x=L} = 0{,}0\ \mathrm{kNm}$

Tablica 37. Momenti savijanja i računski momenti za provjeru graničnih stanja

x	**0,00**	**1,31**	**2,62**	**3,93**	**5,24**	**6,55**
$M_{g,z}$ (kNm)	0,0	202,2	383,0	542,6	680,9	798,0
$M_{g,p}$ (kNm)	0,0	195,6	370,7	525,1	659,0	772,2
$M_{\Delta g}$ (kNm)	-539,7	-376,2	-224,2	-83,7	45,2	162,6
M_q (kNm)	-1198,1	-581,4	-16,9	495,2	955,0	1362,6
$M_{Ed,1}$ (kNm)	-2525,8	-842,9	689,5	2071,3	3302,5	4383,2
$M_{Ed,2}$ (kNm)	-1737,8	-559,7	512,6	1479,3	2340,2	3095,4
$M_{Ed,3}$ (kNm)	-1378,4	-385,3	517,7	1330,7	2053,7	2686,6
$M_{Ed,4}$ (kNm)	-779,3	-94,6	526,2	1083,1	1576,2	2005,4
x	**7,86**	**9,17**	**10,48**	**11,79**	**13,10**	-
$M_{g,z}$ (kNm)	893,7	968,2	1021,4	1053,3	1064,0	-
$M_{g,p}$ (kNm)	864,9	937,0	988,5	1019,4	1029,7	-
$M_{\Delta g}$ (kNm)	268,5	362,8	445,6	516,9	576,6	-
M_q (kNm)	1717,8	2020,7	2271,3	2469,5	2615,5	-
$M_{Ed,1}$ (kNm)	5313,3	6092,8	6721,8	7200,2	7528,1	-
$M_{Ed,2}$ (kNm)	3744,9	4288,7	4726,8	5059,1	5285,8	-
$M_{Ed,3}$ (kNm)	3229,6	3682,5	4045,4	4318,3	4501,1	-
$M_{Ed,4}$ (kNm)	2370,7	2672,2	2909,8	3083,5	3193,4	-

Računski moment za provjeru graničnih stanja nosivosti:

$$M_{Ed,1} = 1{,}35 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (rijetka kombinacija):

$$M_{Ed,2} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot M_q$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (česta kombinacija):

$$M_{Ed,3} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot \Psi_{1,1} \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi_{1,1} = 0{,}70$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (kvazistalna kombinacija):

$$M_{Ed,4} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot \Psi_{2,1} \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi_{2,1} = 0{,}20$

6.5.3.3 Proračun sile prednaprezanja

6.5.3.3.1 Proračun sile prednaprezanja – 1. faza

Presjek je potrebno kontrolirati u svim fazama. Kritične faze su faza uvođenja sile, kad na presjek djeluje puna sila prednaprezanja (bez gubitaka), te konačna faza (kad djeluje sila i puno opterećenje).

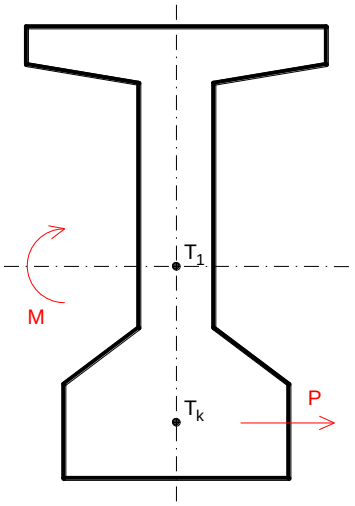
Nakon uvođenja sile prednaprezanja nosač poprima oblik prikazan na *Slici 114.*

Slika 130. Oblik nosača nakon uvođenja sile prednaprezanja

Na nosač djeluje sila prednaprezanja i vlastita težina samog nosača.

Tablica 38. Momenti savijanja i računski momenti – 1. faza

Utjecaj	$M_{g,z}$	$M_{g,p}$	$M_{\Delta g}$	M_q	$M_{Ed,2}$
Koeficijent	1,0	0,0	0,0	0,0	-
Vrijednost	1063,98	0,0	0,0	0,0	1063,98



$A = 0{,}4450\ m^2$ (površina presjeka)

$W_g = 0{,}1189\ m^3$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$W_d = 0{,}1343\ m^3$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

$y_k = 0{,}4135\ m$ (udaljenost težišta natega do težišta presjeka)

Donji rub (tlak)

$$\frac{P_{t=0}}{A} + \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{W_d} - \frac{M_{Ed,2}}{W_d} \leq \sigma_{c,max,t=0} = 21{,}0\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{y_k}{W_d}\right) \leq \sigma_{c,max,t=0} + \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_d}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{0{,}4450} + \frac{0{,}4135}{0{,}1343}\right) \leq 21000{,}0 + \left(\frac{1063{,}98}{0{,}1343}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot 5{,}3261 \leq 28922{,}41$$

$$P_{t=0} \leq 5430{,}32\ kN$$

Gornji rub (vlak)

$$\frac{P_{t=0}}{A} - \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{W_g} + \frac{M_{Ed,2}}{W_g} \leq \sigma_{t,max,t=0} = -3{,}20\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{A} - \frac{y_k}{W_g}\right) \leq \sigma_{t,max,t=0} - \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_g}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{0{,}4450} - \frac{0{,}4135}{0{,}1189}\right) \leq -3200{,}0 - \left(\frac{1063{,}98}{0{,}1189}\right)$$

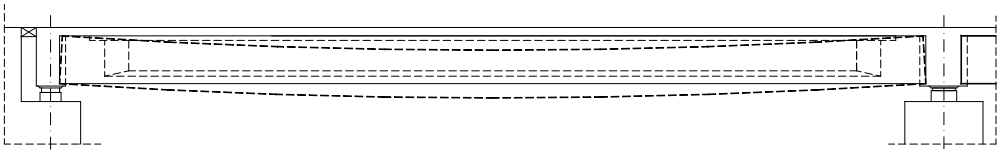
$$P_{t=0} \cdot (-1{,}2305) \leq -12148{,}53$$

$$P_{t=0} \leq 9872{,}84\ kN$$

6.5.3.3.2 Proračun sile prednaprezanja – 2. faza

U konačnici se pretpostavlja potpuna raspodjela naprezanja između presjeka u 1. fazi (montažni nosač) i presjeka u 2. fazi (spregnuti presjek).

Nakon opterećivanja nosač poprima oblik prikazan na *Slici 115.*

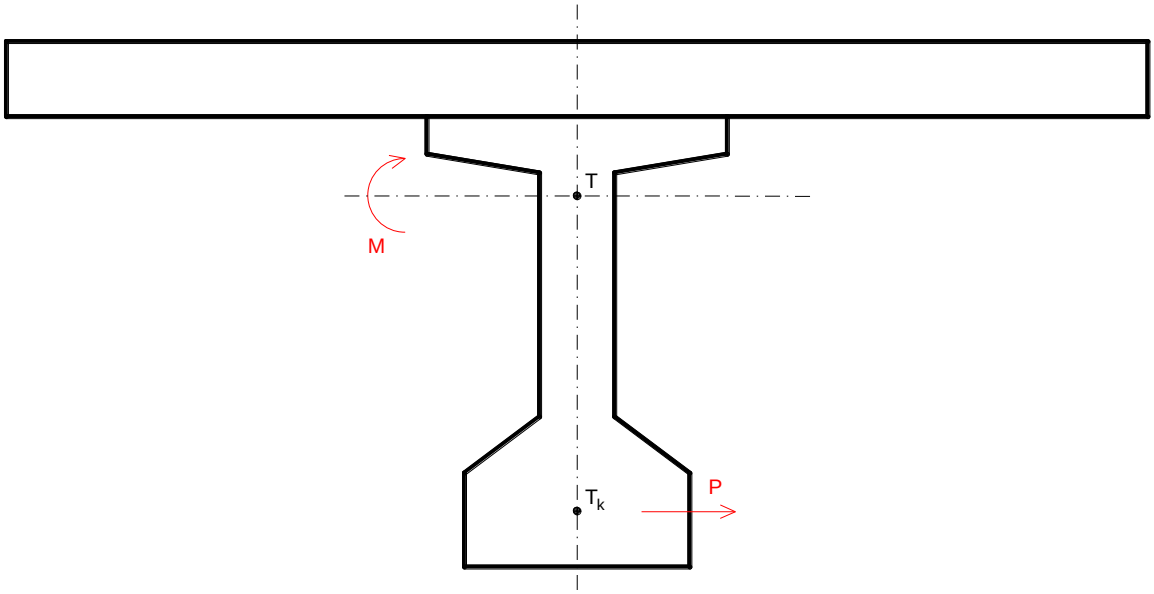


Slika 131. Oblik nosača nakon opterećivanja

Tablica 39. Momenti savijanja i računski momenti – 2. faza

Utjecaj	$M_{g,z}$	$M_{g,p}$	$M_{\Delta g}$	M_q	$M_{Ed,2}$
Koeficijent	1,0	1,0	1,0	0,3	-
Vrijednost	1063,98	1029,66	576,58	2615,45	3454,86

Pretpostavljeni gubici sile: 25,0 %



$A = 0{,}9250\ m^2$ (površina presjeka)

$W_g = 0{,}4460\ m^3$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$W_d = 0{,}2142\ m^3$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

$y_k = 0{,}7957\ m$ (udaljenost težišta natega do težišta presjeka)

Donji rub (vlak)

$$\frac{P_{t=\infty}}{A} + \frac{P_{t=\infty} \cdot y_k}{W_d} - \frac{M_{Ed,2}}{W_d} \geq \sigma_{t,max,t=\infty} = 0{,}0\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{y_k}{W_d}\right) \geq \sigma_{t,max,t=\infty} + \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_d}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{0{,}9250} + \frac{0{,}7957}{0{,}2142}\right) \geq 0{,}0 + \left(\frac{3454{,}86}{0{,}2142}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot 4{,}7958 \geq 16129{,}13$$

$$P_{t=\infty} \geq 3363{,}18\ kN$$

$$P_{t=0} \approx P_{t=\infty} \cdot 1{,}3 = 3363{,}18 \cdot 1{,}3 = 4372{,}13\ kN$$

Gornji rub (tlak)

$$\frac{P_{t=\infty}}{A} - \frac{P_{t=\infty} \cdot y_k}{W_g} + \frac{M_{Ed,2}}{W_g} \geq \sigma_{c,max,t=0} = 15{,}75\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{A} - \frac{y_k}{W_g}\right) \geq \sigma_{c,max,t=\infty} - \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_g}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{0{,}9250} - \frac{0{,}7957}{0{,}4460}\right) \geq 15750{,}0 - \left(\frac{3454{,}86}{0{,}4460}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot (-0{,}7030) \geq 8003{,}68$$

$$P_{t=\infty} \geq -11385{,}03\ kN$$

$$P_{t=0} \approx P_{t=\infty} \cdot 1{,}3 = (-11385{,}03) \cdot 1{,}3 = -14800{,}54\ kN$$

6.5.3.3.3 Odabir sile (sustava) prednaprezanja

Odabran je sustav DYWIDAG, te natega sa 7 užadi promjera 0,60 inča.

Površina jednog užeta: $A_1 = 150{,}0\ \text{mm}^2$

Ukupna nominalna površina natege: $A_k = 7 \cdot 150{,}0 = 1050{,}0\ \text{mm}^2$

Ukupno su odabrane 3 natege.

Minimalna sila na preši u sve 3 natege:

$$P_{t=0} = n \cdot A_k \cdot \sigma_{0,dop} = 3 \cdot 0{,}001050 \cdot 1422000 = 4479{,}30\ \text{kN} < 5430{,}32\ \text{kN}$$

Maksimalna sila na preši u sve 3 natege:

$$P_{t=0} = n \cdot A_k \cdot \sigma_{0,dop} = 3 \cdot 0{,}001050 \cdot 1488000 = 4687{,}20\ \text{kN} < 5430{,}32\ \text{kN}$$

Početna sila nakon odbitka svih gubitaka u sve 3 natege je (pretpostavljeni gubici 25,0 %):

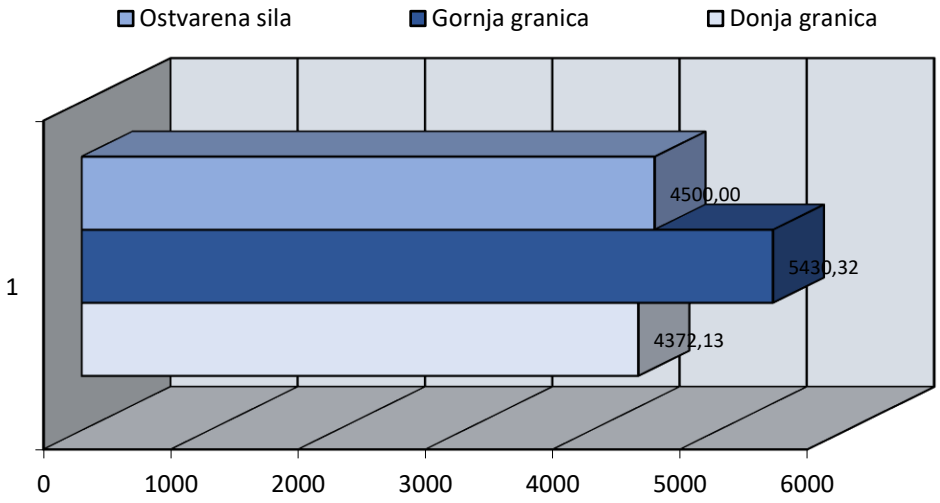
$$P_{t=\infty} = 75\%\ P_{t=0} = 0{,}75 \cdot 4500{,}0 = 3375{,}0\ \text{kN} > 3363{,}18\ \text{kN}$$

Početna sila prednaprezanja (P_{m0}):

$$P_{m0} = 4500{,}0\ \text{kN}$$

Vjerojatna konačna sila prednaprezanja ($P_{m\infty}$):

$$P_{m\infty} = 4700{,}0\ \text{kN}$$



6.5.3.4 Vođenje natega

Tablica 40. Položaj jezgre presjeka

Položaj jezgre presjeka	Y_t (cm)	y_d (cm)	y_g (cm)
1. faza	61,80	40,30	82,10
2. faza	88,50	51,90	109,80

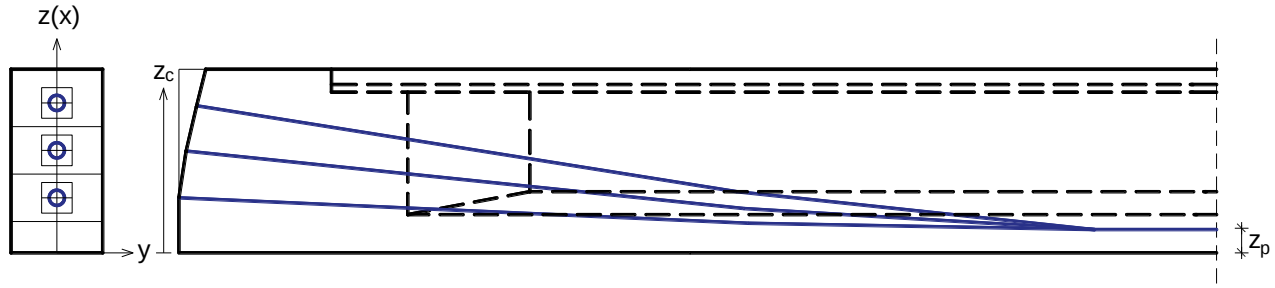
Napomena: Mjereno od dna nosača, presjek na rubu.

6.5.3.4.1 Vođenje natega u vertikalnoj ravnini

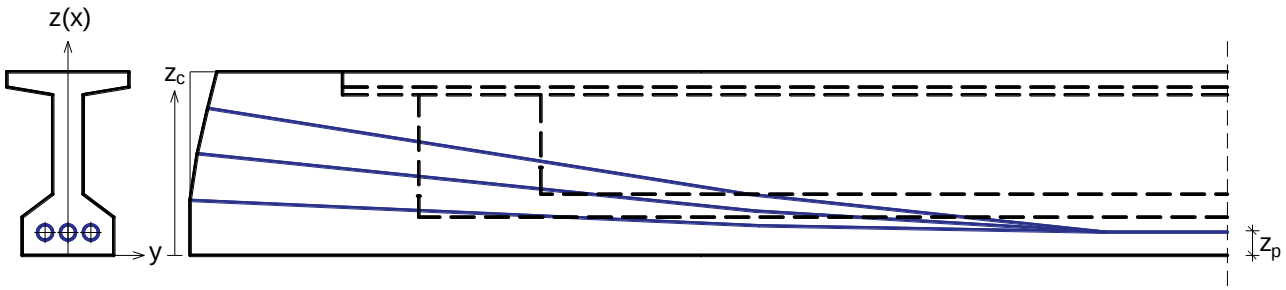
Tablica 41. Nagib tangente i visinski položaj natega na čelu nosača i u polovici raspona nosača

Natega	z_c	z_p	tgα
1	36,0	15,0	0,0321
2	67,0	15,0	0,0794
3	98,0	15,0	0,1267
Težište	67,0	15,0	0,0794

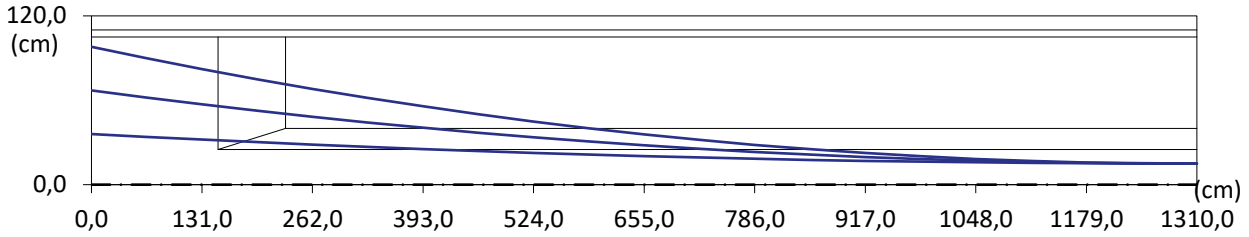
Položaj natega na čelu nosača



Položaj natega u polovici raspona nosača



Shema vođenja natega po duljini nosača



Tablica 42. Vođenje natega u vertikalnoj ravnini

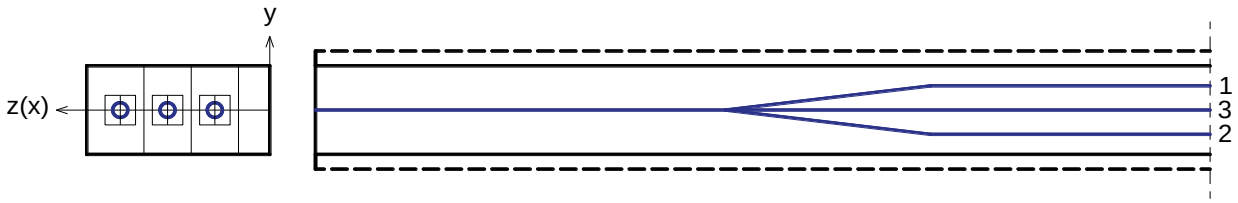
Nateg a	Udaljenost težišta natege od dna nosača (cm)										
	0,00	**1,31**	**2,62**	**3,93**	**5,24**	**6,55**	**7,86**	**9,17**	**10,48**	**11,79**	**13,10**
1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0
2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0
3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0
Težište	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0

6.5.3.4.2 Vođenje natega u horizontalnoj ravnini

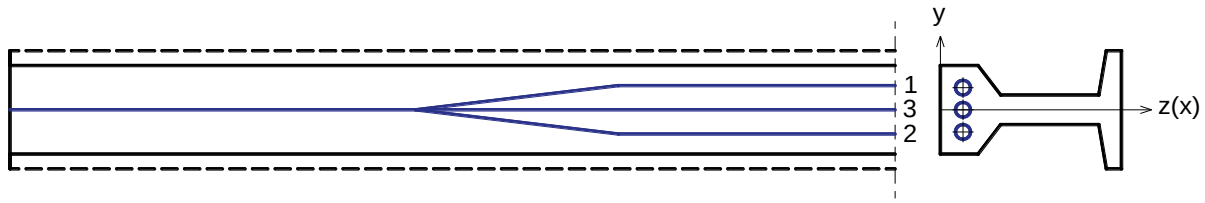
Tablica 43. Računska duljina natega

Natega	Duljina (cm)
1	2620,45
2	2622,75
3	2626,99

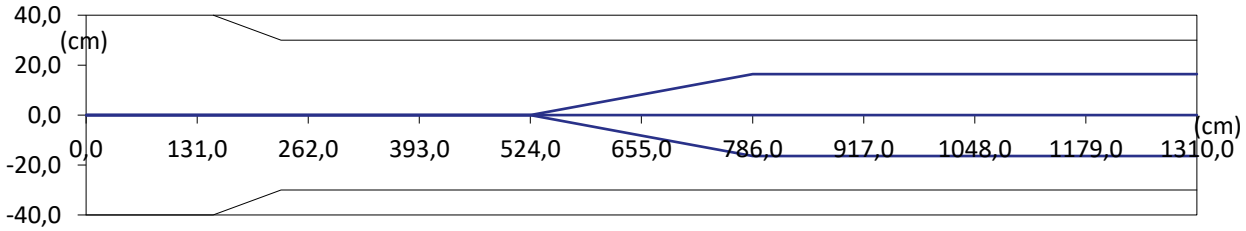
Položaj natega na čelu nosača



Položaj natega u polovici raspona nosača



Shema vođenja natega po duljini nosača

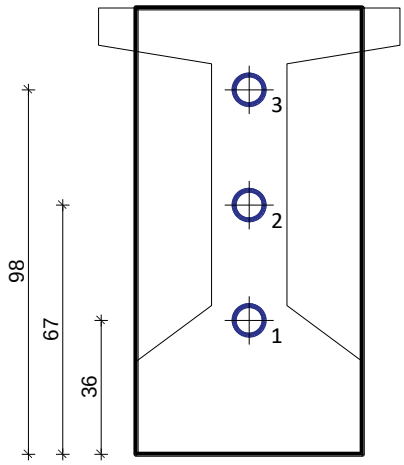


Tablica 44. Vođenje natega u horizontalnoj ravnini

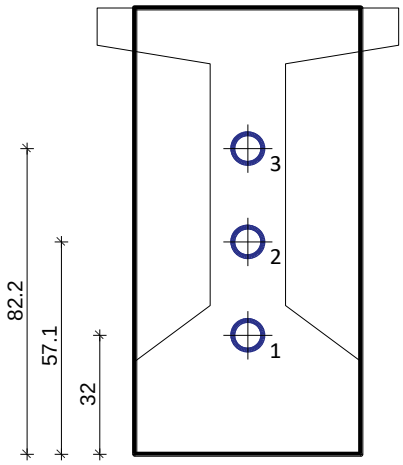
Nateg a	Udaljenost težišta natege od dna nosača (cm)										
	0,00	**1,31**	**2,62**	**3,93**	**5,24**	**6,55**	**7,86**	**9,17**	**10,48**	**11,79**	**13,10**
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,2	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Težište	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

6.5.3.4.3 Položaj natega u poprečnom presjeku

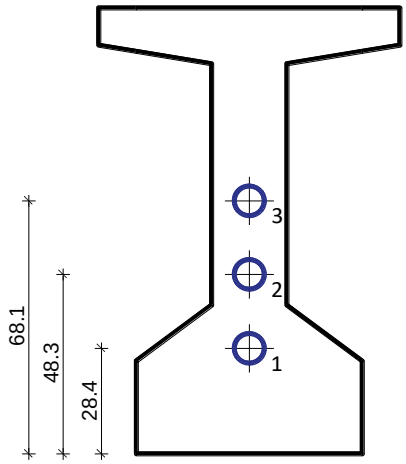
Presjek 1 ; x = 0,0 m



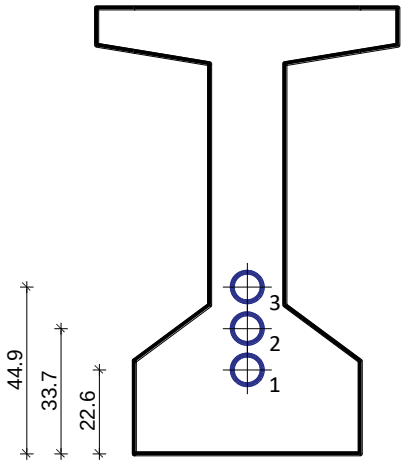
Presjek 2 ; x = 1,31 m



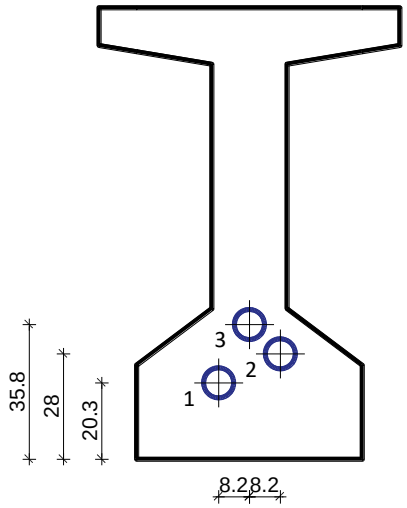
Presjek 3 ; x = 2,62 m



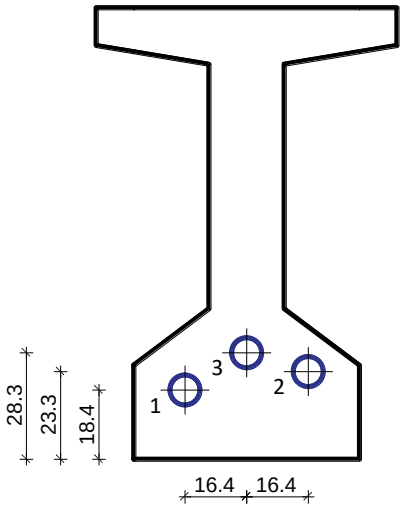
Presjek 4 ; x = 5,24 m



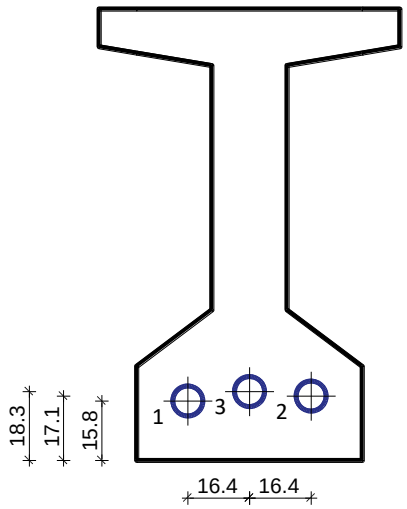
Presjek 5 ; x = 6,55 m



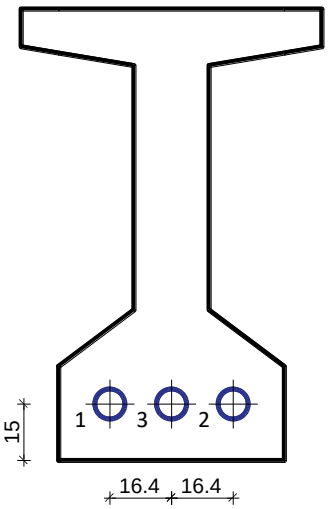
Presjek 6 ; x = 7,86 m



Presjek 7 ; x = 10,48 m



Presjek 6 ; x = 13,10 m



6.5.3.5 Proračun gubitaka sile prednaprezanja u sredini nosača

6.5.3.5.1 Gubici od trenja

$$\Delta P_{tr} = P_{m0} \cdot \left[1 - e^{(-\mu\alpha - \lambda x)}\right]$$

Eksperimentalne konstante (prema deklaraciji proizvođača):

$\mu = 0{,}19$ (koeficijent trenja)

$\beta = 0{,}30\ °/m$ (dozvoljeni skretni kut)

$\lambda = \mu \cdot \beta = 0{,}19 \cdot 0{,}30 = 0{,}057\ °/m = 0{,}000995\ rad/m$

Tablica 45. Kut skretanja natege

Natega	1	2	3
Nagib tangente *tgα*	0,0321	0,0794	0,1267
Kut skretanja natege *α* (rad)	0,0321	0,0792	0,1260

Tablica 46. Gubici od trenja

Natega	1	2	3
Početna sila prednaprezanja $P_{m0,i}$	1500,0	1500,0	1500,0
Gubici od trenja $\Delta P_{tr,i}$	28,43	41,54	54,45

$\Delta P_{tr} = 124{,}42\ kN = 2{,}76\ \%$

6.5.3.5.2 Gubici od elastičnog skraćenja betona

$$\Delta P_{el} = A_k \cdot 0{,}5 \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right) \cdot n_k \cdot \sigma_{ck}$$

$n = 3$ (broj natega)

$n_k = \frac{E_k}{E_c} = \frac{195000{,}0}{33500{,}0} = 5{,}82$ (odnos modula elastičnosti)

Naprezanje u betonu na mjestu natege:

$$\sigma_{ck} = \frac{P_{t=0}}{A} + \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{\frac{I_1}{y_k}} - \frac{M_{Ed,2}}{\frac{I_1}{y_k}} = \frac{4500{,}0}{0{,}4450} + \frac{4500{,}0 \cdot 0{,}4135}{\frac{0{,}0757}{0{,}4135}} - \frac{1063{,}98}{\frac{0{,}0757}{0{,}4135}} = 14464{,}60\ kN/m^2 = 14{,}64\ MN/m^2$$

$\Delta P_{el} = 89{,}47\ kN = 1{,}99\ \%$

6.5.3.5.3 Gubici od prokliznuća klina

$$\Delta P_{kl} = P_{m0} \cdot l_{sl} \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha}{x} + \lambda\right)$$

Svaki sustav prednaprezanja daje pretpostavljeno prokliznuće klina. Za sustav DYWIDAG može se uzeti 2,0 mm.

$\Delta l_s = 2{,}0$ mm (prokliznuće klina)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika natega)

$A_k = 3 \cdot 7 \cdot 150{,}0 = 3150{,}0$ mm^2 (ukupna površina natega)

$\mu = 0{,}19$ (koeficijent trenja)

$\lambda = 0{,}000995$ rad/m

Duljina utjecaja prokliznuća klina:

$$l_{sl} = \sqrt{\frac{\Delta l_s \cdot E_k \cdot A_k}{P_{m0} \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha}{x} + \lambda\right)}} = \sqrt{\frac{2{,}0/1000 \cdot 195000{,}0 \cdot 1000 \cdot 3150{,}0/1000000}{4500{,}0 \cdot 0{,}19 \cdot \left(\frac{0{,}2382/3}{13{,}10} + 0{,}000995\right)}} = 14{,}27 \text{ m}$$

$\Delta P_{kl} = 86{,}09$ kN $= 1{,}91$ %

6.5.3.5.4 Ukupni gubici u (t = 0) (u trenutku prednaprezanja)

$$\Delta P_{uk} = \Delta P_{tr} + \Delta P_{el} + \Delta P_{kl}$$

Gubici od trenja: $\Delta P_{tr} = 124{,}42$ kN $= 2{,}76$ %

Gubici od elastičnog skraćenja betona: $\Delta P_{el} = 89{,}47$ kN $= 1{,}99$ %

Gubici od prokliznuća klina: $\Delta P_{kl} = 86{,}09$ kN $= 1{,}91$ %

Ukupni gubici: $\Delta P_{uk} = 124{,}42 + 89{,}47 + 86{,}09 = 299{,}98$ kN

Sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak: $P_{t=0} - \Delta P_{uk} = 4200{,}02$ kN

Početni gubitak sile prednaprezanja: $\Delta P_{uk} = 6{,}67$ %

6.5.3.5.5 Gubici od puzanja i skupljanja betona

$$\Delta \mathbf{P_{ps}} = \mathbf{A_k} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{ps}}$$

$\varphi_{\infty,t=28} = 1{,}7$ (konačni koeficijent puzanja betona opterećenog nakon 28 dana)

$\varepsilon_{s\infty} = 0{,}00034$ (konačni koeficijent skupljanja)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika natega)

$A_k = 3150{,}0\ mm^2$ (ukupna površina natega)

$n_k = 5{,}82$ (odnos modula elastičnosti)

$\sigma_{ck} = 14{,}64$ (naprezanje u betonu na mjestu natege)

Pad naprezanja:

$$\Delta\sigma_{ps} = \frac{\varepsilon_{s\infty} \cdot E_k + n_k \cdot \varphi_{\infty,t=28} \cdot \sigma_{ck}}{1 + n_k \cdot \left(\frac{A_k}{A_c}\right) \cdot \left(1 + y_k^2 \cdot \frac{A_c}{I_c}\right) \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \varphi_{\infty,t=28}\right)}$$

$$\Delta\sigma_{ps} = \frac{0{,}00034 \cdot 195000 + 5{,}82 \cdot 1{,}7 \cdot 14{,}64}{1 + 5{,}82 \cdot \left(\frac{0{,}003150}{0{,}4450}\right) \cdot \left(1 + 0{,}4135^2 \cdot \frac{0{,}4450}{0{,}0757}\right) \cdot (1 + 0{,}8 \cdot 1{,}7)} = 176{,}70 \text{ MPa}$$

$\Delta P_{ps} = 556{,}61$ kN $= 12{,}37$ %

6.5.3.5.6 Gubici od relaksacije čelika

$$\Delta \mathbf{P_{re}} = \mathbf{A_k} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{re}}$$

$r = 1{,}7$ % (konačna vrijednost relaksacije čelika)

Pad naprezanja:

$$\Delta\sigma_{re} = r \cdot \sigma_{p0,max} = \frac{1{,}7}{100} \cdot 1422{,}0 = 24{,}17 \text{ MPa}$$

$\Delta P_{re} = 76{,}14$ kN $= 1{,}69$ %

6.5.3.5.7 Ukupni gubici u (t = ∞) (konačni gubici)

$$\mathbf{\Delta P_{uk} = \Delta P_{tr} + \Delta P_{el} + \Delta P_{kl} + \Delta P_{ps} + \Delta P_{re}}$$

Gubici od trenja: $\Delta P_{tr} = 124{,}42\ \text{kN} = 2{,}76\ \%$

Gubici od elastičnog skraćenja betona: $\Delta P_{el} = 89{,}47\ \text{kN} = 1{,}99\ \%$

Gubici od prokliznuća klina: $\Delta P_{kl} = 86{,}09\ \text{kN} = 1{,}91\ \%$

Gubici od puzanja i skupljanja betona: $\Delta P_{ps} = 556{,}61\ \text{kN} = 12{,}37\ \%$

Gubici od relaksacije čelika: $\Delta P_{re} = 76{,}14\ \text{kN} = 1{,}69\ \%$

Ukupni gubici: $\Delta P_{uk} = 124{,}42 + 89{,}47 + 86{,}09 + 556{,}61 + 76{,}14 = 932{,}73\ \text{kN}$

Konačni gubitak sile prednaprezanja: $\Delta P_{uk} = 20{,}73\ \%$

Konačna sila prednaprezanja: $P_{t=\infty} = P_{t=0} - \Delta P_{uk} = 3567{,}27\ \text{kN} > 3363{,}18\ \text{kN}$

6.5.3.6 Kontrola bočne stabilnosti nosača

$b_g = 80{,}0\ \text{cm}$

$L = 26{,}20\ \text{m} = 2620{,}0\ \text{cm}$

$H = 120{,}0\ \text{cm}$

$$b_g \geq \sqrt[4]{\left(\frac{L}{50}\right) \cdot H} = \sqrt[4]{\left(\frac{2620{,}0}{50}\right) \cdot 120{,}0} = 64{,}46\ \text{cm}$$

Kontrola bočne stabilnosti nosača nije potrebna!

6.5.3.7 Stanje naprezanja po duljini nosača za radno opterećenje

Tablica 47. Računski momenti za provjeru graničnih stanja uporabe

x	**0,00**	**1,31**	**2,62**	**3,93**	**5,24**	**6,55**
$M_{g,z}$	0,0	202,2	383,0	542,6	680,9	798,0
$M_{g,p}$	0,0	195,6	370,7	525,1	659,0	772,2
$M_{\Delta g}$	-539,7	-376,2	-224,2	-83,7	45,2	162,6
M_q	-1198,1	-581,4	-16,9	495,2	955,0	1362,6
$M_{Ed,r1}$	-107,9	202,2	383,0	542,6	680,9	798,0
$M_{Ed,r2}$	-779,3	-152,8	524,5	1132,6	1671,7	2141,6
x	**7,86**	**9,17**	**10,48**	**11,79**	**13,10**	**-**
$M_{g,z}$	893,7	968,2	1021,4	1053,3	1064,0	-
$M_{g,p}$	864,9	937,0	988,5	1019,4	1029,7	-
$M_{\Delta g}$	268,5	362,8	445,6	516,9	576,6	-
M_q	1717,8	2020,7	2271,3	2469,5	2615,5	-
$M_{Ed,r1}$	893,7	968,2	1021,4	1053,3	1064,0	-
$M_{Ed,r2}$	2542,5	2874,2	3136,9	3330,4	3454,9	-

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe – 1. faza – stanje neposredno nakon prednaprezanja:

$$M_{Ed,1} = M_{g,z}$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe – 2. faza – konačno stanje:

$$M_{Ed,3} = \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + \Psi \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi = 0{,}30$

1. faza

$\sigma_{c,max,t=0} = -21{,}0$ MPa (maksimalno tlačno dopušteno naprezanje pri rednparezanju)

$\sigma_{t,max,t=0} = 3{,}20$ MPa (maksimalno vlačno dopušteno naprezanje pri prednaprezanju)

x	**0,00**	**1,31**	**2,62**	**3,93**	**5,24**	**6,55**
A_1 (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
$y_{d,1}$ (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
$W_{d,1}$ (cm^3)	151120,5	151120,5	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8
$W_{g,1}$ (cm^3)	160472,9	160472,9	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4
P_{poc} (kN)	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3
Natega 1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3
Natega 2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
Natega 3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8
Natega ukupno	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
atan α	0,0794	0,0643	0,0508	0,0389	0,0286	0,0199
ΔP_{tr} (kN)	0,0	18,6	35,9	51,9	66,5	79,7
ΔP_{kl} (kN)	86,1	78,2	70,3	62,4	54,5	46,6
ΔP_{el} (kN)	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5
$P_{t=0}$ (kN)	4303,7	4293,0	4283,6	4275,6	4268,9	4263,5
σ_g (MPa)	**-3,7**	**-5,8**	**-9,9**	**-8,5**	**-7,2**	**-6,1**
σ_d (MPa)	**-8,0**	**-5,8**	**-9,3**	**-10,6**	**-11,7**	**-12,6**
x	**7,86**	**9,17**	**10,48**	**11,79**	**13,10**	**-**
A_1 (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
$y_{d,1}$ (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
$W_{d,1}$ (cm^3)	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	-
$W_{g,1}$ (cm^3)	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	-
P_{poc} (kN)	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	-
Natega 1	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0	-
Natega 2	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
Natega 3	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0	-
Natega ukupno	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
atan α	0,0127	0,0072	0,0032	0,0008	0,0000	-
ΔP_{tr} (kN)	91,6	102,2	111,4	119,2	125,7	-
ΔP_{kl} (kN)	38,7	30,8	22,9	15,0	7,1	-
ΔP_{el} (kN)	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5	-
$P_{t=0}$ (kN)	4259,5	4256,9	4255,6	4255,6	4257,0	-
σ_g (MPa)	**-5,3**	**-4,6**	**-4,1**	**-3,8**	**-3,7**	-
σ_d (MPa)	**-13,4**	**-14,0**	**-14,4**	**-14,7**	**-14,7**	-

2. faza

$\sigma_{c,max,t=\infty} = -15{,}75$ MPa (maksimalno tlačno dopušteno naprezanje u eksploataciji)

$\sigma_{t,max,t=\infty} = 0{,}0$ MPa (maksimalno vlačno dopušteno naprezanje u eksploataciji)

x	**0,00**	**1,31**	**2,62**	**3,93**	**5,24**	**6,55**
A_{1+2} (cm2)	12250,0	12250,0	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0
$y_{d,2}$ (cm)	88,5	88,5	94,6	94,6	94,6	94,6
$W_{d,2}$ (cm^3)	260685,2	260685,2	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5
$W_{g,2}$ (cm^3)	448301,4	448301,4	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0
$I_{x,2}$ (cm^4)	23076847,2	23076847,2	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6
P_{poc} (kN)	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3
σ_{ck} (MPa)	-7,4	-5,8	-9,4	-10,3	-11,1	-11,8
Natega 1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3
Natega 2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
Natega 3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8
Natega ukupno	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
atan σ	0,0794	0,0643	0,0508	0,0389	0,0286	0,0199
ΔP_{tr} (kN)	0,0	18,6	35,9	51,9	66,5	79,7
ΔP_{kl} (kN)	86,1	78,2	70,3	62,4	54,5	46,6
ΔP_{el} (kN)	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5
ΔP_{ps} (kN)	422,1	368,4	460,0	479,1	494,2	505,8
ΔP_{rel} (kN)	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1
$P_{t=\infty}$ (kN)	3805,4	3848,4	3747,5	3720,3	3698,6	3681,6
σ_g (MPa)	1,7	0,8	-0,3	-1,4	-2,4	-3,3
σ_{gn} (MPa)	**-2,0**	**-4,9**	**-10,2**	**-9,9**	**-9,6**	**-9,4**
σ_d (MPa)	**-9,7**	**-6,2**	**-6,9**	**-5,9**	**-4,9**	**-3,9**

Napomena: x je udaljenost presjeka od kraja nosača.

x	**7,86**	**9,17**	**10,48**	**11,79**	**13,10**	**-**
A_{1+2} (cm2)	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0	-
$y_{d,2}$ (cm)	94,6	94,6	94,6	94,6	94,6	-
$W_{d,2}$ (cm^3)	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5	-
$W_{g,2}$ (cm^3)	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0	-
$I_{x,2}$ (cm^4)	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6	-
P_{poc} (kN)	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	4479,3	-
σ_{ck} (MPa)	-12,4	-12,8	-13,1	-13,3	-13,4	-
Natega 1	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0	-
Natega 2	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
Natega 3	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0	-
Natega ukupno	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
atan σ	0,0127	0,0072	0,0032	0,0008	0,0000	-
ΔP_{tr} (kN)	91,6	102,2	111,4	119,2	125,7	-
ΔP_{kl} (kN)	38,7	30,8	22,9	15,0	7,1	-
ΔP_{el} (kN)	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5	-
ΔP_{ps} (kN)	514,7	521,1	525,5	528,2	529,2	-
ΔP_{rel} (kN)	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1	-
$P_{t=\infty}$ (kN)	3668,7	3659,6	3653,9	3651,3	3651,7	-
σ_g (MPa)	-4,0	-4,6	-5,1	-5,5	-5,8	-
σ_{gn} (MPa)	**-9,3**	**-9,2**	**-9,2**	**-9,3**	**-9,5**	-
σ_d (MPa)	**-3,1**	**-2,3**	**-1,7**	**-1,1**	**-0,7**	-

Napomena: x je udaljenost presjeka od kraja nosača.

6.5.3.8 Kontrola progiba

Pri prednaprezanju

$P_{t=0} = 4200{,}02$ kN (sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak)

$M_{Ed,r1} = 1063{,}98$ kNm (moment savijanja)

$E_{c,1} = 33500{,}0$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,1} = 0{,}0757$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,1} = 0{,}4135$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=0} \cdot y_{k,1} + M_{Ed,r1}\right) \cdot L^2}{E_{c,1} \cdot I_{y,1}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-4200{,}02 \cdot 0{,}4135 + 1063{,}98) \cdot 26{,}20^2}{33500{,}0 \cdot 1000 \cdot 0{,}0757} = -0{,}0190 \text{ m} = -1{,}90 \text{ cm}$$

Faza betoniranja ploče

$P_{t=0} = 4200{,}02$ kN (sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak)

$M_{Ed,r1} = 1063{,}98 + 1029{,}66 = 2093{,}64$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 0{,}30$

$E_{c,1} = \frac{33500{,}0}{1 + 0{,}30} = 25769{,}23$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,1} = 0{,}0757$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,1} = 0{,}4135$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=0} \cdot y_{k,1} + M_{Ed,r1}\right) \cdot L^2}{E_{c,1} \cdot I_{y,1}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-4200{,}02 \cdot 0{,}4135 + 2093{,}64) \cdot 26{,}20^2}{25769{,}23 \cdot 1000 \cdot 0{,}0757} = 0{,}0131 \text{ m} = 1{,}31 \text{ cm}$$

Konačno stanje – radno opterećenje

$P_{t=\infty} = 3567{,}27$ kN (konačna sila prednaprezanja)

$M_{Ed,r2} = 1063{,}98 + 1029{,}66 + 576{,}58 + 0{,}30 \cdot 2615{,}45 = 3454{,}86$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 1{,}70$

$E_{c,2} = \frac{33500{,}0}{1 + 1{,}70} = 12407{,}41$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,2} = 0{,}2026$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,2} = 07957$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=\infty} \cdot y_{k,2} + M_{Ed,r2}\right) \cdot L^2}{E_{c,2} \cdot I_{y,2}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-3567{,}27 \cdot 0{,}7957 + 3454{,}86) \cdot 26{,}20^2}{12407{,}41 \cdot 1000 \cdot 0{,}2026} = 0{,}0175 \text{ m} = 1{,}75 \text{ cm}$$

Konačno stanje – granično opterećenje

$P_{t=\infty} = 3567{,}27$ kN (konačna sila prednaprezanja)

$M_{Ed,r2} = 1063{,}98 + 1029{,}66 + 576{,}58 + 0{,}70 \cdot 2615{,}45 = 4501{,}04$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 1{,}70$

$E_{c,2} = \frac{33500{,}0}{1 + 1{,}70} = 12407{,}41$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,2} = 0{,}2026\ m^4$ (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,2} = 0{,}7957$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=\infty} \cdot y_{k,2} + M_{Ed,r2}\right) \cdot L^2}{E_{c,2} \cdot I_{y,2}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-3567{,}27 \cdot 0{,}7957 + 4501{,}04) \cdot 26{,}20^2}{12407{,}41 \cdot 1000 \cdot 0{,}2026} = 0{,}0473\ \text{m} = 4{,}73\ \text{cm}$$

Dozvoljeni progib

$$f_{dop} = \frac{L}{300} = \frac{26{,}20}{300} = 0{,}0873\ \text{m} = 8{,}73\ \text{cm}$$

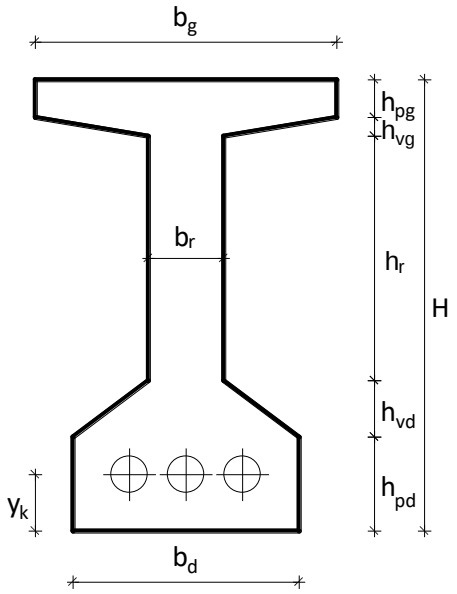
Nosaču pri izvedbi dati progib: 5,0 cm.

Napomena: U slučaju maksimalne računske sile progib nosača će se povećati. Međutim, takva stanja su rijetka i neracionalno je nosač kontrolirati na njih.

6.5.4 Odabiranje natega najmanje opterećenog središnjeg nosača (N8)

6.5.4.1 Geometrijske karakteristike rasponskog nosača i materijali

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 1. fazi



$H = 120{,}0$ cm (ukupna visina presjeka)
$b_g = 80{,}0$ cm (širina gornjeg pojasa)
$b_d = 60{,}0$ cm (širina donjeg pojasa)
$b_r = 20{,}0$ cm (širina rebra)
$h_{pg} = 10{,}0$ cm (visina gornjeg pojasa)
$h_{pd} = 25{,}0$ cm (visina donjeg pojasa)
$h_{vg} = 5{,}0$ cm (visina gornje vute)
$h_{vd} = 15{,}0$ cm (visina donje vute)
$h_r = 65{,}0$ cm (visina rebra)
$y_k = 15{,}0$ cm (položaj težišta kabela)
$L = 26{,}0$ cm (računska duljina nosača)

Tablica 48. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 1. fazi

x	0,00	1,30	2,60	3,90	5,20	6,50
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
b_d (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
b_r (cm)	60,0	60,0	20,0	20,0	20,0	20,0
h_{pg} (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
h_{pd} (cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
h_{vg} (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
h_{vd} (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
h_r (cm)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
A (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
y_d (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
y_g (cm)	58,2	58,2	63,7	63,7	63,7	63,7
I_{xd} (cm^4)	37793541,7	37793541,7	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3
I_y (cm^4)	9339379,7	9339379,7	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4
W_d (cm^3)	151120,5	151120,5	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8
W_g (cm^3)	160472,9	160472,9	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4

k_d (cm)	21,5	21,5	26,7	26,7	26,7	26,7
k_g (cm)	20,3	20,3	30,2	30,2	30,2	30,2
x	**7,80**	**9,10**	**10,40**	**11,70**	**13,00**	**-**
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	-
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	-
b_d (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	-
b_r (cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	-
h_{pg} (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	-
h_{pd} (cm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	-
h_{vg} (cm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-
h_{vd} (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	-
h_r (cm)	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	-
A (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
y_d (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
y_g (cm)	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	-
I_{xd} (cm^4)	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	-
I_y (cm^4)	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	-
W_d (cm^3)	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	-
W_g (cm^3)	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	-
k_d (cm)	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	-
k_g (cm)	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	-

x (udaljenost presjeka od kraja nosača)

A (površina poprečnog presjeka)

y_d (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

y_g (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

I_{xd} (moment inercije s obzirom na donji rub)

I_y (moment inercije s obzirom na težište)

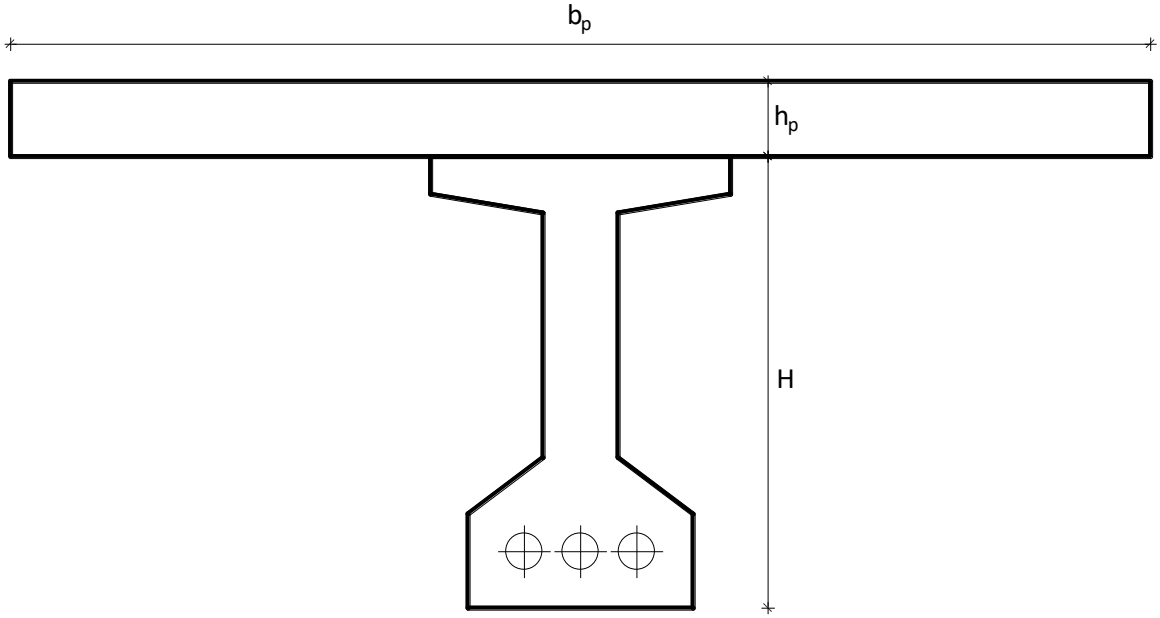
W_d (moment otpora s obzirom na donji rub)

W_g (moment otpora s obzirom na gornji rub)

k_d (donji odsječak jezgre presjeka)

k_g (gornji odsječak jezgre presjeka)

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 2. fazi



$h_p = 20{,}0$ cm (visina ploče)

$b_p = 240{,}0$ cm (sudjelujuća širina ploče)

Tablica 49. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka u 2. fazi

x	0,00	1,30	2,60	3,90	5,20	6,50
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
A_1 (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
y_{d-1} (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
y_{g-1} (cm)	58,2	58,2	63,7	63,7	63,7	63,7
I_{xd-1} (cm^4)	37793541,7	37793541,7	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3
I_{y-1} (cm^4)	9339379,7	9339379,7	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4
A_2 (cm^2)	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0
A_{1+2} (cm^2)	12250,0	12250,0	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0
$y_{d,2}$ (cm)	88,5	88,5	94,6	94,6	94,6	94,6
$y_{g,2}$ (cm)	51,5	51,5	45,4	45,4	45,4	45,4
$I_{y,2}$ (cm^4)	23076847,2	23076847,2	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6
$W_{d,2}$ (cm^3)	260685,2	260685,2	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5
$W_{g,2}$ (cm^3)	448301,4	448301,4	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0
$k_{d,2}$ (cm)	36,6	36,6	48,2	48,2	48,2	48,2
$k_{g,2}$ (cm	21,3	21,3	23,2	23,2	23,2	23,2

x	**7,80**	**9,10**	**10,40**	**11,70**	**13,00**	**-**
H (cm)	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	-
b_g (cm)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	-
A_1 (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
$y_{d,1}$ (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
$y_{g,1}$ (cm)	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	-
$I_{xd,1}$ (cm^4)	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	21702708,3	-
$I_{y,1}$ (cm^4)	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	7573368,4	-
A_2 (cm^2)	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0	4800,0	-
A_{1+2} (cm^2)	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0	-
$y_{d,2}$ (cm)	94,6	94,6	94,6	94,6	94,6	-
$y_{g,2}$ (cm)	45,4	45,4	45,4	45,4	45,4	-
$I_{y,2}$ (cm^4)	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6	-
$W_{d,2}$ (cm^3)	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5	-
$W_{g,2}$ (cm^3)	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0	-
$k_{d,2}$ (cm)	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2	-
$k_{g,2}$ (cm	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	-

x (udaljenost presjeka od kraja nosača)

A_1 (površina poprečnog presjeka)

$y_{d,1}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba presjeka)

$y_{g,1}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba presjeka)

$I_{xd,1}$ (moment inercije s obzirom na donji rub)

$I_{y,1}$ (moment inercije s obzirom na težište)

A_2 (površina kolničke ploče)

A_{1+2} (ukupna površina spregnutog presjeka)

$y_{d,2}$ (udaljenost težišta do donjeg ruba spregnutog presjeka)

$y_{g,2}$ (udaljenost težišta do gornjeg ruba spregnutog presjeka)

$I_{y,2}$ (moment inercije s obzirom na težište)

$W_{d,2}$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

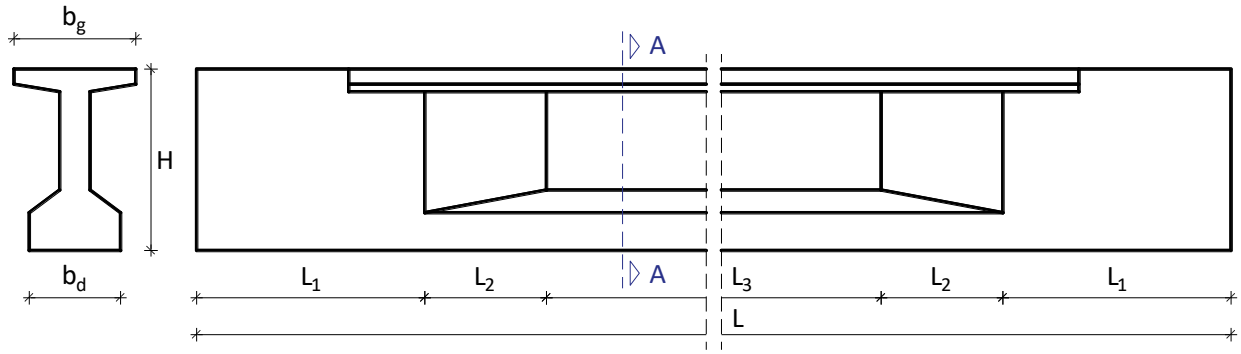
$W_{g,2}$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$k_{d,2}$ (donji odsječak jezgre spregnutog presjeka)

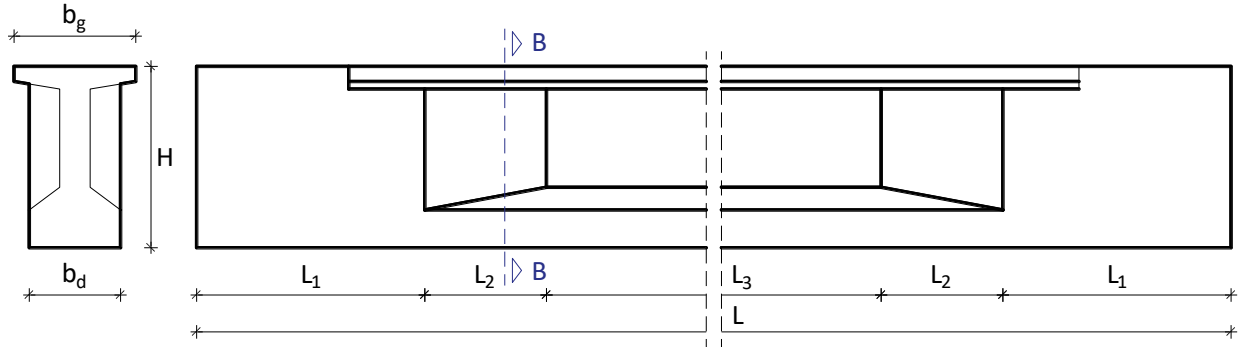
$k_{g,2}$ (gornji odsječak jezgre spregnutog presjeka)

Geometrijske karakteristike rasponskog nosača u uzdužnom smjeru

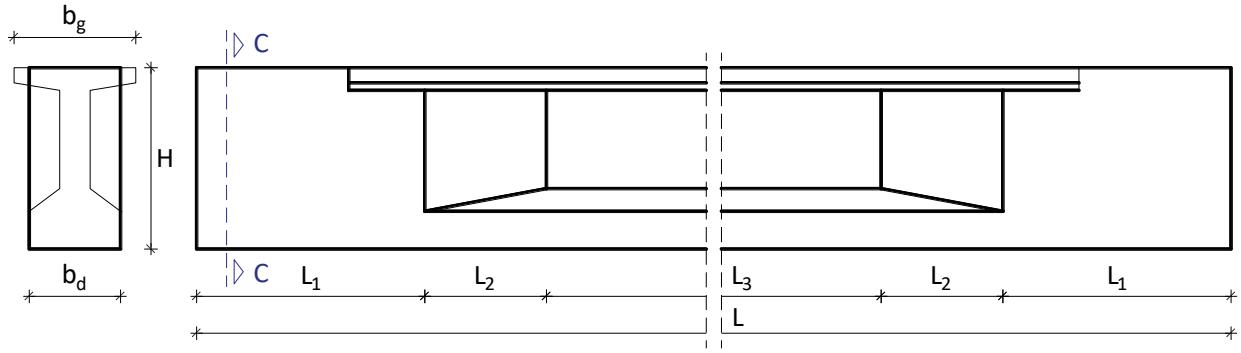
Presjek A – A



Presjek B – B



Presjek C – C



$L = 26{,}0$ m (ukupna duljina nosača)

$L_1 = 1{,}50$ m (duljina proširenog dijela)

$L_2 = 0{,}80$ m (duljina dijela suženja)

$L_3 = 21{,}40$ m (duljina suženog dijela)

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

$f_{cd} = 2{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka)

$f_{ctm} = 3{,}20$ MPa (srednja osna vlačna čvrstoća)

$E_c = 33500{,}0$ MPa (modul elastičnosti betona)

$\gamma_c = 25{,}5\ \mathrm{kN/m^3}$ (specifična težina betona)

$\tau_{Rd} = 0{,}37$ MPa (računska čvrstoća na djelovanje glavnih kosih naprezanja)

Maksimalna dopuštena naprezanja pri prednaprezanju:

$$\sigma_{c,max,t=0} \leq 0{,}6 \cdot f_{ck} = 0{,}6 \cdot 35{,}0 = -21{,}0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max,t=0} \geq 0{,}3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0{,}3 \cdot (35{,}0)^{2/3} = 3{,}20 \text{ MPa}$$

Maksimalna dopuštena naprezanja u eksploataciji:

$$\sigma_{c,max,t=\infty} \leq 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 35{,}0 = -15{,}75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,max,t=\infty} \geq 0{,}0 \text{ MPa}$$

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja)

$E_s = 200000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika za armiranje)

Čelik za prednaprezanje (St 1580/1860)

$f_{p0,1k} = 1580{,}0$ MPa (karakteristično naprezanje čelika pri 0,1% − tnoj zaostaloj deformaciji)

$f_{pk} = 1860{,}0$ MPa (karakteristična vlačna čvrstoća)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika za prednaprezanje)

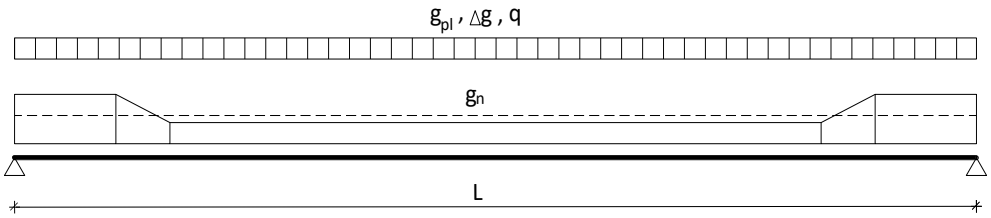
Maksimalno naprezanje nakon prednaprezanja:

$$\sigma_{p0,max} = \min \begin{cases} 0{,}80 \cdot f_{pk} = 0{,}80 \cdot 1860{,}0 = 1488{,}0 \text{ MPa} \\ 0{,}90 \cdot f_{p0,1k} = 0{,}90 \cdot 1580{,}0 = 1422{,}0 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \sigma_{p0,max} = 1422{,}0 \text{ MPa}$$

Maksimalno naprezanje nakon sidrenja:

$$\sigma_{pm0,max} = \min \begin{cases} 0{,}75 \cdot f_{pk} = 0{,}75 \cdot 1860{,}0 = 1395{,}0 \text{ MPa} \\ 0{,}85 \cdot f_{p0,1k} = 0{,}85 \cdot 1580{,}0 = 1343{,}0 \text{ MPa} \end{cases} \rightarrow \sigma_{pm0,max} = 1343{,}0 \text{ MPa}$$

6.5.4.2 Analiza opterećenja



Vlastita težina rasponskog nosača

$g_n = 12{,}40\ \mathrm{kN/m'}$

Vlastita težina kolničke ploče

$g_{pl} = 12{,}0\ \mathrm{kN/m'}$

Dodatno stalno opterećenje

$\Delta g = 8{,}32\ \mathrm{kN/m'}$

Izračunati utjecaji od dodatnog stalnog opterećenja (upetost na krajevima):

$M_{\Delta g,x=0} = -541{,}51\ \mathrm{kNm}$

$M_{\Delta g,x=L} = -540{,}86\ \mathrm{kNm}$

Pokretno opterećenje

$q = 38{,}80\ \mathrm{kN/m'}$

Izračunati utjecaji od pokretnog opterećenja (upetost na krajevima):

$M_{\Delta g,x=0} = -1119{,}40\ \mathrm{kNm}$

$M_{\Delta g,x=L} = -1119{,}35\ \mathrm{kNm}$

Tablica 50. Momenti savijanja i računski momenti za provjeru graničnih stanja

x	**0,00**	**1,30**	**2,60**	**3,90**	**5,20**	**6,50**
$M_{g,z}$ (kNm)	0,0	199,1	377,2	534,4	670,6	785,9
$M_{g,p}$ (kNm)	0,0	192,7	365,0	517,1	649,0	760,5
$M_{\Delta g}$ (kNm)	-541,5	-407,9	-288,4	-183,0	-91,6	-14,2
M_q (kNm)	-1119,4	-496,4	61,0	552,9	979,1	1339,8
$M_{Ed,1}$ (kNm)	-2410,1	-766,5	704,2	2001,8	3126,5	4078,1
$M_{Ed,2}$ (kNm)	-1660,9	-512,6	514,8	1421,4	2207,1	2872,0
$M_{Ed,3}$ (kNm)	-1325,1	-363,7	496,5	1255,5	1913,4	2470,0
$M_{Ed,4}$ (kNm)	-765,4	-115,5	466,0	979,1	1423,8	1800,1
x	**7,80**	**9,10**	**10,40**	**11,70**	**13,00**	-
$M_{g,z}$ (kNm)	880,2	953,5	1005,9	1037,3	1047,8	-
$M_{g,p}$ (kNm)	851,8	922,7	973,4	1003,9	1014,0	-
$M_{\Delta g}$ (kNm)	49,1	98,3	133,5	154,7	161,8	-
M_q (kNm)	1634,9	1864,5	2028,4	2126,8	2159,6	-
$M_{Ed,1}$ (kNm)	4856,7	5462,4	5895,0	6154,6	6241,2	-
$M_{Ed,2}$ (kNm)	3415,9	3839,0	4141,3	4322,6	4383,1	-
$M_{Ed,3}$ (kNm)	2925,4	3279,7	3532,7	3684,6	3735,3	-
$M_{Ed,4}$ (kNm)	2108,0	2347,5	2518,5	2621,2	2655,5	-

Računski moment za provjeru graničnih stanja nosivosti:

$$M_{Ed,1} = 1{,}35 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (rijetka kombinacija):

$$M_{Ed,2} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot M_q$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (česta kombinacija):

$$M_{Ed,3} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot \Psi_{1,1} \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi_{1,1} = 0{,}70$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe (kvazistalna kombinacija):

$$M_{Ed,4} = 1{,}0 \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + 1{,}0 \cdot \Psi_{2,1} \cdot M_q$$

pri čemu je: $\Psi_{2,1} = 0{,}20$

6.5.4.3 Proračun sile prednaprezanja

6.5.4.3.1 Proračun sile prednaprezanja – 1. faza

Presjek je potrebno kontrolirati u svim fazama. Kritične faze su faza uvođenja sile, kad na presjek djeluje puna sila prednaprezanja (bez gubitaka), te konačna faza (kad djeluje sila i puno opterećenje).

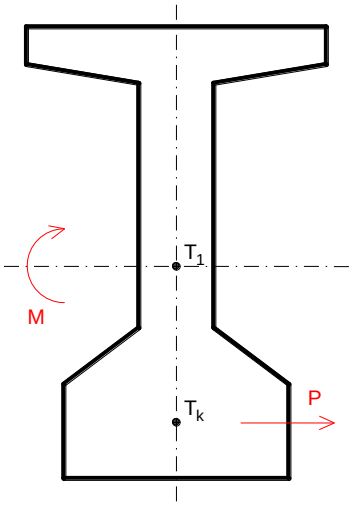
Nakon uvođenja sile prednaprezanja nosač poprima oblik prikazan na *Slici 114.*

Slika 132. Oblik nosača nakon uvođenja sile prednaprezanja

Na nosač djeluje sila prednaprezanja i vlastita težina samog nosača.

Tablica 51. Momenti savijanja i računski momenti – 1. faza

Utjecaj	$M_{g,z}$	$M_{g,p}$	$M_{\Delta g}$	M_q	$M_{Ed,2}$
Koeficijent	1,0	0,0	0,0	0,0	-
Vrijednost	1047,80	0,0	0,0	0,0	1047,80



$A = 0{,}4450\ m^2$ (površina presjeka)

$W_g = 0{,}1189\ m^3$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$W_d = 0{,}1343\ m^3$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

$y_k = 0{,}4135\ m$ (udaljenost težišta natega do težišta presjeka)

Donji rub (tlak)

$$\frac{P_{t=0}}{A} + \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{W_d} - \frac{M_{Ed,2}}{W_d} \leq \sigma_{c,max,t=0} = 21{,}0\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{y_k}{W_d}\right) \leq \sigma_{c,max,t=0} + \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_d}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{0{,}4450} + \frac{0{,}4135}{0{,}1343}\right) \leq 21000{,}0 + \left(\frac{1047{,}80}{0{,}1343}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot 5{,}3261 \leq 28801{,}94$$

$$P_{t=0} \leq 5407{,}70\ kN$$

Gornji rub (vlak)

$$\frac{P_{t=0}}{A} - \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{W_g} + \frac{M_{Ed,2}}{W_g} \leq \sigma_{t,max,t=0} = -3{,}20\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{A} - \frac{y_k}{W_g}\right) \leq \sigma_{t,max,t=0} - \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_g}\right)$$

$$P_{t=0} \cdot \left(\frac{1}{0{,}4450} - \frac{0{,}4135}{0{,}1189}\right) \leq -3200{,}0 - \left(\frac{1047{,}80}{0{,}1189}\right)$$

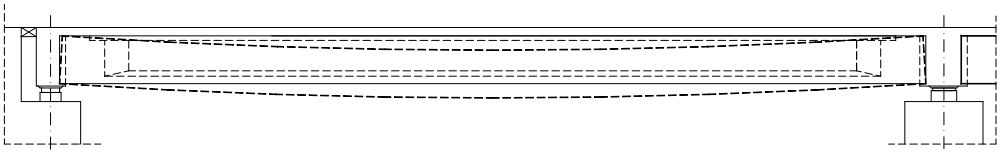
$$P_{t=0} \cdot (-1{,}2305) \leq -12012{,}45$$

$$P_{t=0} \leq 9762{,}25\ kN$$

6.5.4.3.2 Proračun sile prednaprezanja – 2. faza

U konačnici se pretpostavlja potpuna raspodjela naprezanja između presjeka u 1. fazi (montažni nosač) i presjeka u 2. fazi (spregnuti presjek).

Nakon opterećivanja nosač poprima oblik prikazan na *Slici 115.*

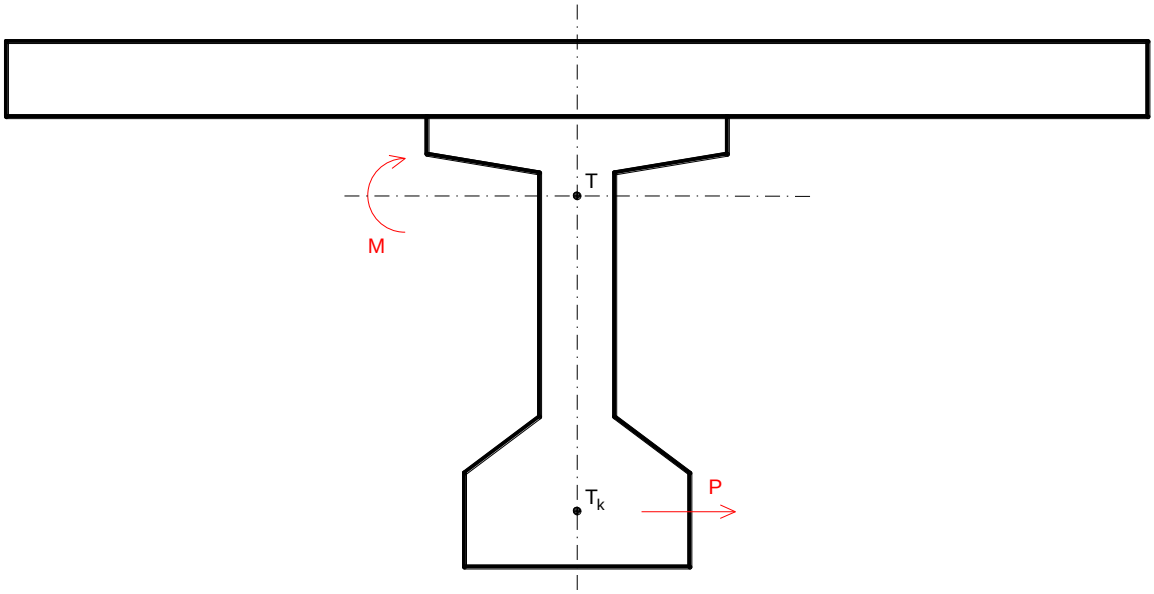


Slika 133. Oblik nosača nakon opterećivanja

Tablica 52. Momenti savijanja i računski momenti – 2. faza

Utjecaj	$M_{g,z}$	$M_{g,p}$	$M_{\Delta g}$	M_q	$M_{Ed,2}$
Koeficijent	1,0	1,0	1,0	0,3	-
Vrijednost	1047,80	1014,0	161,84	2159,55	2871,51

Pretpostavljeni gubici sile: 20,0 %



$A = 0{,}9250\ m^2$ (površina presjeka)

$W_g = 0{,}4460\ m^3$ (moment otpora s obzirom na gornji rub)

$W_d = 0{,}2142\ m^3$ (moment otpora s obzirom na donji rub)

$y_k = 0{,}7957\ m$ (udaljenost težišta natega do težišta presjeka)

Donji rub (vlak)

$$\frac{P_{t=\infty}}{A} + \frac{P_{t=\infty} \cdot y_k}{W_d} - \frac{M_{Ed,2}}{W_d} \geq \sigma_{t,max,t=\infty} = 0{,}0\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{y_k}{W_d}\right) \geq \sigma_{t,max,t=\infty} + \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_d}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{0{,}9250} + \frac{0{,}7957}{0{,}2142}\right) \geq 0{,}0 + \left(\frac{2871{,}51}{0{,}2142}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot 4{,}7958 \geq 13405{,}74$$

$$P_{t=\infty} \geq 2795{,}31\ kN$$

$$P_{t=0} \approx P_{t=\infty} \cdot 1{,}3 = 2795{,}31 \cdot 1{,}3 = 3633{,}90\ kN$$

Gornji rub (tlak)

$$\frac{P_{t=\infty}}{A} - \frac{P_{t=\infty} \cdot y_k}{W_g} + \frac{M_{Ed,2}}{W_g} \geq \sigma_{c,max,t=0} = 15{,}75\ MPa \ \rightarrow \ P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{A} - \frac{y_k}{W_g}\right) \geq \sigma_{c,max,t=\infty} - \left(\frac{M_{Ed,2}}{W_g}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot \left(\frac{1}{0{,}9250} - \frac{0{,}7957}{0{,}4460}\right) \geq 15750{,}0 - \left(\frac{2871{,}51}{0{,}4460}\right)$$

$$P_{t=\infty} \cdot (-0{,}7030) \geq 9311{,}64$$

$$P_{t=\infty} \geq -13245{,}57\ kN$$

$$P_{t=0} \approx P_{t=\infty} \cdot 1{,}3 = (-13245{,}57) \cdot 1{,}3 = -17219{,}24\ kN$$

6.5.4.3.3 Odabir sile (sustava) prednaprezanja

Odabran je sustav DYWIDAG, te natega sa 6 užadi promjera 0,60 inča.

Površina jednog užeta: $A_1 = 150{,}0\ \text{mm}^2$

Ukupna nominalna površina natege: $A_k = 6 \cdot 150{,}0 = 900{,}0\ \text{mm}^2$

Ukupno su odabrane 3 natege.

Minimalna sila na preši u sve 3 natege:

$$P_{t=0} = n \cdot A_k \cdot \sigma_{0,dop} = 3 \cdot 0{,}000900 \cdot 1422000 = 3839{,}40\ \text{kN} < 5407{,}70\ \text{kN}$$

Maksimalna sila na preši u sve 3 natege:

$$P_{t=0} = n \cdot A_k \cdot \sigma_{0,dop} = 3 \cdot 0{,}000900 \cdot 1488000 = 4017{,}60\ \text{kN} < 5407{,}70\ \text{kN}$$

Početna sila nakon odbitka svih gubitaka u sve 3 natege je (pretpostavljeni gubici 20,0 %):

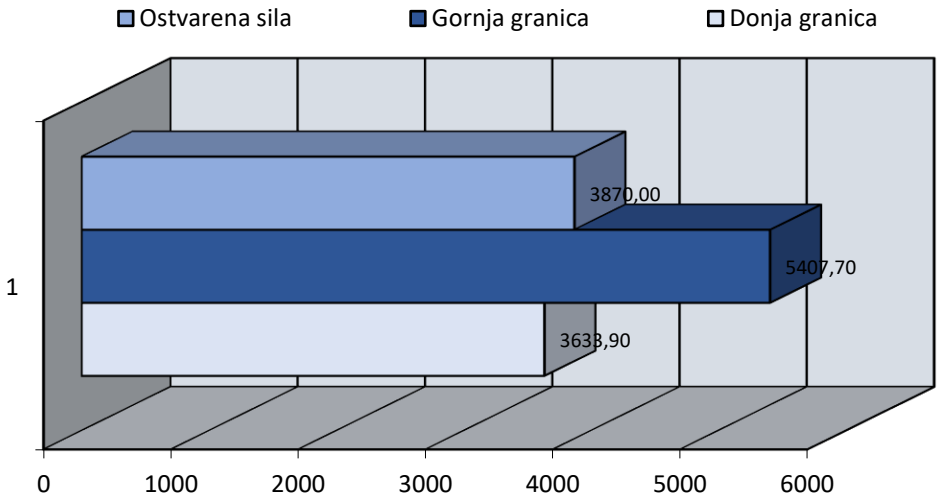
$$P_{t=\infty} = 75\%\ P_{t=0} = 0{,}80 \cdot 3870{,}0 = 3096{,}0\ \text{kN} > 2795{,}31\ \text{kN}$$

Početna sila prednaprezanja (P_{m0}):

$$P_{m0} = 3870{,}0\ \text{kN}$$

Vjerojatna konačna sila prednaprezanja ($P_{m\infty}$):

$$P_{m\infty} = 4000{,}0\ \text{kN}$$



6.5.4.4 Vođenje natega

Tablica 53. Položaj jezgre presjeka

Položaj jezgre presjeka	Y_t (cm)	y_d (cm)	y_g (cm)
1. faza	61,80	40,30	82,10
2. faza	88,50	51,90	109,80

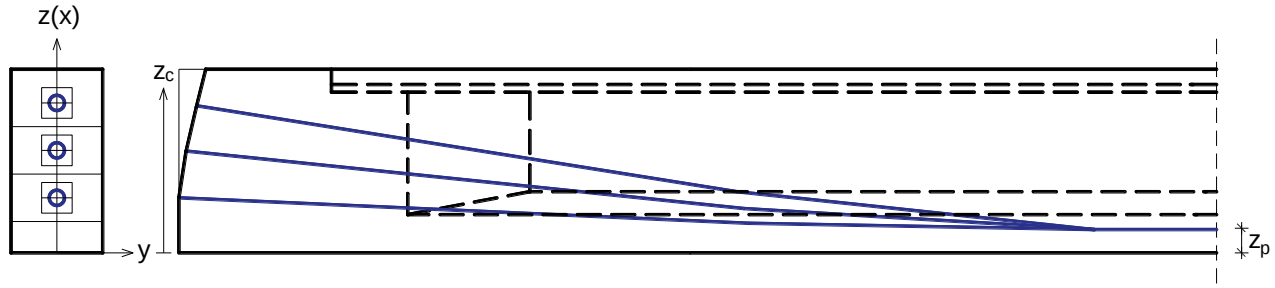
Napomena: Mjereno od dna nosača, presjek na rubu.

6.5.4.4.1 Vođenje natega u vertikalnoj ravnini

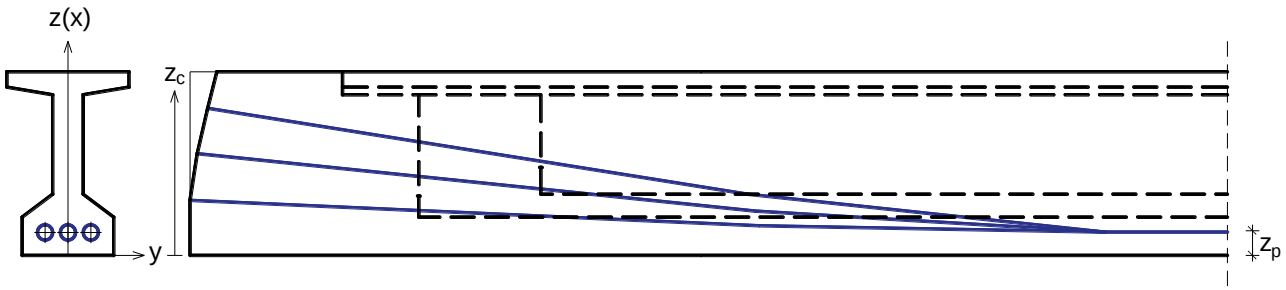
Tablica 54. Nagib tangente i visinski položaj natega na čelu nosača i u polovici raspona nosača

Natega	z_c	z_p	tgα
1	36,0	15,0	0,0323
2	67,0	15,0	0,0800
3	98,0	15,0	0,1277
Težište	67,0	15,0	0,0800

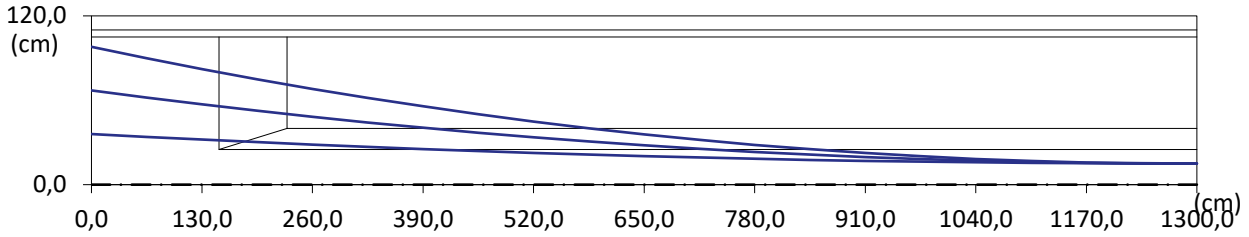
Položaj natega na čelu nosača



Položaj natega u polovici raspona nosača



Shema vođenja natega po duljini nosača



Tablica 55. Vođenje natega u vertikalnoj ravnini

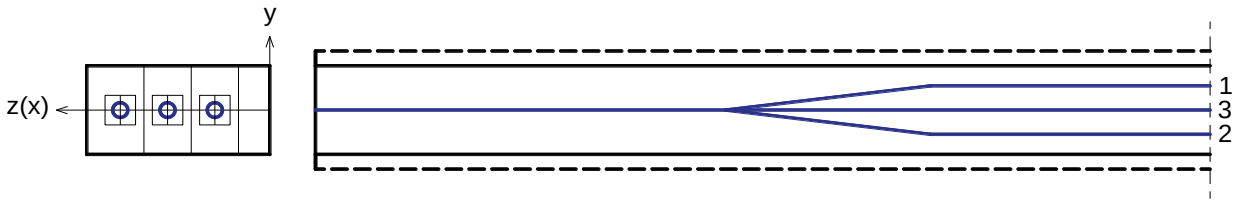
Nategа	Udaljenost težišta natege od dna nosača (cm)										
	0,00	**1,30**	**2,60**	**3,90**	**5,20**	**6,50**	**7,80**	**9,10**	**10,40**	**11,70**	**13,00**
1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0
2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0
3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0
Težište	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0

6.5.4.4.2 Vođenje natega u horizontalnoj ravnini

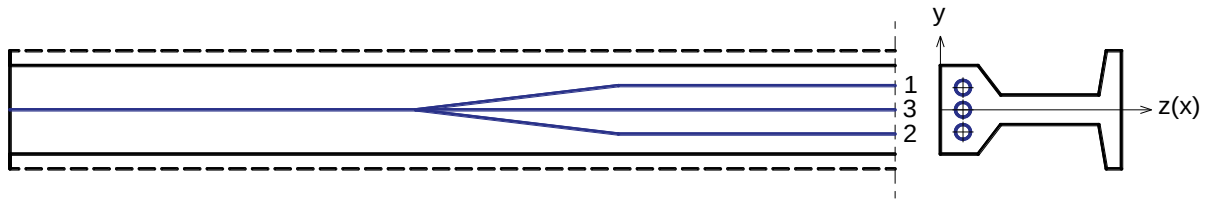
Tablica 56. Računska duljina natega

Natega	Duljina (cm)
1	2600,45
2	2602,77
3	2607,04

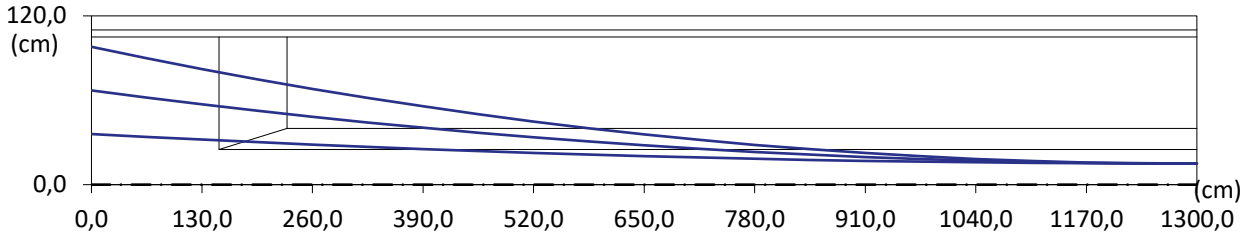
Položaj natega na čelu nosača



Položaj natega u polovici raspona nosača



Shema vođenja natega po duljini nosača

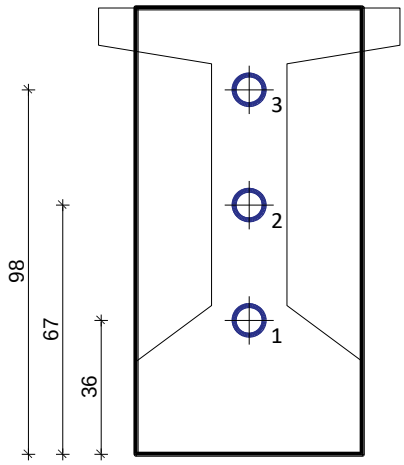


Tablica 57. Vođenje natega u horizontalnoj ravnini

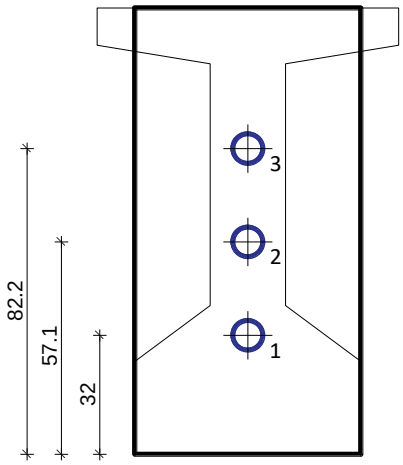
Nateg a	Udaljenost težišta natege od dna nosača (cm)										
	0,00	**1,30**	**2,60**	**3,90**	**5,20**	**6,50**	**7,80**	**9,10**	**10,40**	**11,70**	**13,00**
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,2	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Težište	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

6.5.4.4.3 Položaj natega u poprečnom presjeku

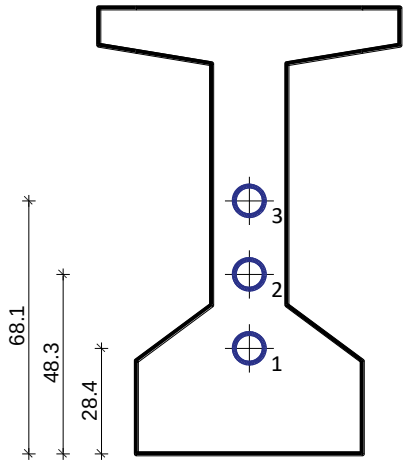
Presjek 1 ; x = 0,0 m



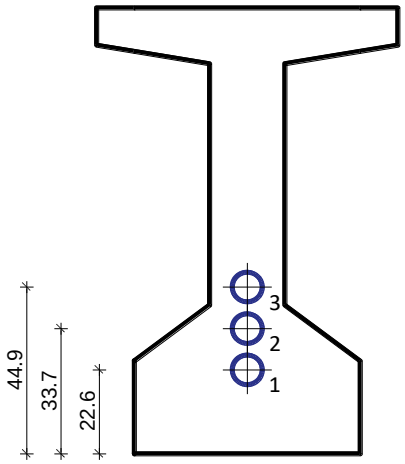
Presjek 2 ; x = 1,30 m



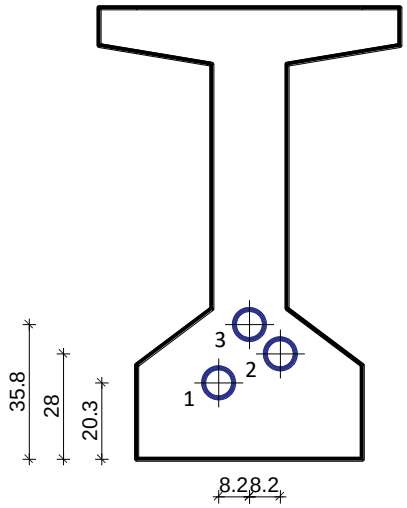
Presjek 3 ; x = 2,60 m



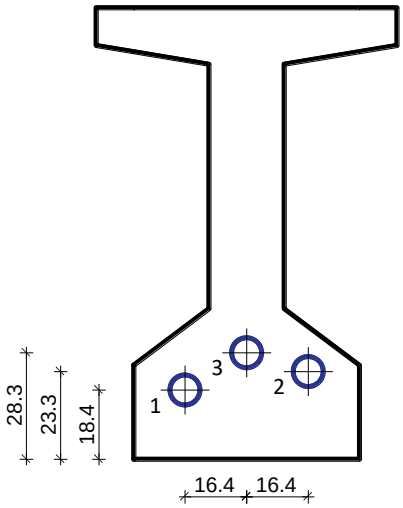
Presjek 4 ; x = 5,20 m



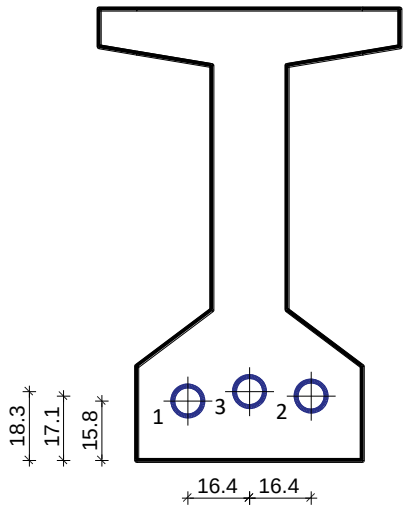
Presjek 5 ; x = 6,50 m



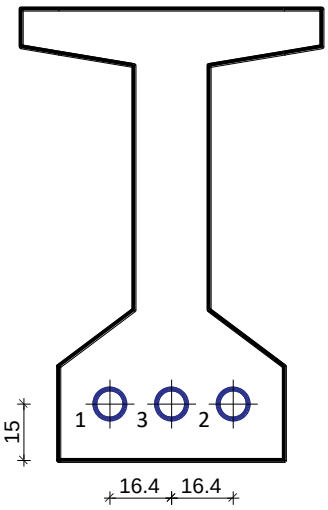
Presjek 6 ; x = 7,80 m



Presjek 7 ; x = 10,40 m



Presjek 6 ; x = 13,0 m



6.5.4.5 Proračun gubitaka sile prednaprezanja u sredini nosača

6.5.4.5.1 Gubici od trenja

$$\Delta P_{tr} = P_{m0} \cdot \left[1 - e^{(-\mu\alpha - \lambda x)}\right]$$

Eksperimentalne konstante (prema deklaraciji proizvođača):

$\mu = 0{,}19$ (koeficijent trenja)

$\beta = 0{,}30\ °/m$ (dozvoljeni skretni kut)

$\lambda = \mu \cdot \beta = 0{,}19 \cdot 0{,}30 = 0{,}057\ °/m = 0{,}000995\ rad/m$

Tablica 58. Kut skretanja natege

Natega	1	2	3
Nagib tangente *tgα*	0,0323	0,0800	0,1277
Kut skretanja natege *α* (rad)	0,0323	0,0798	0,1270

Tablica 59. Gubici od trenja

Natega	1	2	3
Početna sila prednaprezanja $P_{m0,i}$	1290,0	1290,0	1290,0
Gubici od trenja $\Delta P_{tr,i}$	24,37	35,74	46,94

$\Delta P_{tr} = 107{,}05\ kN = 2{,}77\ \%$

6.5.4.5.2 Gubici od elastičnog skraćenja betona

$$\Delta P_{el} = A_k \cdot 0{,}5 \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right) \cdot n_k \cdot \sigma_{ck}$$

$n = 3$ (broj natega)

$n_k = \frac{E_k}{E_c} = \frac{195000{,}0}{33500{,}0} = 5{,}82$ (odnos modula elastičnosti)

Naprezanje u betonu na mjestu natege:

$$\sigma_{ck} = \frac{P_{t=0}}{A} + \frac{P_{t=0} \cdot y_k}{\frac{I_1}{y_k}} - \frac{M_{Ed,2}}{\frac{I_1}{y_k}} = \frac{3870{,}0}{0{,}4450} + \frac{3870{,}0 \cdot 0{,}4135}{\frac{0{,}0757}{0{,}4135}} - \frac{1047{,}80}{\frac{0{,}0757}{0{,}4135}} = 11714{,}28\ kN/m^2 = 11{,}71\ MN/m^2$$

$\Delta P_{el} = 61{,}34\ kN = 1{,}59\ \%$

6.5.4.5.3 Gubici od prokliznuća klina

$$\Delta P_{kl} = P_{m0} \cdot l_{sl} \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha}{x} + \lambda\right)$$

Svaki sustav prednaprezanja daje pretpostavljeno prokliznuće klina. Za sustav DYWIDAG može se uzeti 2,0 mm.

$\Delta l_s = 2{,}0$ mm (prokliznuće klina)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika natega)

$A_k = 3 \cdot 6 \cdot 150{,}0 = 2700{,}0$ mm^2 (ukupna površina natega)

$\mu = 0{,}19$ (koeficijent trenja)

$\lambda = 0{,}000995$ rad/m

Duljina utjecaja prokliznuća klina:

$$l_{sl} = \sqrt{\frac{\Delta l_s \cdot E_k \cdot A_k}{P_{m0} \cdot \mu \cdot \left(\frac{\alpha}{x} + \lambda\right)}} = \sqrt{\frac{2{,}0/1000 \cdot 195000{,}0 \cdot 1000 \cdot 2700{,}0/1000000}{3870{,}0 \cdot 0{,}19 \cdot \left(\frac{0{,}2400/3}{13{,}0} + 0{,}000995\right)}} = 14{,}15 \text{ m}$$

$\Delta P_{kl} = 74{,}38$ kN $= 1{,}92$ %

6.5.4.5.4 Ukupni gubici u (t = 0) (u trenutku prednaprezanja)

$$\Delta P_{uk} = \Delta P_{tr} + \Delta P_{el} + \Delta P_{kl}$$

Gubici od trenja: $\Delta P_{tr} = 107{,}05$ kN $= 2{,}77$ %

Gubici od elastičnog skraćenja betona: $\Delta P_{el} = 61{,}34$ kN $= 1{,}59$ %

Gubici od prokliznuća klina: $\Delta P_{kl} = 74{,}38$ kN $= 1{,}92$ %

Ukupni gubici: $\Delta P_{uk} = 107{,}05 + 61{,}34 + 74{,}38 = 242{,}77$ kN

Sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak: $P_{t=0} - \Delta P_{uk} = 3627{,}23$ kN

Početni gubitak sile prednaprezanja: $\Delta P_{uk} = 6{,}28$ %

6.5.4.5.5 Gubici od puzanja i skupljanja betona

$$\Delta \mathbf{P_{ps}} = \mathbf{A_k} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{ps}}$$

$\varphi_{\infty,t=28} = 1{,}7$ (konačni koeficijent puzanja betona opterećenog nakon 28 dana)

$\varepsilon_{s\infty} = 0{,}00034$ (konačni koeficijent skupljanja)

$E_k = 195000{,}0$ MPa (modul elastičnosti čelika natega)

$A_k = 2700{,}0\ mm^2$ (ukupna površina natega)

$n_k = 5{,}82$ (odnos modula elastičnosti)

$\sigma_{ck} = 11{,}71$ (naprezanje u betonu na mjestu natege)

Pad naprezanja:

$$\Delta\sigma_{ps} = \frac{\varepsilon_{s\infty} \cdot E_k + n_k \cdot \varphi_{\infty,t=28} \cdot \sigma_{ck}}{1 + n_k \cdot \left(\frac{A_k}{A_c}\right) \cdot \left(1 + y_k^2 \cdot \frac{A_c}{I_c}\right) \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \varphi_{\infty,t=28}\right)}$$

$$\Delta\sigma_{ps} = \frac{0{,}00034 \cdot 195000 + 5{,}82 \cdot 1{,}7 \cdot 11{,}71}{1 + 5{,}82 \cdot \left(\frac{0{,}002700}{0{,}4450}\right) \cdot \left(1 + 0{,}4135^2 \cdot \frac{0{,}4450}{0{,}0757}\right) \cdot (1 + 0{,}8 \cdot 1{,}7)} = 156{,}08 \text{ MPa}$$

$\Delta P_{ps} = 421{,}41$ kN $= 10{,}89$ %

6.5.4.5.6 Gubici od relaksacije čelika

$$\Delta \mathbf{P_{re}} = \mathbf{A_k} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{re}}$$

$r = 1{,}7$ % (konačna vrijednost relaksacije čelika)

Pad naprezanja:

$$\Delta\sigma_{re} = r \cdot \sigma_{p0,max} = \frac{1{,}7}{100} \cdot 1422{,}0 = 24{,}17 \text{ MPa}$$

$\Delta P_{re} = 65{,}26$ kN $= 1{,}69$ %

6.5.4.5.7 Ukupni gubici u (t = ∞) (konačni gubici)

$$\mathbf{\Delta P_{uk} = \Delta P_{tr} + \Delta P_{el} + \Delta P_{kl} + \Delta P_{ps} + \Delta P_{re}}$$

Gubici od trenja: $\Delta P_{tr} = 107{,}05\ \text{kN} = 2{,}77\ \%$

Gubici od elastičnog skraćenja betona: $\Delta P_{el} = 61{,}34\ \text{kN} = 1{,}59\ \%$

Gubici od prokliznuća klina: $\Delta P_{kl} = 74{,}38\ \text{kN} = 1{,}92\ \%$

Gubici od puzanja i skupljanja betona: $\Delta P_{ps} = 421{,}41\ \text{kN} = 10{,}89\ \%$

Gubici od relaksacije čelika: $\Delta P_{re} = 65{,}26\ \text{kN} = 1{,}69\ \%$

Ukupni gubici: $\Delta P_{uk} = 107{,}05 + 61{,}34 + 74{,}38 + 421{,}41 + 65{,}26 = 729{,}44\ \text{kN}$

Konačni gubitak sile prednaprezanja: $\Delta P_{uk} = 18{,}86\ \%$

Konačna sila prednaprezanja: $P_{t=\infty} = P_{t=0} - \Delta P_{uk} = 3140{,}56\ \text{kN} > 2795{,}31\ \text{kN}$

6.5.4.6 Kontrola bočne stabilnosti nosača

$b_g = 80{,}0\ \text{cm}$

$L = 26{,}0\ \text{m} = 2600{,}0\ \text{cm}$

$H = 120{,}0\ \text{cm}$

$$b_g \geq \sqrt[4]{\left(\frac{L}{50}\right) \cdot H} = \sqrt[4]{\left(\frac{2600{,}0}{50}\right) \cdot 120{,}0} = 64{,}09\ \text{cm}$$

Kontrola bočne stabilnosti nosača nije potrebna!

6.5.4.7 Stanje naprezanja po duljini nosača za radno opterećenje

Tablica 60. Računski momenti za provjeru graničnih stanja uporabe

x	**0,00**	**1,30**	**2,60**	**3,90**	**5,20**	**6,50**
$M_{g,z}$	0,0	199,1	377,2	534,4	670,6	785,9
$M_{g,p}$	0,0	192,7	365,0	517,1	649,0	760,5
$M_{\Delta g}$	-541,5	-407,9	-288,4	-183,0	-91,6	-14,2
M_q	-1119,4	-496,4	61,0	552,9	979,1	1339,8
$M_{Ed,r1}$	-108,3	199,1	377,2	534,4	670,6	785,9
$M_{Ed,r2}$	-765,4	-165,1	472,1	1034,4	1521,7	1934,1
x	**7,80**	**9,10**	**10,40**	**11,70**	**13,00**	**-**
$M_{g,z}$	880,2	953,5	1005,9	1037,3	1047,8	-
$M_{g,p}$	851,8	922,7	973,4	1003,9	1014,0	-
$M_{\Delta g}$	49,1	98,3	133,5	154,7	161,8	-
M_q	1634,9	1864,5	2028,4	2126,8	2159,6	-
$M_{Ed,r1}$	880,2	953,5	1005,9	1037,3	1047,8	-
$M_{Ed,r2}$	2271,5	2533,9	2721,4	2833,9	2871,4	-

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe – 1. faza – stanje neposredno nakon prednaprezanja:

$$\mathrm{M_{Ed,1}} = \mathrm{M_{g,z}}$$

Računski moment za provjeru graničnih stanja uporabe – 2. faza – konačno stanje:

$$\mathrm{M_{Ed,3}} = \left(\mathrm{M_{g,z}} + \mathrm{M_{g,p}} + \mathrm{M_{\Delta g}}\right) + \Psi \cdot \mathrm{M_q}$$

pri čemu je: $\Psi = 0{,}30$

1. faza

$\sigma_{c,max,t=0} = -21{,}0$ MPa (maksimalno tlačno dopušteno naprezanje pri rednparezanju)

$\sigma_{t,max,t=0} = 3{,}20$ MPa (maksimalno vlačno dopušteno naprezanje pri prednaprezanju)

x	**0,00**	**1,30**	**2,60**	**3,90**	**5,20**	**6,50**
A_1 (cm^2)	7450,0	7450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0
$y_{d,1}$ (cm)	61,8	61,8	56,3	56,3	56,3	56,3
$W_{d,1}$ (cm^3)	151120,5	151120,5	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8
$W_{g,1}$ (cm^3)	160472,9	160472,9	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4
P_{poc} (kN)	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4
Natega 1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3
Natega 2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
Natega 3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8
Natega ukupno	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
atan α	0,0800	0,0648	0,0512	0,0392	0,0288	0,0200
ΔP_{tr} (kN)	0,0	16,0	30,9	44,6	57,1	68,5
ΔP_{kl} (kN)	74,4	67,6	60,7	53,9	47,1	40,2
ΔP_{el} (kN)	61,3	61,3	61,3	61,3	61,3	61,3
$P_{t=0}$ (kN)	3703,7	3694,5	3686,5	3679,6	3673,9	3669,4
σ_g (MPa)	**-3,1**	**-5,1**	**-9,0**	**-7,9**	**-6,9**	**-6,1**
σ_d (MPa)	**-7,0**	**-4,8**	**-7,7**	**-8,6**	**-9,5**	**-10,1**
x	**7,80**	**9,10**	**10,40**	**11,70**	**13,00**	**-**
A_1 (cm^2)	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	4450,0	-
$y_{d,1}$ (cm)	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-
$W_{d,1}$ (cm^3)	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	134402,8	-
$W_{g,1}$ (cm^3)	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	118981,4	-
P_{poc} (kN)	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4	-
Natega 1	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0	-
Natega 2	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
Natega 3	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0	-
Natega ukupno	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
atan α	0,0128	0,0072	0,0032	0,0008	0,0000	-
ΔP_{tr} (kN)	78,7	87,7	95,6	102,3	107,8	-
ΔP_{kl} (kN)	33,4	26,6	19,7	12,9	6,1	-
ΔP_{el} (kN)	61,3	61,3	61,3	61,3	61,3	-
$P_{t=0}$ (kN)	3666,0	3663,8	3662,7	3662,9	3664,1	-
σ_g (MPa)	**-5,5**	**-5,0**	**-4,6**	**-4,4**	**-4,3**	-
σ_d (MPa)	**-10,7**	**-11,1**	**-11,4**	**-11,6**	**-11,7**	-

2. faza

$\sigma_{c,max,t=\infty} = -15{,}75$ MPa (maksimalno tlačno dopušteno naprezanje u eksploataciji)

$\sigma_{t,max,t=\infty} = 0{,}0$ MPa (maksimalno vlačno dopušteno naprezanje u eksploataciji)

x	**0,00**	**1,30**	**2,60**	**3,90**	**5,20**	**6,50**
A_{1+2} (cm2)	12250,0	12250,0	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0
$y_{d,2}$ (cm)	88,5	88,5	94,6	94,6	94,6	94,6
$W_{d,2}$ (cm^3)	260685,2	260685,2	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5
$W_{g,2}$ (cm^3)	448301,4	448301,4	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0
$I_{x,2}$ (cm^4)	23076847,2	23076847,2	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6
P_{poc} (kN)	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4
σ_{ck} (MPa)	-6,5	-4,8	-7,8	-8,5	-9,1	-9,6
Natega 1	36,0	32,0	28,4	25,3	22,6	20,3
Natega 2	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
Natega 3	98,0	82,2	68,1	55,7	44,9	35,8
Natega ukupno	67,0	57,1	48,3	40,5	33,7	28,0
atan σ	0,0800	0,0648	0,0512	0,0392	0,0288	0,0200
ΔP_{tr} (kN)	0,0	16,0	30,9	44,6	57,1	68,5
ΔP_{kl} (kN)	74,4	67,6	60,7	53,9	47,1	40,2
ΔP_{el} (kN)	61,3	61,3	61,3	61,3	61,3	61,3
ΔP_{ps} (kN)	339,3	294,4	360,1	372,3	381,8	389,2
ΔP_{rel} (kN)	65,3	65,3	65,3	65,3	65,3	65,3
$P_{t=\infty}$ (kN)	3299,1	3334,8	3261,0	3242,0	3226,8	3214,9
σ_g (MPa)	1,6	0,9	-0,2	-1,2	-2,0	-2,8
σ_{gn} (MPa)	**-1,5**	**-4,3**	**-9,1**	**-9,0**	**-8,9**	**-8,9**
σ_d (MPa)	**-8,8**	**-5,5**	**-5,9**	**-4,7**	**-3,7**	**-2,9**

Napomena: x je udaljenost presjeka od kraja nosača.

x	**7,80**	**9,10**	**10,40**	**11,70**	**13,00**	**-**
A_{1+2} (cm2)	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0	9250,0	-
$y_{d,2}$ (cm)	94,6	94,6	94,6	94,6	94,6	-
$W_{d,2}$ (cm^3)	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5	214235,5	-
$W_{g,2}$ (cm^3)	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0	445931,0	-
$I_{x,2}$ (cm^4)	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6	20259728,6	-
P_{poc} (kN)	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4	3839,4	-
σ_{ck} (MPa)	-10,0	-10,4	-10,6	-10,7	-10,8	-
Natega 1	18,4	16,9	15,8	15,2	15,0	-
Natega 2	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
Natega 3	28,3	22,5	18,3	15,8	15,0	-
Natega ukupno	23,3	19,7	17,1	15,5	15,0	-
atan σ	0,0128	0,0072	0,0032	0,0008	0,0000	-
ΔP_{tr} (kN)	78,7	87,7	95,6	102,3	107,8	-
ΔP_{kl} (kN)	33,4	26,6	19,7	12,9	6,1	-
ΔP_{el} (kN)	61,3	61,3	61,3	61,3	61,3	-
ΔP_{ps} (kN)	394,8	398,9	401,7	403,4	404,1	-
ΔP_{rel} (kN)	65,3	65,3	65,3	65,3	65,3	-
$P_{t=\infty}$ (kN)	3205,9	3199,6	3195,7	3194,2	3194,8	-
σ_g (MPa)	-3,4	-3,8	-4,2	-4,4	-4,4	-
σ_{gn} (MPa)	**-8,8**	**-8,8**	**-8,8**	**-8,7**	**-8,7**	-
σ_d (MPa)	**-2,2**	**-1,6**	**-1,2**	**-1,0**	**-0,9**	-

Napomena: x je udaljenost presjeka od kraja nosača.

6.5.4.8 Kontrola progiba

Pri prednaprezanju

$P_{t=0} = 3627{,}23$ kN (sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak)

$M_{Ed,r1} = 1047{,}80$ kNm (moment savijanja)

$E_{c,1} = 33500{,}0$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,1} = 0{,}0757$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,1} = 0{,}4135$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=0} \cdot y_{k,1} + M_{Ed,r1}\right) \cdot L^2}{E_{c,1} \cdot I_{y,1}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-3627{,}23 \cdot 0{,}4135 + 1047{,}80) \cdot 26{,}0^2}{33500{,}0 \cdot 1000 \cdot 0{,}0757} = -0{,}0126 \text{ m} = -1{,}26 \text{ cm}$$

Faza betoniranja ploče

$P_{t=0} = 3627{,}23$ kN (sila prednaprezanja umanjena za početni gubitak)

$M_{Ed,r1} = 1047{,}80 + 1014{,}0 = 2061{,}80$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 0{,}30$

$E_{c,1} = \frac{33500{,}0}{1 + 0{,}30} = 25769{,}23$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,1} = 0{,}0757$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,1} = 0{,}4135$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_1 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=0} \cdot y_{k,1} + M_{Ed,r1}\right) \cdot L^2}{E_{c,1} \cdot I_{y,1}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-3627{,}23 \cdot 0{,}4135 + 2061{,}80) \cdot 26{,}0^2}{25769{,}23 \cdot 1000 \cdot 0{,}0757} = 0{,}203 \text{ m} = 2{,}03 \text{ cm}$$

Konačno stanje – radno opterećenje

$P_{t=\infty} = 3140{,}56$ kN (konačna sila prednaprezanja)

$M_{Ed,r2} = 1047{,}80 + 1014{,}0 + 161{,}84 + 0{,}30 \cdot 2159{,}55 = 2871{,}51$ kNm (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 1{,}70$

$E_{c,2} = \frac{33500{,}0}{1 + 1{,}70} = 12407{,}41$ MPa (modul elastičnosti)

$I_{y,2} = 0{,}2026$ m^4 (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,2} = 07957$ m (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=\infty} \cdot y_{k,2} + M_{Ed,r2}\right) \cdot L^2}{E_{c,2} \cdot I_{y,2}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-3140{,}56 \cdot 0{,}7957 + 2871{,}51) \cdot 26{,}0^2}{12407{,}41 \cdot 1000 \cdot 0{,}2026} = 0{,}0104 \text{ m} = 1{,}04 \text{ cm}$$

Konačno stanje – granično opterećenje

$P_{t=\infty} = 3140{,}56\ \text{kN}$ (konačna sila prednaprezanja)

$M_{Ed,r2} = 1047{,}80 + 1014{,}0 + 161{,}84 + 0{,}70 \cdot 2159{,}55 = 3753{,}33\ \text{kNm}$ (moment savijanja)

$\varphi_{c,t=90} = 1{,}70$

$E_{c,2} = \frac{33500{,}0}{1 + 1{,}70} = 12407{,}41\ \text{MPa}$ (modul elastičnosti)

$I_{y,2} = 0{,}2026\ \text{m}^4$ (moment inercije s obzirom na težište)

$y_{k,2} = 0{,}7957\ \text{m}$ (udaljenost težišta presjeka do težišta natege)

$$f_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{\left(-P_{t=\infty} \cdot y_{k,2} + M_{Ed,r2}\right) \cdot L^2}{E_{c,2} \cdot I_{y,2}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{(-3140{,}56 \cdot 0{,}7957 + 3753{,}33) \cdot 26{,}0^2}{12407{,}41 \cdot 1000 \cdot 0{,}2026} = 0{,}0351\ \text{m} = 3{,}51\ \text{cm}$$

Dozvoljeni progib

$$f_{dop} = \frac{L}{300} = \frac{26{,}0}{300} = 0{,}0867\ \text{m} = 8{,}67\ \text{cm}$$

Nosaču pri izvedbi dati progib: $4{,}0\ \text{cm}$.

Napomena: U slučaju maksimalne računske sile progib nosača će se povećati. Međutim, takva stanja su rijetka i neracionalno je nosač kontrolirati na njih.

6.6 Proračun klasične armature rasponskih nosača

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

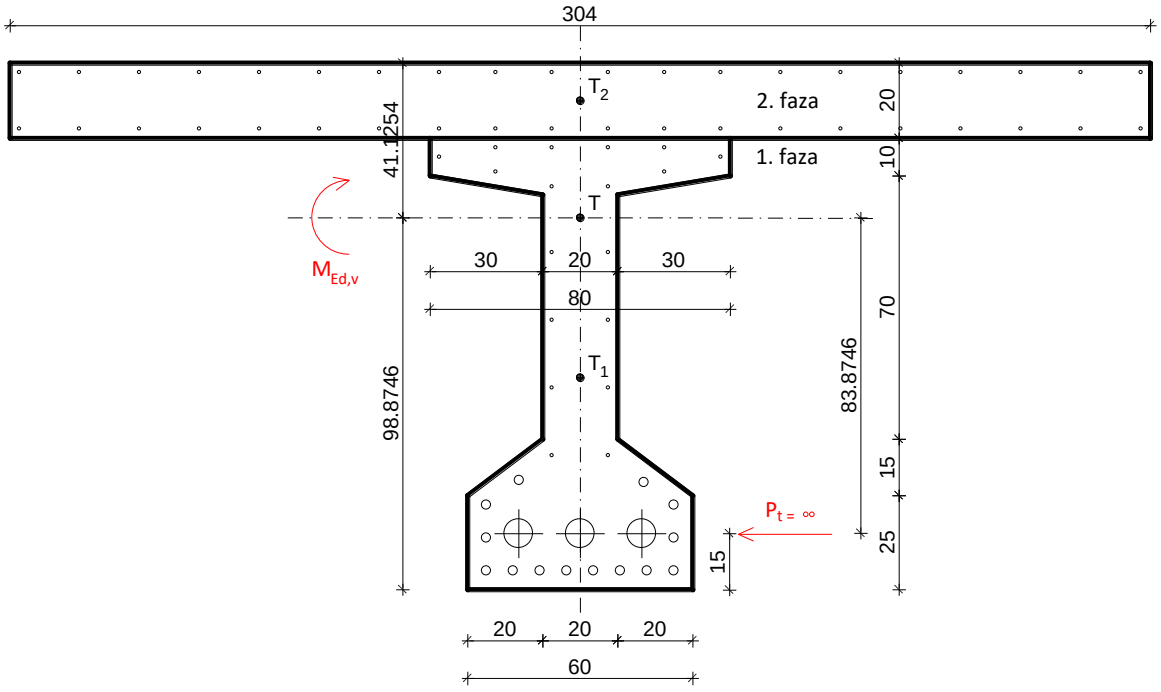
$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = 23{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka ; $\gamma_s = 1{,}5$)

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja ; $\gamma_s = 1{,}15$)

6.6.1 Proračun klasične armature najopterećenijeg rubnog nosača (N4)



Tablica 61. Koeficijenti sigurnosti

Djelovanje	Stalno (γ_g)	Pokretno (γ_q)	Prednaprezanje (γ_p)
Nepovoljno	1,35	1,5	1,0 – 1,2
Povoljno	1,0	1,0	0,9 – 1,0

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,v} = \gamma_g \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot M_q$$

$$M_{Ed,v} = 1{,}35 \cdot (1119{,}93 + 1372{,}82 + 704{,}39) + 1{,}5 \cdot 3141{,}94 = 9029{,}05\ \text{kNm}$$

Konačna sila prednaprezanja:

$$P_{t=\infty} = 4116{,}55\ \text{kN}$$

Mjerodavni moment savijanja:

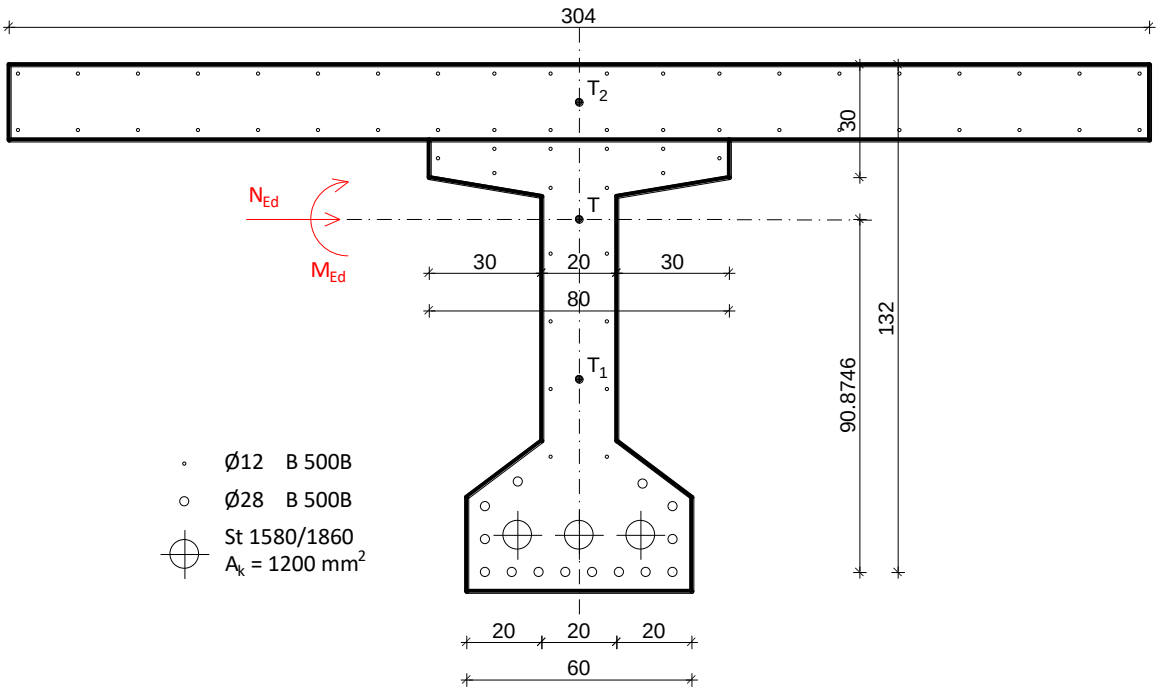
$$M_{Ed} = M_{Ed,v} - \gamma_p \cdot P_{t=\infty} \cdot y_t$$

$$M_{Ed} = 9029{,}05 - 0{,}9 \cdot 4116{,}55 \cdot 0{,}8387 = 5921{,}75\ \text{kNm}$$

Mjerodavna uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \gamma_p \cdot P_{t=\infty} = 0{,}9 \cdot 4116{,}55 = 3704{,}90\ \text{kN}$$

6.6.1.1 Dimenzioniranje na moment savijanja (presjek 8 – 8)



$$M_{Ed,s} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot y_s = 5921{,}75 + 3704{,}90 \cdot 0{,}9087 = 9288{,}39\ \text{kNm}$$

$b_{eff} = 304{,}0\ \text{cm}$

$H = 140{,}0\ \text{cm}$

$d_1 = 8{,}0\ \text{cm}$

$d = H - d_1 = 140{,}0 - 8{,}0 = 132{,}0\ \text{cm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9288{,}39 \cdot 100}{304{,}0 \cdot 132{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}075$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0\ ‰$ očitano: $\varepsilon_{c2} = 1{,}7\ ‰\ ; \zeta = 0{,}947\ ;\ \xi = 0{,}145$

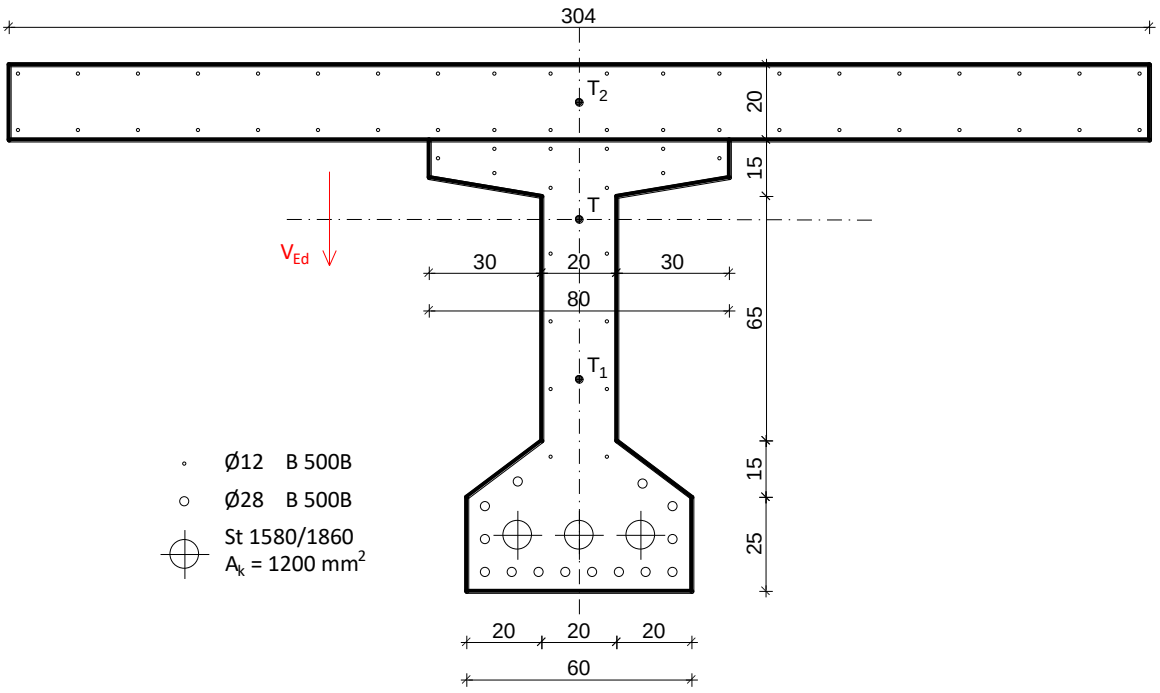
Položaj N.O.: $x = \xi \cdot d = 0{,}145 \cdot 132{,}0 = 19{,}14\ \text{cm} < h_f = 30{,}0\ \text{cm}$

Krak unutarnjih sila: $z = \zeta \cdot d = 0{,}947 \cdot 132{,}0 = 125{,}0\ \text{cm}$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{9288{,}39 \cdot 100}{0{,}947 \cdot 132{,}0 \cdot 43{,}48} - \frac{3704{,}90}{43{,}48} = 85{,}68\ \text{cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{14\emptyset 28}\ \ (\mathbf{A_s = 86{,}21\ cm^2})$

6.6.1.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu (presjek 9 – 9)



Sila prednaprezanja (vertikalna komponenta):

$$V_{pd,\infty} = \sin\alpha \cdot P_{t,\infty} \cdot 0{,}9 = \sin(4{,}4088°) \cdot 4116{,}55 \cdot 0{,}9 = 284{,}80\ \text{kN}$$

Sila prednaprezanja (horizontalna komponenta):

$$V_{pd,\infty} = \cos\alpha \cdot P_{t,\infty} \cdot 0{,}9 = \cos(4{,}4088°) \cdot 4116{,}55 \cdot 0{,}9 = 3693{,}93\ \text{kN}$$

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_{g,z} + V_{g,p} + V_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot V_q - \gamma_p \cdot V_p$$

$$V_{Ed} = 1{,}35 \cdot (166{,}66 + 204{,}29 + 181{,}52) + 1{,}5 \cdot 368{,}41 - 0{,}9 \cdot 284{,}80 = 1042{,}13\ \text{kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton:

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = \frac{0{,}18}{1{,}5} = 0{,}12$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1320{,}0}} = 1{,}39 \leq 2{,}0 \rightarrow k = 1{,}39$$

$$\rho_1 = \frac{\Sigma A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{14\text{Ø}28}{20{,}0 \cdot 132{,}0} = \frac{86{,}21}{20{,}0 \cdot 132{,}0} = 0{,}0327$$

$b_w = 20{,}0\ \text{cm}$

$d = 132{,}0\ \text{cm}$

$$V_{Rd,c} = \left[0{,}12 \cdot 1{,}39 \cdot (100 \cdot 0{,}0327 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0{,}15 \cdot 0{,}9 \cdot \frac{3693930}{1053000}\right] \cdot 200 \cdot 1320 = 338824{,}11\ \text{N} = 338{,}82\ \text{kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq (\nu_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$k_1 = 0{,}15$

$$\nu_{min} = 0{,}035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0{,}035 \cdot 1{,}39^{\frac{3}{2}} \cdot 35{,}0^{\frac{1}{2}} = 0{,}34$$

$$V_{Rd,c} \geq \left(0{,}34 + 0{,}15 \cdot \frac{3693930}{1053000}\right) \cdot 200 \cdot 1320 = 228677{,}03\ \text{N} = 228{,}68\ \text{kN}$$

$$V_{Rd,c} = 338{,}82\ \text{kN} > 228{,}68\ \text{kN}$$

Maksimalna poprečna sila (poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{35{,}0}{250}\right) = 0{,}516$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot 0{,}516 \cdot 200 \cdot 1320 \cdot 23{,}33 = 1589052{,}96\ \text{N} = 1589{,}05\ \text{kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1589{,}05\ \text{kN} > V_{Ed,max} = 1042{,}13\ \text{kN}$$

Maksimalni razmak spona:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{1042{,}13}{1589{,}05} = 0{,}66 \rightarrow V_{Ed} = 0{,}66 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0{,}3d;\ 20\ \text{cm}) = \min(0{,}3 \cdot 132{,}0 = 39{,}60\ \text{cm};\ 20{,}0\ \text{cm})$$

$$s_{w,max} = 20{,}0\ \text{cm}$$

Potrebna računska armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0{,}0011 \cdot 20{,}0 \cdot 20{,}0}{2} = 0{,}22\ \text{cm}^2$$

Odabrane spone: $\boldsymbol{\emptyset 12/20\ \text{cm}}$ $\boldsymbol{(A_s = 1{,}13\ \text{cm}^2)}$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta = \frac{1{,}13}{20{,}0} \cdot (0{,}9 \cdot 132) \cdot 43{,}48 \cdot 2 = 583{,}69 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti betona:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd}}{\tan\theta + ctg\theta} = \frac{1 \cdot 200 \cdot (0{,}9 \cdot 1320) \cdot 0{,}516 \cdot 23{,}33}{1 + 1} = 1430147{,}66 \text{ N} = 1430{,}15 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1430{,}15 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 1042{,}13 \text{ kN}$$

Potrebni razmak odabranih spona:

$$s_{w,pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1{,}13 \cdot 43{,}48 \cdot 0{,}9 \cdot 132{,}0}{1042{,}13} = 11{,}20 \text{ cm}$$

Odabrano: $\mathbf{\emptyset 12/10\ cm}$ $\mathbf{(A_s = 1{,}13\ cm^2)}$

Napomena: Izračunata je nosivost presjeka u polju (presjek koji počinje na 2,30 m od kraja), a računska poprečna sila izračunata je na samom kraju, što je na strani sigurnosti.

6.6.1.3 Proračun armature za sprezanje nosača s kolničkom pločom

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_{g,z} + V_{g,p}\right) \cdot \alpha + \gamma_g \cdot V_{\Delta g} + \gamma_q \cdot V_q$$

$\alpha = 0{,}15$ (parametar raspodjele od puzanja)

$$V_{Ed} = 1{,}35 \cdot (166{,}66 + 204{,}29) \cdot 0{,}15 + 1{,}35 \cdot 181{,}52 + 1{,}5 \cdot 368{,}41 = 872{,}78 \text{ kN}$$

Statički moment površine presjeka:

$$S_{x-x} = A_{kp} \cdot e = 3{,}04 \cdot 0{,}20 \cdot (0{,}4113 - 0{,}10) = 0{,}1893 \text{ m}^3$$

Ukupni moment inercije:

$$I_x = 0{,}2171 \text{ m}^4$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_{x-x} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{x-x}}{I_x \cdot b} = \frac{872{,}78 \cdot 0{,}1893}{0{,}2171 \cdot 0{,}80} = 951{,}27 \text{ kN/m}^2 \text{ /m}'$$

Sila na odrez:

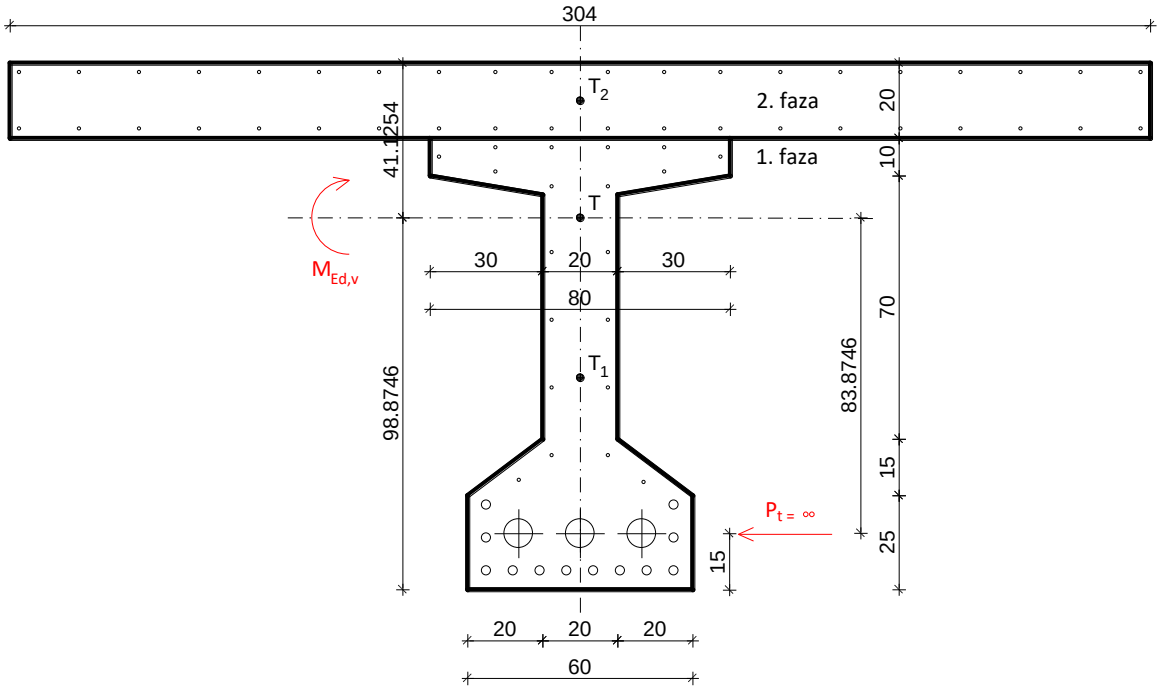
$$Q_{Ed,x-x} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{x-x}}{I_x} = \frac{872{,}78 \cdot 0{,}1893}{0{,}2171} = 761{,}02 \text{ kN/m}'$$

Potrebna armatura:

$$A_{sw,x-x} = \frac{Q_{Ed,x-x}}{f_{yd}} = \frac{761{,}02}{43{,}48} = 17{,}50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: $\mathbf{6 \cdot 4 \cdot \emptyset 10 = 4 \cdot \emptyset\, 10/15 = 18{,}96 \text{ cm}^2/\text{m}'}$

6.6.2 Proračun klasične armature najmanje opterećenog rubnog nosača (N7)



Tablica 62. Koeficijenti sigurnosti

Djelovanje	Stalno (γ_g)	Pokretno (γ_q)	Prednaprezanje (γ_p)
Nepovoljno	1,35	1,5	1,0 – 1,2
Povoljno	1,0	1,0	0,9 – 1,0

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,v} = \gamma_g \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot M_q$$

$$M_{Ed,v} = 1{,}35 \cdot (1103{,}32 + 1352{,}46 + 280{,}48) + 1{,}5 \cdot 2642{,}98 = 7658{,}42\ \text{kNm}$$

Konačna sila prednaprezanja:

$$P_{t=\infty} = 3570{,}52\ \text{kN}$$

Mjerodavni moment savijanja:

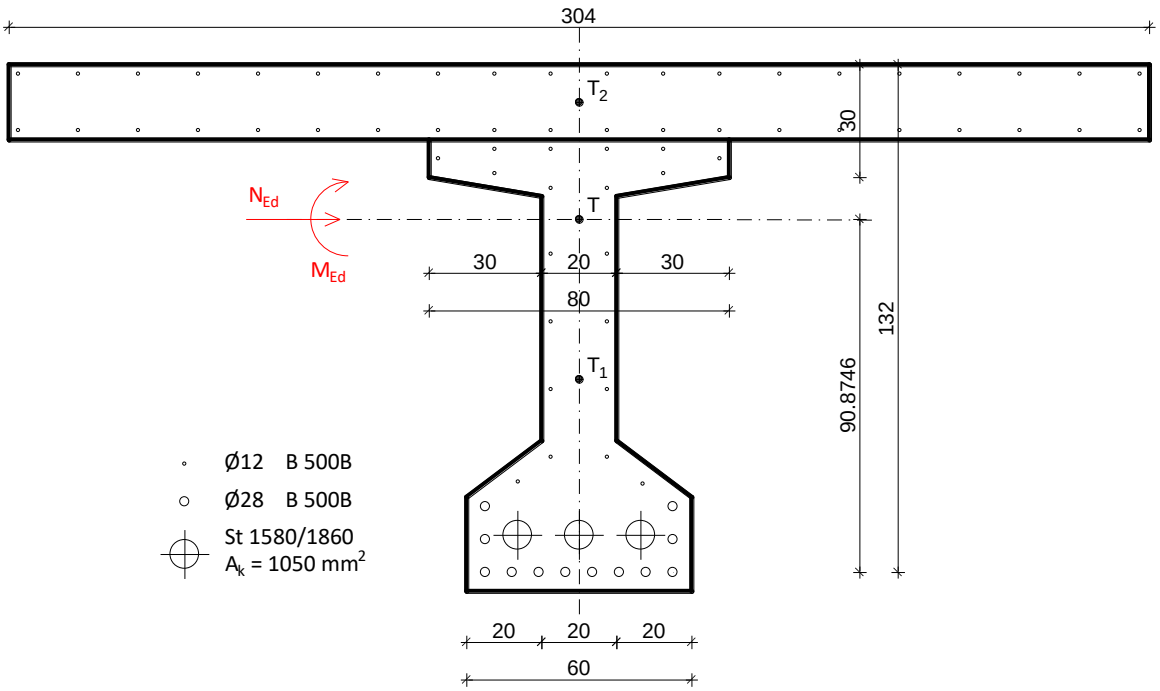
$$M_{Ed} = M_{Ed,v} - \gamma_p \cdot P_{t=\infty} \cdot y_t$$

$$M_{Ed} = 7658{,}42 - 0{,}9 \cdot 3570{,}52 \cdot 0{,}8387 = 4963{,}28\ \text{kNm}$$

Mjerodavna uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \gamma_p \cdot P_{t=\infty} = 0{,}9 \cdot 3570{,}52 = 3213{,}47\ \text{kN}$$

6.6.2.1 Dimenzioniranje na moment savijanja (presjek 11 – 11)



$$M_{Ed,s} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot y_s = 4963{,}28 + 3213{,}47 \cdot 0{,}9087 = 7883{,}36\ \text{kNm}$$

$b_{eff} = 304{,}0\ \text{cm}$

$H = 140{,}0\ \text{cm}$

$d_1 = 8{,}0\ \text{cm}$

$d = H - d_1 = 140{,}0 - 8{,}0 = 132{,}0\ \text{cm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7883{,}36 \cdot 100}{304{,}0 \cdot 132{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}064$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0\ ‰$ očitano: $\varepsilon_{c2} = 1{,}6\ ‰\ ; \zeta = 0{,}950\ ;\ \xi = 0{,}138$

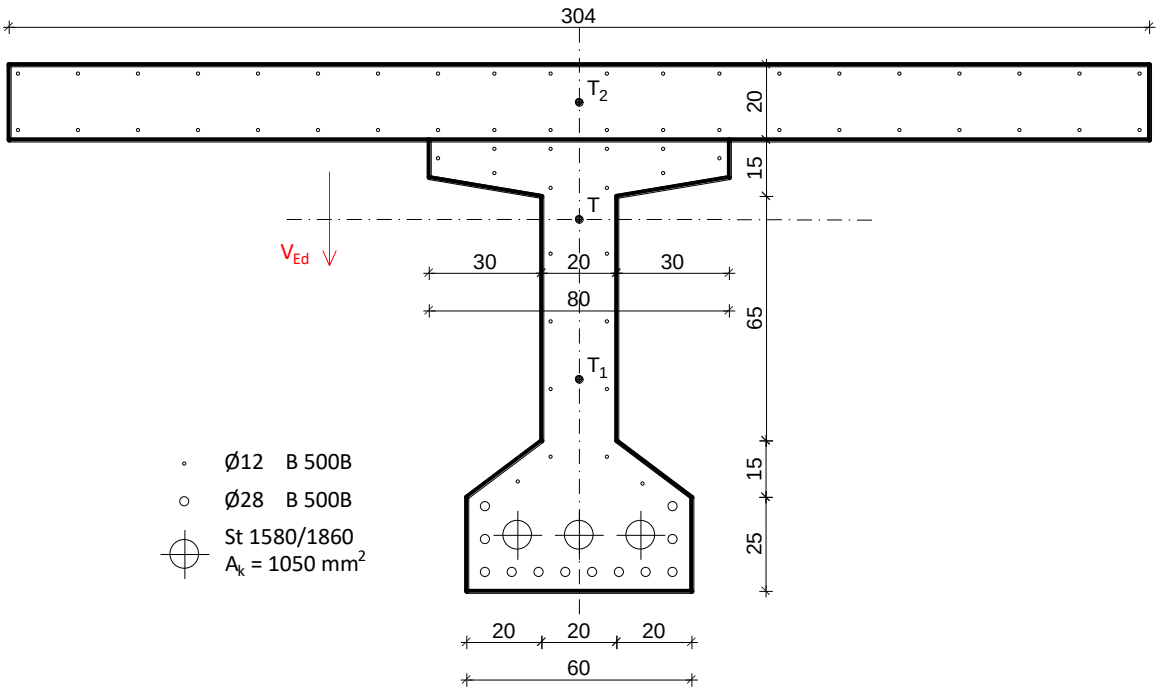
Položaj N.O.: $x = \xi \cdot d = 0{,}138 \cdot 132{,}0 = 18{,}22\ \text{cm} < h_f = 30{,}0\ \text{cm}$

Krak unutarnjih sila: $z = \zeta \cdot d = 0{,}950 \cdot 132{,}0 = 125{,}40\ \text{cm}$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{7883{,}36 \cdot 100}{0{,}950 \cdot 132{,}0 \cdot 43{,}48} - \frac{3213{,}47}{43{,}48} = 70{,}68\ \text{cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{12\emptyset28}\ (\mathbf{A_s = 73{,}89\ cm^2})$

6.6.2.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu (presjek 10 – 10)



Sila prednaprezanja (vertikalna komponenta):

$$V_{pd,\infty} = \sin\alpha \cdot P_{t,\infty} \cdot 0{,}9 = \sin(4{,}4430°) \cdot 3570{,}52 \cdot 0{,}9 = 248{,}94\ \text{kN}$$

Sila prednaprezanja (horizontalna komponenta):

$$V_{pd,\infty} = \cos\alpha \cdot P_{t,\infty} \cdot 0{,}9 = \cos(4{,}4430°) \cdot 3570{,}52 \cdot 0{,}9 = 3203{,}81\ \text{kN}$$

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_{g,z} + V_{g,p} + V_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot V_q - \gamma_p \cdot V_p$$

$$V_{Ed} = 1{,}35 \cdot (165{,}42 + 202{,}77 + 165{,}32) + 1{,}5 \cdot 368{,}41 - 0{,}9 \cdot 248{,}94 = 1048{,}81\ \text{kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton:

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = \frac{0{,}18}{1{,}5} = 0{,}12$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1320{,}0}} = 1{,}39 \leq 2{,}0 \rightarrow k = 1{,}39$$

$$\rho_1 = \frac{\Sigma A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{12\text{Ø}28}{20{,}0 \cdot 132{,}0} = \frac{73{,}89}{20{,}0 \cdot 132{,}0} = 0{,}0280$$

$b_w = 20{,}0\ \text{cm}$

$d = 132{,}0\ \text{cm}$

$$V_{Rd,c} = \left[0{,}12 \cdot 1{,}39 \cdot (100 \cdot 0{,}0280 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0{,}15 \cdot 0{,}9 \cdot \frac{3203810}{1053000}\right] \cdot 200 \cdot 1320 = 311458{,}13\ \text{N} = 311{,}46\ \text{kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq (\nu_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$k_1 = 0{,}15$

$$\nu_{min} = 0{,}035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0{,}035 \cdot 1{,}39^{\frac{3}{2}} \cdot 35{,}0^{\frac{1}{2}} = 0{,}34$$

$$V_{Rd,c} \geq \left(0{,}34 + 0{,}15 \cdot \frac{3203810}{1053000}\right) \cdot 200 \cdot 1320 = 210245{,}16\ \text{N} = 210{,}25\ \text{kN}$$

$V_{Rd,c} = 311{,}46\ \text{kN} > 210{,}25\ \text{kN}$

Maksimalna poprečna sila (poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{35{,}0}{250}\right) = 0{,}516$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot 0{,}516 \cdot 200 \cdot 1320 \cdot 23{,}33 = 1589052{,}96\ \text{N} = 1589{,}05\ \text{kN}$$

$V_{Rd,max} = 1589{,}05\ \text{kN} > V_{Ed,max} = 1048{,}81\ \text{kN}$

Maksimalni razmak spona:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{1048{,}81}{1589{,}05} = 0{,}66 \rightarrow V_{Ed} = 0{,}66 \cdot V_{Rd,max}$$

$s_{w,max} = \min(0{,}3d; 20\ \text{cm}) = \min(0{,}3 \cdot 132{,}0 = 39{,}60\ \text{cm}; 20{,}0\ \text{cm})$

$s_{w,max} = 20{,}0\ \text{cm}$

Potrebna računska armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0{,}0011 \cdot 20{,}0 \cdot 20{,}0}{2} = 0{,}22\ \text{cm}^2$$

Odabrane spone: $\boldsymbol{\emptyset 12/20\ \text{cm}}$ $\boldsymbol{(A_s = 1{,}13\ \text{cm}^2)}$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta = \frac{1{,}13}{20{,}0} \cdot (0{,}9 \cdot 132) \cdot 43{,}48 \cdot 2 = 583{,}69 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti betona:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd}}{\tan\theta + ctg\theta} = \frac{1 \cdot 200 \cdot (0{,}9 \cdot 1320) \cdot 0{,}516 \cdot 23{,}33}{1 + 1} = 1430147{,}66 \text{ N} = 1430{,}15 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1430{,}15 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 1042{,}13 \text{ kN}$$

Potrebni razmak odabranih spona:

$$s_{w,pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1{,}13 \cdot 43{,}48 \cdot 0{,}9 \cdot 132{,}0}{1048{,}81} = 11{,}13 \text{ cm}$$

Odabrano: $\boldsymbol{\emptyset 12/10 \text{ cm}}$ $\boldsymbol{(A_s = 1{,}13 \text{ cm}^2)}$

Napomena: Izračunata je nosivost presjeka u polju (presjek koji počinje na 2,30 m od kraja), a računska poprečna sila izračunata je na samom kraju, što je na strani sigurnosti.

6.6.2.3 Proračun armature za sprezanje nosača s kolničkom pločom

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_{g,z} + V_{g,p}\right) \cdot \alpha + \gamma_g \cdot V_{\Delta g} + \gamma_q \cdot V_q$$

$\alpha = 0{,}15$ (parametar raspodjele od puzanja)

$$V_{Ed} = 1{,}35 \cdot (165{,}42 + 202{,}77) \cdot 0{,}15 + 1{,}35 \cdot 165{,}32 + 1{,}5 \cdot 368{,}41 = 850{,}36 \text{ kN}$$

Statički moment površine presjeka:

$$S_{x-x} = A_{kp} \cdot e = 3{,}04 \cdot 0{,}20 \cdot (0{,}4113 - 0{,}10) = 0{,}1893 \text{ m}^3$$

Ukupni moment inercije:

$$I_x = 0{,}2171 \text{ m}^4$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_{x-x} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{x-x}}{I_x \cdot b} = \frac{850{,}36 \cdot 0{,}1893}{0{,}2171 \cdot 0{,}80} = 926{,}84 \text{ kN/m}^2 \text{ /m}'$$

Sila na odrez:

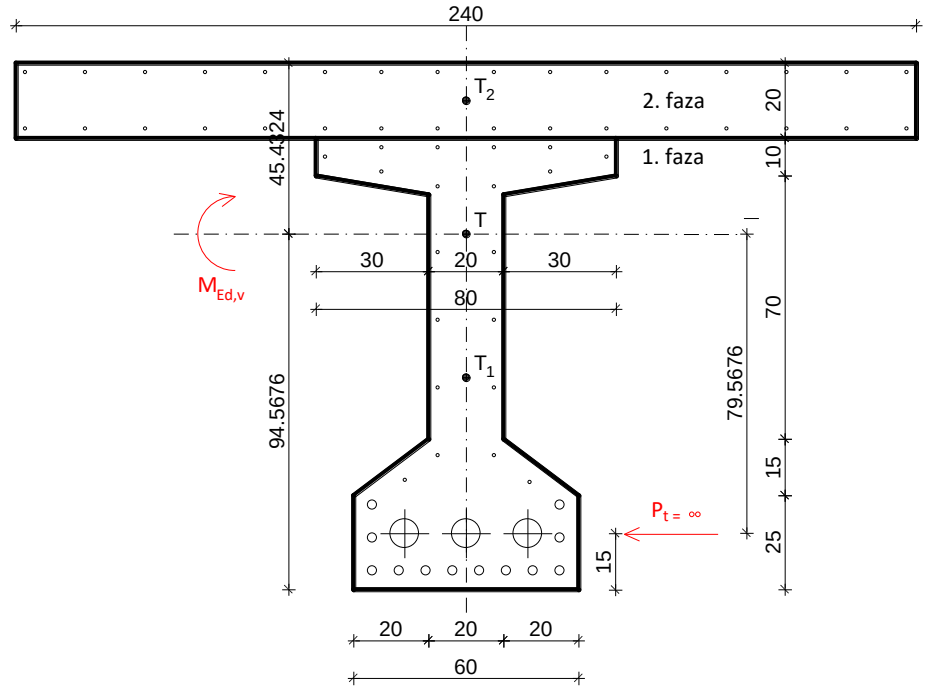
$$Q_{Ed,x-x} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{x-x}}{I_x} = \frac{850{,}36 \cdot 0{,}1893}{0{,}2171} = 741{,}47 \text{ kN/m}'$$

Potrebna armatura:

$$A_{sw,x-x} = \frac{Q_{Ed,x-x}}{f_{yd}} = \frac{741{,}47}{43{,}48} = 17{,}05 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: $\mathbf{6 \cdot 4 \cdot \emptyset 10 = 4 \cdot \emptyset\, 10/15 = 18{,}96\ cm^2/m'}$

6.6.3 Proračun klasične armature najopterećenijeg središnjeg nosača (N5)



Tablica 63. Koeficijenti sigurnosti

Djelovanje	Stalno (γ_g)	Pokretno (γ_q)	Prednaprezanje (γ_p)
Nepovoljno	1,35	1,5	1,0 – 1,2
Povoljno	1,0	1,0	0,9 – 1,0

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,v} = \gamma_g \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot M_q$$

$$M_{Ed,v} = 1{,}35 \cdot (1063{,}98 + 1029{,}66 + 576{,}58) + 1{,}5 \cdot 2615{,}45 = 7527{,}97\ \text{kNm}$$

Konačna sila prednaprezanja:

$$P_{t=\infty} = 3567{,}27\ \text{kN}$$

Mjerodavni moment savijanja:

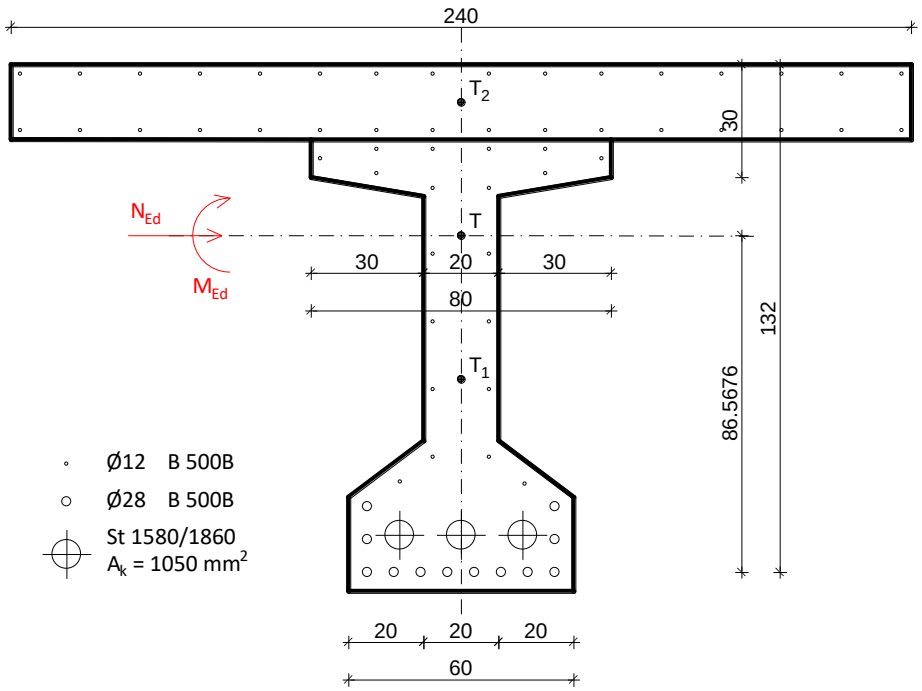
$$M_{Ed} = M_{Ed,v} - \gamma_p \cdot P_{t=\infty} \cdot y_t$$

$$M_{Ed} = 7527{,}97 - 0{,}9 \cdot 3567{,}27 \cdot 0{,}7957 = 4973{,}34\ \text{kNm}$$

Mjerodavna uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \gamma_p \cdot P_{t=\infty} = 0{,}9 \cdot 3567{,}27 = 3210{,}54\ \text{kN}$$

6.6.3.1 Dimenzioniranje na moment savijanja (presjek 8 – 8)



$$M_{Ed,s} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot y_s = 4973{,}34 + 3210{,}54 \cdot 0{,}8657 = 7752{,}70\ \text{kNm}$$

$b_{eff} = 240{,}0\ \text{cm}$

$H = 140{,}0\ \text{cm}$

$d_1 = 8{,}0\ \text{cm}$

$d = H - d_1 = 140{,}0 - 8{,}0 = 132{,}0\ \text{cm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7752{,}70 \cdot 100}{240{,}0 \cdot 132{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}080$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0\ ‰$ očitano: $\varepsilon_{c2} = 1{,}9\ ‰\ ; \zeta = 0{,}941\ ;\ \xi = 0{,}160$

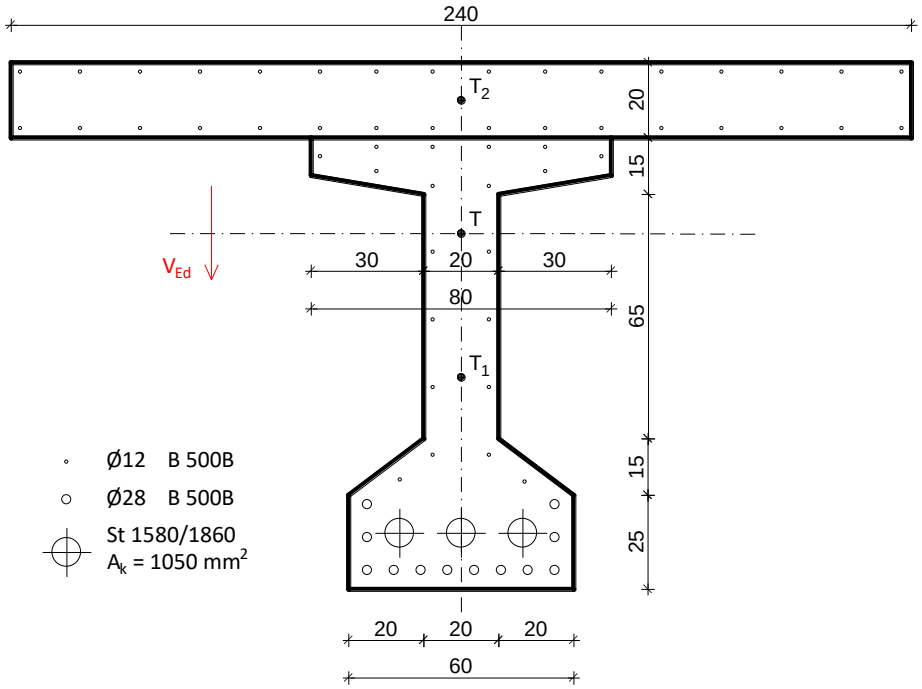
Položaj N.O.: $x = \xi \cdot d = 0{,}160 \cdot 132{,}0 = 21{,}12\ \text{cm} < h_f = 30{,}0\ \text{cm}$

Krak unutarnjih sila: $z = \zeta \cdot d = 0{,}941 \cdot 132{,}0 = 124{,}21\ \text{cm}$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{7752{,}70 \cdot 100}{0{,}941 \cdot 132{,}0 \cdot 43{,}48} - \frac{3210{,}54}{43{,}48} = 69{,}71\ \text{cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{12\text{Ø}28}\ \ (\mathbf{A_s = 73{,}89\ cm^2})$

6.6.3.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu (presjek 9 – 9)



Sila prednaprezanja (vertikalna komponenta):

$$V_{pd,\infty} = \sin\alpha \cdot P_{t,\infty} \cdot 0{,}9 = \sin(4{,}5227°) \cdot 3567{,}27 \cdot 0{,}9 = 253{,}16\ \text{kN}$$

Sila prednaprezanja (horizontalna komponenta):

$$V_{pd,\infty} = \cos\alpha \cdot P_{t,\infty} \cdot 0{,}9 = \cos(4{,}5227°) \cdot 3567{,}27 \cdot 0{,}9 = 3200{,}55\ \text{kN}$$

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_{g,z} + V_{g,p} + V_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot V_q - \gamma_p \cdot V_p$$

$$V_{Ed} = 1{,}35 \cdot (162{,}44 + 157{,}20 + 68{,}44) + 1{,}5 \cdot 405{,}45 - 0{,}9 \cdot 253{,}16 = 904{,}24\ \text{kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton:

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = \frac{0{,}18}{1{,}5} = 0{,}12$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1320{,}0}} = 1{,}39 \leq 2{,}0 \rightarrow k = 1{,}39$$

$$\rho_1 = \frac{\Sigma A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{12\text{Ø}28}{20{,}0 \cdot 132{,}0} = \frac{73{,}89}{20{,}0 \cdot 132{,}0} = 0{,}0280$$

$b_w = 20{,}0\ \text{cm}$

$d = 132{,}0\ \text{cm}$

$$V_{Rd,c} = \left[0{,}12 \cdot 1{,}39 \cdot (100 \cdot 0{,}0280 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0{,}15 \cdot 0{,}9 \cdot \frac{3200550}{925000}\right] \cdot 200 \cdot 1320 = 326337{,}81\ \text{N} = 326{,}34\ \text{kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq (\nu_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$k_1 = 0{,}15$

$$\nu_{min} = 0{,}035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0{,}035 \cdot 1{,}39^{\frac{3}{2}} \cdot 35{,}0^{\frac{1}{2}} = 0{,}34$$

$$V_{Rd,c} \geq \left(0{,}34 + 0{,}15 \cdot \frac{3200550}{925000}\right) \cdot 200 \cdot 1320 = 226778{,}14\ \text{N} = 226{,}78\ \text{kN}$$

$$V_{Rd,c} = 326{,}34\ \text{kN} > 226{,}78\ \text{kN}$$

Maksimalna poprečna sila (poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0{,}6 \cdot (1{,}0 - \frac{f_{ck}}{250}) = 0{,}6 \cdot (1{,}0 - \frac{35{,}0}{250}) = 0{,}516$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot 0{,}516 \cdot 200 \cdot 1320 \cdot 23{,}33 = 1589052{,}96\ \text{N} = 1589{,}05\ \text{kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1589{,}05\ \text{kN} > V_{Ed,max} = 904{,}24\ \text{kN}$$

Maksimalni razmak spona:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{904{,}24}{1589{,}05} = 0{,}57 \rightarrow V_{Ed} = 0{,}57 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0{,}55d; 30\ \text{cm}) = \min(0{,}55 \cdot 132{,}0 = 72{,}60\ \text{cm}; 30{,}0\ \text{cm})$$

$$s_{w,max} = 30{,}0\ \text{cm}$$

Potrebna računska armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0{,}0011 \cdot 30{,}0 \cdot 20{,}0}{2} = 0{,}33\ \text{cm}^2$$

Odabrane spone: $\boldsymbol{\emptyset 12/20\ \text{cm}}$ $\boldsymbol{(A_s = 1{,}13\ \text{cm}^2)}$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta = \frac{1{,}13}{20{,}0} \cdot (0{,}9 \cdot 132) \cdot 43{,}48 \cdot 2 = 583{,}69 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti betona:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd}}{\tan\theta + ctg\theta} = \frac{1 \cdot 200 \cdot (0{,}9 \cdot 1320) \cdot 0{,}516 \cdot 23{,}33}{1 + 1} = 1430147{,}66 \text{ N} = 1430{,}15 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1430{,}15 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 904{,}24 \text{ kN}$$

Potrebni razmak odabranih spona:

$$s_{w,pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1{,}13 \cdot 43{,}48 \cdot 0{,}9 \cdot 132{,}0}{904{,}24} = 12{,}91 \text{ cm}$$

Odabrano: $\mathbf{\emptyset 12/10\ cm}$ $\left(\mathbf{A_s = 1{,}13\ cm^2}\right)$

Napomena: Izračunata je nosivost presjeka u polju (presjek koji počinje na 2,30 m od kraja), a računska poprečna sila izračunata je na samom kraju, što je na strani sigurnosti.

6.6.3.3 Proračun armature za sprezanje nosača s kolničkom pločom

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_{g,z} + V_{g,p}\right) \cdot \alpha + \gamma_g \cdot V_{\Delta g} + \gamma_q \cdot V_q$$

$\alpha = 0{,}15$ (parametar raspodjele od puzanja)

$$V_{Ed} = 1{,}35 \cdot (162{,}44 + 157{,}20) \cdot 0{,}15 + 1{,}35 \cdot 68{,}44 + 1{,}5 \cdot 405{,}45 = 765{,}30 \text{ kN}$$

Statički moment površine presjeka:

$$S_{x-x} = A_{kp} \cdot e = 2{,}40 \cdot 0{,}20 \cdot (0{,}4543 - 0{,}10) = 0{,}1701 \text{ m}^3$$

Ukupni moment inercije:

$$I_x = 0{,}2026 \text{ m}^4$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_{x-x} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{x-x}}{I_x \cdot b} = \frac{765{,}30 \cdot 0{,}1701}{0{,}2026 \cdot 0{,}80} = 803{,}17 \text{ kN/m}^2 \text{ /m}'$$

Sila na odrez:

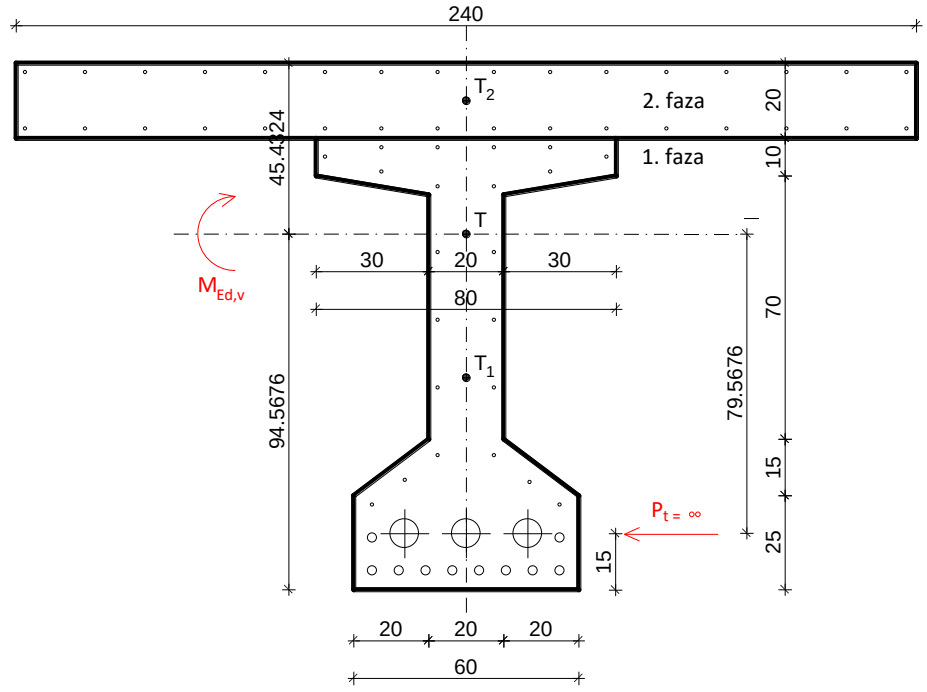
$$Q_{Ed,x-x} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{x-x}}{I_x} = \frac{765{,}30 \cdot 0{,}1701}{0{,}2026} = 642{,}53 \text{ kN/m}'$$

Potrebna armatura:

$$A_{sw,x-x} = \frac{Q_{Ed,x-x}}{f_{yd}} = \frac{642{,}53}{43{,}48} = 14{,}78 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: $\mathbf{6 \cdot 4 \cdot \emptyset 10 = 4 \cdot \emptyset\, 10/15 = 18{,}96 \text{ cm}^2/\text{m}'}$

6.6.4 Proračun klasične armature najmanje opterećenog središnjeg nosača (N8)



Tablica 64. Koeficijenti sigurnosti

Djelovanje	Stalno (γ_g)	Pokretno (γ_q)	Prednaprezanje (γ_p)
Nepovoljno	1,35	1,5	1,0 – 1,2
Povoljno	1,0	1,0	0,9 – 1,0

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,v} = \gamma_g \cdot \left(M_{g,z} + M_{g,p} + M_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot M_q$$

$$M_{Ed,v} = 1{,}35 \cdot (1047{,}80 + 1014{,}0 + 161{,}84) + 1{,}5 \cdot 2159{,}55 = 6241{,}24\ \text{kNm}$$

Konačna sila prednaprezanja:

$$P_{t=\infty} = 3140{,}56\ \text{kN}$$

Mjerodavni moment savijanja:

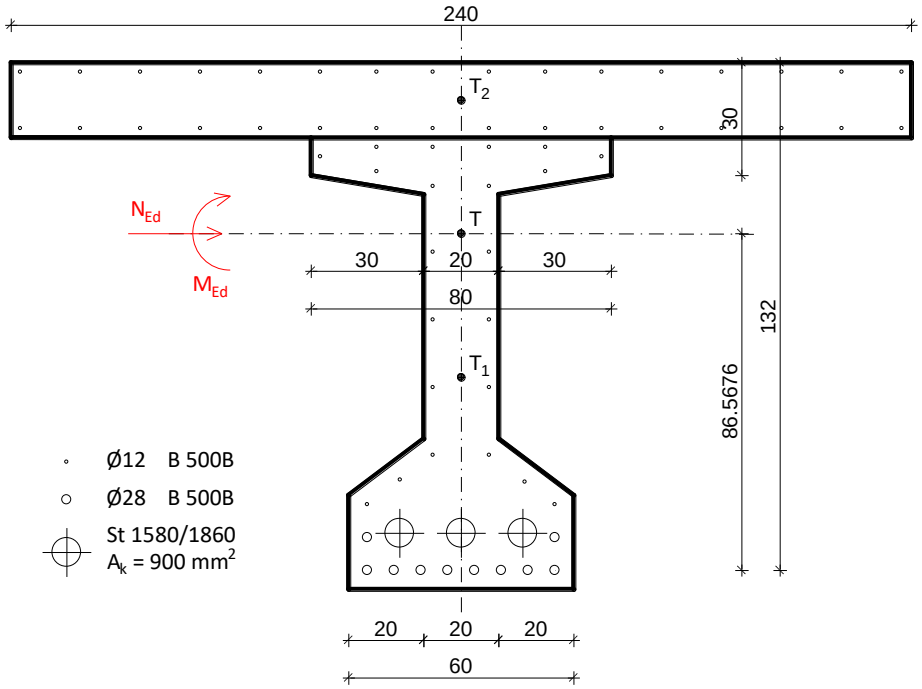
$$M_{Ed} = M_{Ed,v} - \gamma_p \cdot P_{t=\infty} \cdot y_t$$

$$M_{Ed} = 6241{,}24 - 0{,}9 \cdot 3140{,}56 \cdot 0{,}7957 = 3992{,}19\ \text{kNm}$$

Mjerodavna uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \gamma_p \cdot P_{t=\infty} = 0{,}9 \cdot 3140{,}56 = 2826{,}50\ \text{kN}$$

6.6.4.1 Dimenzioniranje na moment savijanja (presjek 11 – 11)



$$M_{Ed,s} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot y_s = 3992{,}19 + 2826{,}50 \cdot 0{,}8657 = 6439{,}09\ \text{kNm}$$

$b_{eff} = 240{,}0\ \text{cm}$

$H = 140{,}0\ \text{cm}$

$d_1 = 8{,}0\ \text{cm}$

$d = H - d_1 = 140{,}0 - 8{,}0 = 132{,}0\ \text{cm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{6439{,}09 \cdot 100}{240{,}0 \cdot 132{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}066$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0\ ‰$ očitano: $\varepsilon_{c2} = 1{,}7\ ‰\ ; \zeta = 0{,}947\ ;\ \xi = 0{,}145$

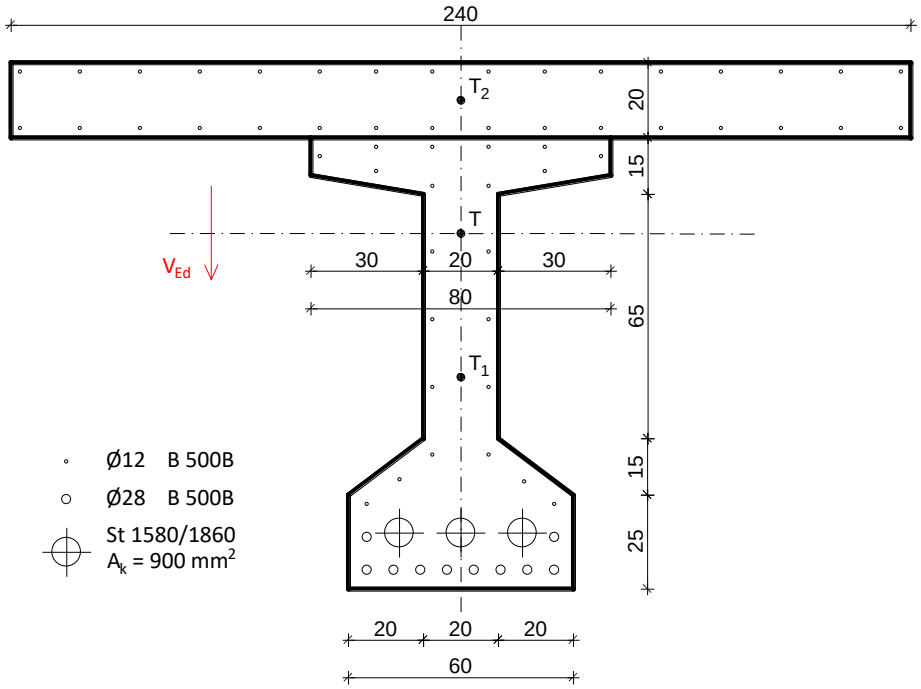
Položaj N.O.: $x = \xi \cdot d = 0{,}145 \cdot 132{,}0 = 19{,}14\ \text{cm} < h_f = 30{,}0\ \text{cm}$

Krak unutarnjih sila: $z = \zeta \cdot d = 0{,}947 \cdot 132{,}0 = 125{,}0\ \text{cm}$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{6439{,}09 \cdot 100}{0{,}947 \cdot 132{,}0 \cdot 43{,}48} - \frac{2826{,}50}{43{,}48} = 53{,}46\ \text{cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{10\text{Ø}28}\ (\mathbf{A_s = 61{,}58\ cm^2})$

6.6.4.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu (presjek 10 – 10)



Sila prednaprezanja (vertikalna komponenta):

$$V_{pd,\infty} = \sin\alpha \cdot P_{t,\infty} \cdot 0{,}9 = \sin(4{,}5568°) \cdot 3140{,}56 \cdot 0{,}9 = 224{,}56\ \text{kN}$$

Sila prednaprezanja (horizontalna komponenta):

$$V_{pd,\infty} = \cos\alpha \cdot P_{t,\infty} \cdot 0{,}9 = \cos(4{,}5568°) \cdot 3140{,}56 \cdot 0{,}9 = 2817{,}57\ \text{kN}$$

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_{g,z} + V_{g,p} + V_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot V_q - \gamma_p \cdot V_p$$

$$V_{Ed} = 1{,}35 \cdot (161{,}20 + 156{,}0 + 44{,}48) + 1{,}5 \cdot 405{,}45 - 0{,}9 \cdot 224{,}56 = 894{,}34\ \text{kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton:

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = \frac{0{,}18}{1{,}5} = 0{,}12$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1320{,}0}} = 1{,}39 \leq 2{,}0 \rightarrow k = 1{,}39$$

$$\rho_1 = \frac{\Sigma A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{10\text{Ø}28}{20{,}0 \cdot 132{,}0} = \frac{61{,}58}{20{,}0 \cdot 132{,}0} = 0{,}0233$$

$b_w = 20{,}0\ \text{cm}$

$d = 132{,}0\ \text{cm}$

$$V_{Rd,c} = \left[0{,}12 \cdot 1{,}39 \cdot (100 \cdot 0{,}0233 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0{,}15 \cdot 0{,}9 \cdot \frac{2817570}{925000}\right] \cdot 200 \cdot 1320 = 299519{,}72\ \text{N} = 299{,}52\ \text{kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq (\nu_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$k_1 = 0{,}15$

$$\nu_{min} = 0{,}035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0{,}035 \cdot 1{,}39^{\frac{3}{2}} \cdot 35{,}0^{\frac{1}{2}} = 0{,}34$$

$$V_{Rd,c} \geq \left(0{,}34 + 0{,}15 \cdot \frac{2817570}{925000}\right) \cdot 200 \cdot 1320 = 210382{,}46\ \text{N} = 210{,}38\ \text{kN}$$

$V_{Rd,c} = 299{,}52\ \text{kN} > 210{,}38\ \text{kN}$

Maksimalna poprečna sila (poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{35{,}0}{250}\right) = 0{,}516$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot 0{,}516 \cdot 200 \cdot 1320 \cdot 23{,}33 = 1589052{,}96\ \text{N} = 1589{,}05\ \text{kN}$$

$V_{Rd,max} = 1589{,}05\ \text{kN} > V_{Ed,max} = 894{,}34\ \text{kN}$

Maksimalni razmak spona:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{894{,}34}{1589{,}05} = 0{,}56 \rightarrow V_{Ed} = 0{,}56 \cdot V_{Rd,max}$$

$s_{w,max} = \min(0{,}55d;\ 30\ \text{cm}) = \min(0{,}55 \cdot 132{,}0 = 72{,}60\ \text{cm};\ 30{,}0\ \text{cm})$

$s_{w,max} = 30{,}0\ \text{cm}$

Potrebna računska armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0{,}0011 \cdot 30{,}0 \cdot 20{,}0}{2} = 0{,}33\ \text{cm}^2$$

Odabrane spone: $\boldsymbol{\emptyset 12/20\ \text{cm}}$ $\boldsymbol{(A_s = 1{,}13\ \text{cm}^2)}$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta = \frac{1{,}13}{30{,}0} \cdot (0{,}9 \cdot 132) \cdot 43{,}48 \cdot 2 = 583{,}69 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti betona:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd}}{\tan\theta + ctg\theta} = \frac{1 \cdot 200 \cdot (0{,}9 \cdot 1320) \cdot 0{,}516 \cdot 23{,}33}{1 + 1} = 1430147{,}66 \text{ N} = 1430{,}15 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1430{,}15 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 894{,}34 \text{ kN}$$

Potrebni razmak odabranih spona:

$$s_{w,pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1{,}13 \cdot 43{,}48 \cdot 0{,}9 \cdot 132{,}0}{894{,}34} = 13{,}05 \text{ cm}$$

Odabrano: $\mathbf{\emptyset 12/10\ cm}$ $\mathbf{(A_s = 1{,}13\ cm^2)}$

Napomena: Izračunata je nosivost presjeka u polju (presjek koji počinje na 2,30 m od kraja), a računska poprečna sila izračunata je na samom kraju, što je na strani sigurnosti.

6.6.4.3 Proračun armature za sprezanje nosača s kolničkom pločom

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_{g,z} + V_{g,p}\right) \cdot \alpha + \gamma_g \cdot V_{\Delta g} + \gamma_q \cdot V_q$$

$\alpha = 0{,}15$ (parametar raspodjele od puzanja)

$$V_{Ed} = 1{,}35 \cdot (161{,}20 + 156{,}0) \cdot 0{,}15 + 1{,}35 \cdot 44{,}48 + 1{,}5 \cdot 405{,}45 = 732{,}46 \text{ kN}$$

Statički moment površine presjeka:

$$S_{x-x} = A_{kp} \cdot e = 2{,}40 \cdot 0{,}20 \cdot (0{,}4543 - 0{,}10) = 0{,}1701 \text{ m}^3$$

Ukupni moment inercije:

$$I_x = 0{,}2026 \text{ m}^4$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_{x-x} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{x-x}}{I_x \cdot b} = \frac{732{,}46 \cdot 0{,}1701}{0{,}2026 \cdot 0{,}80} = 768{,}70 \text{ kN/m}^2 \text{ /m}'$$

Sila na odrez:

$$Q_{Ed,x-x} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{x-x}}{I_x} = \frac{732{,}46 \cdot 0{,}1701}{0{,}2026} = 614{,}96 \text{ kN/m}'$$

Potrebna armatura:

$$A_{sw,x-x} = \frac{Q_{Ed,x-x}}{f_{yd}} = \frac{614{,}96}{43{,}48} = 14{,}14 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: $\mathbf{6 \cdot 4 \cdot \emptyset 10 = 4 \cdot \emptyset\, 10/15 = 18{,}96 \text{ cm}^2/\text{m}'}$

7 PRORAČUN POPREČNIH NOSAČA

Za potrebe proračuna poprečnih nosača korišten je isti proračunski model, odnosno proračunski model koji je korišten za proračun uzdužnih nosača. Za svaki od poprečnih nosača (iznad stupova i iznad upornjaka) napravljena je kombinacija pokretnog opterećenja koja daje maksimalni moment za dimenzioniranje gornje i donje zone nosača.

7.1 Analiza opterećenja

7.1.1 Vlastita težina

Utjecaji od vlastite težine poprečnog nosača određeni su kroz proračunski model.

7.1.2 Dodatno stalno opterećenje

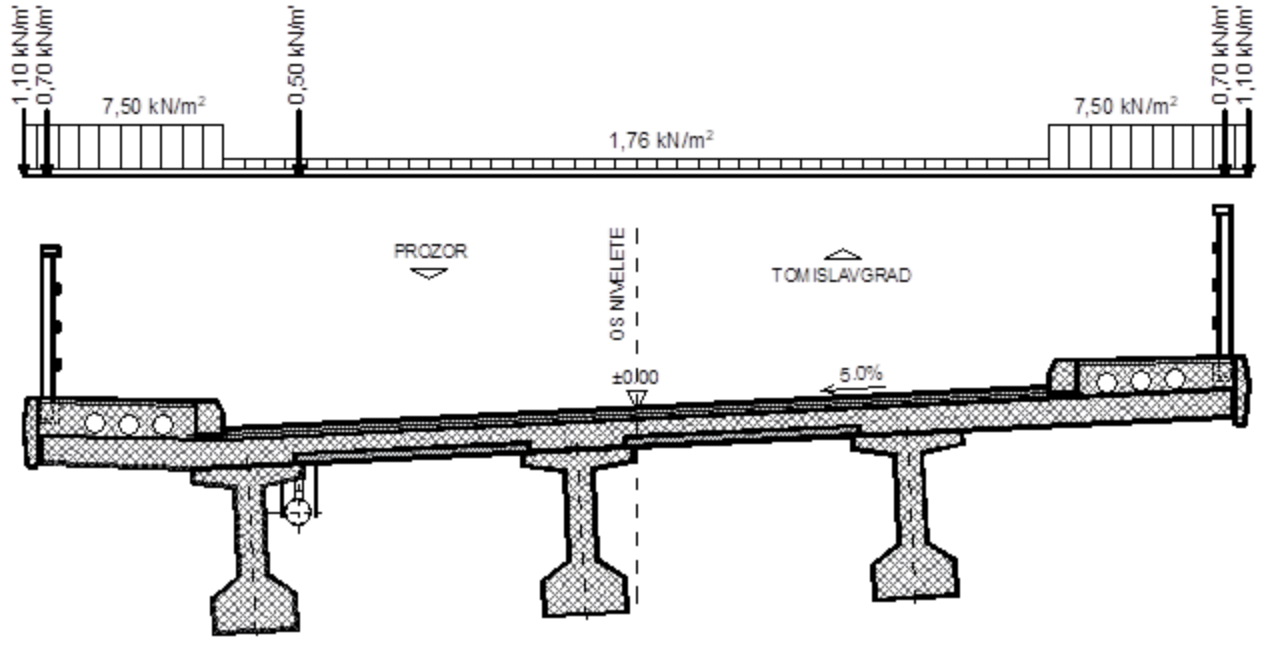
Kolnički zastor: $0{,}08 \cdot 22{,}0 = 1{,}76\ \mathrm{kN/m^2}$

Pješačka staza: $0{,}30 \cdot 25{,}0 = 7{,}50\ \mathrm{kN/m^2}$

Ograda: $0{,}70\ \mathrm{kN/m'}$

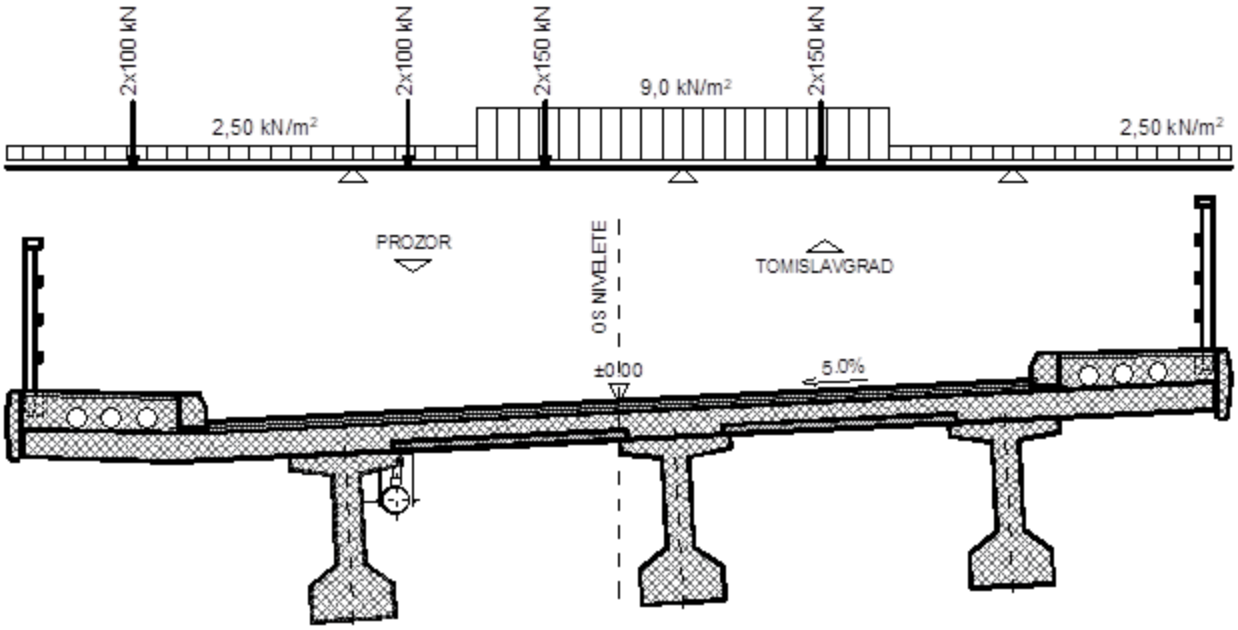
Cijev za odvodnju: $0{,}50\ \mathrm{kN/m'}$

Vijenac: $0{,}0440 \cdot 25{,}0 = 1{,}10\ \mathrm{kN/m'}$

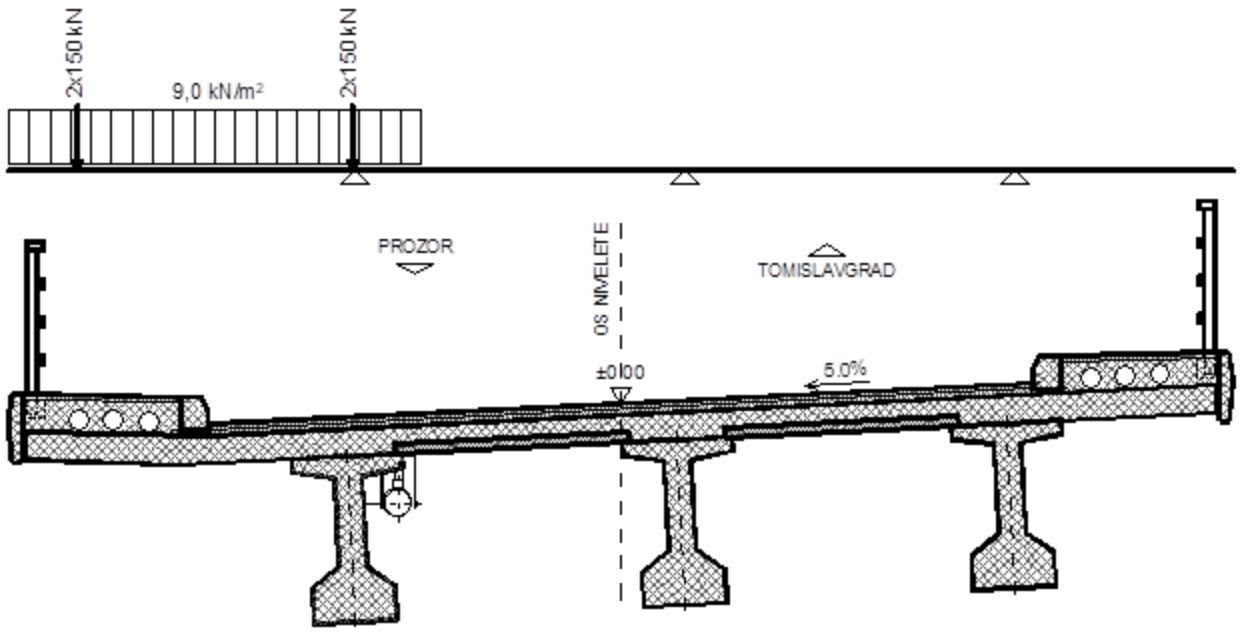


Slika 134. Analiza dodatnog stalnog opterećenja

7.1.3 Pokretno opterećenje



Slika 135. Analiza pokretnog opterećenja za maksimalni moment u polju

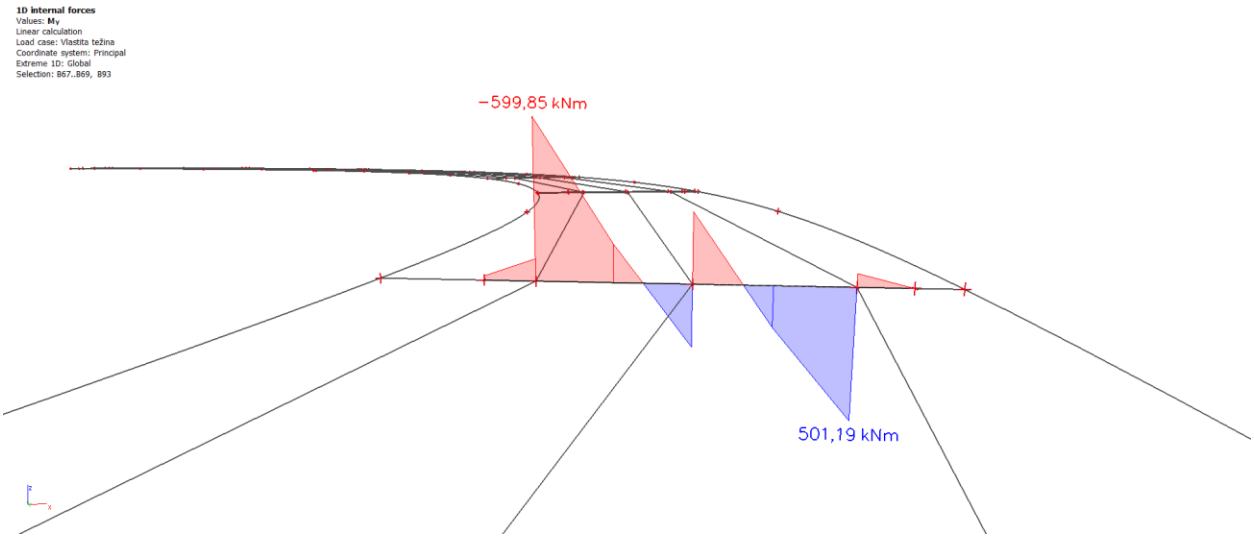


Slika 136. Analiza pokretnog opterećenja za maksimalni moment na ležaju

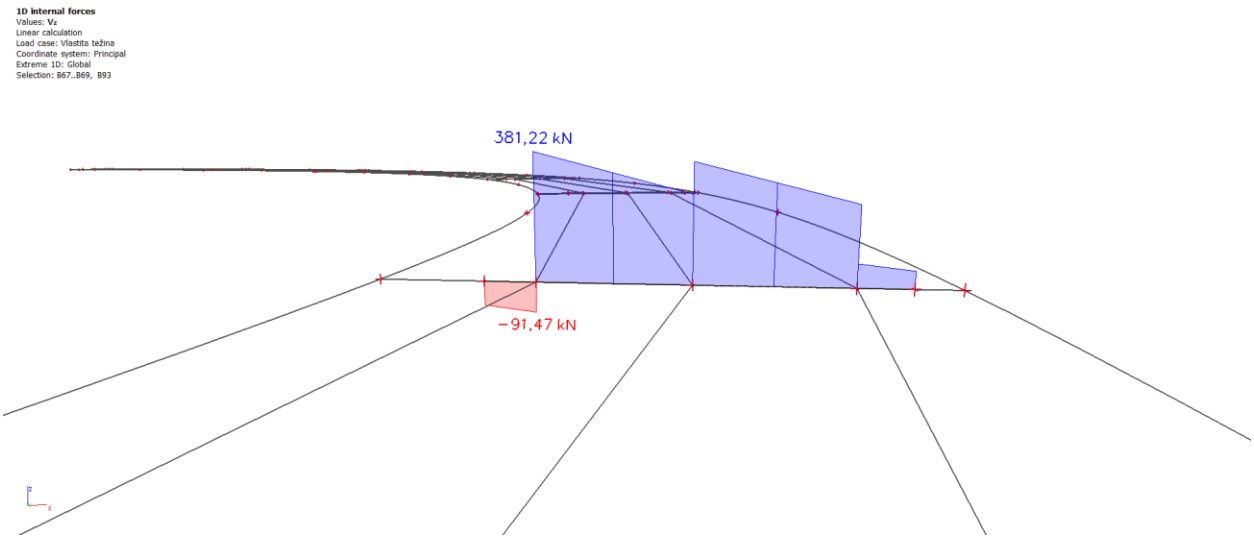
7.2 Proračun poprečnog nosača iznad prvog stupa

7.2.1 Rezultati proračuna

7.2.1.1 Vlastita težina

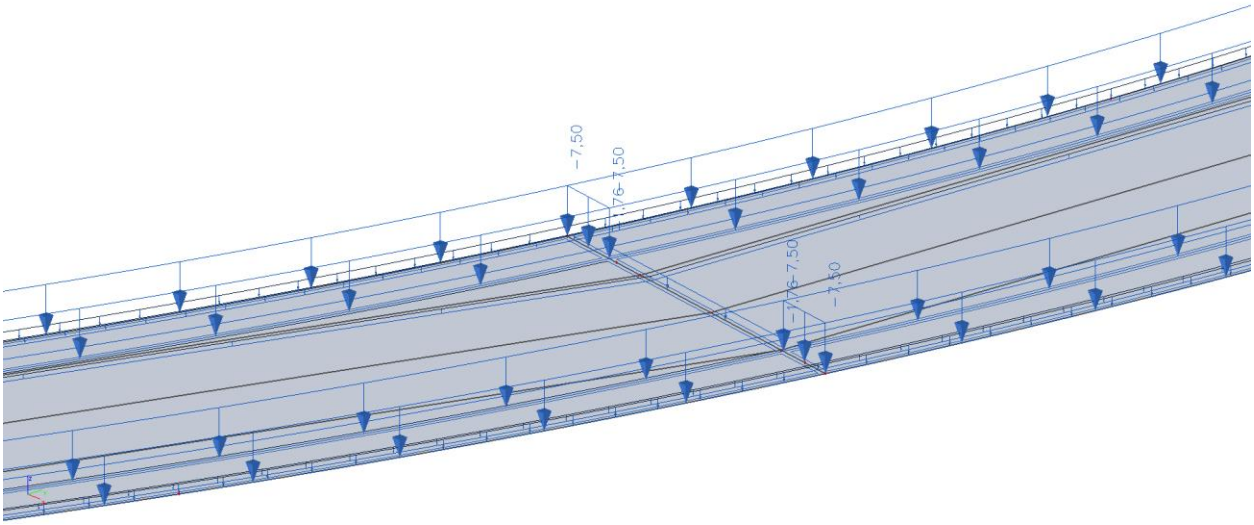


Slika 137. Vlastita težina – momenti M_y (kNm)

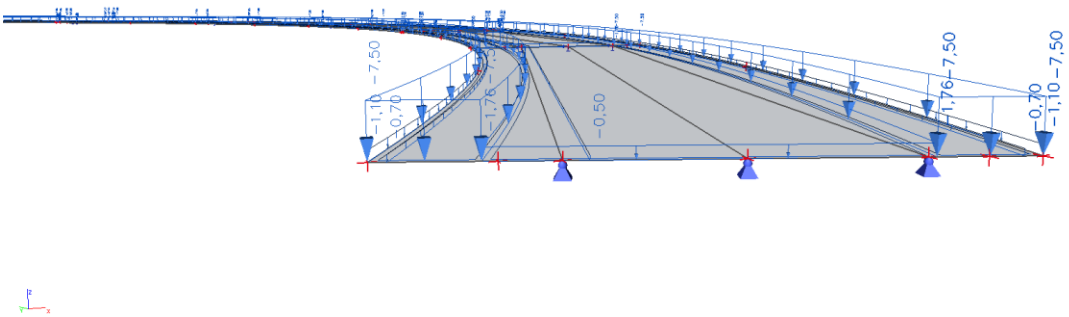


Slika 138. Vlastita težina – poprečne sile V_z (kN)

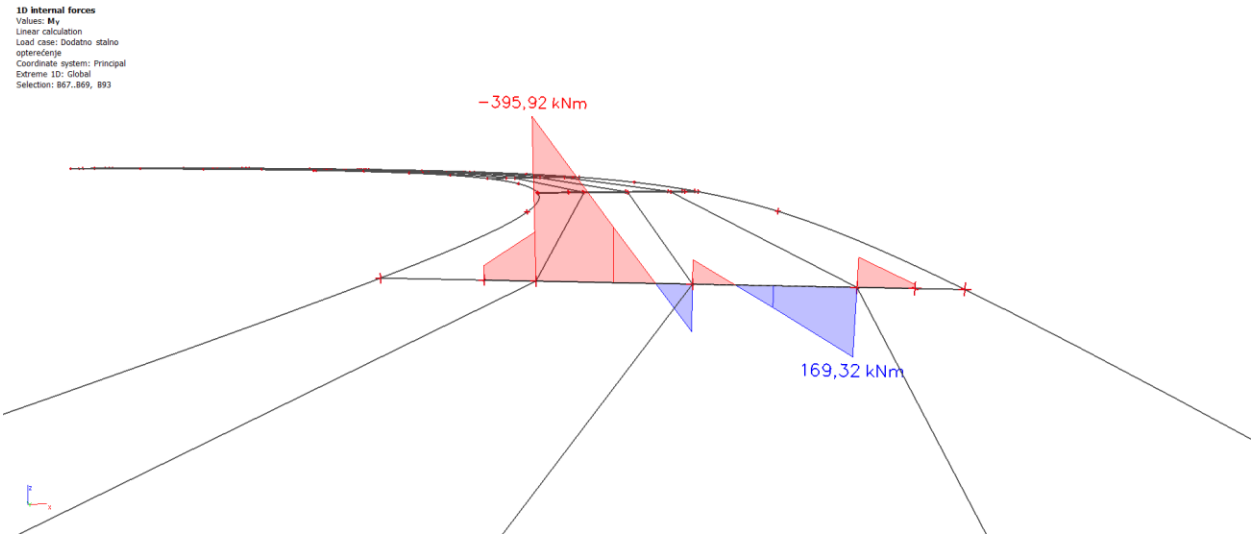
7.2.1.2 Dodatno stalno opterećenje



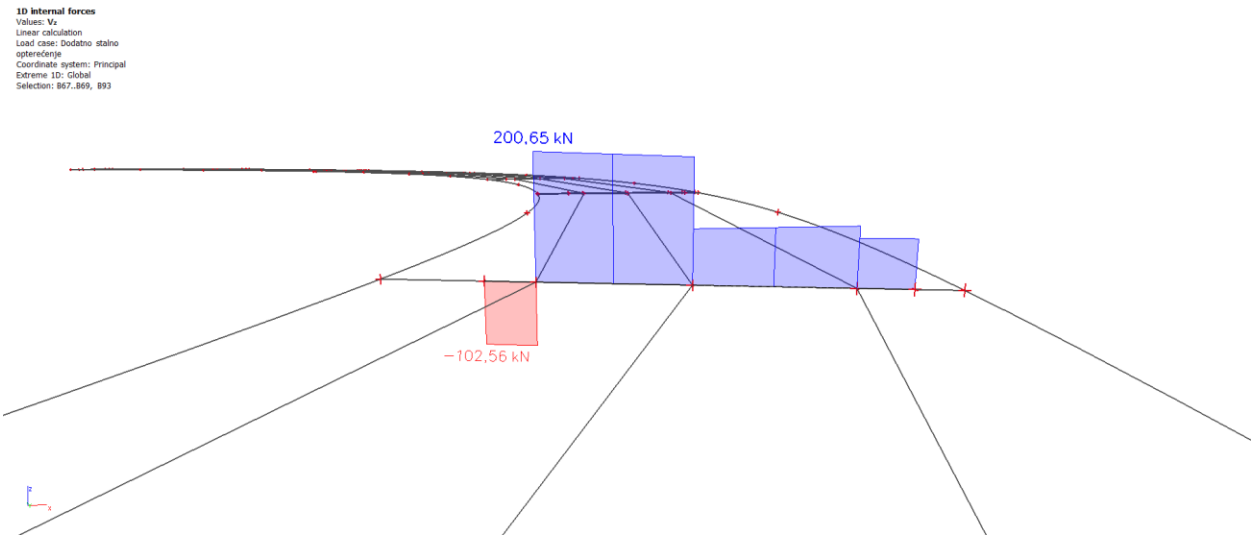
Slika 139. Dodatno stalno opterećenje



Slika 140. Dodatno stalno opterećenje – vrijednosti



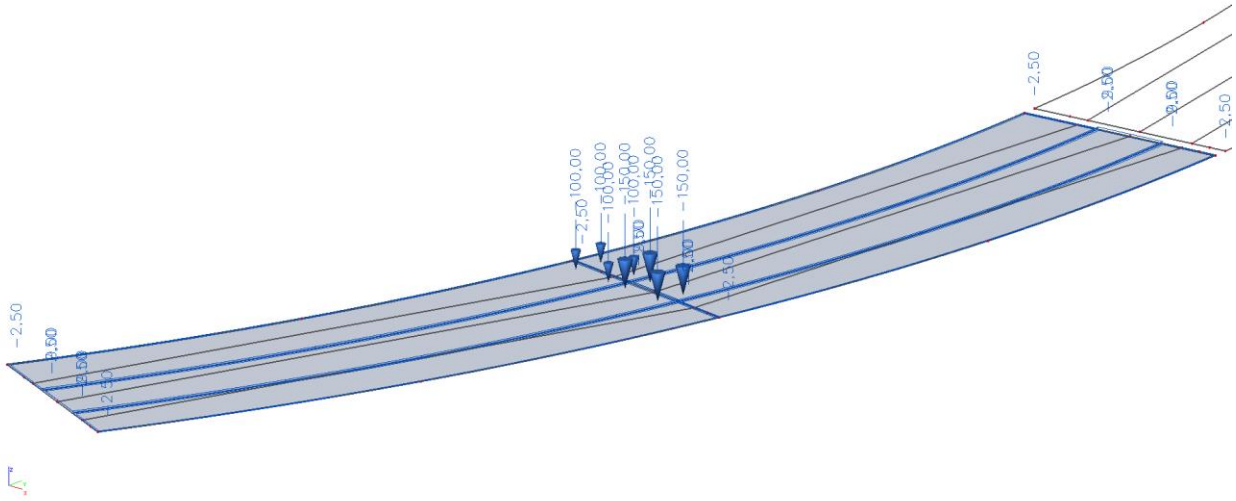
Slika 141. Dodatno stalno opterećenje – momenti M_y (kNm)



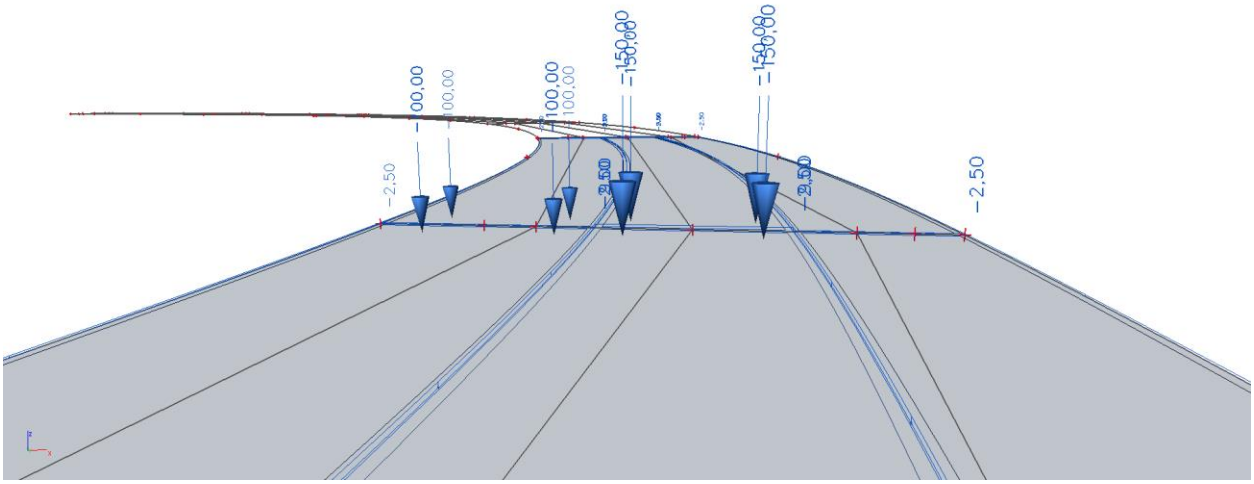
Slika 142. Dodatno stalno opterećenje – poprečne sile V_z (kN)

7.2.1.3 Pokretno opterećenje

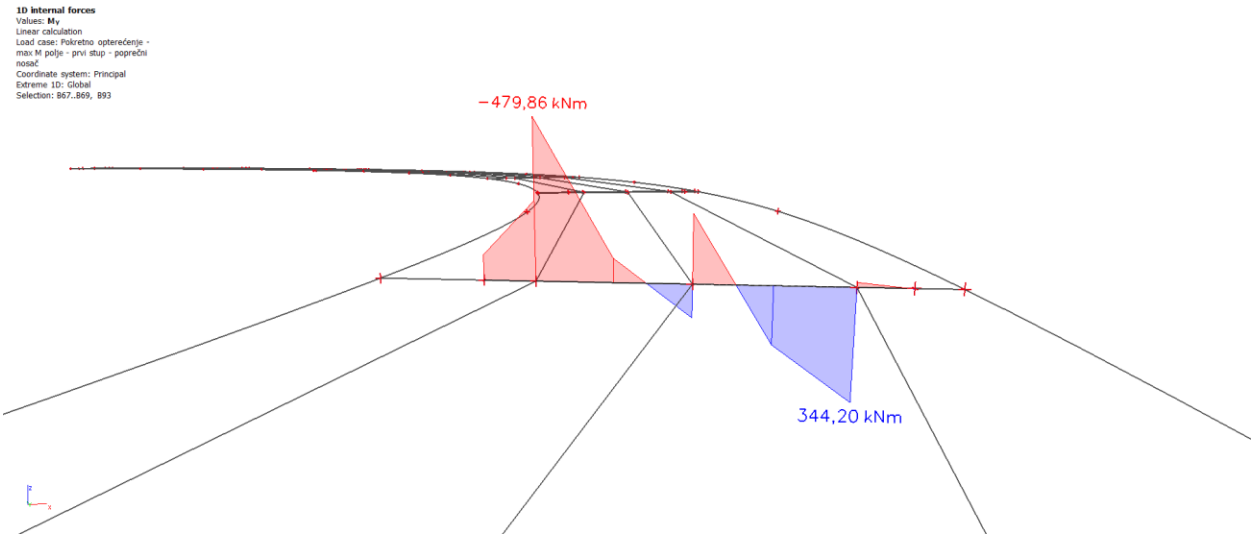
1. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u polju)



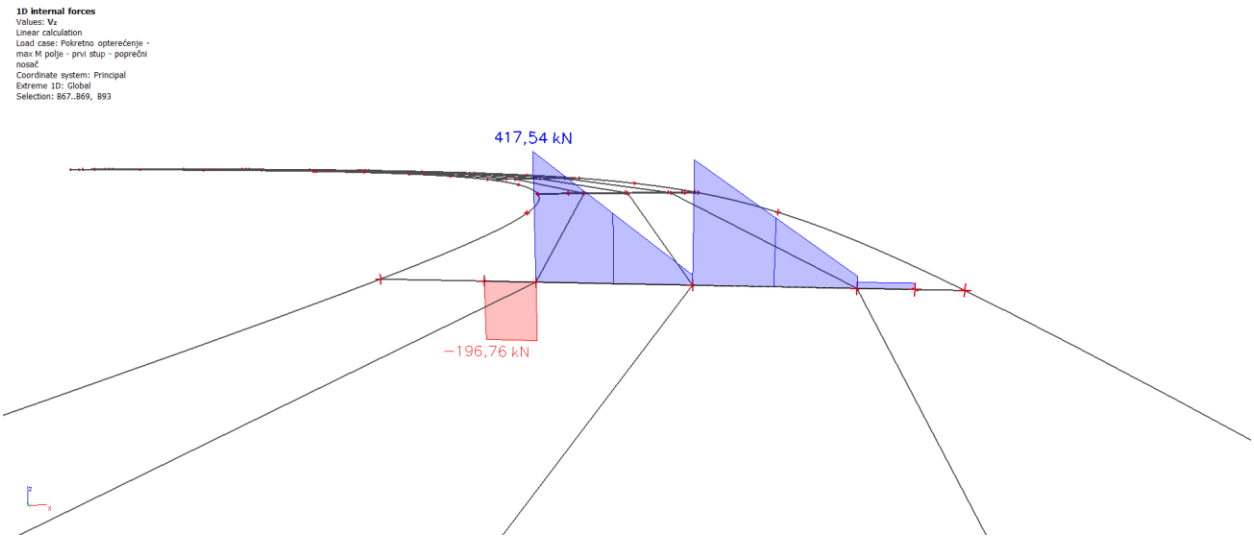
Slika 143. Pokretno opterećenje – maksimalni moment u polju



Slika 144. Pokretno opterećenje – maksimalni moment u polju – vrijednosti

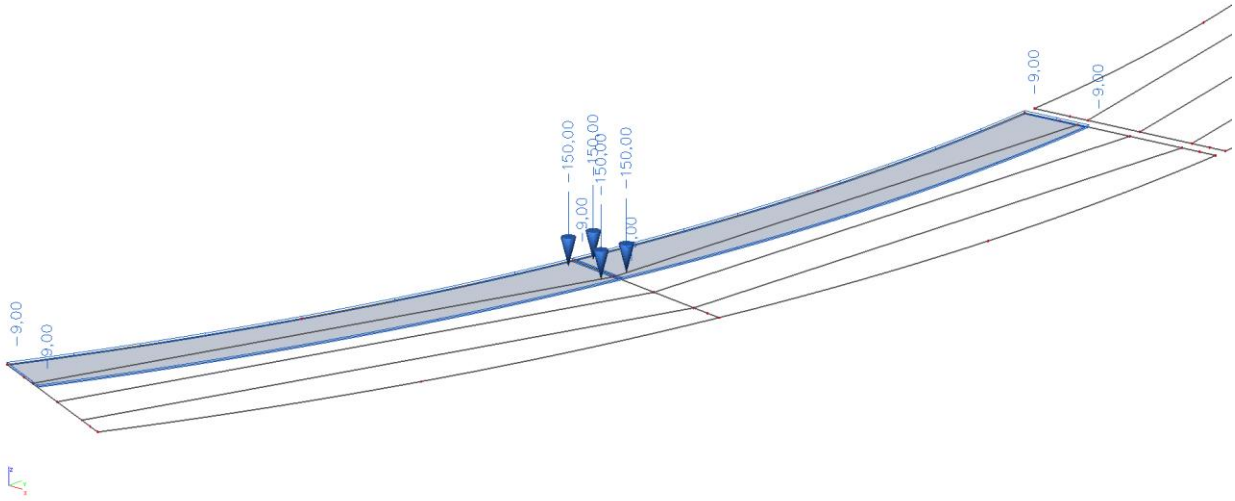


Slika 145. Pokretno opterećenje – maksimalni moment u polju – momenti M_y (kNm)

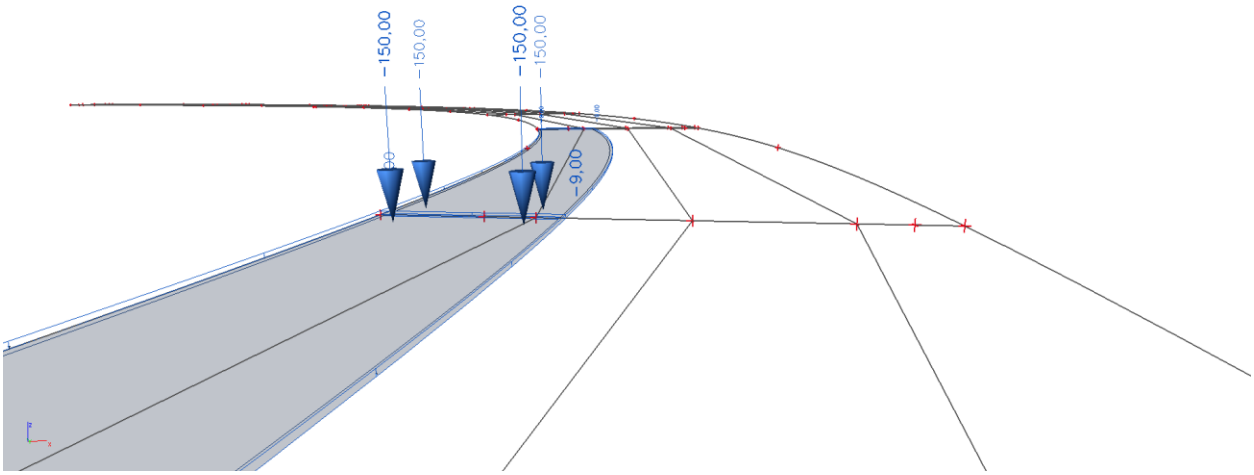


Slika 146. Pokretno opterećenje – maksimalni moment u polju – poprečne sile V_z (kN)

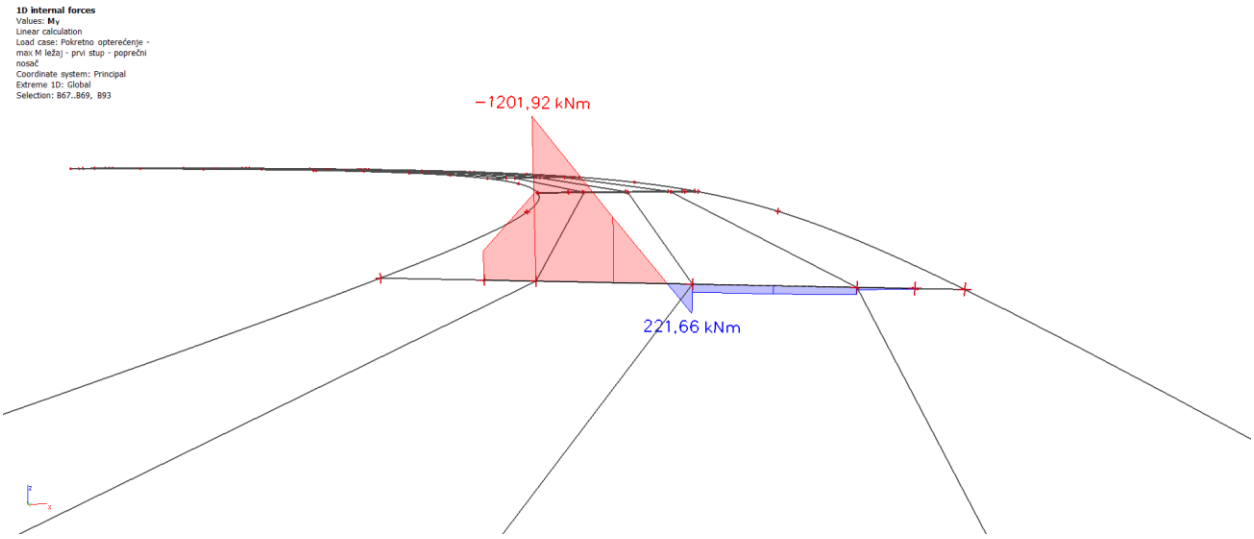
2. Pokretno opterećenje (maksimalni moment na ležaju)



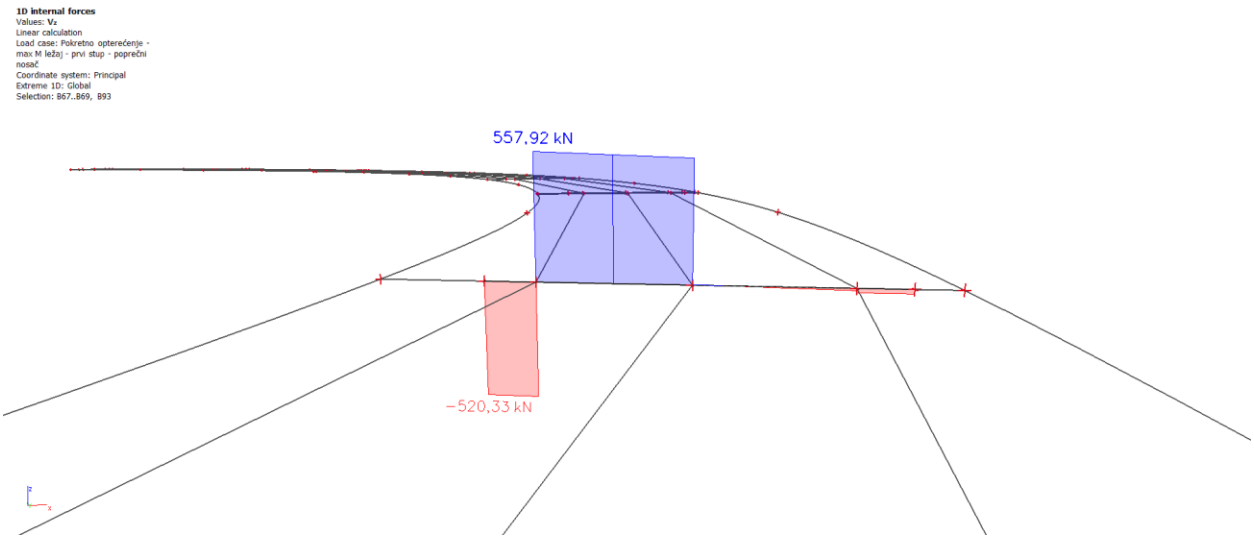
Slika 147. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju



Slika 148. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – vrijednosti



Slika 149. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – momenti M_y (kNm)



Slika 150. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – poprečne sile V_z (kN)

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = 23{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka ; $\gamma_s = 1{,}5$)

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja ; $\gamma_s = 1{,}15$)

7.2.2 Dimenzioniranje na moment savijanja

Gornja zona

$$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot \left(M_g + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q = 1{,}35 \cdot (599{,}85 + 395{,}92) + 1{,}5 \cdot 1201{,}92 = 3147{,}17 \text{ kNm}$$

$b_{eff} = b_w = 70{,}0$ cm

$H = 128{,}0$ cm

$d_1 = 5{,}0$ cm

$d = H - d_1 = 128{,}0 - 5{,}0 = 123{,}0$ cm

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3147{,}17 \cdot 100}{70{,}0 \cdot 123{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}128$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0$ ‰ očitano: $\varepsilon_{c2} = 2{,}8$ ‰ ; $\zeta = 0{,}913$; $\xi = 0{,}219$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3147{,}17 \cdot 100}{0{,}913 \cdot 123{,}0 \cdot 43{,}48} = 64{,}45 \text{ cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{11\emptyset 28}$ $(\mathbf{A_s = 67{,}73\ cm^2})$

Donja zona

$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot \left(M_g + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q = 1{,}35 \cdot (501{,}19 + 169{,}32) + 1{,}5 \cdot 344{,}20 = 1421{,}49\ \text{kNm}$

$b_{eff} = b_w = 70{,}0\ \text{cm}$

$H = 128{,}0\ \text{cm}$

$d_1 = 5{,}0\ \text{cm}$

$d = H - d_1 = 128{,}0 - 5{,}0 = 123{,}0\ \text{cm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1421{,}49 \cdot 100}{70{,}0 \cdot 123{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}058$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0\ ‰$ očitano: $\varepsilon_{c2} = 1{,}5\ ‰\ ; \zeta = 0{,}953\ ;\ \xi = 0{,}130$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1421{,}49 \cdot 100}{0{,}953 \cdot 123{,}0 \cdot 43{,}48} = \ 27{,}89\ \text{cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{10\emptyset 20}\ \ (\mathbf{A_s = 31{,}42\ cm^2})$

7.2.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_g + V_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot V_q = 1{,}35 \cdot (381{,}22 + 200{,}65) + 1{,}5 \cdot 557{,}92 = 1622{,}40 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton:

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = \frac{0{,}18}{1{,}5} = 0{,}12$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1230{,}0}} = 1{,}40 \leq 2{,}0 \rightarrow k = 1{,}40$$

$$\rho_1 = \frac{\Sigma A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{11\text{Ø}28 + 10\text{Ø}20}{70{,}0 \cdot 123{,}0} = \frac{67{,}73 + 31{,}42}{70{,}0 \cdot 123{,}0} = 0{,}0115$$

$$b_w = 70{,}0 \text{ cm}$$

$$d = 123{,}0 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0{,}12 \cdot 1{,}40 \cdot (100 \cdot 0{,}0115 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0{,}0\right] \cdot 700 \cdot 1230 = 495717{,}66 \text{ N} = 495{,}72 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq (\nu_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$\nu_{min} = 0{,}035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0{,}035 \cdot 1{,}40^{\frac{3}{2}} \cdot 35{,}0^{\frac{1}{2}} = 0{,}34$$

$$V_{Rd,c} \geq (0{,}34 + 0{,}0) \cdot 700 \cdot 1230 = 292740{,}0 \text{ N} = 292{,}74 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 495{,}72 \text{ kN} > 292{,}74 \text{ kN}$$

Maksimalna poprečna sila (poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{35{,}0}{250}\right) = 0{,}516$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot 0{,}516 \cdot 700 \cdot 1230 \cdot 23{,}33 = 5182479{,}54 \text{ N} = 5182{,}48 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 5182{,}48 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 1622{,}40 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{1622,40}{5182,48} = 0,31 \rightarrow V_{Ed} = 0,31 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0,55d; 30\ cm) = \min(0,55 \cdot 123,0 = 67,65\ cm; 30,0\ cm)$$

$$s_{w,max} = 30,0\ cm$$

Potrebna računska armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 30,0 \cdot 70,0}{4} = 0,58\ cm^2$$

Odabrane spone: $\boldsymbol{\emptyset 12/20\ cm}$ $\boldsymbol{(A_s = 1,13\ cm^2)}$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta = \frac{1,13}{20,0} \cdot (0,9 \cdot 123) \cdot 43,48 \cdot 2 = 543,90\ kN$$

Kontrola nosivosti betona:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd}}{\tan\theta + ctg\theta} = \frac{1 \cdot 700 \cdot (0,9 \cdot 1230) \cdot 0,516 \cdot 23,33}{1 + 1} = 4664231,59\ N = 4664,23\ kN$$

$$V_{Rd,max} = 4664,23\ kN > V_{Ed,max} = 1622,40\ kN$$

Potrebni razmak odabranih spona:

$$s_{w,pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{4 \cdot 1,13 \cdot 43,48 \cdot 0,9 \cdot 123,0}{1622,40} = 13,41\ cm$$

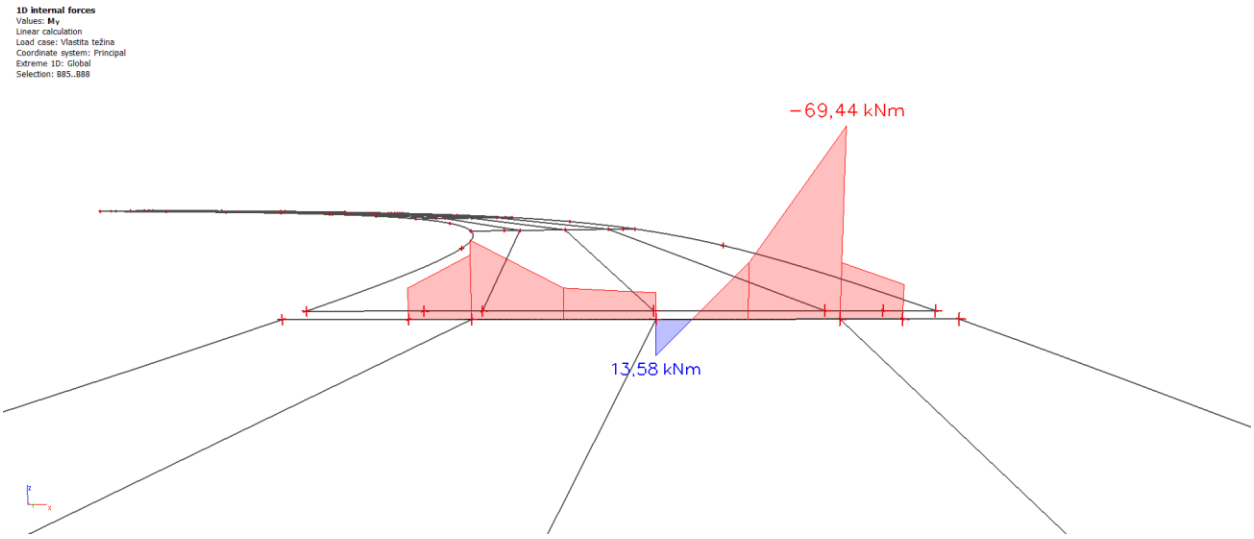
Odabrano: $\boldsymbol{\emptyset 12/10\ cm}$ $\boldsymbol{(A_s = 1,13\ cm^2)}$

Napomena: Poprečni nosač iznad trećeg stupa istog je poprečnog presjeka kao poprečni nosač iznad prvog stupa, te ima samo nešto manje maksimalne rezne sile u odnosu na isti pa je iz tog razloga promatran poprečni nosač iznad prvog stupa. S obzirom da se ukupni iznos maksimalnih reznih sila malo razlikuje, za poprečni nosač iznad trećeg stupa usvojena je armatura proračunata za poprečni nosač iznad prvog stupa.

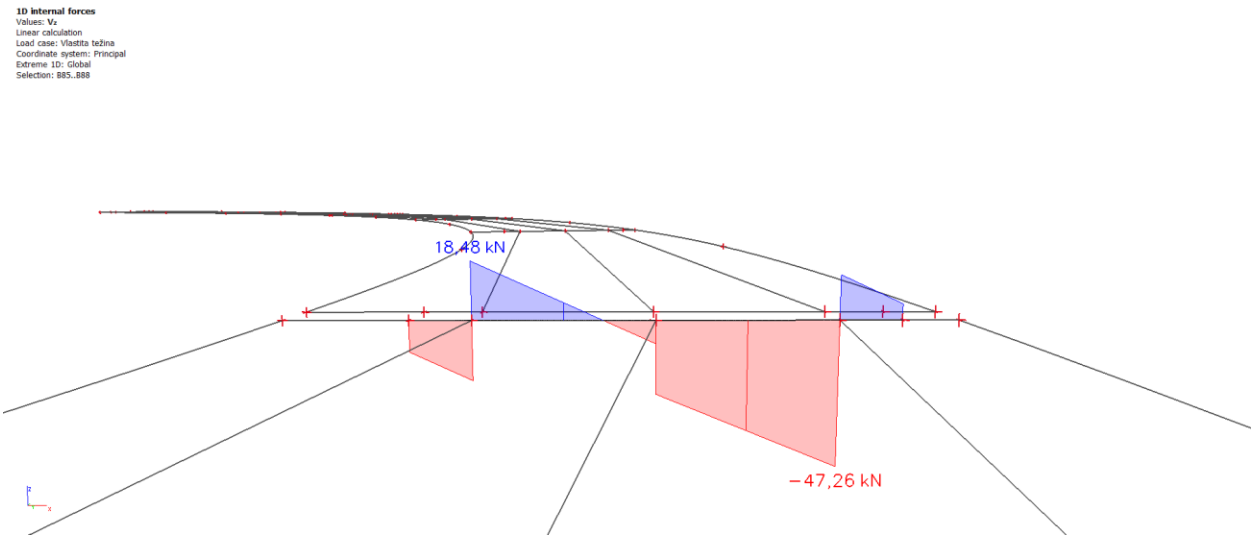
7.3 Proračun poprečnog nosača iznad drugog stupa

7.3.1 Rezultati proračuna

7.3.1.1 Vlastita težina

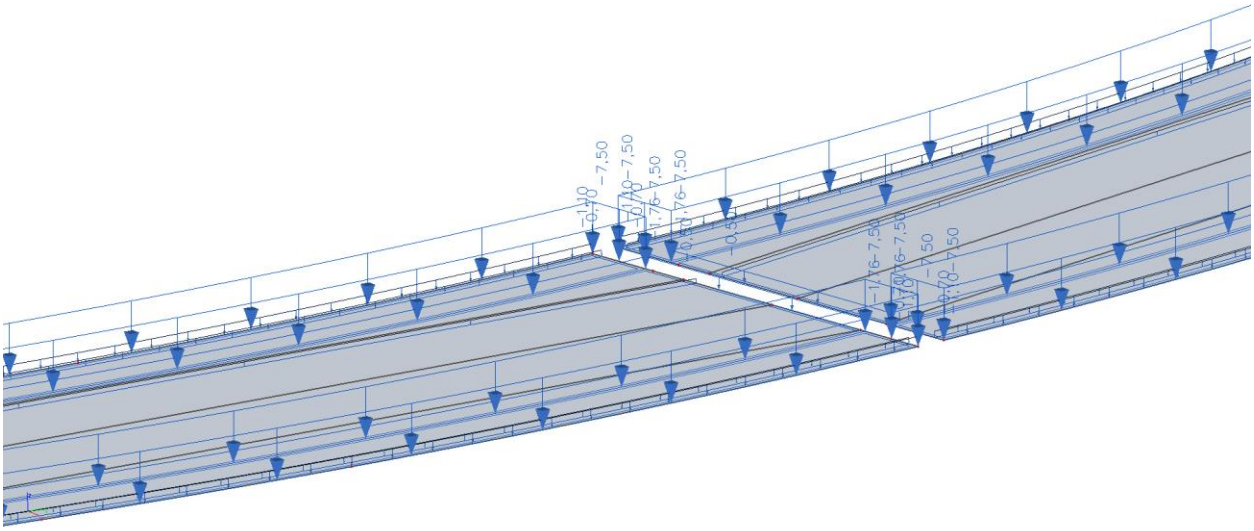


Slika 151. Vlastita težina – momenti M_y (kNm)

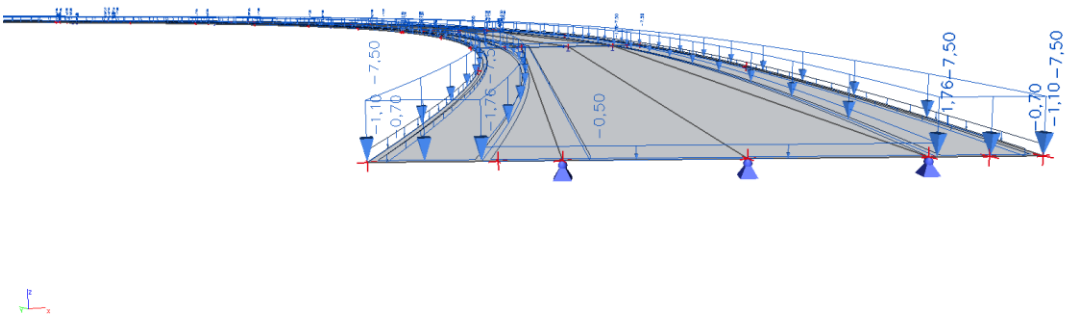


Slika 152. Vlastita težina – poprečne sile V_z (kN)

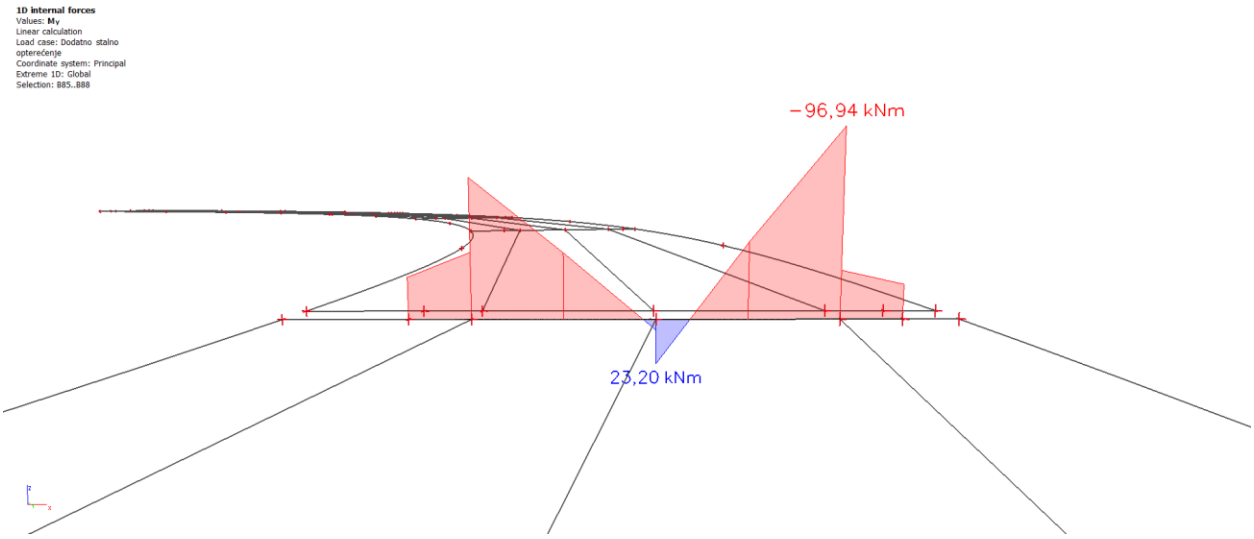
7.3.1.2 Dodatno stalno opterećenje



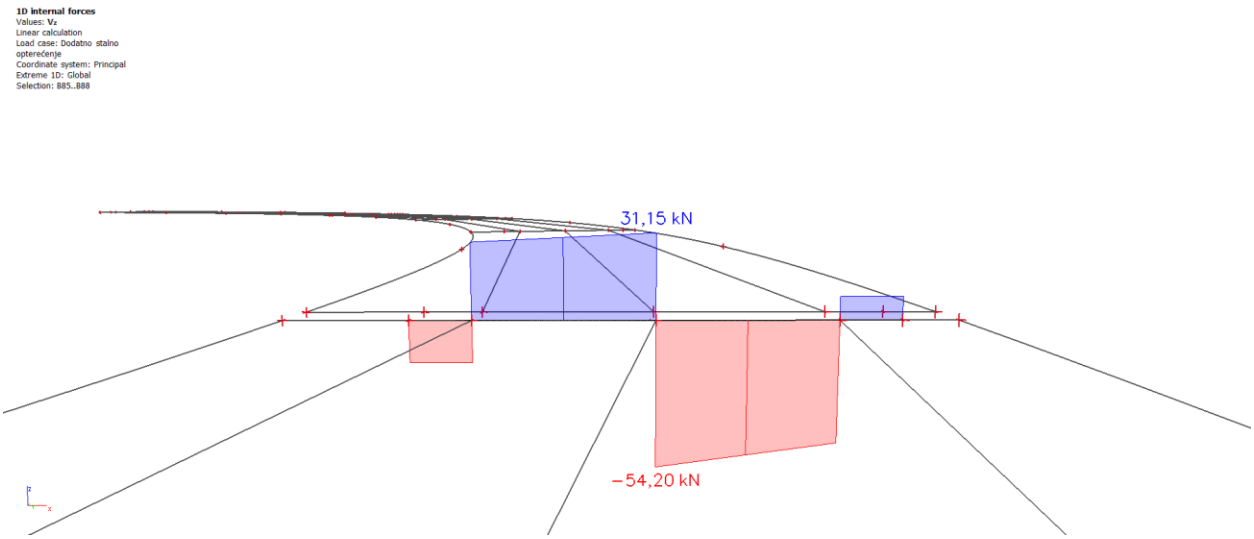
Slika 153. Dodatno stalno opterećenje



Slika 154. Dodatno stalno opterećenje – vrijednosti



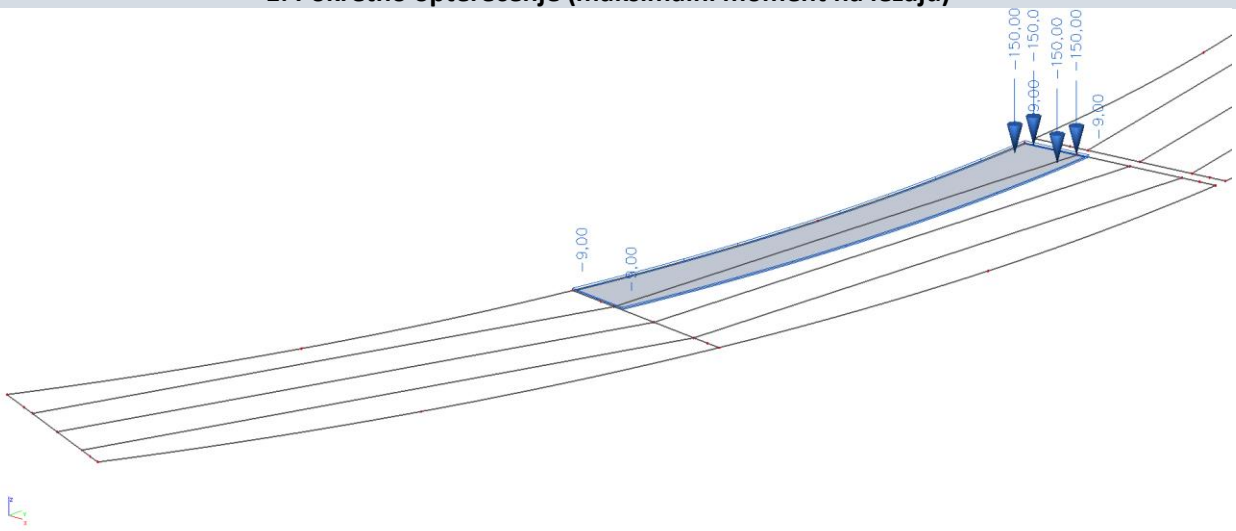
Slika 155. Dodatno stalno opterećenje – momenti M_y (kNm)



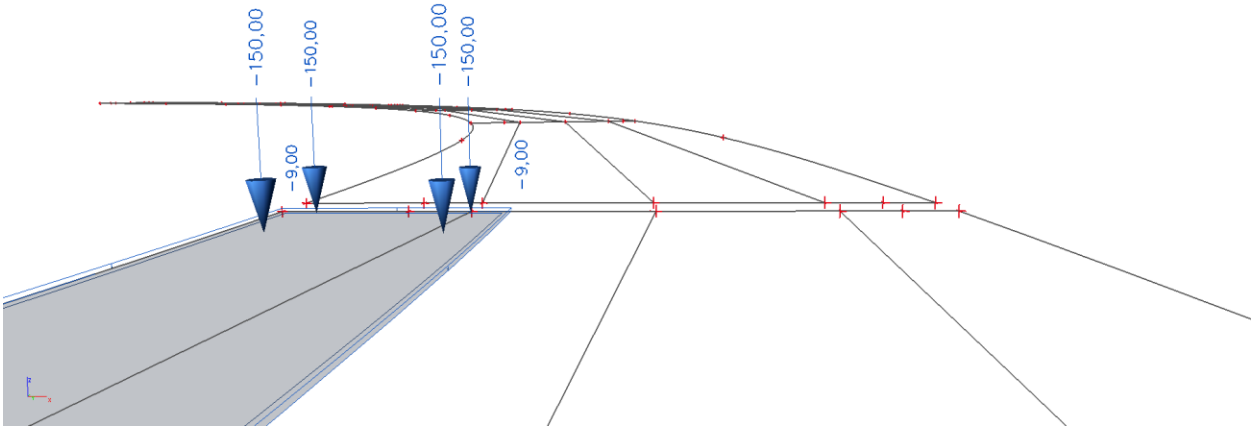
Slika 156. Dodatno stalno opterećenje – poprečne sile V_z (kN)

7.3.1.3 Pokretno opterećenje

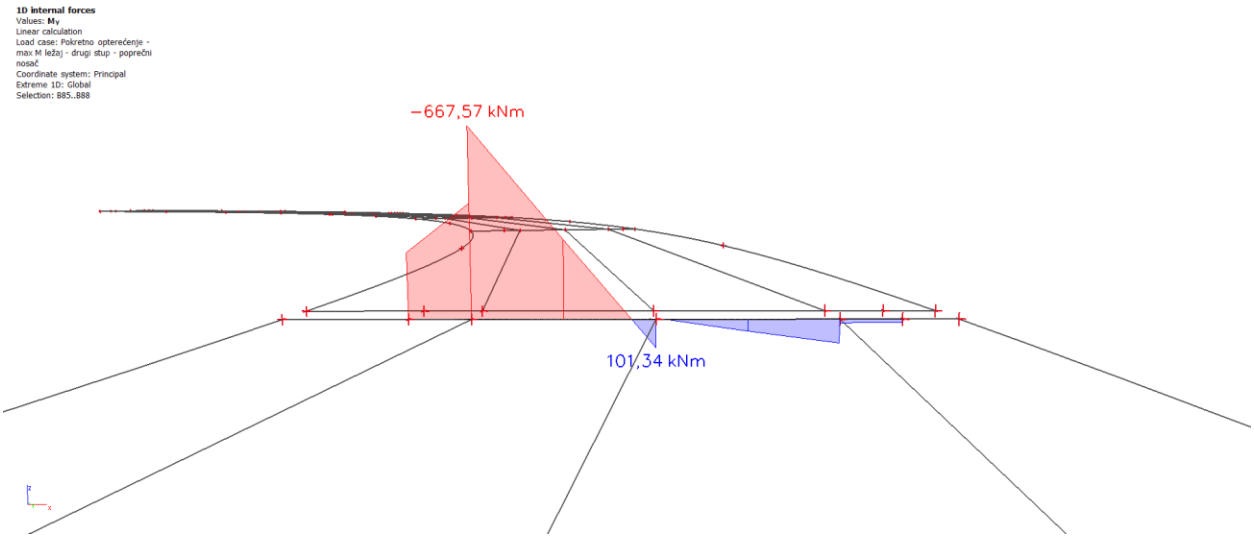
1. Pokretno opterećenje (maksimalni moment na ležaju)



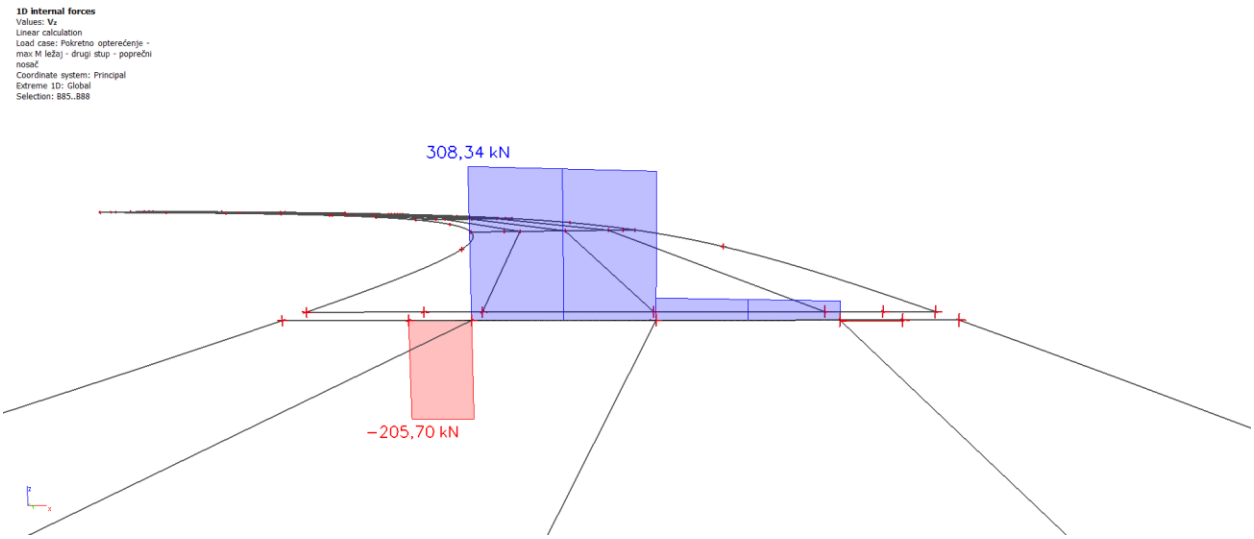
Slika 157. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju



Slika 158. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – vrijednosti



Slika 159. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – momenti M_y (kNm)



Slika 160. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – poprečne sile V_z (kN)

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = 23{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka ; $\gamma_s = 1{,}5$)

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja ; $\gamma_s = 1{,}15$)

7.3.2 Dimenzioniranje na moment savijanja

Gornja zona

$$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot \left(M_g + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q = 1{,}35 \cdot (69{,}44 + 96{,}94) + 1{,}5 \cdot 667{,}57 = 1225{,}97 \text{ kNm}$$

$b_{eff} = b_w = 35{,}0$ cm

$H = 128{,}0$ cm

$d_1 = 5{,}0$ cm

$d = H - d_1 = 128{,}0 - 5{,}0 = 123{,}0$ cm

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1225{,}97 \cdot 100}{35{,}0 \cdot 123{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}099$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0$ ‰ očitano: $\varepsilon_{c2} = 2{,}2$ ‰ ; $\zeta = 0{,}931$; $\xi = 0{,}180$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1225{,}97 \cdot 100}{0{,}931 \cdot 123{,}0 \cdot 43{,}48} = 24{,}62 \text{ cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{4\emptyset 28}$ $(\mathbf{A_s = 24{,}63\ cm^2})$

Donja zona

$$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot \left(M_g + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q = 1{,}35 \cdot (13{,}58 + 23{,}20) + 1{,}5 \cdot 101{,}34 = 201{,}66 \text{ kNm}$$

$b_{eff} = b_w = 35{,}0 \text{ cm}$

$H = 128{,}0 \text{ cm}$

$d_1 = 5{,}0 \text{ cm}$

$d = H - d_1 = 128{,}0 - 5{,}0 = 123{,}0 \text{ cm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{201{,}66 \cdot 100}{35{,}0 \cdot 123{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}016$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0$ ‰ očitano: $\varepsilon_{c2} = 0{,}7$ ‰ ; $\zeta = 0{,}977$; $\xi = 0{,}065$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{201{,}66 \cdot 100}{0{,}977 \cdot 123{,}0 \cdot 43{,}48} = 3{,}86 \text{ cm}^2$$

Minimalna površina uzdužne armature:

$$A_{s1,min} \geq 0{,}26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d = 0{,}26 \cdot \frac{3{,}2}{500} \cdot 35{,}0 \cdot 123{,}0 = 7{,}16 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} \geq 0{,}0013 \cdot b_w \cdot d = 0{,}0013 \cdot 35{,}0 \cdot 123{,}0 = 5{,}60 \text{ cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{4\emptyset 16}$ $(\mathbf{A_s = 8{,}04 \text{ cm}^2})$

7.3.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_g + V_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot V_q = 1{,}35 \cdot (47{,}26 + 54{,}20) + 1{,}5 \cdot 308{,}34 = 599{,}48 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton:

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = \frac{0{,}18}{1{,}5} = 0{,}12$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1230{,}0}} = 1{,}40 \leq 2{,}0 \rightarrow k = 1{,}40$$

$$\rho_1 = \frac{\Sigma A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{4\text{Ø}28 + 4\text{Ø}16}{35{,}0 \cdot 123{,}0} = \frac{24{,}63 + 8{,}04}{35{,}0 \cdot 123{,}0} = 0{,}0076$$

$$b_w = 35{,}0 \text{ cm}$$

$$d = 123{,}0 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0{,}12 \cdot 1{,}40 \cdot (100 \cdot 0{,}0076 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0{,}0\right] \cdot 350 \cdot 1230 = 215895{,}20 \text{ N} = 215{,}90 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq (\nu_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$\nu_{min} = 0{,}035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0{,}035 \cdot 1{,}40^{\frac{3}{2}} \cdot 35{,}0^{\frac{1}{2}} = 0{,}34$$

$$V_{Rd,c} \geq (0{,}34 + 0{,}0) \cdot 350 \cdot 1230 = 146370{,}0 \text{ N} = 146{,}37 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 215{,}90 \text{ kN} > 146{,}37 \text{ kN}$$

Maksimalna poprečna sila (poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{35{,}0}{250}\right) = 0{,}516$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot 0{,}516 \cdot 350 \cdot 1230 \cdot 23{,}33 = 2591239{,}77 \text{ N} = 2591{,}24 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 2591{,}24 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 599{,}48 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{599,48}{2591,24} = 0,23 \rightarrow V_{Ed} = 0,25 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0,75d; 30\ cm) = \min(0,75 \cdot 123,0 = 92,25\ cm; 30,0\ cm)$$

$$s_{w,max} = 30,0\ cm$$

Potrebna računska armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 30,0 \cdot 35,0}{2} = 0,58\ cm^2$$

Odabrane spone: $\boldsymbol{\emptyset 12/20\ cm}$ $\boldsymbol{(A_s = 1,13\ cm^2)}$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta = \frac{1,13}{20,0} \cdot (0,9 \cdot 123) \cdot 43,48 \cdot 2 = 543,90\ kN$$

Kontrola nosivosti betona:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd}}{\tan\theta + ctg\theta} = \frac{1 \cdot 350 \cdot (0,9 \cdot 1230) \cdot 0,516 \cdot 23,33}{1 + 1} = 2332115,79\ N = 2332,12\ kN$$

$$V_{Rd,max} = 2332,12\ kN > V_{Ed,max} = 599,48\ kN$$

Potrebni razmak odabranih spona:

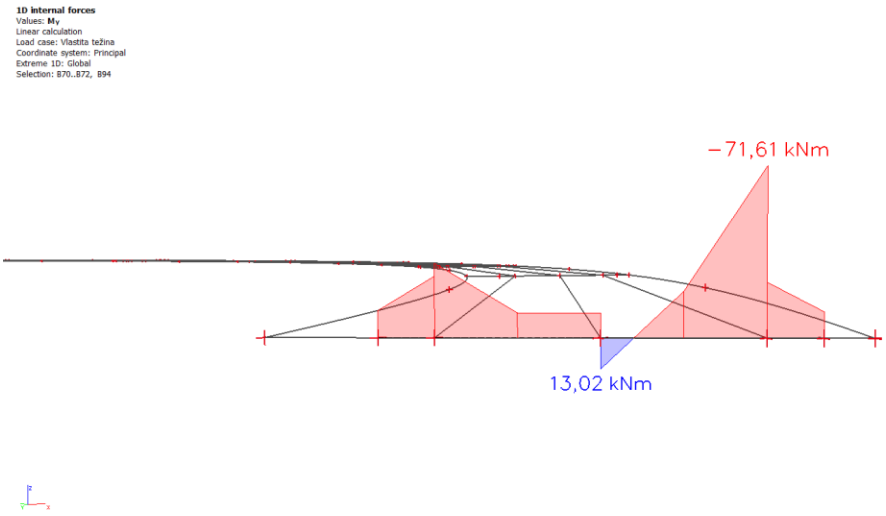
$$s_{w,pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1,13 \cdot 43,48 \cdot 0,9 \cdot 123,0}{599,48} = 18,15\ cm$$

Odabrano: $\boldsymbol{\emptyset 12/15\ cm}$ $\boldsymbol{(A_s = 1,13\ cm^2)}$

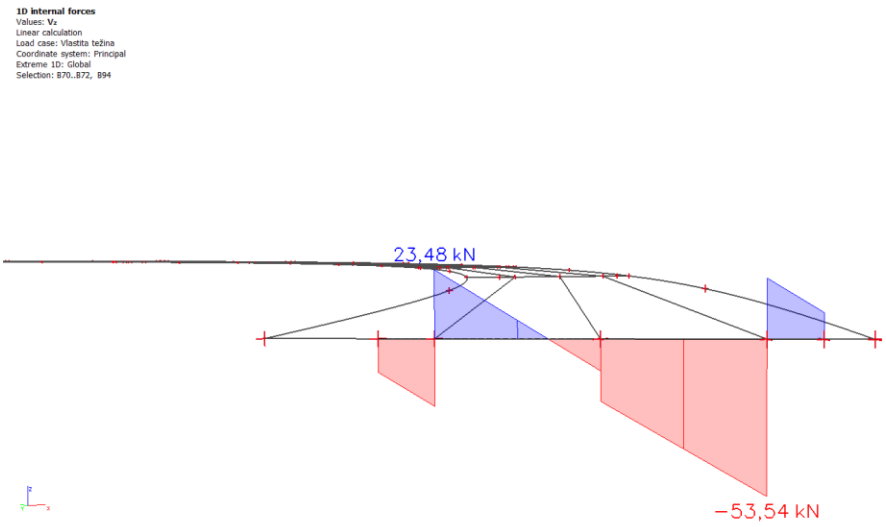
7.4 Proračun poprečnog nosača iznad upornjaka

7.4.1 Rezultati proračuna

7.4.1.1 Vlastita težina

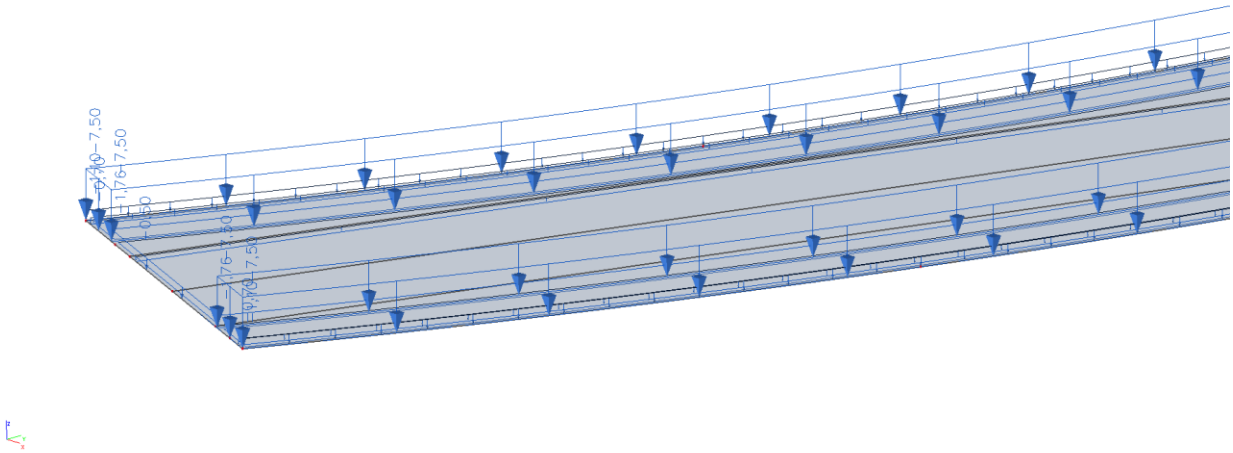


Slika 161. Vlastita težina – momenti M_y (kNm)

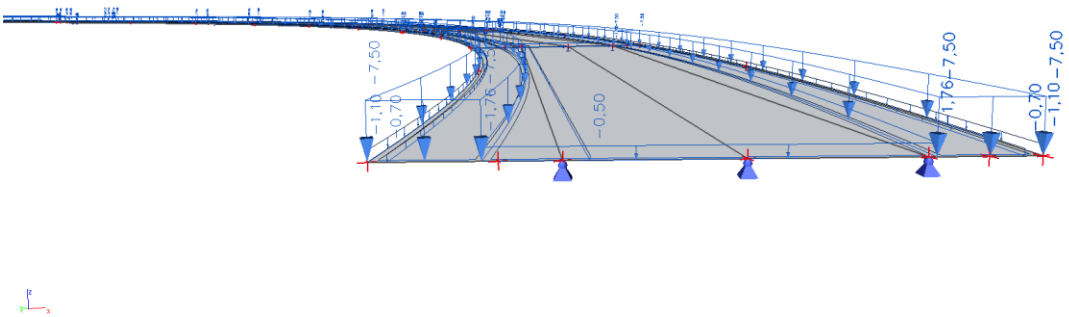


Slika 162. Vlastita težina – poprečne sile V_z (kN)

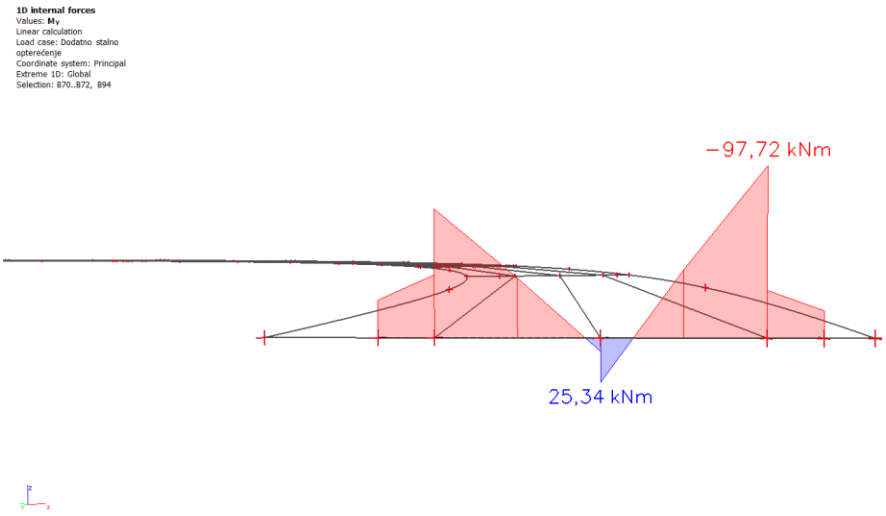
7.4.1.2 Dodatno stalno opterećenje



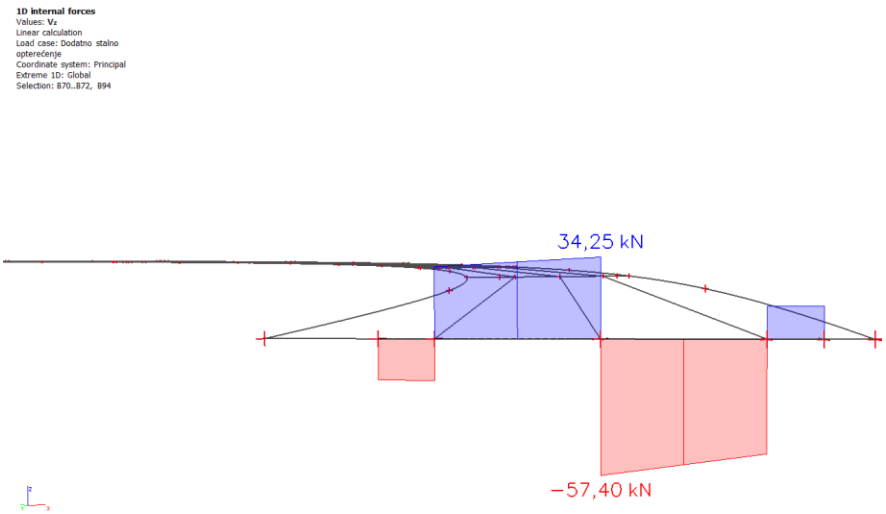
Slika 163. Dodatno stalno opterećenje



Slika 164. Dodatno stalno opterećenje – vrijednosti



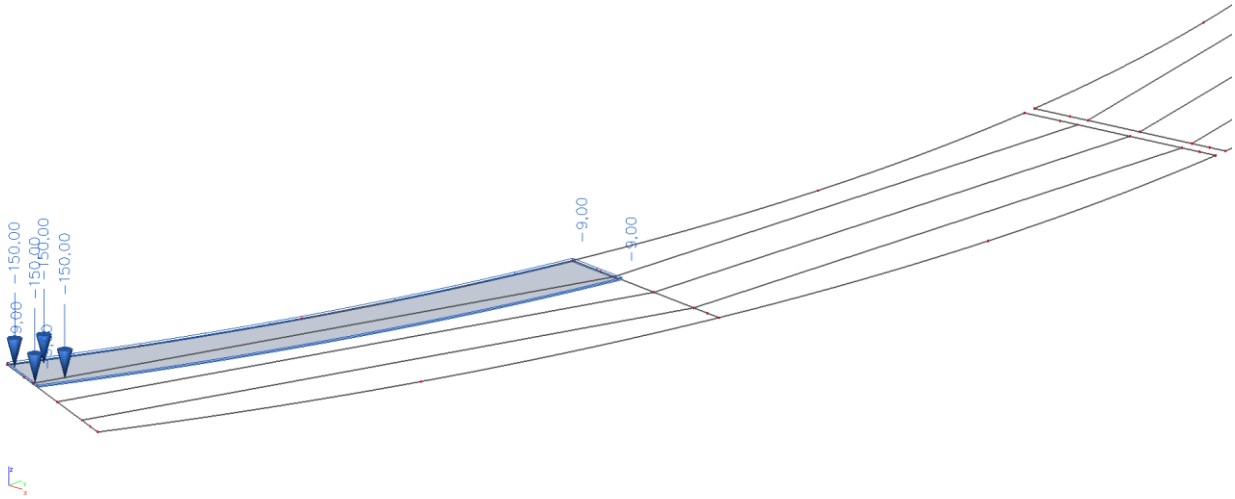
Slika 165. Dodatno stalno opterećenje – momenti M_y (kNm)



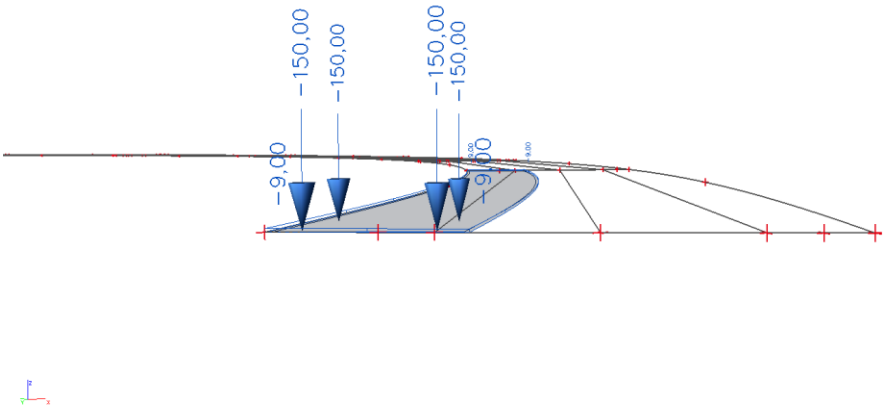
Slika 166. Dodatno stalno opterećenje – poprečne sile V_z (kN)

7.4.1.3 Pokretno opterećenje

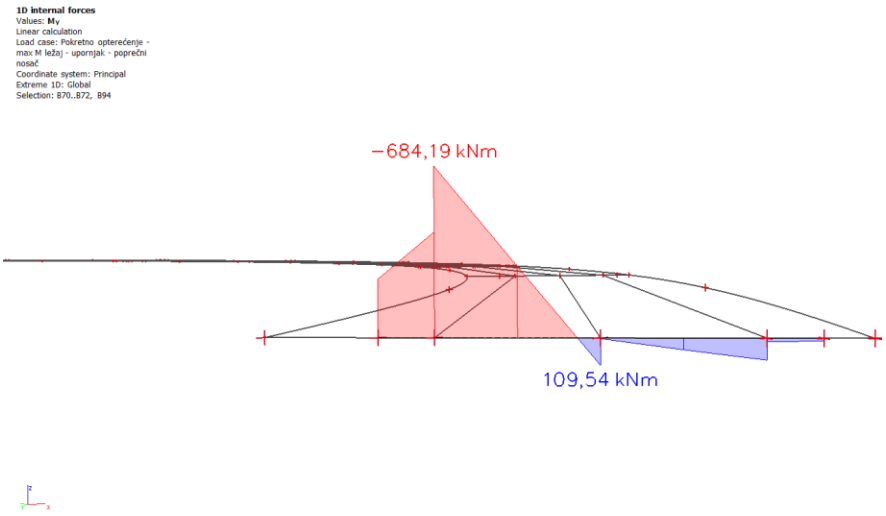
1. Pokretno opterećenje (maksimalni moment na ležaju)



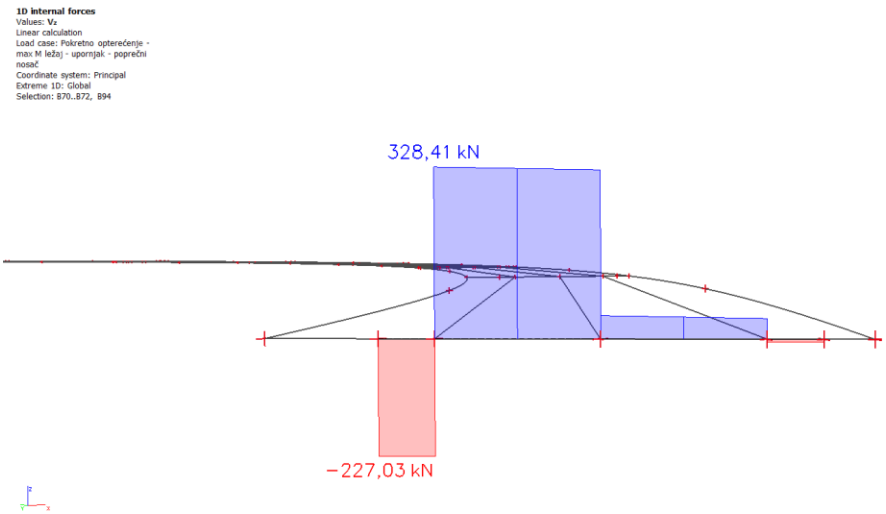
Slika 167. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju



Slika 168. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – vrijednosti



Slika 169. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – momenti M_y (kNm)



Slika 170. Pokretno opterećenje – maksimalni moment na ležaju – poprečne sile V_z (kN)

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = 23{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka ; $\gamma_s = 1{,}5$)

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja ; $\gamma_s = 1{,}15$)

7.4.2 Dimenzioniranje na moment savijanja

Gornja zona

$$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot \left(M_g + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q = 1{,}35 \cdot (71{,}61 + 97{,}72) + 1{,}5 \cdot 684{,}19 = 1254{,}88 \text{ kNm}$$

$b_{eff} = b_w = 40{,}0$ cm

$H = 143{,}0$ cm

$d_1 = 5{,}0$ cm

$d = H - d_1 = 143{,}0 - 5{,}0 = 138{,}0$ cm

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1254{,}88 \cdot 100}{40{,}0 \cdot 138{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}071$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0$ ‰ očitano: $\varepsilon_{c2} = 1{,}7$ ‰ ; $\zeta = 0{,}947$; $\xi = 0{,}145$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1254{,}88 \cdot 100}{0{,}947 \cdot 138{,}0 \cdot 43{,}48} = 22{,}08 \text{ cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{6\text{Ø}22}$ $(\mathbf{A_s = 22{,}81\ cm^2})$

Donja zona

$$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot \left(M_g + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q = 1{,}35 \cdot (13{,}58 + 23{,}20) + 1{,}5 \cdot 109{,}54 = 213{,}96 \text{ kNm}$$

$b_{eff} = b_w = 40{,}0 \text{ cm}$

$H = 143{,}0 \text{ cm}$

$d_1 = 5{,}0 \text{ cm}$

$d = H - d_1 = 143{,}0 - 5{,}0 = 138{,}0 \text{ cm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{213{,}96 \cdot 100}{40{,}0 \cdot 138{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}012$$

Za $\varepsilon_{s1} = 10{,}0$ ‰ očitano: $\varepsilon_{c2} = 0{,}6$ ‰ ; $\zeta = 0{,}981$; $\xi = 0{,}057$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{213{,}96 \cdot 100}{0{,}981 \cdot 138{,}0 \cdot 43{,}48} = 3{,}63 \text{ cm}^2$$

Minimalna površina uzdužne armature:

$$A_{s1,min} \geq 0{,}26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d = 0{,}26 \cdot \frac{3{,}2}{500} \cdot 40{,}0 \cdot 138{,}0 = 9{,}19 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} \geq 0{,}0013 \cdot b_w \cdot d = 0{,}0013 \cdot 40{,}0 \cdot 138{,}0 = 7{,}18 \text{ cm}^2$$

Odabrano: $\mathbf{4\emptyset 18}$ $(\mathbf{A_s = 10{,}18 \text{ cm}^2})$

7.4.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = \gamma_g \cdot \left(V_g + V_{\Delta g}\right) + \gamma_q \cdot V_q = 1{,}35 \cdot (53{,}54 + 57{,}40) + 1{,}5 \cdot 328{,}41 = 642{,}38\ \text{kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton:

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = \frac{0{,}18}{1{,}5} = 0{,}12$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1380{,}0}} = 1{,}38 \leq 2{,}0 \rightarrow k = 1{,}38$$

$$\rho_1 = \frac{\Sigma A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6\text{Ø}22 + 4\text{Ø}18}{70{,}0 \cdot 123{,}0} = \frac{22{,}81 + 10{,}18}{40{,}0 \cdot 138{,}0} = 0{,}0060$$

$$b_w = 40{,}0\ \text{cm}$$

$$d = 138{,}0\ \text{cm}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0{,}12 \cdot 1{,}38 \cdot (100 \cdot 0{,}0060 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0{,}0\right] \cdot 400 \cdot 1380 = 252196{,}57\ \text{N} = 252{,}20\ \text{kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq (\nu_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0{,}15$$

$$\nu_{min} = 0{,}035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0{,}035 \cdot 1{,}38^{\frac{3}{2}} \cdot 35{,}0^{\frac{1}{2}} = 0{,}34$$

$$V_{Rd,c} \geq (0{,}34 + 0{,}0) \cdot 400 \cdot 1380 = 187680{,}0\ \text{N} = 187{,}68\ \text{kN}$$

$$V_{Rd,c} = 252{,}20\ \text{kN} > 187{,}68\ \text{kN}$$

Maksimalna poprečna sila (poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}6 \cdot \left(1{,}0 - \frac{35{,}0}{250}\right) = 0{,}516$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}5 \cdot 0{,}516 \cdot 400 \cdot 1380 \cdot 23{,}33 = 3322565{,}28\ \text{N} = 3322{,}57\ \text{kN}$$

$$V_{Rd,max} = 3322{,}57\ \text{kN} > V_{Ed,max} = 642{,}38\ \text{kN}$$

Maksimalni razmak spona:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{642,38}{3322,57} = 0,19 \rightarrow V_{Ed} = 0,19 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0,75d; 30\ cm) = \min(0,75 \cdot 138,0 = 103,50\ cm; 30,0\ cm)$$

$$s_{w,max} = 30,0\ cm$$

Potrebna računska armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 30,0 \cdot 40,0}{2} = 0,66\ cm^2$$

Odabrane spone: $\boldsymbol{\emptyset 12/20\ cm}$ $(\mathbf{A_s = 1,13\ cm^2})$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta = \frac{1,13}{20,0} \cdot (0,9 \cdot 138) \cdot 43,48 \cdot 2 = 610,22\ kN$$

Kontrola nosivosti betona:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd}}{\tan\theta + ctg\theta} = \frac{1 \cdot 400 \cdot (0,9 \cdot 1380) \cdot 0,516 \cdot 23,33}{1 + 1} = 2990308,75\ N = 2990,31\ kN$$

$$V_{Rd,max} = 2990,31\ kN > V_{Ed,max} = 642,38\ kN$$

Potrebni razmak odabranih spona:

$$s_{w,pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1,13 \cdot 43,48 \cdot 0,9 \cdot 138,0}{642,38} = 19,0\ cm$$

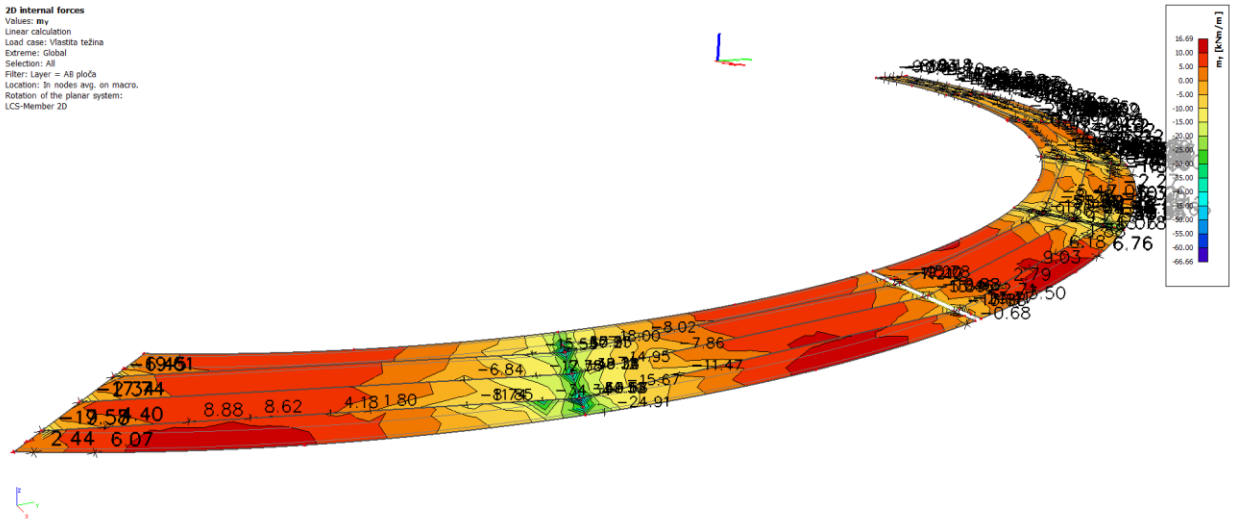
Odabrano: $\boldsymbol{\emptyset 12/15\ cm}$ $(\mathbf{A_s = 1,13\ cm^2})$

8 PRORAČUN KOLNIČKE PLOČE

Za potrebe proračuna kolničke ploče korišten je isti proračunski model, odnosno proračunski model koji je korišten za proračun uzdužnih i poprečnih nosača.

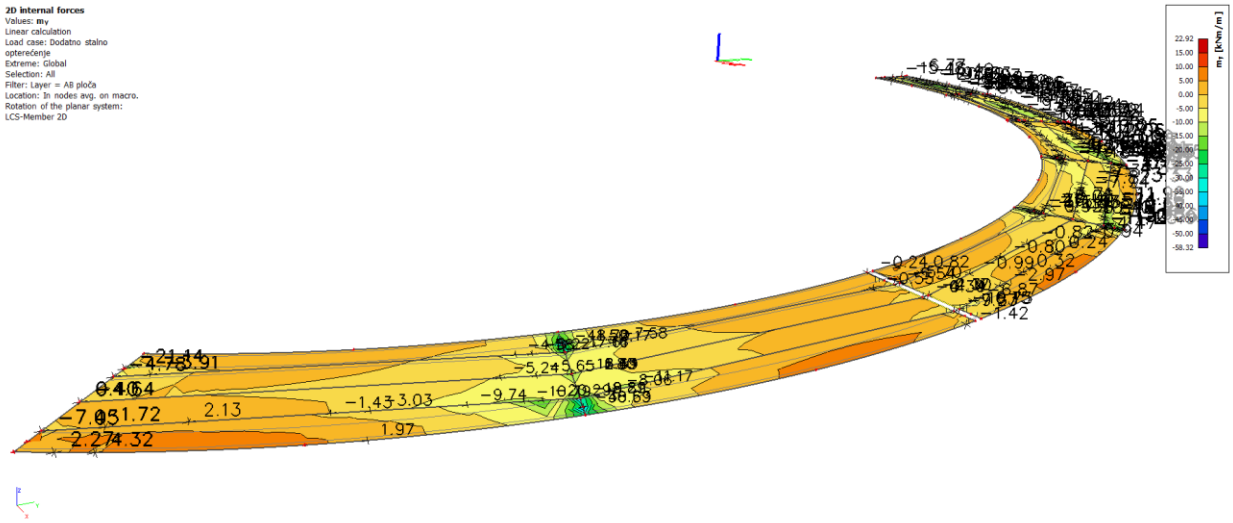
8.1 Rezultati proračuna

8.1.1 Vlastita težina



Slika 171. Vlastita težina – momenti m_y (kNm)

8.1.2 Dodatno stalno opterećenje

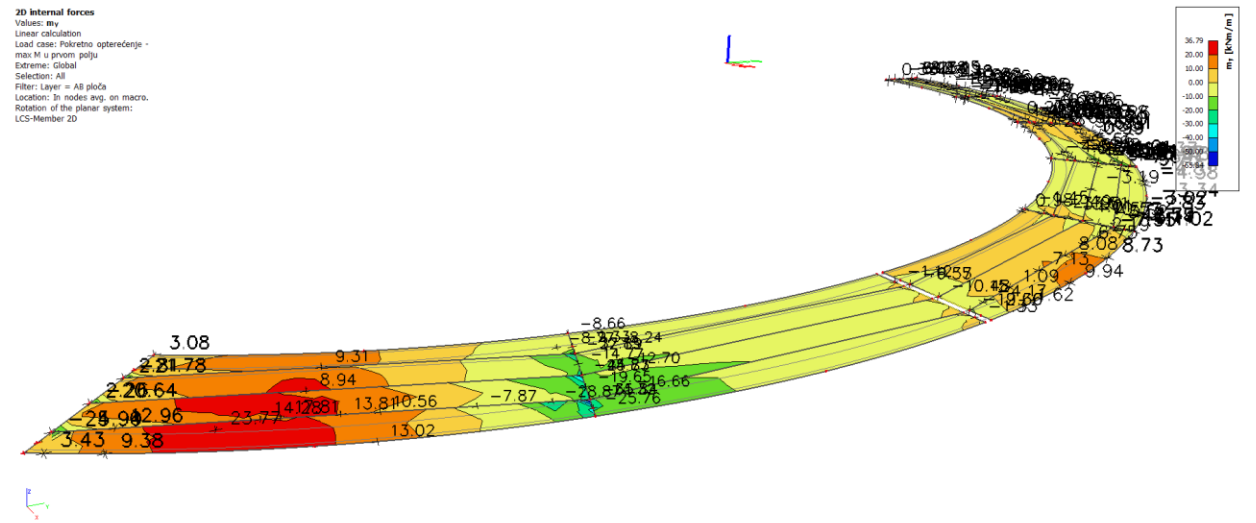


Slika 172. Dodatno stalno opterećenje – momenti m_y (kNm)

8.1.3 Pokretno opterećenje

Za mjerodavno pokretno opterećenje odabrana je shema opterećenja za maksimalni moment u prvom polju.

1. Pokretno opterećenje (maksimalni moment u prvom polju)



Slika 173. Pokretno opterećenje – maksimalni momenti u prvom polju – momenti m_y (kNm)

Karakteristike materijala

Beton (C 35/45)

$f_{ck} = 35{,}0$ MPa (karakteristična tlačna čvrstoća valjka)

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = 23{,}33$ MPa (proračunska tlačna čvrstoća valjka ; $\gamma_s = 1{,}5$)

Čelik za armiranje (B 500B)

$f_{yk} = 500{,}0$ MPa (karakteristična granica popuštanja)

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434{,}78$ MPa (proračunska granica popuštanja ; $\gamma_s = 1{,}15$)

8.2 Dimenzioniranje na moment savijanja

Donja zona

$$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot \left(M_g + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q = 1{,}35 \cdot (8{,}88 + 4{,}32) + 1{,}5 \cdot 23{,}77 = 53{,}48 \text{ kNm}$$

$b_{eff} = 100{,}0$ cm

$H = 20{,}0$ cm

$d_1 = 5{,}0$ cm

$d = H - d_1 = 20{,}0 - 5{,}0 = 15{,}0$ cm

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{53{,}48 \cdot 100}{100{,}0 \cdot 15{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}102$$

Za $\varepsilon_{s1} = 5{,}0$ ‰ očitano: $\varepsilon_{c2} = 1{,}6$ ‰ ; $\zeta = 0{,}912$; $\xi = 0{,}242$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{53{,}48 \cdot 100}{0{,}912 \cdot 15{,}0 \cdot 43{,}48} = 8{,}99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano: $\boldsymbol{\emptyset 12/10}$ $\left(\boldsymbol{A_s = 11{,}30 \text{ cm}^2/\text{m}}\right)$

Gornja zona

$$M_{Ed} = 1{,}35 \cdot \left(M_g + M_{\Delta g}\right) + 1{,}5 \cdot M_q = 1{,}35 \cdot (28{,}87 + 20{,}29) + 1{,}5 \cdot 34{,}34 = 117{,}88 \text{ kNm}$$

$b_{eff} = 100{,}0 \text{ cm}$

$H = 20{,}0 \text{ cm}$

$d_1 = 5{,}0 \text{ cm}$

$d = H - d_1 = 20{,}0 - 5{,}0 = 15{,}0 \text{ cm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{117{,}88 \cdot 100}{100{,}0 \cdot 15{,}0^2 \cdot 2{,}33} = 0{,}225$$

Za $\varepsilon_{s1} = 5{,}0$ ‰ očitano: $\varepsilon_{c2} = 3{,}3$ ‰ ; $\zeta = 0{,}836$; $\xi = 0{,}398$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{117{,}88 \cdot 100}{0{,}836 \cdot 15{,}0 \cdot 43{,}48} = 21{,}62 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano: $\emptyset\mathbf{18/10}$ $(\mathbf{A_s = 25{,}40 \text{ cm}^2/\text{m}})$

9 PRORAČUN LEŽAJEVA

Proračun ležajeva provodi se u dvije faze:

- proračun potrebne površine ležaja
- proračun potrebne visine ležaja

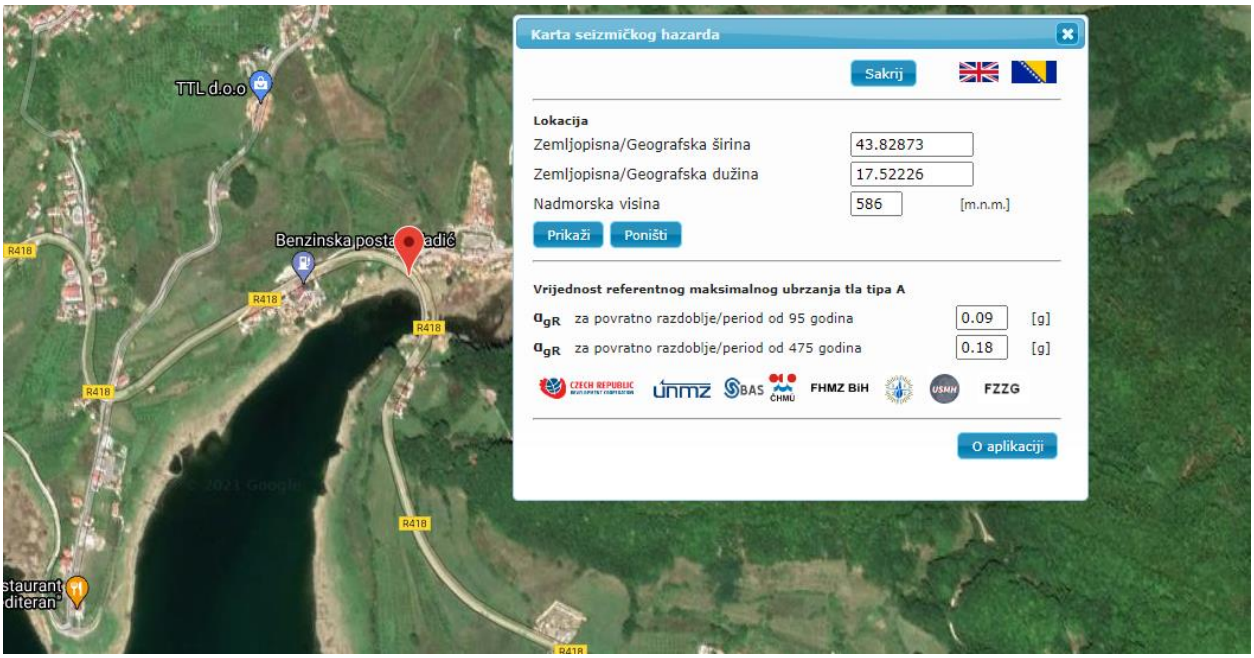
9.1 Proračun potrebne površine ležaja

Potrebna površina ležaja ovisi o ukupnoj sili koju ležaj mora primiti. U konkretnom slučaju na svakoj naglavnici nalaze se 3 ležaja. Izuzetak je naglavnica drugog (S2) i šestog stupa (S6) na kojoj se nalaze 2x3 ležaja. Takvo rješenje s udvojenim osloncima iznad stupova usvojeno je jer je na tom mjestu izvedena dilatacija rasponske konstrukcije.

Za proračun potrebne površine ležaja, osim reakcija od stalnog, dodatnog stalnog i pokretnog opterećenja, u obzir se u uzimaju i reakcije od djelovanja potresa.

9.1.1 Djelovanje potresa

Potresne sile proračunate su postupkom spektralne analize prema EC-8. Prema *Karti seizmičkih zona i referentnih ubrzanja tla u BiH* računsko projektno ubrzanje tla je a = 0,18 g.



Slika 174. Karta seizmičkih zona i referentnih ubrzanja tla u BiH

Za potrebe proračuna smatra se da tlo na kojem je konstrukcija temeljena odgovara klasi tla A. Proračun je izvršen za faktor ponašanja q = 1,5, što odgovara ograničeno duktilnim mostovima s armirano betonskim vertikalnim stupovima.

Koeficijenti za proračun ordinata spektra odgovora:

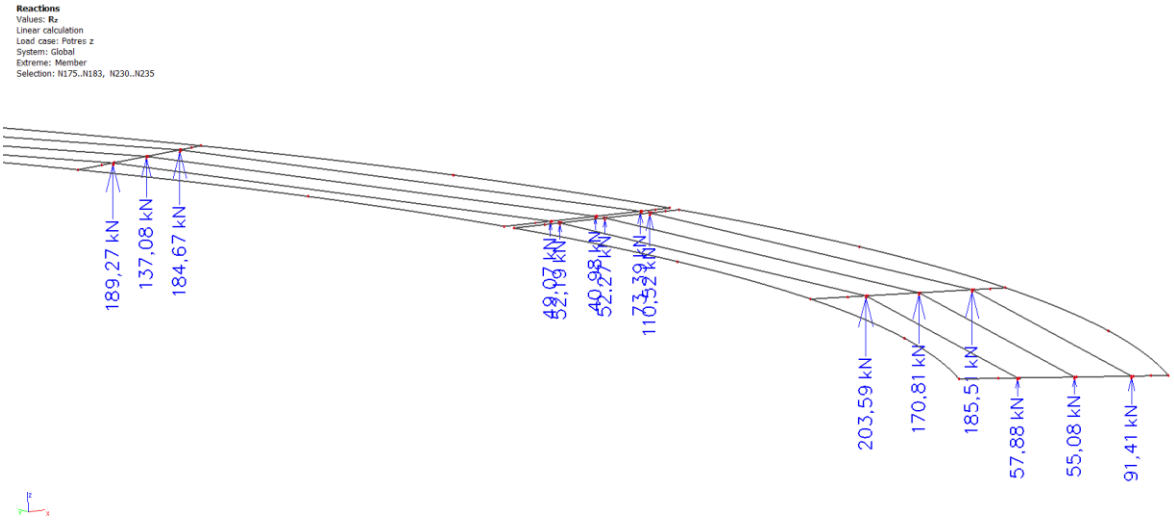
Faktor važnosti: $\Psi = 1{,}0$ (most prosječne važnosti)

Faktor ponašanja: $q = 1{,}5$ (ograničeno duktilno ponašanje)

Tlo klase ˝A˝: $S = 1{,}0$; $T_B = 0{,}1$ s ; $T_C = 0{,}4$ s ; $T_D = 3{,}0$ s

Računsko ubrzanje tla: $a = 0{,}18$ g

Proračun konstrukcije izvršen je metodom spektra odgovora.



Slika 175. Djelovanje potresa – reakcije R_z (kN)

Kombinacija opterećenja 1:

$$R^1_{max} = R_g + R_{\Delta g} + R_q$$

Kombinacija opterećenja 2:

$$R^2_{max} = R_g + R_{\Delta g} + \frac{1}{2} \cdot R_q + R_s$$

Rubni vanjski rasponski nosači

Tablica 65. Potrebna površina ležaja – rubni vanjski rasponski nosači

Utjecaj	1	2	3	4
Vlastita težina	330,17	621,89	340,05	593,80
Dodatno stalno opterećenje	194,50	417,42	202,05	402,80
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	516,98	672,69	524,32	663,66
Djelovanje potresa	91,41	185,51	110,52	184,67
Reakcije ukupno R^1_{max}	1041,65	1712,0	1066,42	1660,26
Reakcije ukupno R^2_{max}	874,57	1561,17	914,78	1513,10
Potrebna površina ležaja (mm)	**Ø350**	**Ø500**	**Ø350**	**Ø500**

Središnji rasponski nosači

Tablica 66. Potrebna površina ležaja – središnji rasponski nosači

Utjecaj	1	2	3	4
Vlastita težina	222,10	780,00	229,60	676,47
Dodatno stalno opterećenje	-11,53	74,11	-3,19	25,14
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	564,58	1000,75	567,95	977,07
Djelovanje potresa	55,08	170,81	52,27	137,08
Reakcije ukupno R^1_{max}	775,15	1854,86	794,36	1678,68
Reakcije ukupno R^2_{max}	547,94	1525,30	562,66	1327,23
Potrebna površina ležaja (mm)	**Ø350**	**Ø500**	**Ø350**	**Ø500**

Rubni unutrašnji rasponski nosači

Tablica 67. Potrebna površina ležaja – rubni unutrašnji rasponski nosači

Utjecaj	1	2	3	4
Vlastita težina	290,60	1241,80	298,03	1084,98
Dodatno stalno opterećenje	156,56	643,02	161,44	574,77
Najnepovoljnije pokretno opterećenje	366,08	702,56	367,99	684,23
Djelovanje potresa	57,88	203,59	52,19	189,27
Reakcije ukupno R^1_{max}	813,24	2587,38	827,46	2343,98
Reakcije ukupno R^2_{max}	688,08	2439,69	695,66	2191,14
Potrebna površina ležaja (mm)	**Ø350**	**Ø500**	**Ø350**	**Ø500**

Mjerodavna je kombinacija koja ne uključuje reakcije od djelovanja potresa. Za sve ležajave iznad upornjaka (U1, U2) te iznad stupova s udvojenim osloncima (S2, S5) usvojena je površina ležaja Ø 350 mm, dok je za sve ležajeve iznad svih ostalih stupova (S1, S3, S4, S6) usvojena površina ležaja Ø 500 mm.

9.2 Proračun potrebne visine ležaja

Potrebna visina ležaja ovisi o ukupnom pomaku na ležaju. Proračun se provodi za uobičajenu kombinaciju opterećenja.

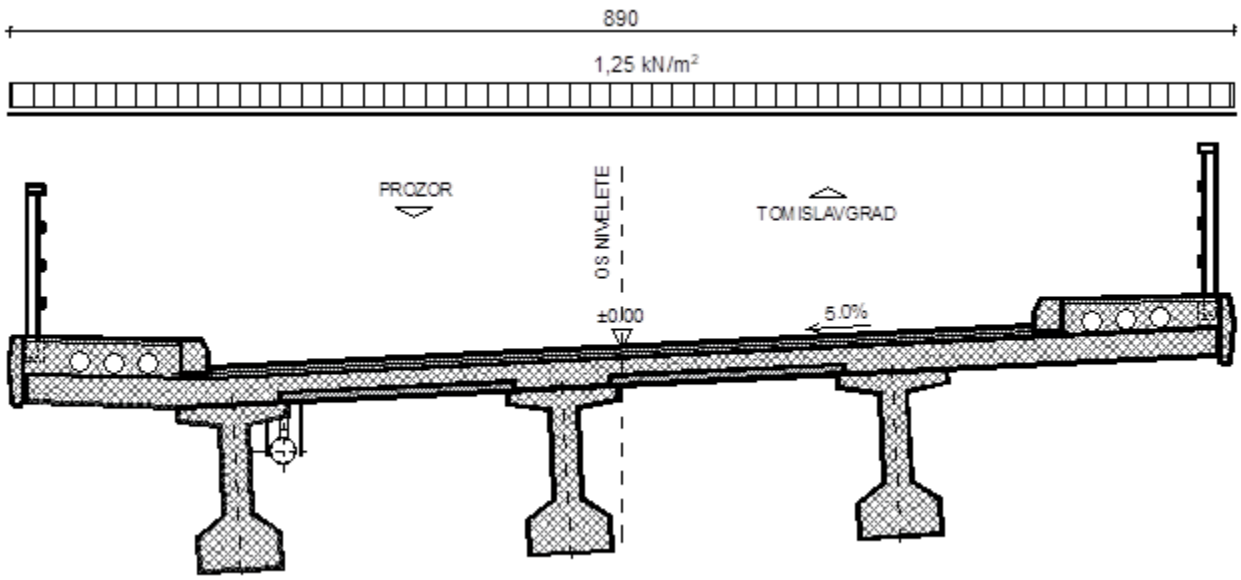
Za proračun potrebne visine ležaja uzeta su u obzir sljedeća opterećenja:

- vjetar u smjeru mosta – prazni most
- vjetar u smjeru mosta – puni most
- sila kočenja
- temperatura
- skupljanje betona

9.2.1 Analiza opterećenja

9.2.1.1 Djelovanje vjetra u smjeru rasponske konstrukcije

1. Vjetar u smjeru mosta – puni most

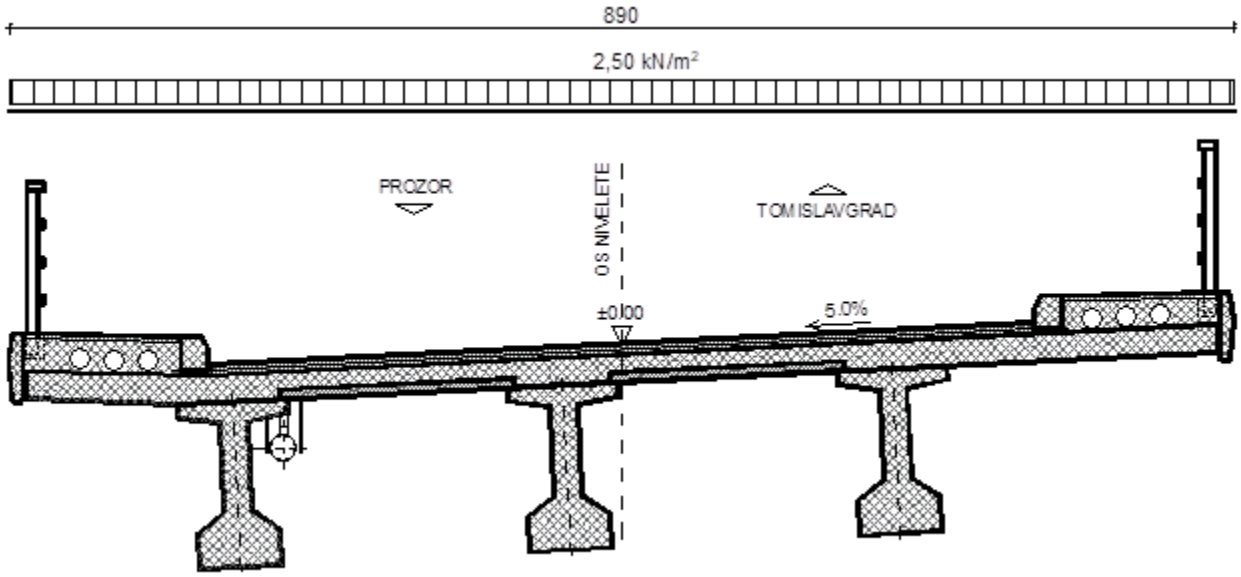


Slika 176. Analiza opterećenja vjetrom u smjeru punog mosta

$w_0 = 1{,}25\ \mathrm{kN/m^2}$

$w_{rk} = 0{,}1 \cdot w_0 \cdot l = 0{,}1 \cdot 1{,}25 \cdot 8{,}90 = 1{,}11\ \mathrm{kN/m}$

2. Vjetar u smjeru mosta – prazni most



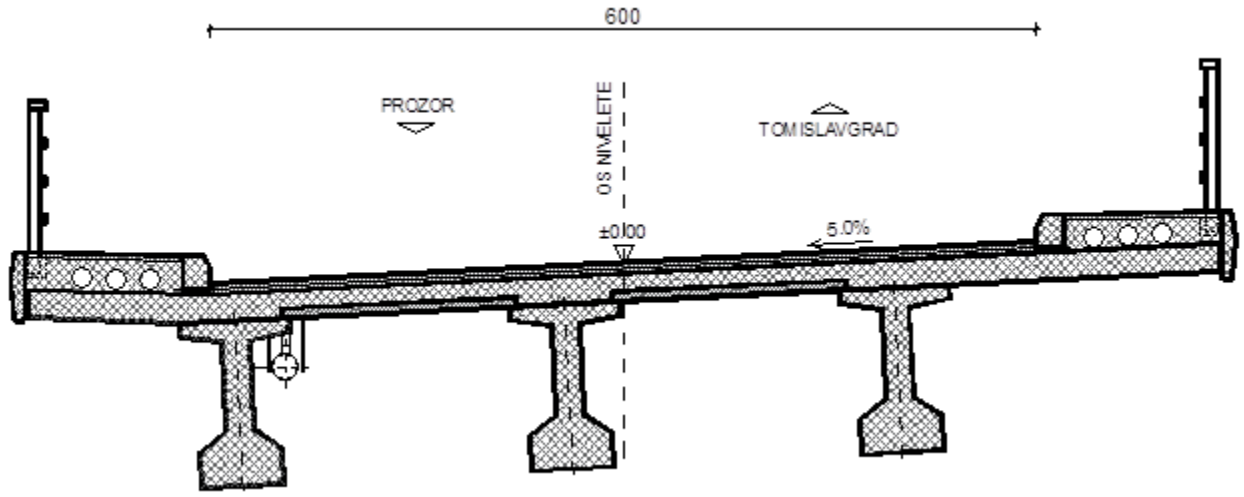
Slika 177. Analiza opterećenja vjetrom u smjeru praznog mosta

$w_0 = 2{,}50\ \mathrm{kN/m^2}$

$w_{rk} = 0{,}1 \cdot w_0 \cdot l = 0{,}1 \cdot 2{,}50 \cdot 8{,}90 = 2{,}22\ \mathrm{kN/m}$

9.2.1.2 Sila kočenja (sila pokretanja) uzduž mosta

Kočne sile i sile pokretanja su jednakih intenziteta, ali suprotnih smjerova na mostu. Iznos tih sila dobije se kao 60% koncentriranog opterećenja i 10% jednoliko raspodijeljenog opterećenja na jednom voznom traku (najopterećenijem), ali s donjom granicom od 180 kN i gornjom granicom od 800 kN.



$$\mathrm{K} = 0{,}1 \cdot (9{,}0 \cdot 3{,}0) \cdot 203{,}40 + 0{,}6 \cdot 600 = 909{,}18\ \mathrm{kN}$$

Raspodijeljena sila kočenja po metru dužine mosta:

$$\mathrm{k} = \frac{\mathrm{K}}{\mathrm{l_{most}}} = \frac{909{,}18}{203{,}40} = 4{,}47\ \mathrm{kN/m}$$

9.2.1.3 Djelovanje temperature

Uzeto je jednoliko djelovanje temperature:

$\Delta T = \pm 25\ °C$

9.2.1.4 Djelovanje skupljanja betona rasponske konstrukcije

Konačni koeficijent skupljanja odabran je prema pravilniku:

$\varepsilon_s = 0{,}34\ ‰$

Uzeto je u obzir da su na rasponskoj konstrukciji uzdužni nosači izvedeni prethodno i da se dio skupljanja odigrao, te da uzdužna armatura smanjuje skupljanje:

$\varepsilon_{s,rač} = 0{,}8 \cdot 0{,}34 = 0{,}289\ ‰$

Skupljanje betona rasponske konstrukcije simulirano je jednolikom promjenom temperature.

Koeficijent toplinskog rastezanja betona:

$\alpha_t = 1{,}0 \cdot 10^{-5}\ 1/°C$

$\varepsilon_t = \alpha_t \cdot \Delta t \rightarrow \varepsilon_{s,rač}$

$\Delta t_s = \frac{\varepsilon_{s,rač}}{\alpha_t} = \frac{0{,}000289}{1{,}0 \cdot 10^{-5}} = 28{,}9\ °C$

Skupljanje je modelirano kao jednoliko djelovanje temperature:

$\Delta t_s = -28{,}9\ °C$

9.2.2 Rezultati proračuna

Za potrebe proračuna korišten je isti proračunski model koji je korišten i za proračun uzdužnih i poprečnih nosača, te kolničke ploče s tim da su neoprenski ležajevi simulirani posebnim štapnim elementima koji imaju samo aksijalnu krutost, dok su im posmična i savojna krutost jednake nuli. Svaki set ležajeva na upornjacima i stupovima simuliran je s po tri štapa u svakom smjeru, pri čemu vertikalni štap simulira ukupnu krutost (površinu) ležaja u vertikalnom smjeru, a horizontalni štapovi ukupnu krutost (površinu) ležaja u horizontalnom smjeru. Pri tome su korišteni sljedeći izrazi za izračun materijalnih karakteristika u horizontalnom i vertikalnom smjeru:

$$G = 1{,}2\ \text{MPa}$$

$$E_H = G$$

$$E_V = \frac{3}{8} \cdot G \cdot \left(\frac{\phi}{t}\right)^2$$

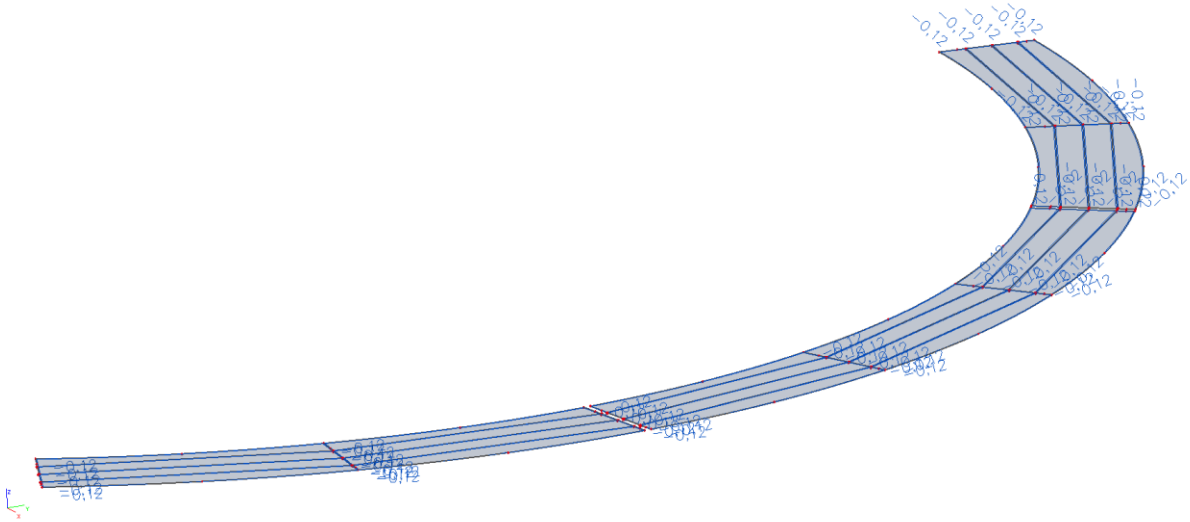
Gdje su:

G (modul posmika)
E (modul elastičnosti)
E_V (vertikalni modul elastičnosti)
E_H (horizontalni modul elastičnosti)
ϕ (promjer neoprenskog ležaja)
t (debljina sloja neoprena)

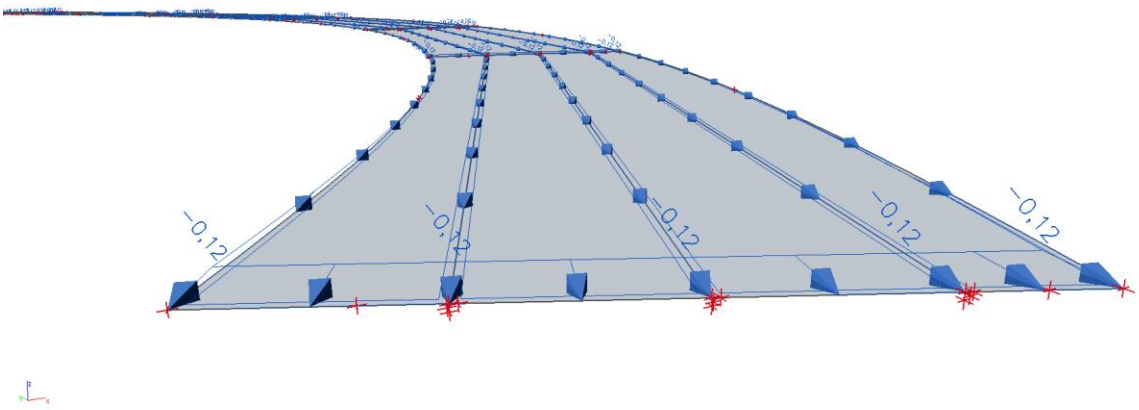
Rezultati proračuna prikazani su za rubne vanjske ležajeve budući da oni imaju najveće pomake, te je prema odgovarajućim pomacima istih izvršen proračun potrebne visine ležaja.

9.2.2.1 Djelovanje vjetra u smjeru rasponske konstrukcije

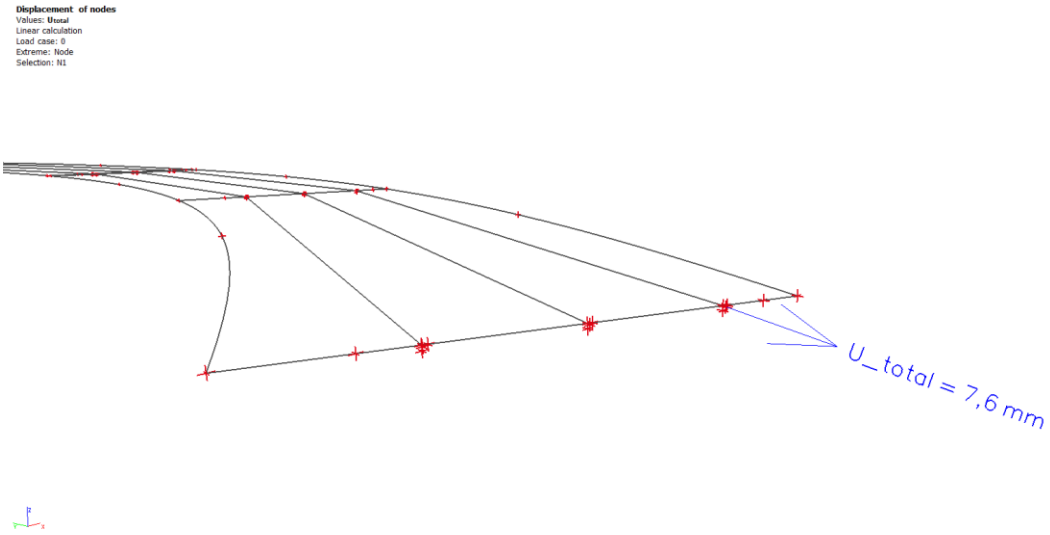
1. Vjetar u smjeru mosta – puni most



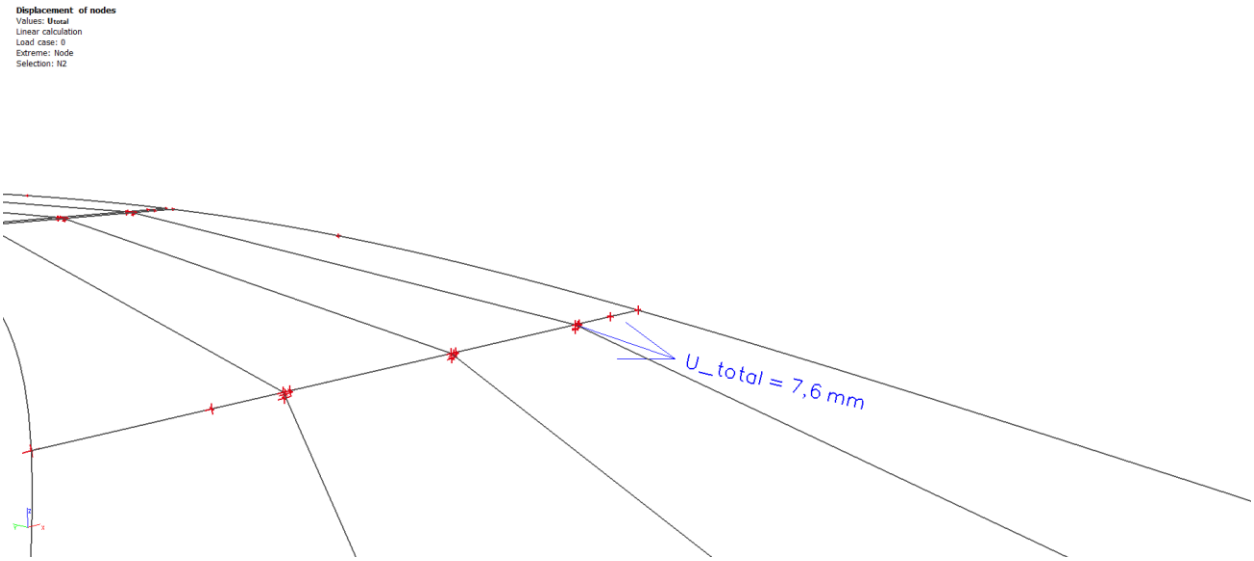
Slika 178. Opterećenje vjetrom u smjeru mosta – puni most



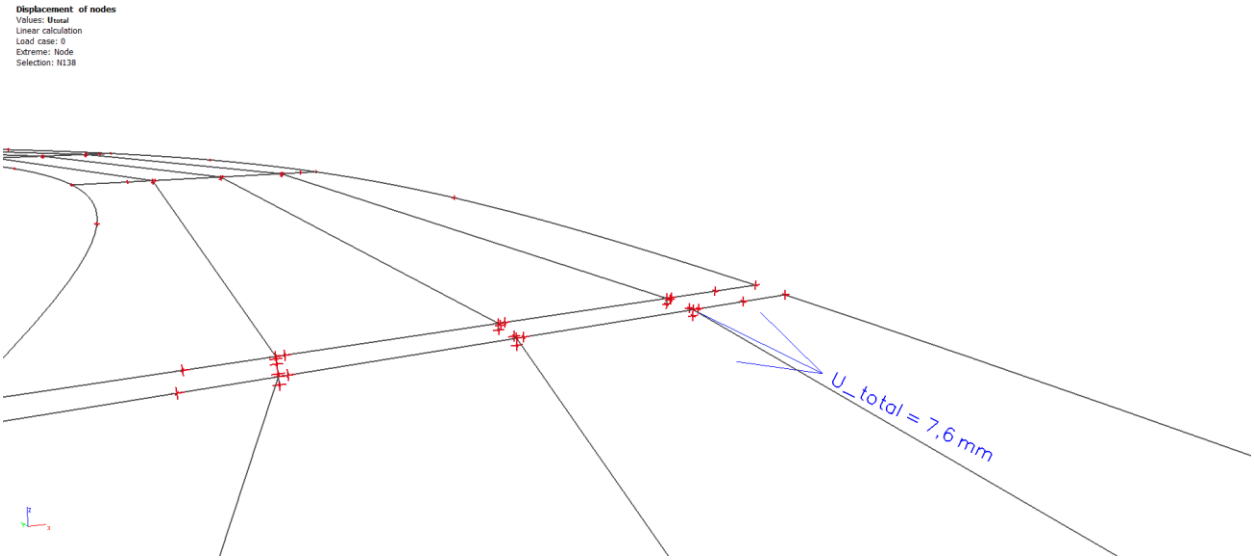
Slika 179. Opterećenje vjetrom u smjeru mosta – puni most – vrijednosti



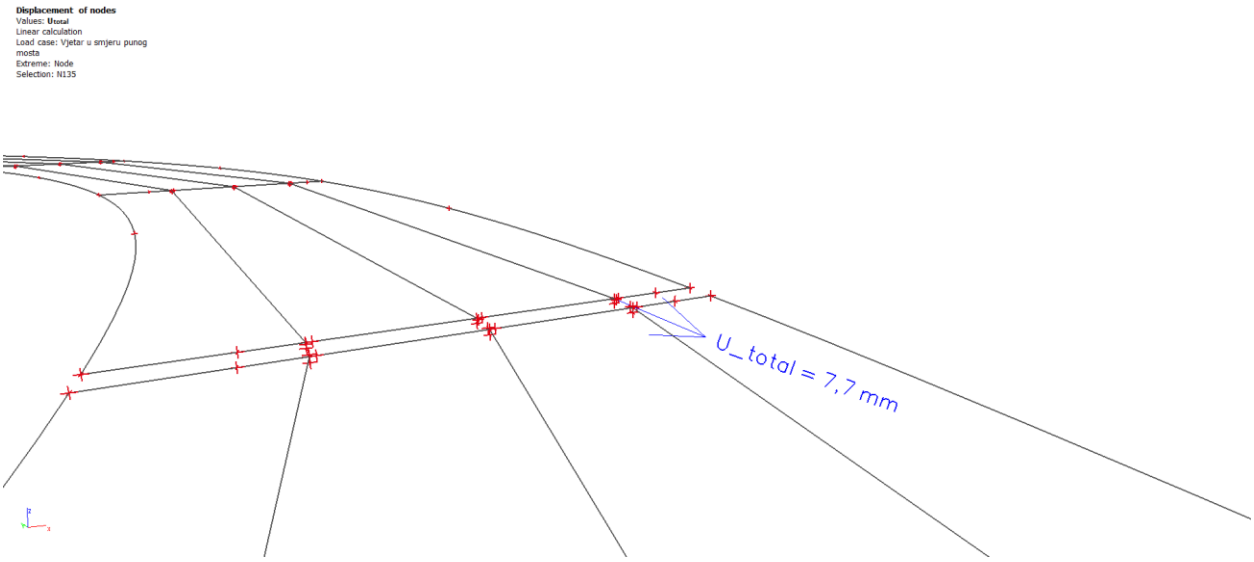
Slika 180. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – puni most – upornjak (U1)



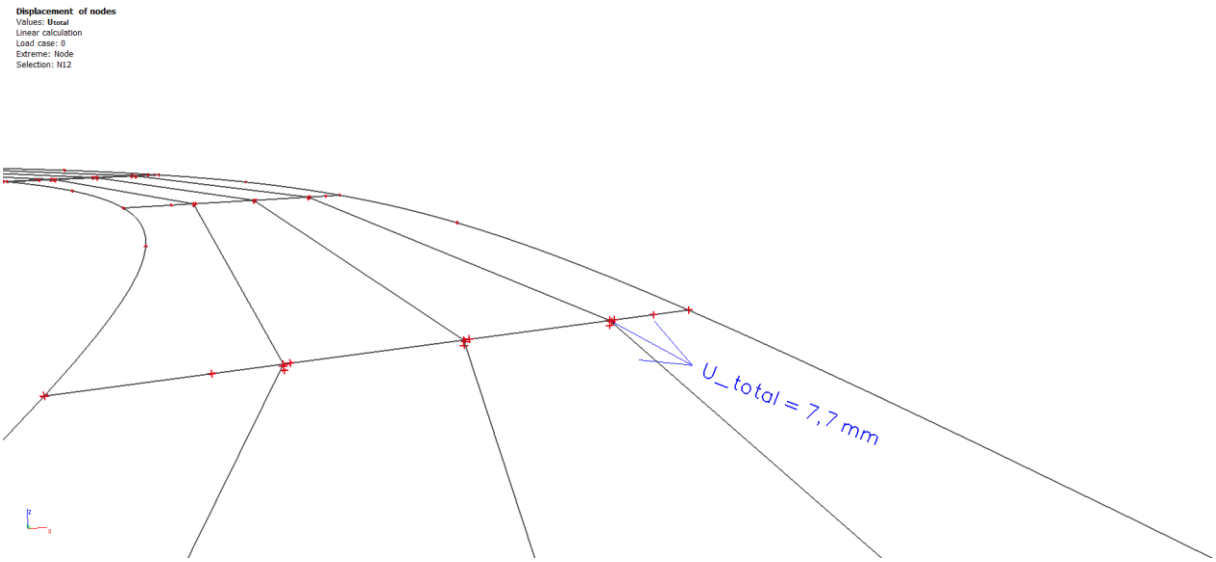
Slika 181. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – puni most – stup (S1)



Slika 182. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – puni most – stup (S2 lijevo)

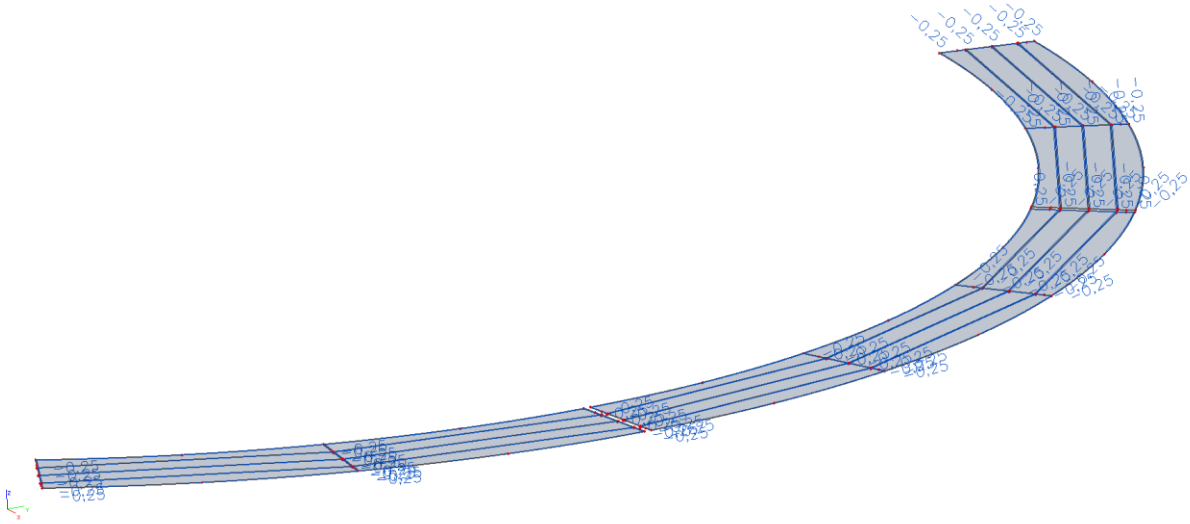


Slika 183. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – puni most – stup (S2 desno)

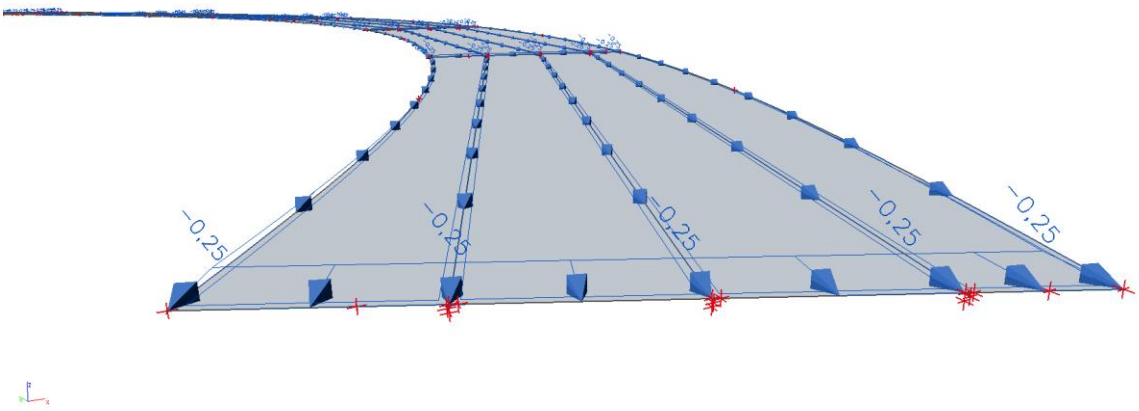


Slika 184. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – puni most – stup (S3)

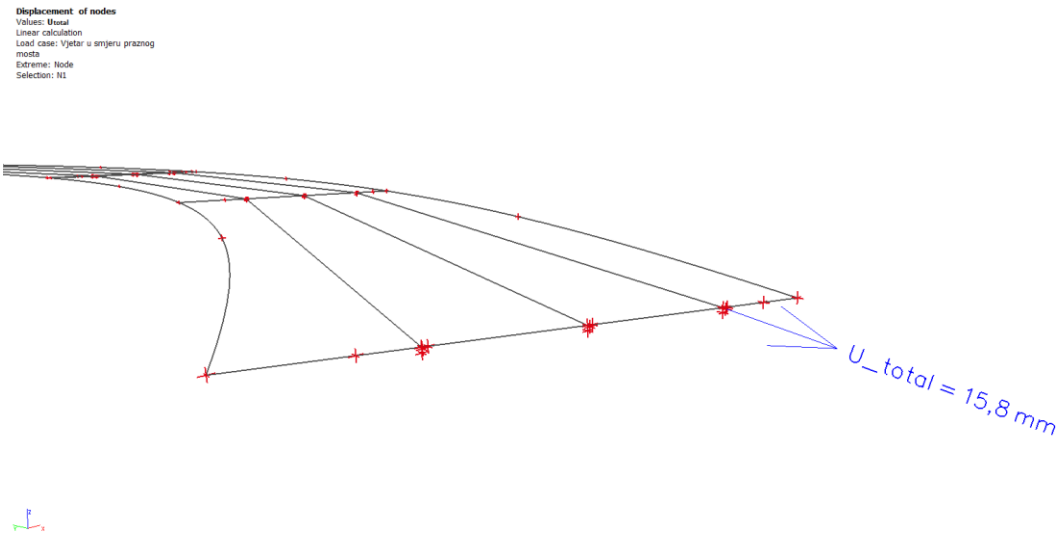
2. Vjetar u smjeru mosta – prazni most



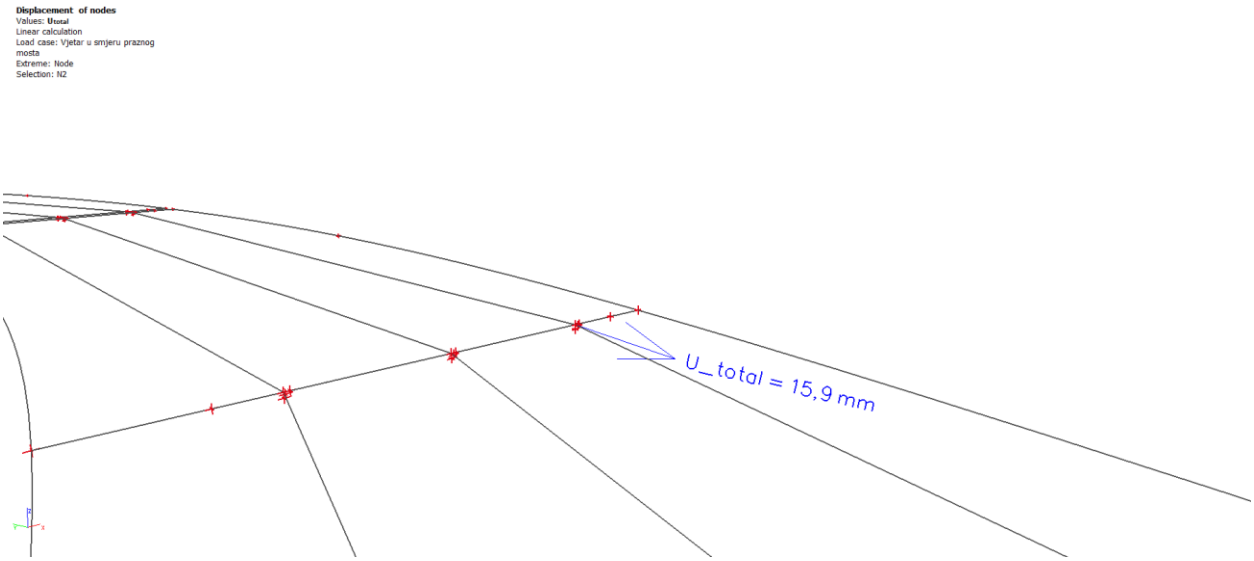
Slika 185. Opterećenje vjetrom u smjeru mosta – prazni most



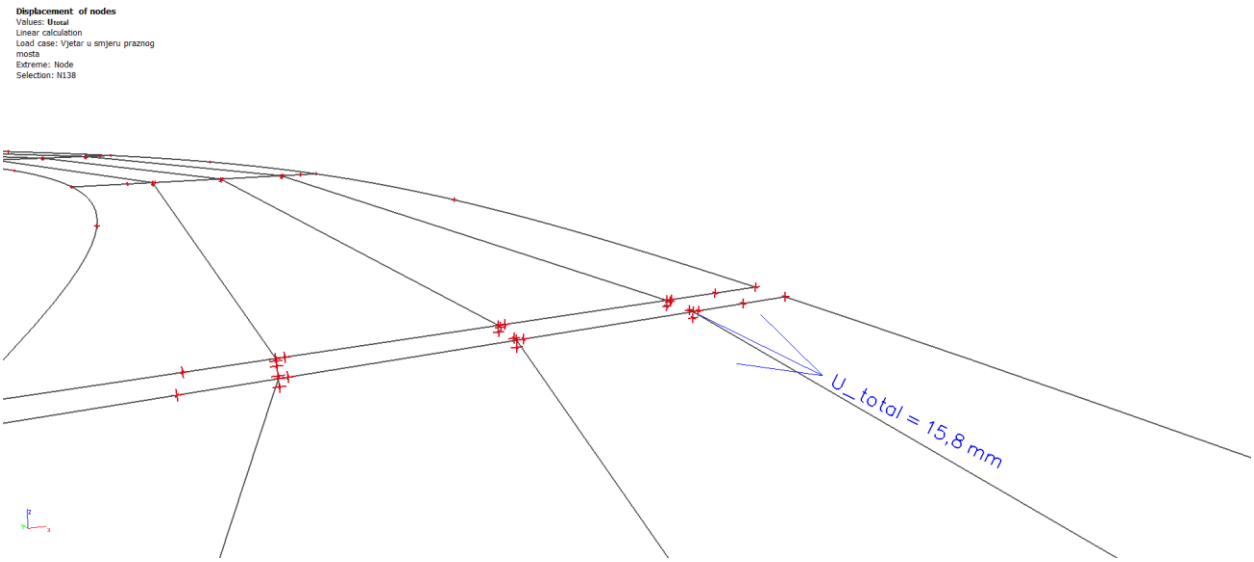
Slika 186. Opterećenje vjetrom u smjeru mosta – prazni most – vrijednosti



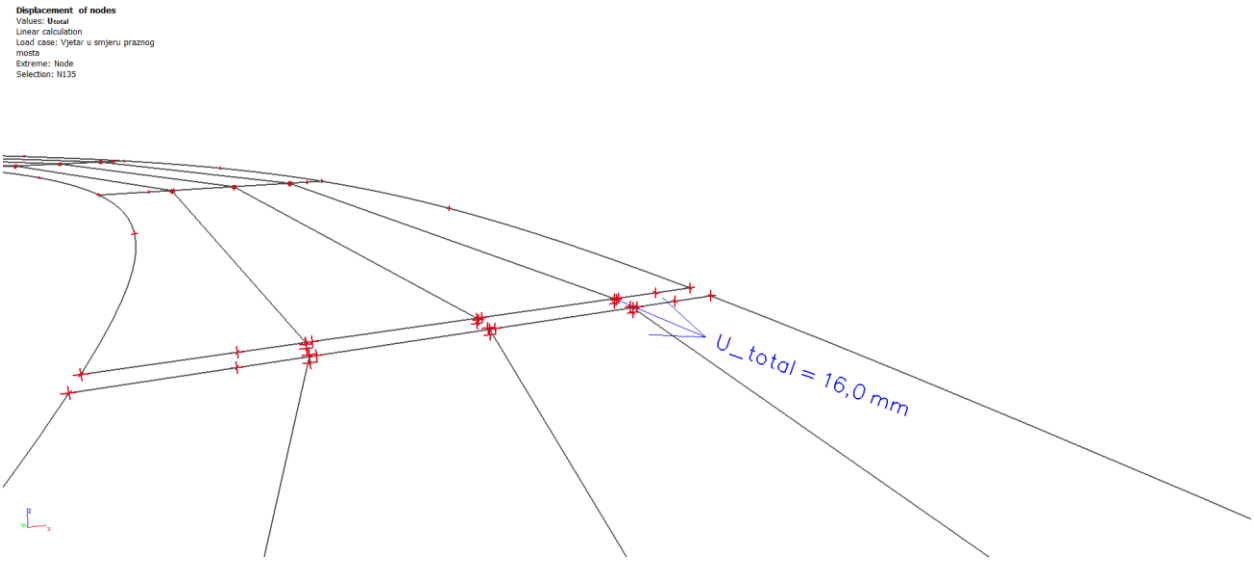
Slika 187. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – prazni most – upornjak



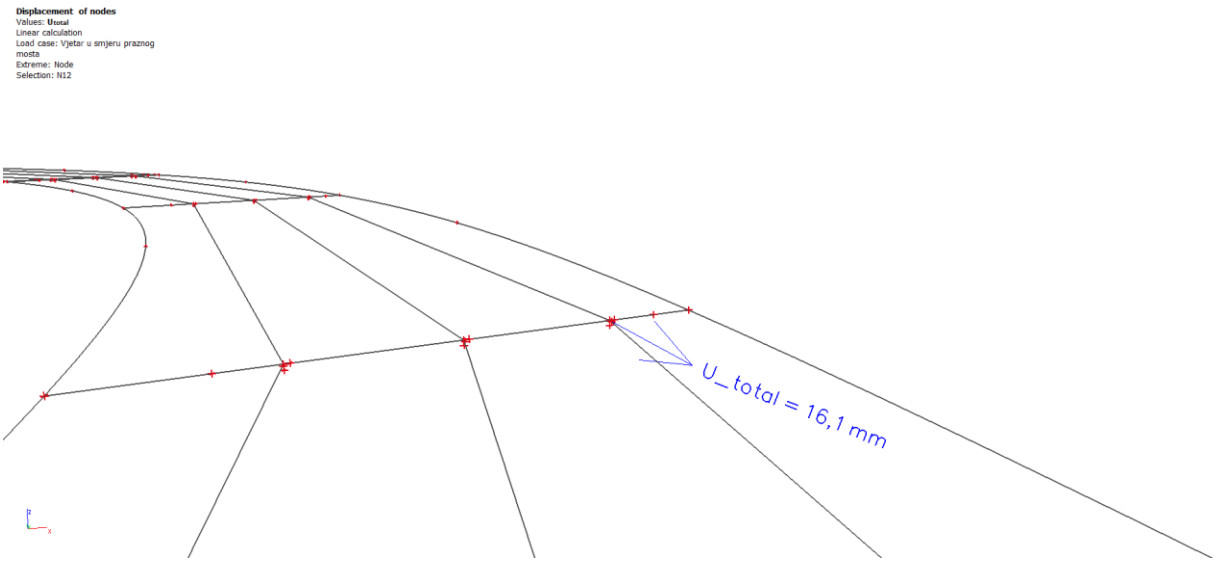
Slika 188. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – prazni most – stup (S1)



Slika 189. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – prazni most – stup (S2 lijevo)

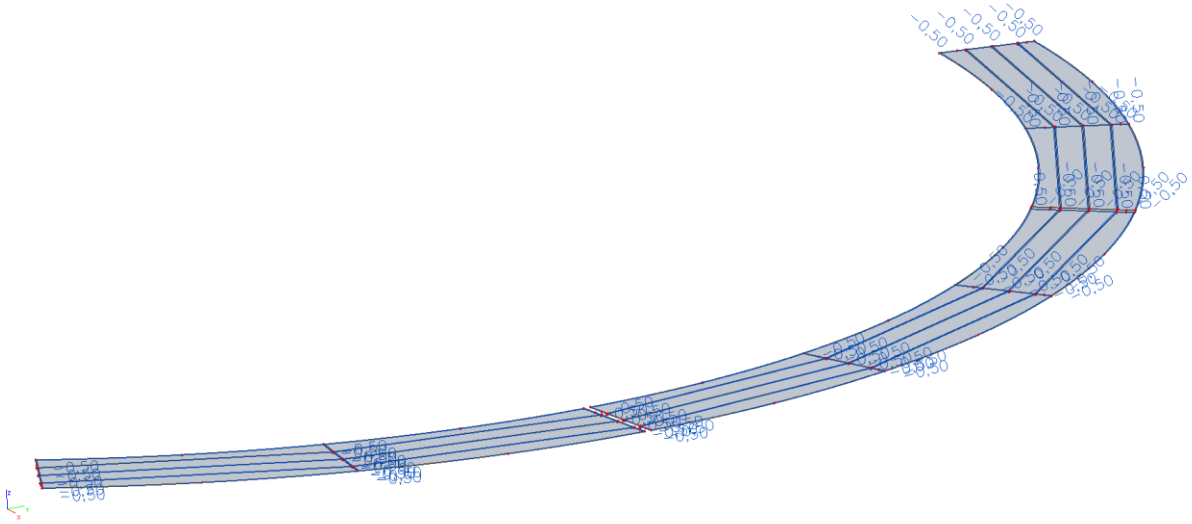


Slika 190. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – prazni most – stup (S2 desno)

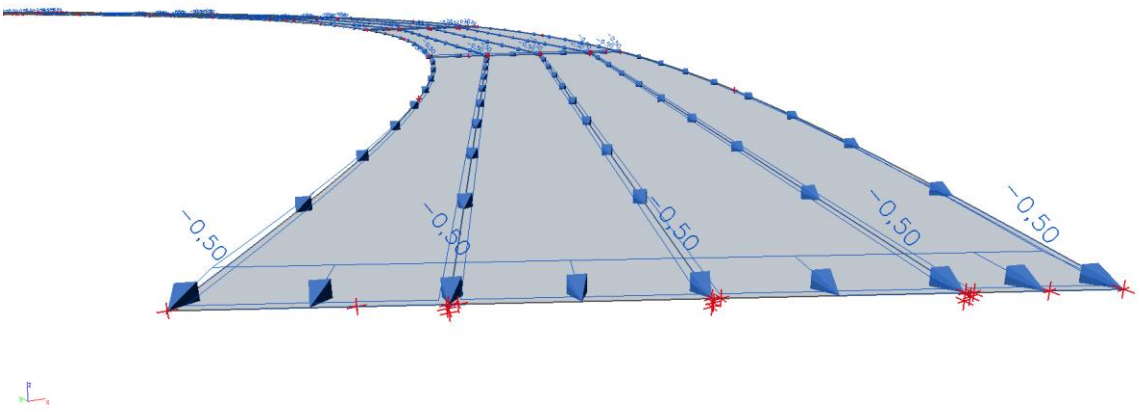


Slika 191. Ukupni pomak – vjetar u smjeru mosta – prazni most – stup (S3)

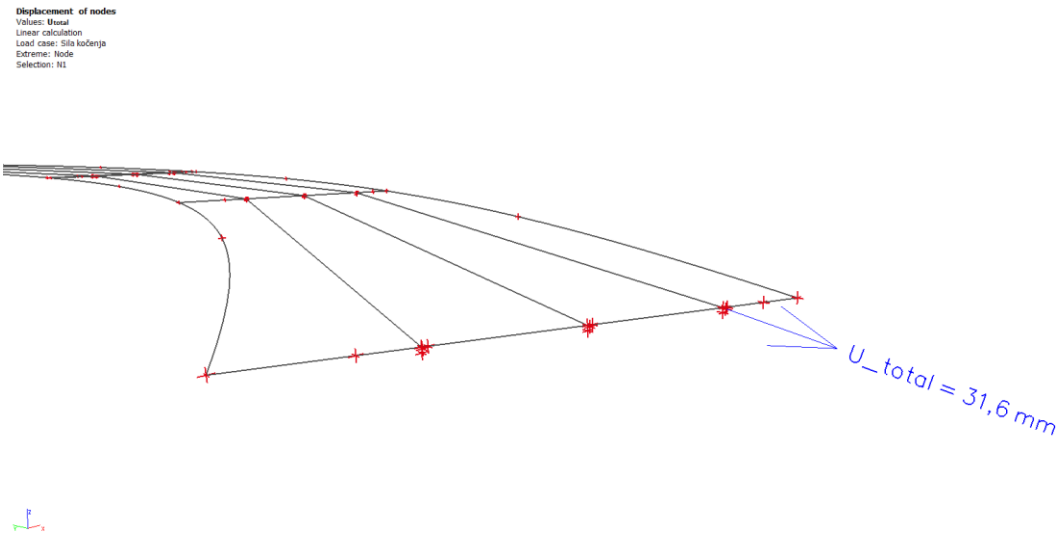
9.2.2.2 Sila kočenja (sila pokretanja) uzduž mosta



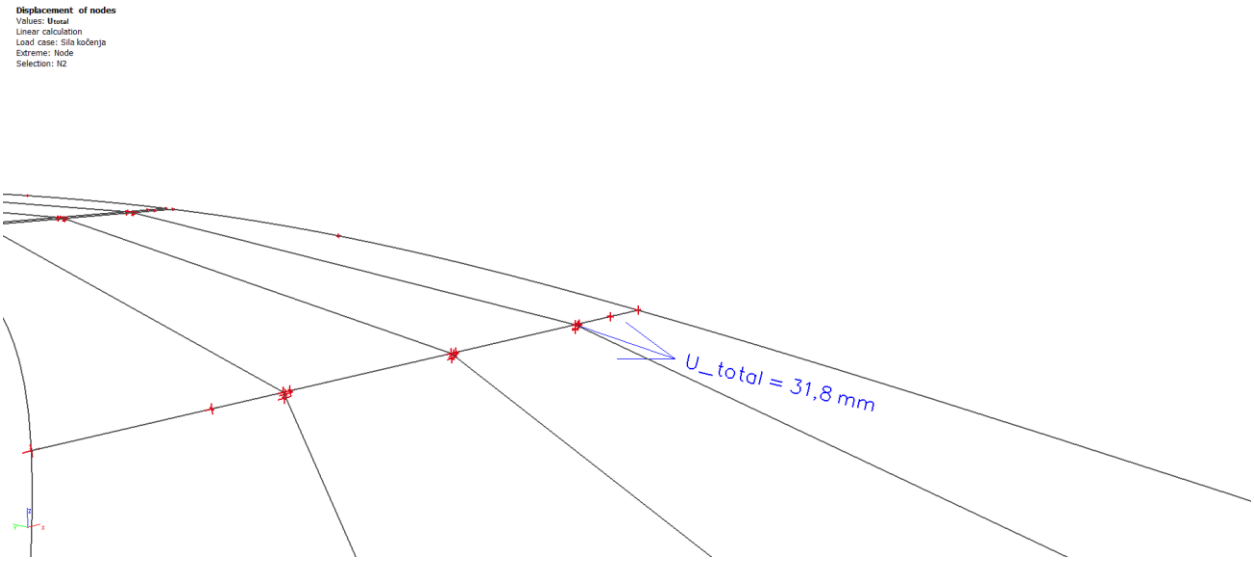
Slika 192. Sila kočenja (sila pokretanja)



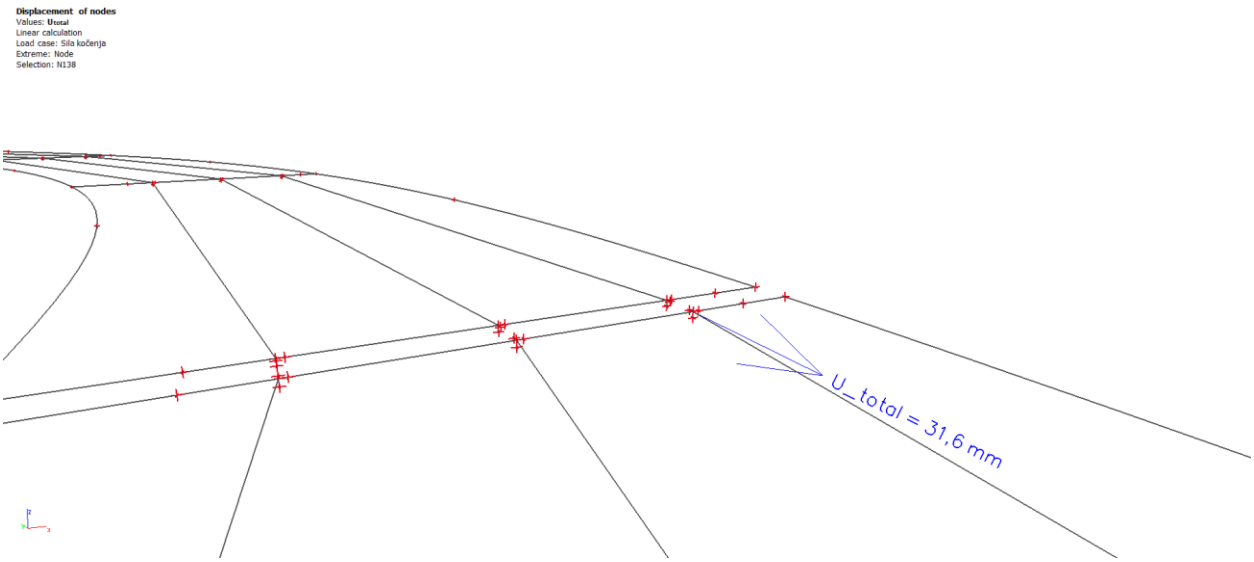
Slika 193. Sila kočenja (sila pokretanja) – vrijednosti



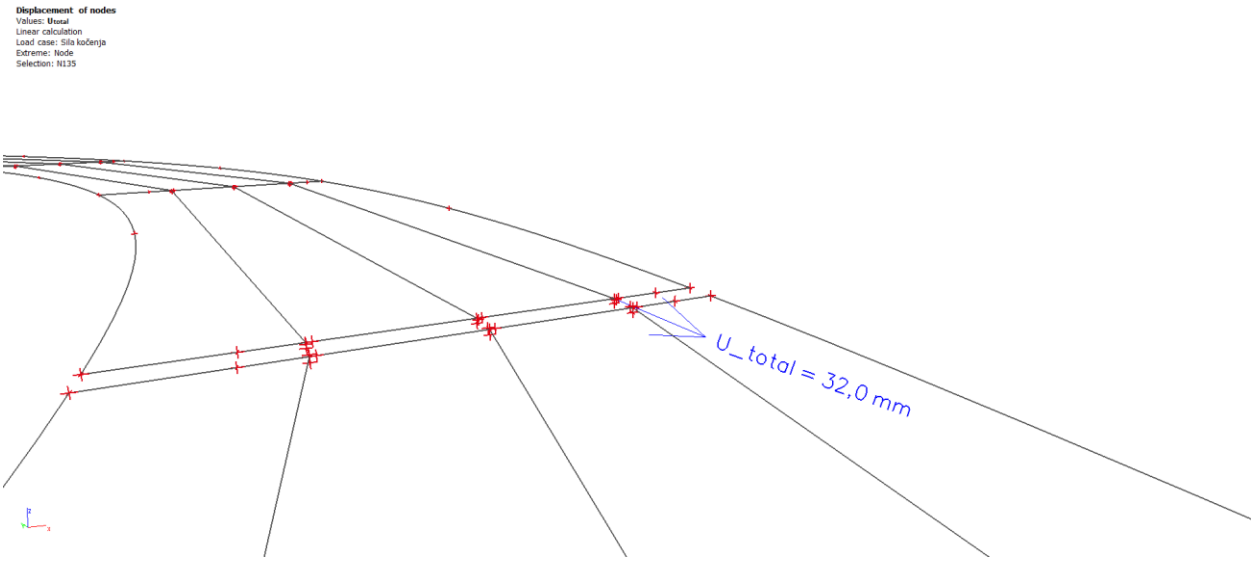
Slika 194. Ukupni pomak – sila kočenja - upornjak



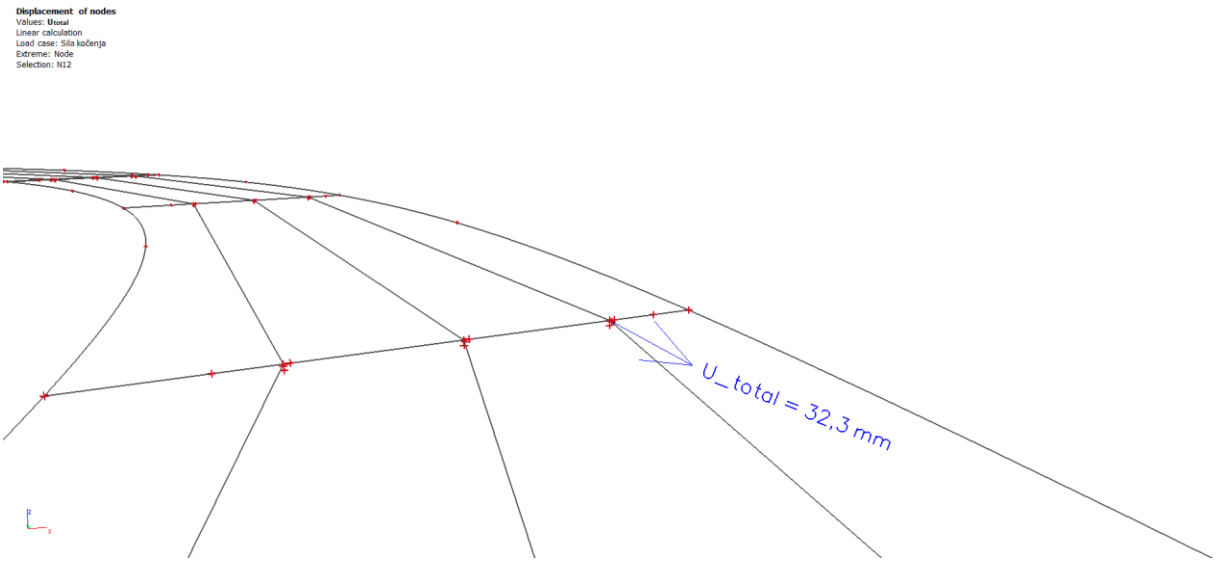
Slika 195. Ukupni pomak – sila kočenja – stup (S1)



Slika 196. Ukupni pomak – sila kočenja – stup (S2 lijevo)

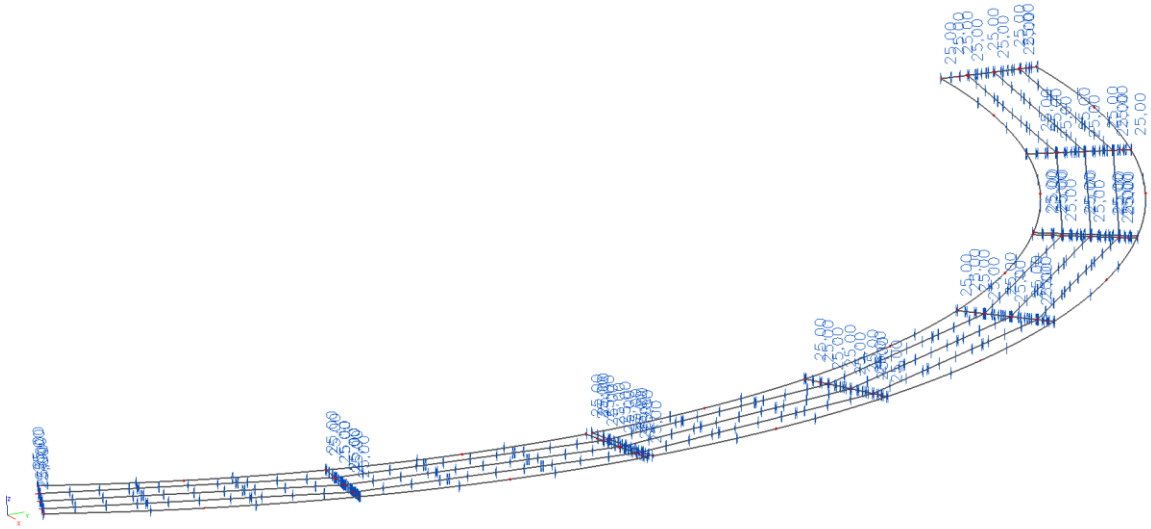


Slika 197. Ukupni pomak – sila kočenja – stup (S2 desno)

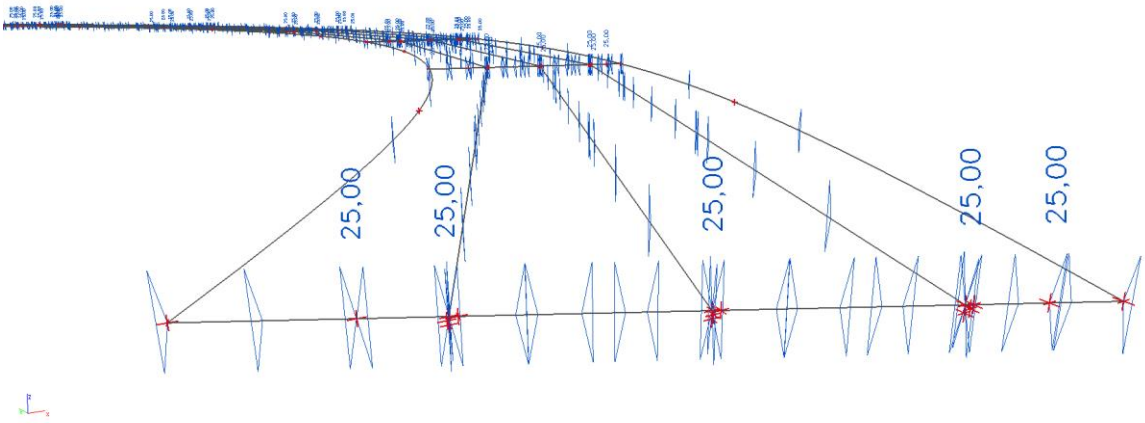


Slika 198. Ukupni pomak – sila kočenja – stup (S3)

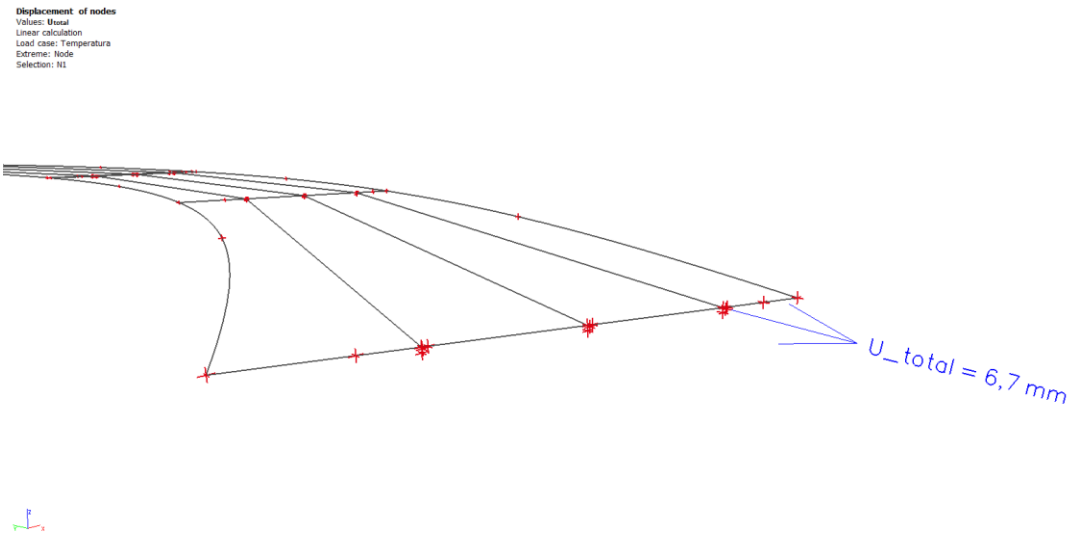
9.2.2.3 Djelovanje temperature



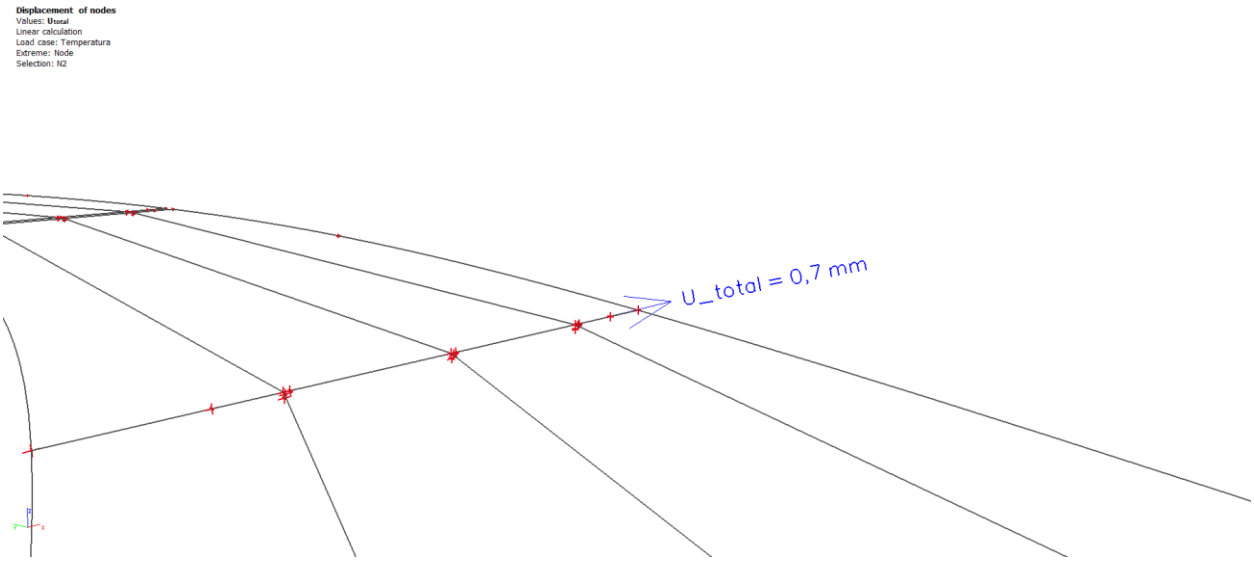
Slika 199. Djelovanje temperature



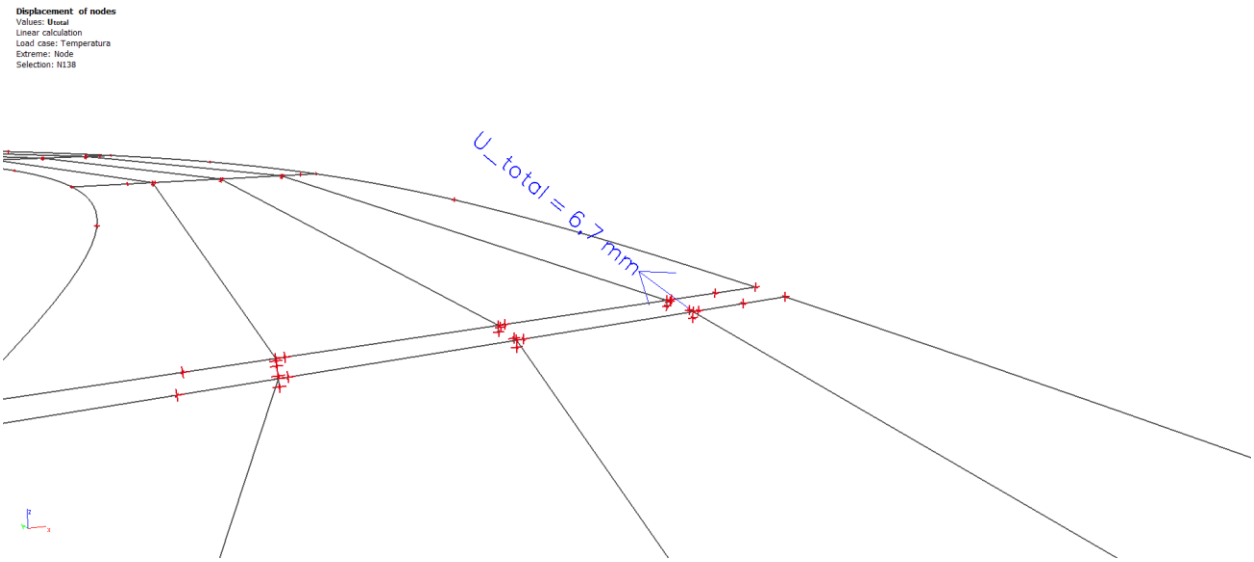
Slika 200. Djelovanje temperature – vrijednosti



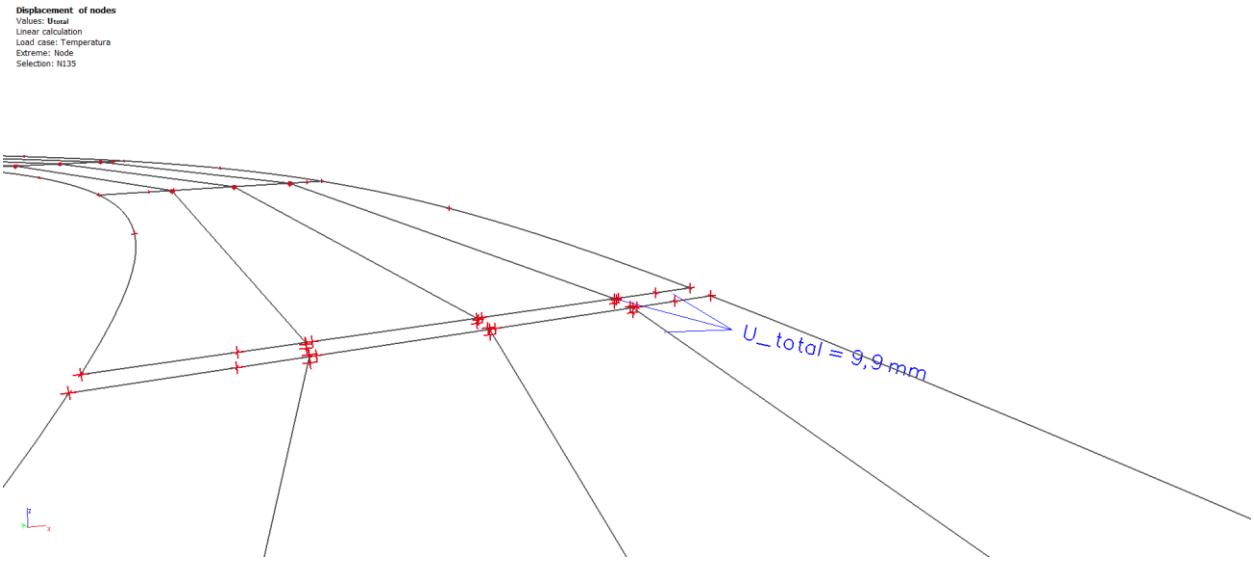
Slika 201. Ukupni pomak – djelovanje temperature – upornjak



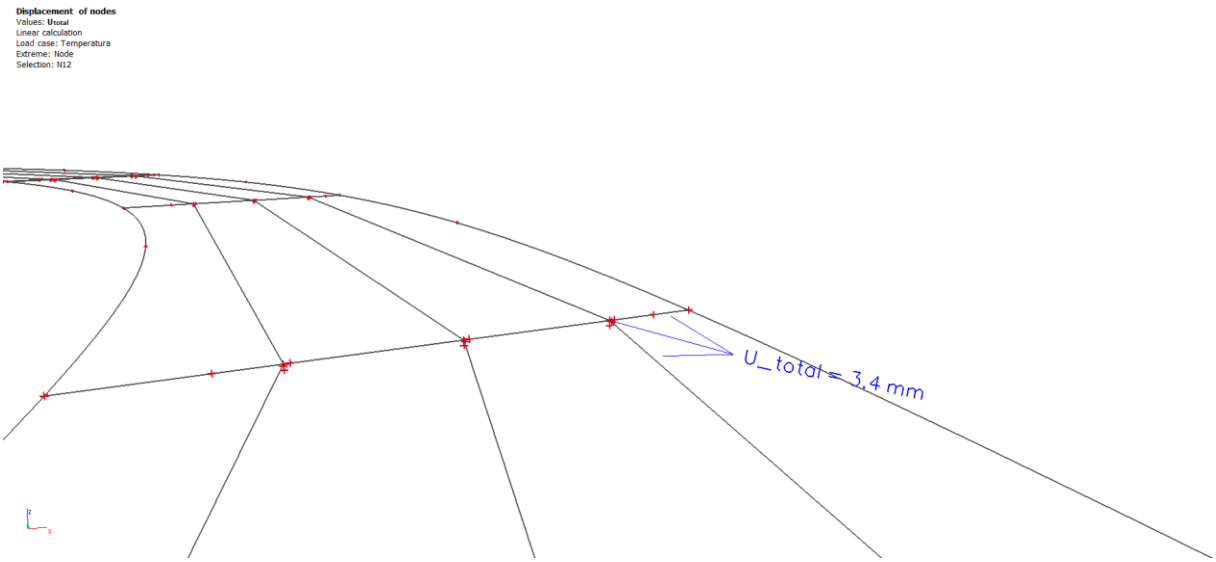
Slika 202. Ukupni pomak – djelovanje temperature – stup (S1)



Slika 203. Ukupni pomak – djelovanje temperature – stup (S2 lijevo)

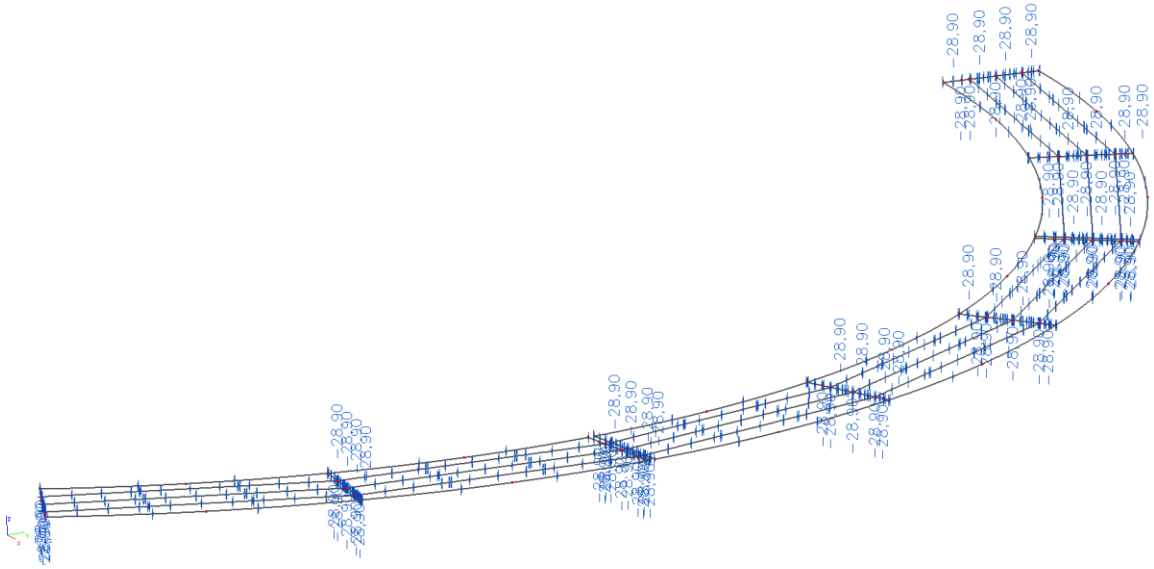


Slika 204. Ukupni pomak – djelovanje temperature – stup (S2 desno)

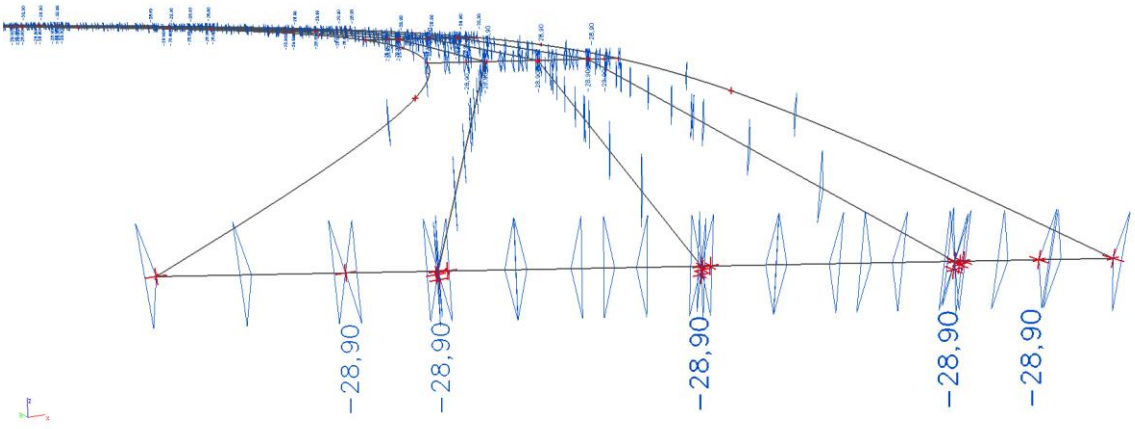


Slika 205. Ukupni pomak – djelovanje temperature – stup (S3)

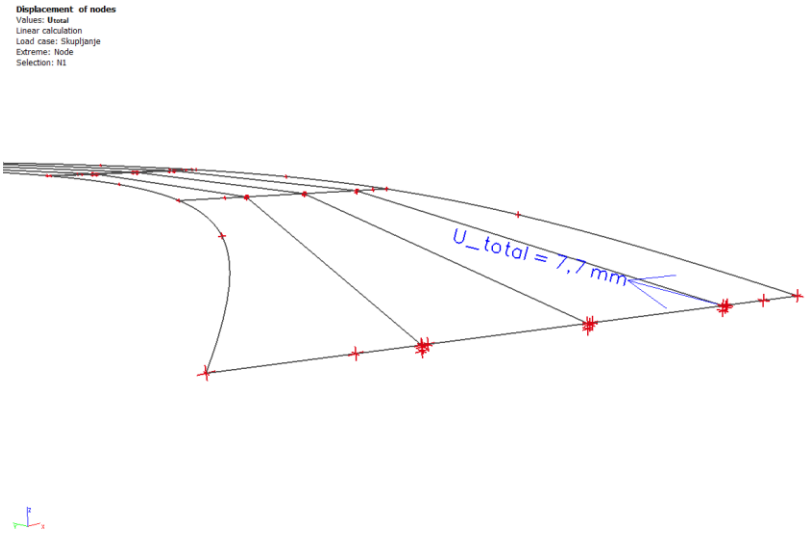
9.2.2.4 Djelovanje skupljanja betona rasponske konstrukcije



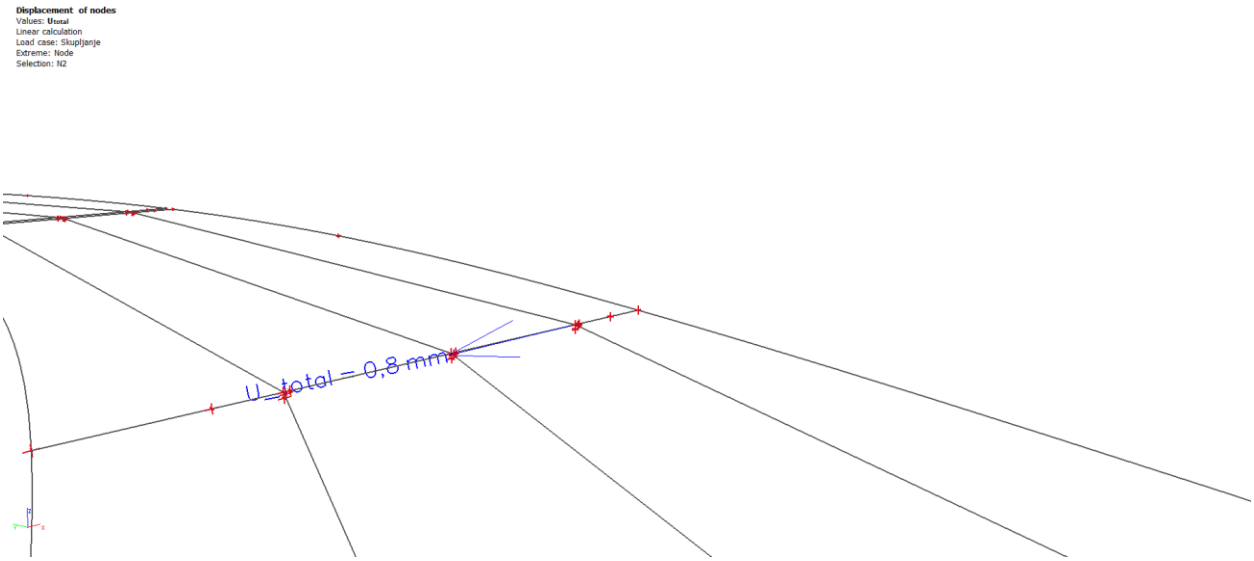
Slika 206. Djelovanje skupljanja betona



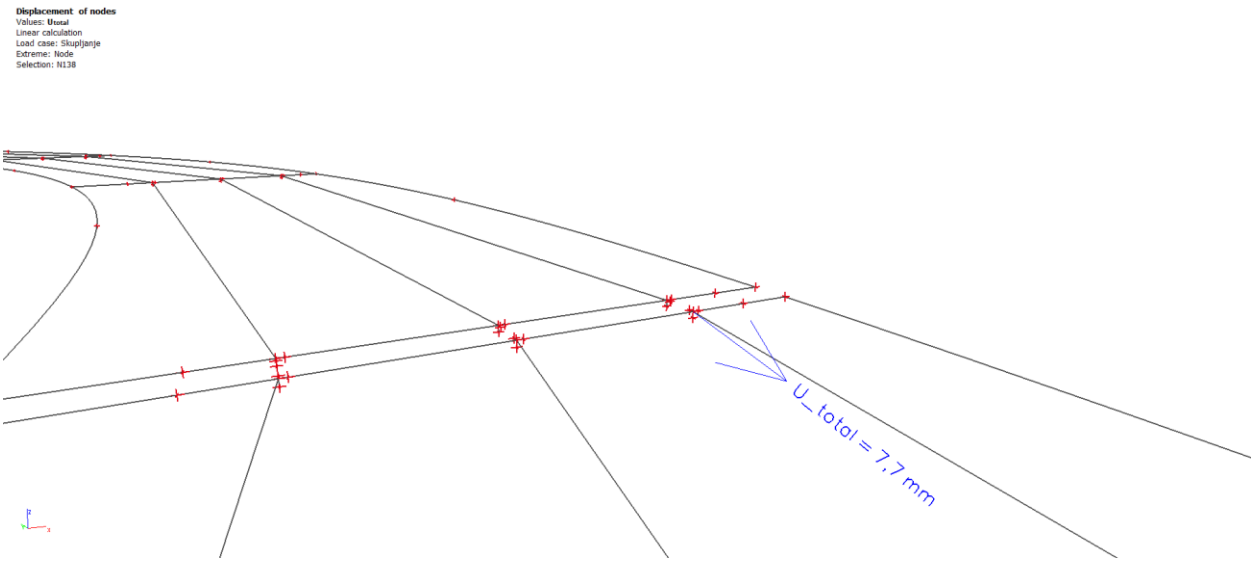
Slika 207. Djelovanje skupljanja betona – vrijednosti



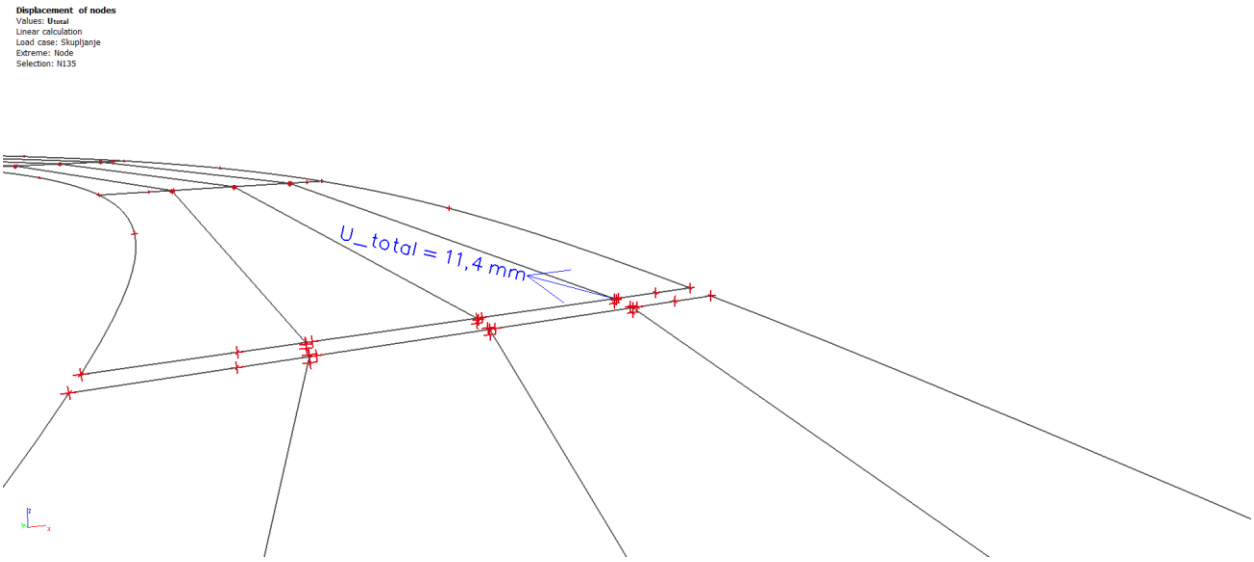
Slika 208. Ukupni pomak – djelovanje skupljanja betona – upornjak



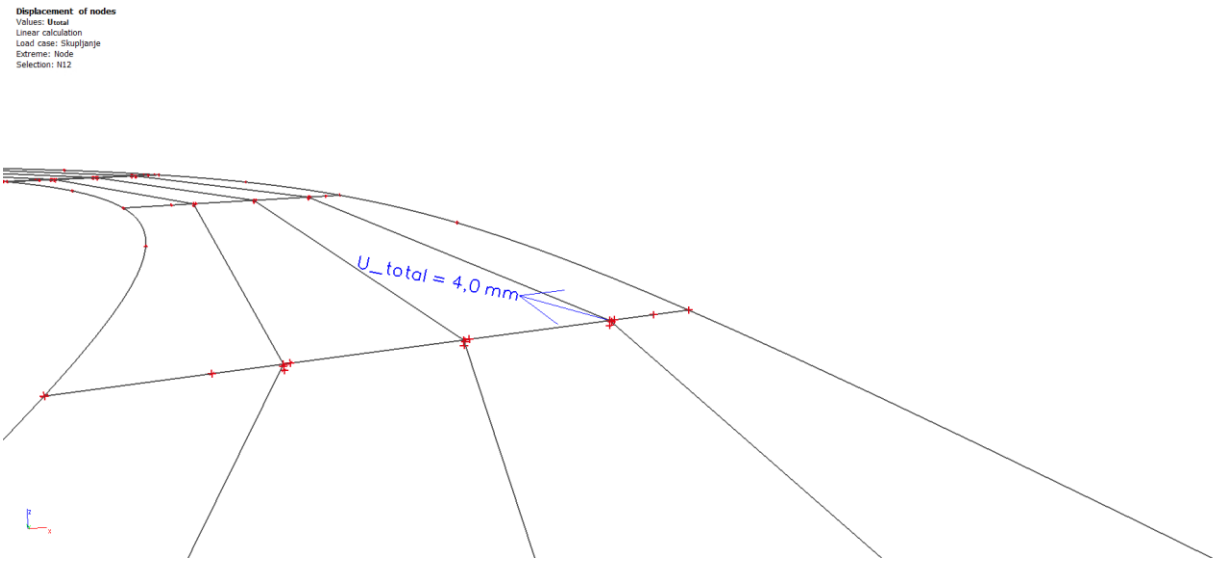
Slika 209. Ukupni pomak – djelovanje skupljanja betona – stup (S1)



Slika 210. Ukupni pomak – djelovanje skupljanja betona – stup (S2 lijevo)



Slika 211. Ukupni pomak – djelovanje skupljanja betona – stup (S2 desno)



Slika 212. Ukupni pomak – djelovanje skupljanja betona – stup (S3)

Potrebna visina ležaja iznad upornjaka (U1)

Kombinacija opterećenja 1:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{koč}} + \Delta_{\text{vj-puni most}}$

$\Delta = 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 + 31{,}60 + 7{,}60 = 55{,}14 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 2:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{vj-prazni most}}$

$\Delta = 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 + 15{,}80 = 31{,}74 \text{ mm}$

Odabrana visina ležaja: 129 mm

Odabrano: $\mathbf{AEL\ \emptyset 350/129}$

Potrebna visina ležaja iznad stupa (S1)

Kombinacija opterećenja 1:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{koč}} + \Delta_{\text{vj-puni most}}$

$\Delta = 0{,}70 + 1{,}2 \cdot 0{,}80 + 31{,}80 + 7{,}60 = 41{,}06 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 2:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{vj-prazni most}}$

$\Delta = 0{,}70 + 1{,}2 \cdot 0{,}80 + 15{,}90 = 17{,}56 \text{ mm}$

Odabrana visina ležaja: 84 mm

Odabrano: $\mathbf{AEL\ \emptyset 500/84}$

Potrebna visina ležaja iznad stupa (S2 lijevo)

Kombinacija opterećenja 1:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{koč}} + \Delta_{\text{vj-puni most}}$

$\Delta = 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 + 31{,}60 + 7{,}60 = 55{,}14 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 2:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{vj-prazni most}}$

$\Delta = 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 + 15{,}90 = 31{,}74 \text{ mm}$

Odabrana visina ležaja: 129 mm

Odabrano: $\mathbf{AEL\ \emptyset 350/129}$

Potrebna visina ležaja iznad stupa (S2 desno)

Kombinacija opterećenja 1:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{koč}} + \Delta_{\text{vj-puni most}}$

$\Delta = 9{,}90 + 1{,}2 \cdot 11{,}40 + 32{,}00 + 7{,}70 = 63{,}28 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 2:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{vj-prazni most}}$

$\Delta = 9{,}90 + 1{,}2 \cdot 11{,}40 + 16{,}0 = 39{,}58 \text{ mm}$

Odabrana visina ležaja: 144 mm

Odabrano: $\mathbf{AEL\ \emptyset 350/144}$

Potrebna visina ležaja iznad stupa (S3)

Kombinacija opterećenja 1:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{koč}} + \Delta_{\text{vj-puni most}}$

$\Delta = 3{,}40 + 1{,}2 \cdot 4{,}0 + 32{,}30 + 7{,}70 = 48{,}20 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 2:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{vj-prazni most}}$

$\Delta = 3{,}40 + 1{,}2 \cdot 4{,}0 + 16{,}10 = 24{,}30 \text{ mm}$

Odabrana visina ležaja: 99 mm

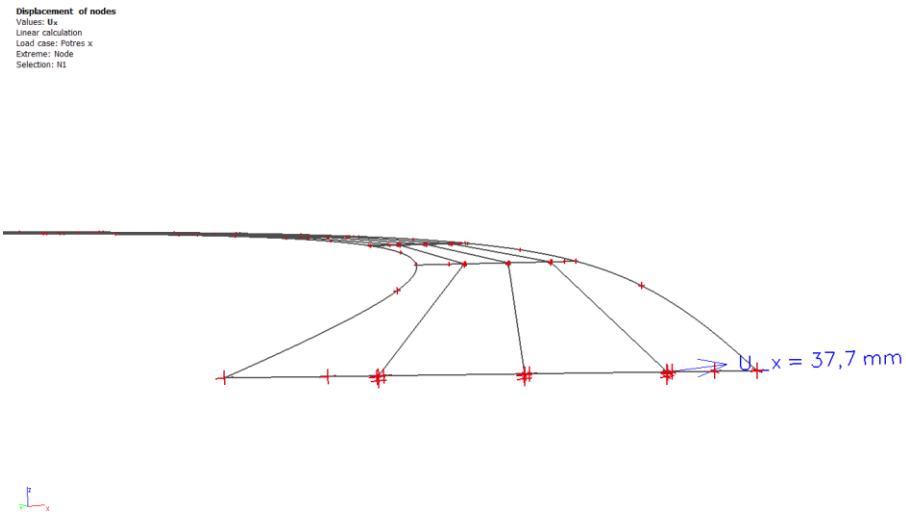
Odabrano: $\mathbf{AEL\ \emptyset 500/99}$

Budući da je most simetričan, visina ležaja usvojena je redom:

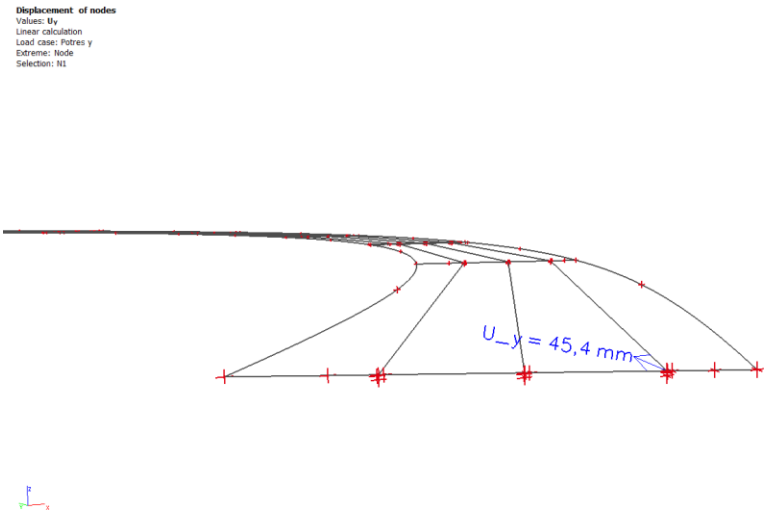
- za ležajeve iznad upornjaka (U1, U2, S2 lijevo, S5 desno) – $129 \text{ mm} \longrightarrow \text{AEL } \emptyset 350/129$
- za ležajeve iznad stupova (S1, S6) – $84 \text{ mm} \longrightarrow \text{AEL } \emptyset 500/84$
- za ležajeve iznad stupova (S2 desno, S5 lijevo) – $144 \text{ mm} \longrightarrow \text{AEL } \emptyset 350/144$
- za ležajeve iznad stupova (S3, S4) – $99 \text{ mm} \longrightarrow \text{AEL } \emptyset 500/99$

10 PRORAČUN PRIJELAZNE (DILATACIJSKE) NAPRAVE

Proračun prijelazne naprave svodi se na proračun maksimalnog pomaka kojeg ta naprava mora moći primiti. Osim pomaka od djelovanja vjetra u smjeru mosta, sile kočenja, djelovanja temperature i skupljanja betona, prilikom proračuna prijelazne naprave u obzir se uzima i pomak od djelovanja potresa.

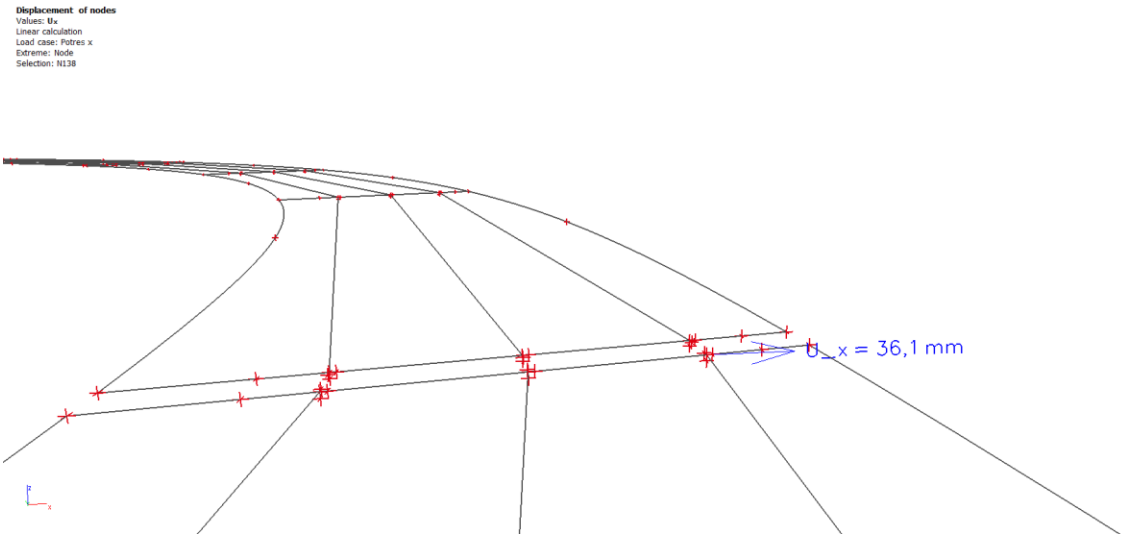


Slika 213. Pomak u x smjeru – djelovanje potresa – upornjak (U1)

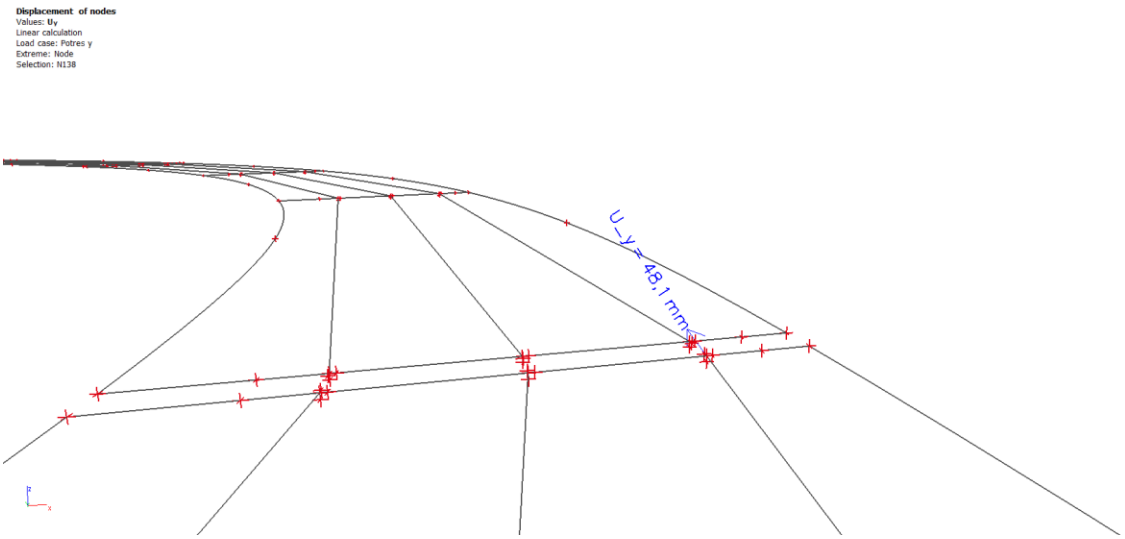


Slika 214. Pomak u y smjeru – djelovanje potresa – upornjak (U1)

$$\Delta_{uk} = \sqrt{(\Delta_x)^2 + (\Delta_x)^2} = \sqrt{(37{,}70)^2 + (45{,}40)^2} = 59{,}01 \text{ mm}$$

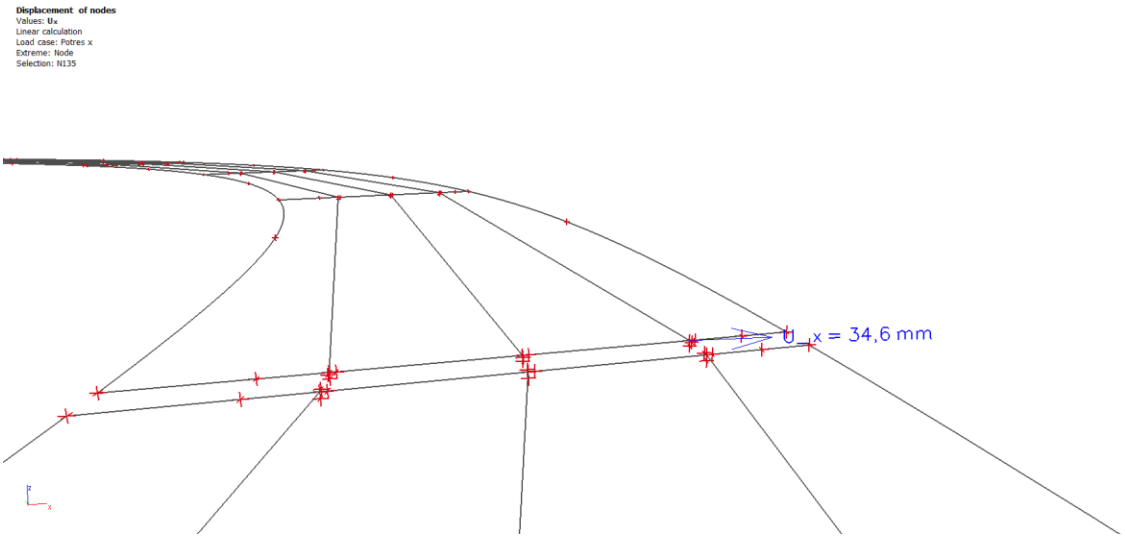


Slika 215. Pomak u x smjeru – djelovanje potresa – stup (S2 desno)

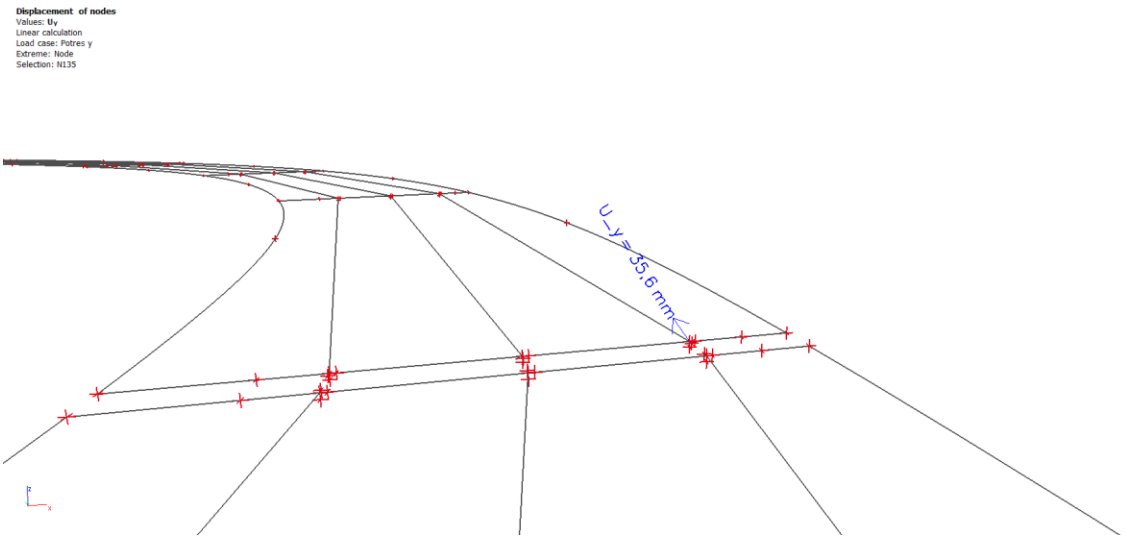


Slika 216. Pomak u y smjeru – djelovanje potresa – stup (S2 desno)

$$\Delta_{uk} = \sqrt{(\Delta_x)^2 + (\Delta_x)^2} = \sqrt{(36{,}10)^2 + (48{,}10)^2} = 60{,}14 \text{ mm}$$



Slika 217. Pomak u x smjeru – djelovanje potresa – stup (S2 lijevo)



Slika 218. Pomak u y smjeru – djelovanje potresa – stup (S2 lijevo)

$$\Delta_{uk} = \sqrt{(\Delta_x)^2 + (\Delta_x)^2} = \sqrt{(34{,}60)^2 + (35{,}60)^2} = 49{,}64 \text{ mm}$$

Prijelazna naprava iznad upornjaka (U1)

Kombinacija opterećenja 1:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{koč}} + \Delta_{\text{vj-puni most}}$

$\Delta = 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 + 31{,}60 + 7{,}60 = 55{,}14 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 2:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{vj-prazni most}}$

$\Delta = 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 + 15{,}80 = 31{,}74 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 3:

$\Delta = \Delta_{\text{s}} + 0{,}5 \cdot \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}}$

$\Delta = 59{,}01 + 0{,}5 \cdot 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 = 71{,}60 \text{ mm}$

Odabrana prijelazna naprava: $\mathbf{KT - 160}$

Dopušteni pomak: $\Delta L = \pm 80 \text{ mm}$

Prijelazna naprava iznad stupa (S2 lijevo)

Kombinacija opterećenja 1:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{koč}} + \Delta_{\text{vj-puni most}}$

$\Delta = 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 + 31{,}60 + 7{,}60 = 55{,}14 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 2:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{vj-prazni most}}$

$\Delta = 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 + 15{,}90 = 31{,}74 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 3:

$\Delta = \Delta_{\text{s}} + 0{,}5 \cdot \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}}$

$\Delta = 60{,}14 + 0{,}5 \cdot 6{,}70 + 1{,}2 \cdot 7{,}70 = 72{,}73 \text{ mm}$

Odabrana prijelazna naprava: $\mathbf{KT - 160}$

Dopušteni pomak: $\Delta L = \pm 80 \text{ mm}$

Prijelazna naprava iznad stupa (S2 desno)

Kombinacija opterećenja 1:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{koč}} + \Delta_{\text{vj-puni most}}$

$\Delta = 9{,}90 + 1{,}2 \cdot 11{,}40 + 32{,}0 + 7{,}70 = 63{,}28 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 2:

$\Delta = \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}} + \Delta_{\text{vj-prazni most}}$

$\Delta = 9{,}90 + 1{,}2 \cdot 11{,}40 + 16{,}0 = 39{,}58 \text{ mm}$

Kombinacija opterećenja 3:

$\Delta = \Delta_{\text{s}} + 0{,}5 \cdot \Delta_{\text{temp}} + 1{,}2 \cdot \Delta_{\text{sk}}$

$\Delta = 49{,}64 + 0{,}5 \cdot 9{,}90 + 1{,}2 \cdot 11{,}40 = 68{,}27 \text{ mm}$

Odabrana prijelazna naprava: $\mathbf{KT - 160}$

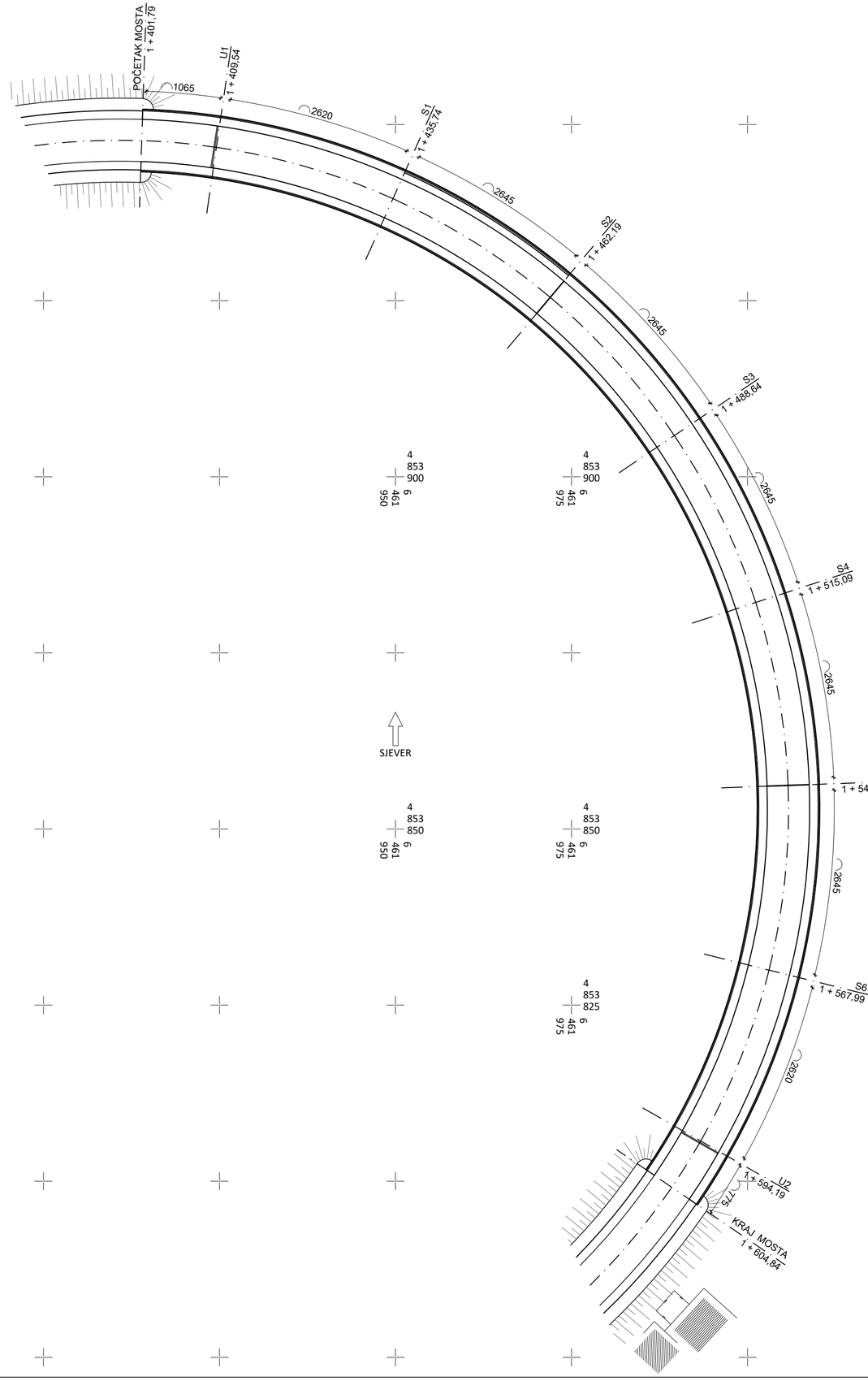
Dopušteni pomak: $\Delta\text{L} = \pm 80 \text{ mm}$

Budući da je most simetričan, prijelazna naprava usvojena je redom:

- iznad upornjaka (U1, U2) – $\mathbf{KT - 160} \longrightarrow \Delta\text{L} = \pm 80 \text{ mm}$
- iznad stupova (S2, S5) – $\mathbf{KT - 160} \longrightarrow \Delta\text{L} = \pm 80 \text{ mm}$

11 GRAĐEVINSKI NACRTI

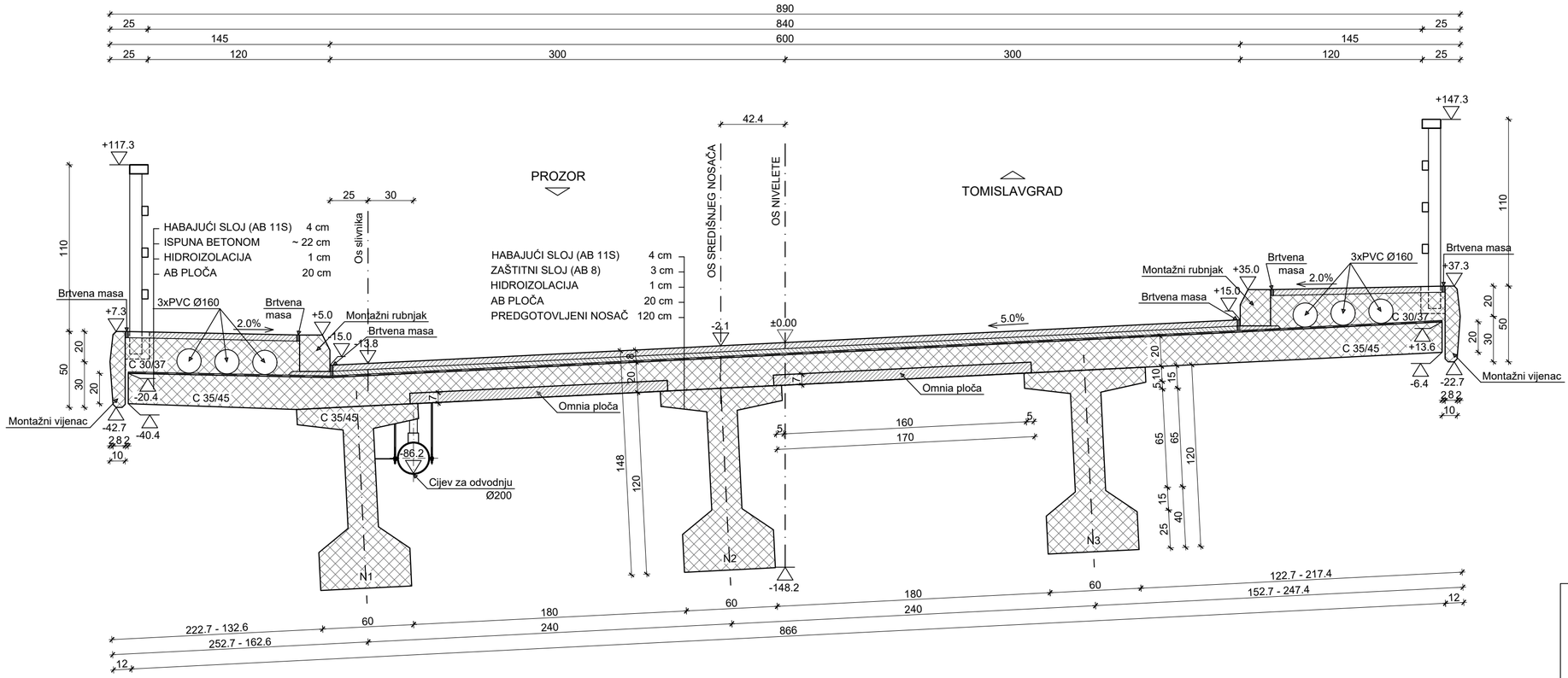
Nacrt 1: Situacija mosta……..MJ 1:500
Nacrt 2.1: Normalni poprečni presjek mosta u polju……..MJ 1:25
Nacrt 2.2: Normalni poprečni presjek mosta na ležaju……..MJ 1:25
Nacrt 3: Uzdužni presjek rasponskog mosta……MJ 1:200
Nacrt 4: Plan polaganja rasponskih nosača……MJ 1:500
Nacrt 5: Plan oplate rasponskih nosača……MJ 1:50
Nacrt 6: Pogled na most……MJ 1:200
Nacrt 7: Tlocrt mosta……MJ 1:200
Nacrt 8: Detalj prijelazne naprave (KT – 160)……MJ 1:100



SITUACIJA MOSTA
1:500

SVEUČILIŠTE U SPLITU **FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE** UNIVERSITY OF SPLIT **FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY**	PREDMET: Diplomski rad	
	KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove	
	VRSTA PROJEKTA: Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta	
	SADRŽAJ: **SITUACIJA MOSTA**	
MENTOR: Dr. sc. Marija Smilović Zulim	MJERILO: M 1:500	BROJ PRILOGA: 1
STUDENT: Mihaela Pavlović	DATUM: srpanj 2021.	

NORMALNI POPREČNI PRESJEK MOSTA U POLJU
1:25

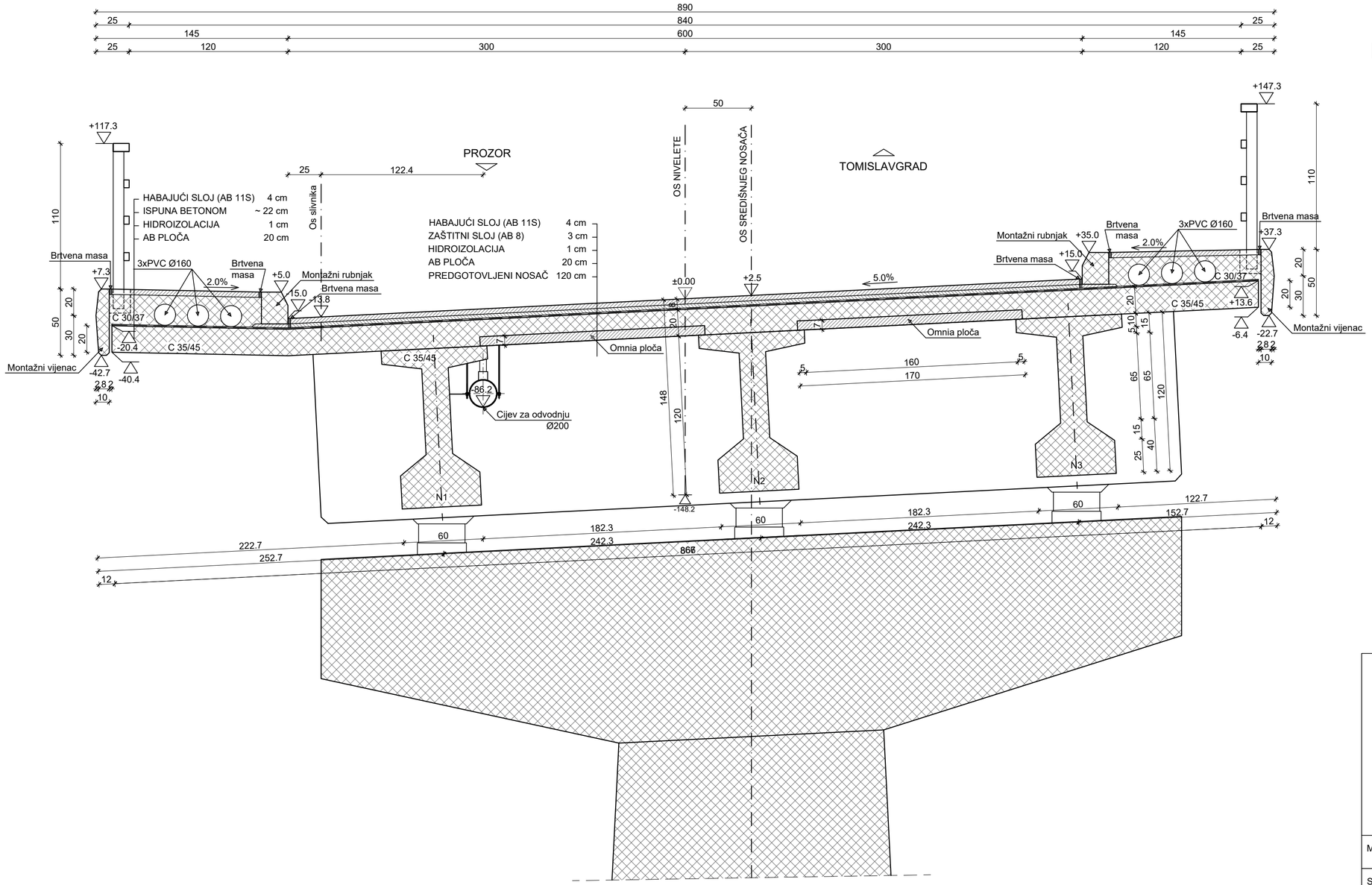


SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

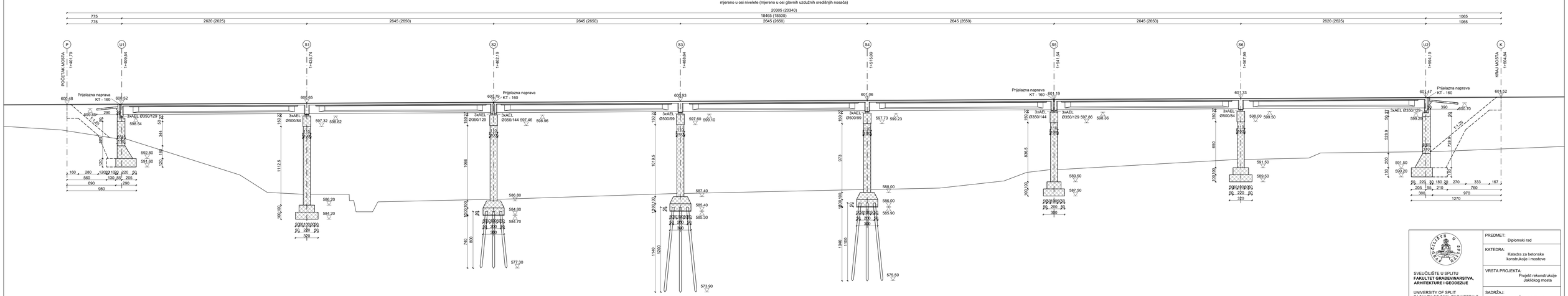
PREDMET: Diplomski rad	
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove	
VRSTA PROJEKTA: Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta	
SADRŽAJ: **NORMALNI POPREČNI PRESJEK MOSTA U POLJU**	
MENTOR: Dr. sc. Marija Smilović Zulim	MJERILO: M 1:25 / BROJ PRILOGA: 2.1
STUDENT: Mihaela Pavlović	DATUM: srpanj 2021.

NORMALNI POPREČNI PRESJEK MOSTA IZNAD STUPA
1:25



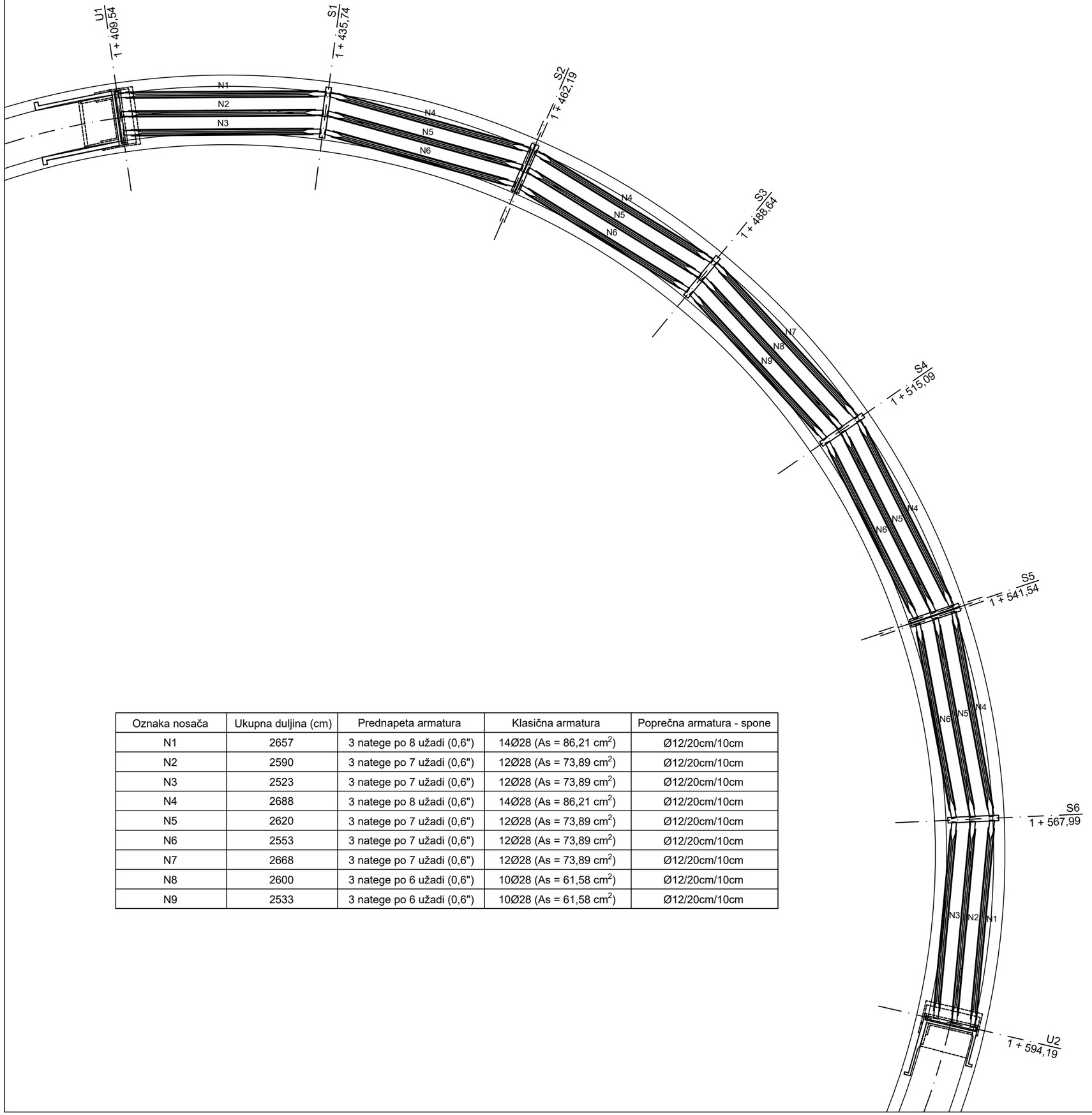
SVEUČILIŠTE U SPLITU **FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE** UNIVERSITY OF SPLIT **FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY**	PREDMET: Diplomski rad	
	KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove	
	VRSTA PROJEKTA: Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta	
	SADRŽAJ: **NORMALNI POPREČNI PRESJEK MOSTA IZNAD STUPA**	
MENTOR: Dr. sc. Marija Smilović Zulim	MJERILO: M 1:25	BROJ PRILOGA: 2.2
STUDENT: Mihaela Pavlović	DATUM: srpanj 2021.	

UZDUŽNI PRESJEK MOSTA
1:200



SVEUČILIŠTE U SPLITU **FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE** UNIVERSITY OF SPLIT **FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY**	PREDMET: Diplomski rad KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove VRSTA PROJEKTA: Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta SADRŽAJ: **UZDUŽNI PRESJEK MOSTA**
MENTOR: Dr. sc. Marija Smilović Zulim	MJERILO: M 1:200 / BROJ PRILOGA: 3
STUDENT: Mihaela Pavlović	DATUM: srpanj 2021.

PLAN POLAGANJA RASPONSKIH NOSAČA
1:500



Oznaka nosača	Ukupna duljina (cm)	Prednapeta armatura	Klasična armatura	Poprečna armatura - spone
N1	2657	3 nategе po 8 užadi (0,6")	14Ø28 (As = 86,21 cm^2)	Ø12/20cm/10cm
N2	2590	3 nategе po 7 užadi (0,6")	12Ø28 (As = 73,89 cm^2)	Ø12/20cm/10cm
N3	2523	3 nategе po 7 užadi (0,6")	12Ø28 (As = 73,89 cm^2)	Ø12/20cm/10cm
N4	2688	3 nategе po 8 užadi (0,6")	14Ø28 (As = 86,21 cm^2)	Ø12/20cm/10cm
N5	2620	3 nategе po 7 užadi (0,6")	12Ø28 (As = 73,89 cm^2)	Ø12/20cm/10cm
N6	2553	3 nategе po 7 užadi (0,6")	12Ø28 (As = 73,89 cm^2)	Ø12/20cm/10cm
N7	2668	3 nategе po 7 užadi (0,6")	12Ø28 (As = 73,89 cm^2)	Ø12/20cm/10cm
N8	2600	3 nategе po 6 užadi (0,6")	10Ø28 (As = 61,58 cm^2)	Ø12/20cm/10cm
N9	2533	3 nategе po 6 užadi (0,6")	10Ø28 (As = 61,58 cm^2)	Ø12/20cm/10cm

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

PREDMET: Diplomski rad

KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove

VRSTA PROJEKTA: Projekt rekonstrukcije Jakličkog mosta

SADRŽAJ: **PLAN POLAGANJA RASPONSKIH NOSAČA**

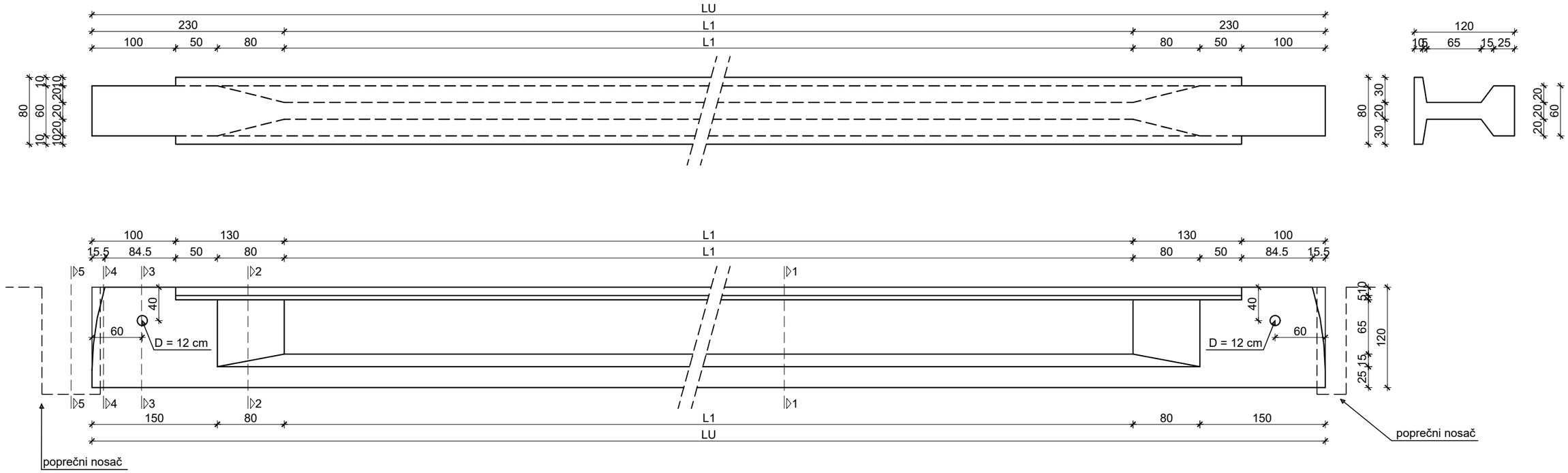
MENTOR: Dr. sc. Marija Smilović Zulim

MJERILO: M 1:500

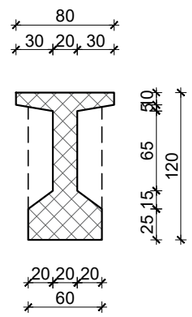
BROJ PRILOGA: 4

STUDENT: Mihaela Pavlović

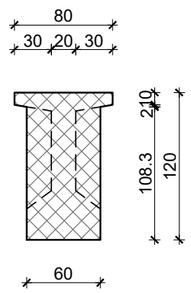
DATUM: srpanj 2021.



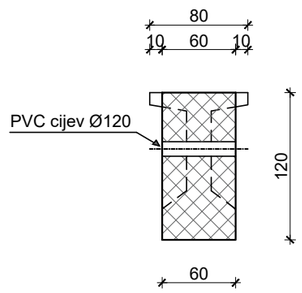
PRESJEK 1 - 1



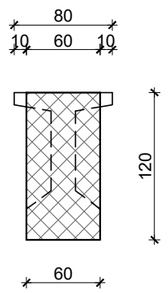
PRESJEK 2 - 2



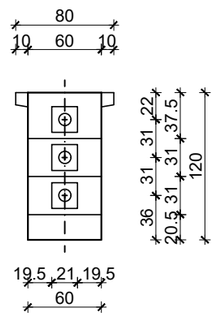
PRESJEK 3 - 3



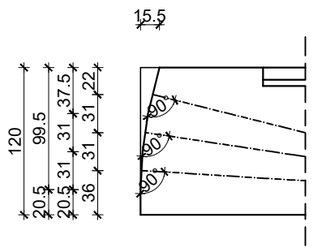
PRESJEK 4 - 4



PRESJEK 5 - 5



DETALJ ČELA NOSAČA



Oznaka nosača	Ukupna duljina (LU)	Duljina (L1)
N1	2657 cm	2197 cm
N2	2590 cm	2130 cm
N3	2523 cm	2063 cm
N4	2688 cm	2228 cm
N5	2620 cm	2160 cm
N6	2553 cm	2093 cm
N7	2668 cm	2208 cm
N8	2600 cm	2140 cm
N9	2533 cm	2073 cm

PLAN OPLATE RAPONSKIH NOSAČA 1:50

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

PREDMET: Diplomski rad

KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove

VRSTA PROJEKTA: Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta

SADRŽAJ: **PLAN OPLATE RASPONSKIH NOSAČA**

MENTOR: Dr. sc. Marija Smilović Zulim

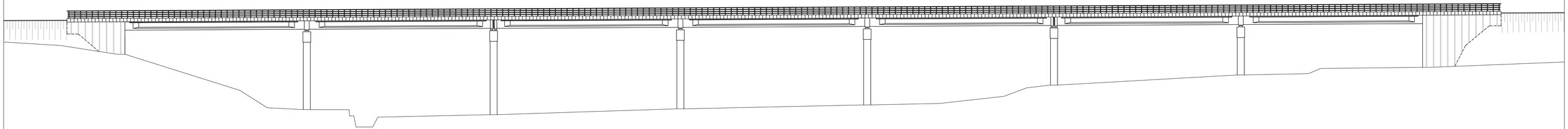
MJERILO: M 1:50

BROJ PRILOGA: 5

STUDENT: Mihaela Pavlović

DATUM: srpanj 2021.

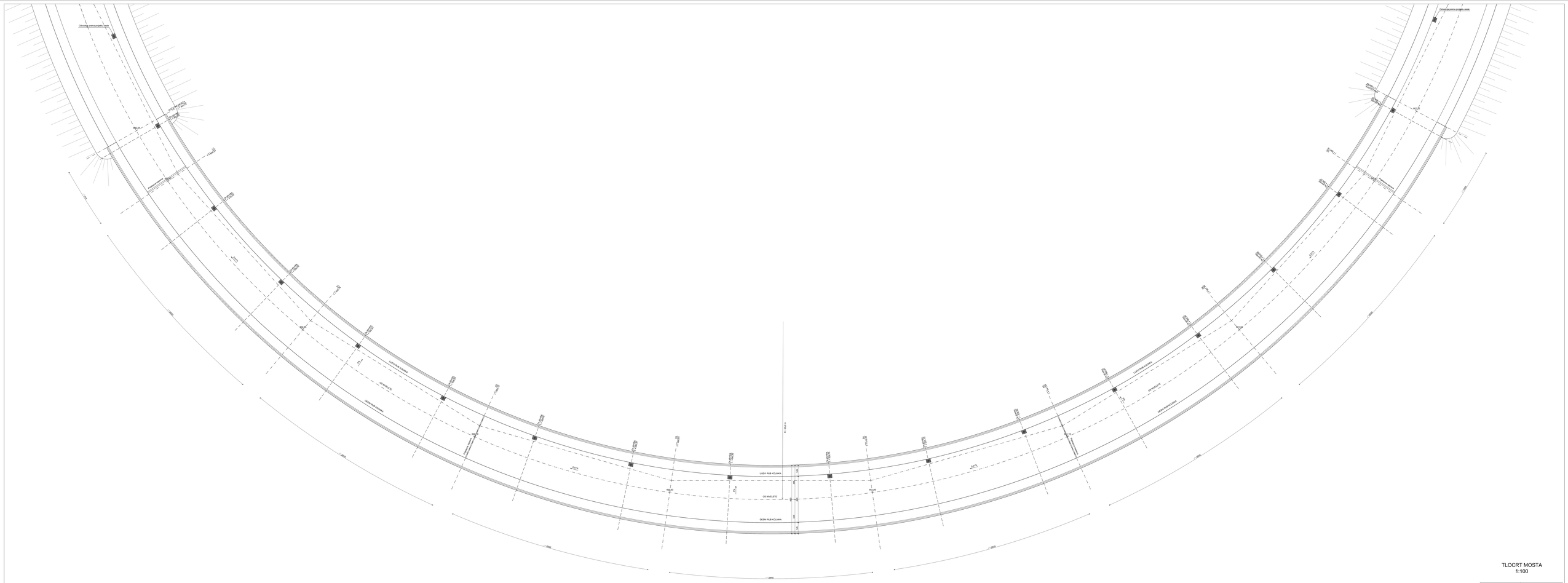
POGLED NA MOST
1:200



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

PREDMET:	Diplomski rad
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove
VRSTA PROJEKTA:	Projekt rekonstrukcije Jakličkog mosta
SADRŽAJ:	**POGLED NA MOST**
MENTOR: Dr. sc. Marija Šmilović Zulim	MJERILO: M 1:200 / BROJ PRILOGA: 6
STUDENT: Mihaela Pavlović	DATUM: srpanj 2021.

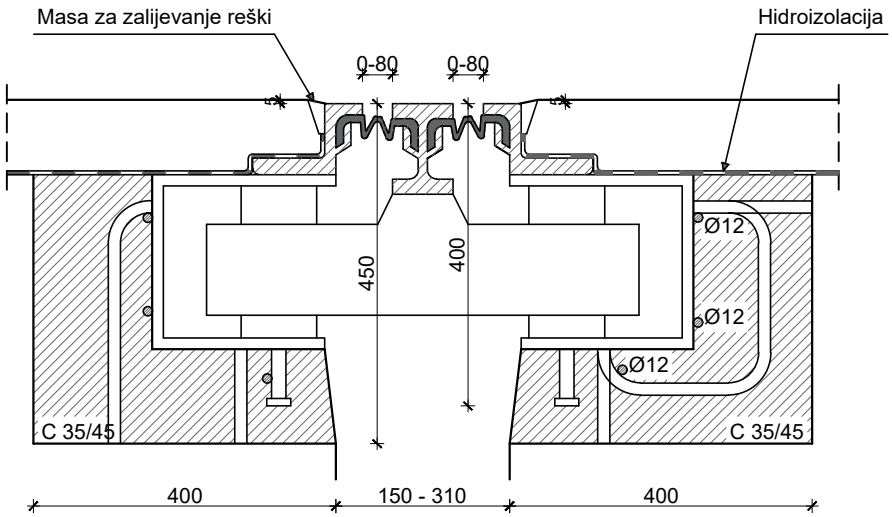


TLOCRT MOSTA
1:100

SVEUČILIŠTE U MOSTARU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY	PREDMET: Diplomski rad
	KATEDRA: Katedra za tehničke konstrukcije i mostove
	VRSTA PROJEKTA: Projekt rekonstrukcije zastitnog mosta
	SADRŽAJ: TLOCRT MOSTA
MENTOR: Dr. sc. Marija Smiljanić Zulić	RAZMJER: M 1:100 / BROJ PRILOGA: -
STUDENT: Mihaela Pavlović	DATUM: srpanj 2021.

DETALJ PRIJELAZNE NAPRAVE KT - 160
1:100

PRESJEK KROZ KUTIJU POPREČNOG NOSAČA



SVEUČILIŠTE U SPLITU **FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE** UNIVERSITY OF SPLIT **FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY**	PREDMET: Diplomski rad	
	KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove	
	VRSTA PROJEKTA: Projekt rekonstrukcije Jaklićkog mosta	
	SADRŽAJ: **DETALJ PRIJELAZNE NAPRAVE KT - 160**	
MENTOR: Dr. sc. Marija Smilović Zulim	MJERILO: M 1:100	BROJ PRILOGA: 8
STUDENT: Mihaela Pavlović	DATUM: srpanj 2021.	

12 LITERATURA

[1] HRN EN 1990 Eurokod – Osnove projektiranja konstrukcija

[2] HRN EN 1991 Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukcije – Dio 2: Prometna opterećenja mostova (HRN EN 1991-2:2012)

[3] HRN EN 1992 Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (HRN EN 1992-1-1:2004)

[4] HRN EN 1998 Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – Dio 1: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (HRN EN 1998-1:2011), Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – Dio 2: Mostovi (HRN EN 1998-2:2011)

[5] BAS EN 1998 Eurokod 8 – Projektovanje konstrukcija otpornih na dejstvo zemljotresa – Dio 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak (BAS EN 1998-1/NA:2018) Karta PGA (eurokodovi.ba)

[6] J.Radnić: Betonski mostovi s udvojenim osloncima kontinuiranih greda – Stručni rad, 2003.

[7] A. Harapin, J. Radnić: Osnove betonskih konstrukcija – interna skripta (zapisi s predavanja); Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

[8] V. Herak Marović: Betonske konstrukcije I i II – interna skripta (auditorne vježbe); Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, 2016./2017.

[9] D. Matešan, J. Radnić: Mostovi – interna skripta Mostovi; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, Split, 2008.

[10] D. Matešan, J. Radnić – Prednapeti beton – nastavni materijali, Betonske konstrukcije (Knjiga II – Osnove prednapetog betona), Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, 2019./2020.

[11] D. Matešan: Betonski mostovi – nastavni materijali; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, 2020./2021.

[12] Projekt sanacije mosta u Jaklićima, IGH Mostar d.o.o., 2009.

[1] Microsoft® Word for Microsoft 365 MSO, Version 2105 (Build 14026.20308, year 2021)

[2] Microsoft® Excel® for Microsoft 365 MSO, Version 2105 (Build 14026.20308, year 2021)

[3] Autodesk® AutoCAD® 2021

[4] Nemetschek SCIA Engineer 20.0.0043