Projekt mosta u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde

Buljac, Ružica

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:123:178641

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Ružica Buljac

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Ružica Buljac

Projekt mosta u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde

Diplomski rad

Split, 2019.

Projekt mosta u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde

Sažetak:

U radu je prikazan idejno – glavni projekt mosta u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde (istočni ulaz u Split). Odabrano je rješenje s kontinuiranom, sandučastom čeličnom rasponskom konstrukcijom konstantne visine. Rasponska konstrukcija je oslonjena na stupove (pilote) iz čeličnih cijevi ispunjenih betonom koji su međusobno kruto spojeni. Rad sadržava: tehnički opis, građevinske nacrte i statički proračun.

Ključne riječi:

most, glavni projekt, čelična konstrukcija, kontinuirani sandučasti nosač, građevinski nacrti, statički proračun

Ramp bridge project at the crossroads of Ulica Domovinskog rata and Ulica Zbora narodne garde

Abstract:

In the present thesis, the ramp bridge project at the crossroads of Ulica Domovinskog rata and Ulica Zbora narodne garde (east entrance to the city of Split) is studied. The concept of spatial steel structure with continuous box truss and constant height is selected. Spatial steel structure is supported by twelve steel beams filled with concrete which are solidly interconnected. The analysis consists of technical description, construction drawings and static strength calculation.

Keywords:

bridge, main project, steel construction, continous box truss, construction drawings, static strength calculation

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ:	**DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	Ružica Buljac
BROJ INDEKSA:	675
KATEDRA:	Katedra za Betonske konstrukcije i mostove
PREDMET:	Mostovi

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Idejno – glavni projekt mosta u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde.

Opis zadatka: Potrebno je izraditi tehnički opis glavnih rješenja, osnovne građevinske nacrte i detalje, te proračun nosivih konstrukcija mosta.

U Splitu, ožujak 2019.

Voditelj Diplomskog rada:

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Doc.dr.sc. Ivo Andrić

Sadržaj

1. Tehnički opis 1

1.1 Uvodna napomena 1

1.2 Opis globalnog rješenja mosta 1

1.3 Poprečna dispozicija mosta 2

1.4 Uzdužna dispozicija mosta 3

1.5 Stupovi i piloti 3

1.6 Upornjaci 3

1.7 Oprema i još neka rješenja 4

2. Građevinski nacrti 6

2.1 Cestovni projekti 6

2.1.1 Tlocrt ceste 6

2.2 Tlocrt mosta 6

2.3 Situacija 6

2.3 Uzdužni presjek mosta 6

2.4 Pogled na most sa zapada 6

2.5 Poprečni presjeci mosta 6

2.5.1 Normalni poprečni presjek rasponske konstrukcije 6

2.5.2 Normalni poprečni presjek u stupu S_1 6

2.5.3 Normalni poprečni presjek u upornjaku U_1 6

2.5.4 Normalni poprečni presjek u upornjaku U_2 6

2.6 Detalj ograde 6

3. Proračun 17

3.1 Analiza opterećenja 17

3.1.1 Vlastita težina (G) 17

3.1.2 Dodatno stalno opterećenje (ΔG) 17

3.1.3 Prometno opterećenje (Q) 18

3.1.4 Opterećenje vjetra (W) 21

3.1.5 Jednoliko temperaturno opterećenje (T) 28
3.1.6 Pokretanje i zaustavljanje vozila (K) 30
3.1.7 Udar vozila (G_{udar}) 30
3.1.8 Potresno djelovanje (A) 35
3.2 Rezultati proračuna – unutarnje sile 36
3.2.1 Vlastita težina 36
3.2.2 Dodatno stalno opterećenje 38
3.2.3 Prometno opterećenje 39
3.2.5 Temperaturno opterećenje 52
3.2.6 Pokretanje i zaustavljanje vozila 55
3.2.7 Udar vozila 55
3.2.8 Potresno opterećenje 57
3.3. Dimenzioniranje 58
3.3.1 Rasponska konstrukcija 58
3.3.2 Stupovi 65
3.4. Granično stanje uporabljivosti 74

1. Tehnički opis

1.1 Uvodna napomena

Predmet ovog elaborata je projekt mosta u planiranoj rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde. Naime, most je u dodatnom traku Ulice Zbora narodne garde koji nakon deniveliranog križanja s Ulicom Domovinskog rata (postojeći nadvožnjak), omogućava izravan pristup na Poljičku cestu (istočni ulaz u Split).

Projekt mosta je izrađen prema idejnom prometnom rješenju kojeg je izradio Trivium d.o.o. (Miroslav Jakovčević, dipl. ing. građ.). Pri izradi ovog elaborata bili su dostupni samo idejni glavni crteži rampe (situacija, uzdužni presjek ceste - niveleta), što treba uzeti u obzir pri valorizaciji detalja ovog rada. Treba napomenuti da podatci o tlu na lokaciji mosta nisu bili poznati, te da nisu provedeni nikakvi geotehnički istraživački radovi.

Projekt mosta je izrađen manjim dijelom na razini idejnog projekta i većim dijelom na razini glavnog projekta.



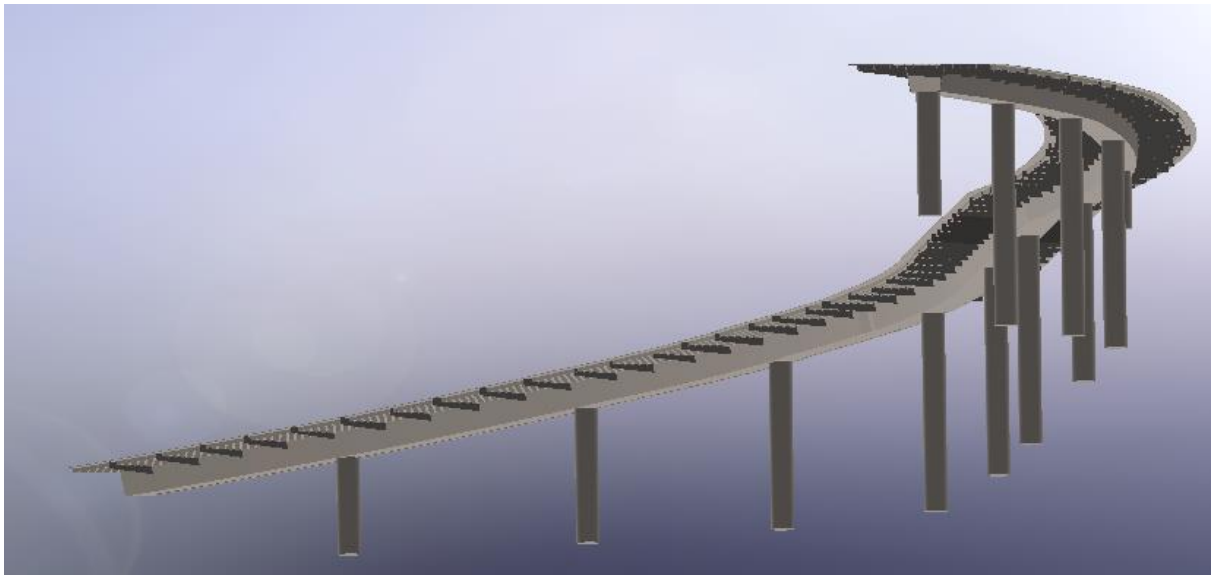
Slika 1.1 Postojeće stanje križanja

1.2 Opis globalnog rješenja mosta

U predloženog globalnom rješenju, predmetna rampa je novi most s jednim prometnim trakom koji se proteže od sjevernog upornjaka postojećeg betonskog nadvožnjaka do postojećeg nadvožnjaka na križanju Vukovarske ulice i Ulice Zbora narodne garde. Most je lociran sa zapadne strane “obilaznice“ Splita i ukupne je dužine oko 270 m.

Most ima kontinuiranu, sandučastu čeličnu rasponsku konstrukciju, ukupne duljine 269.50 m. Rasponska konstrukcija je kruto povezana sa stupištima koji su u formi kružnih čeličnih cijevi ispunjenih betonom. Stupovi su produžetak čeličnih bušenih pilota, usidrenih u čvrsto tlo. U svakom stupištu je po jedan stup/pilot promjera 80 cm.

Odabrano je takvo rješenje koje se u postojećim uvjetima velike prometne opterećenosti križanja i malog raspoloživog prostora za izgradnju smatra najpovoljnijim. Također se smatra da je predloženo rješenje oblikovano prihvatljivo i da se skladno uklapa u okoliš, te da je brzo izvedivo.



Slika 1.2 Prikaz 3D modela globalnog rješenja mosta

1.3 Poprečna dispozicija mosta

U poprečnoj dispoziciji most ima jedan prometni trak, te zaštitne trakove uz ogradu. Ukupna širina mosta između ograda iznosi 5.20 m. Kolnik ima jednostrešni poprečni nagib od 2.5 %. Visina sandučastog presjeka je konstantna po dužini mosta i iznosi 1.00 m. Sandučasti poprečni presjek je trapezastog oblika, s nagnutim hrptovima, širine na vrhu 1.37 m i na dnu 1.00 m. Poprečni nosači su na razmacima do 4.30 m, visine na čelu i iznad hrpta sanduka 42 cm. Kolnička ploča je ukrućena uzdužnim rebrima $\perp$ oblika, na razmaku $\leq$ 30 cm (sekundarni uzdužni nosači) koji se oslanjaju na poprečne nosače. Debljina ukruta je konstantna i iznosi 10 mm. Hrbat i donji pojas glavnog sandučastog nosača nemaju ukrute zbog povećane debljine čeličnog lima i malih dimenzija sanduka. Debljina lima sanduka je konstantna po dužini mosta i iznosi 20 mm.

1.4 Uzdužna dispozicija mosta

Niveleta mosta i tlocrtna os mosta su složene, prema projektu rampe. Kao što je prethodno navedeno, most u uzdužnoj dispoziciji ima 12 otvora (raspona) različite dužine 16.50 + 20.00 + 20.00 + 25.50 + 25.50 + 25.50 + 25.50 + 30.00 + 25.00 + 20.00 + 20.00 + 16.00 = 269.50 m. Neki stupovi su postavljeni u ravninu sa stupovima postojećeg nadvožnjaka. Ostali su prilagođeni uvjetima i situaciji na terenu. Najveći raspon je na mjestu premošćivanja donje ceste, Ulice Zbora narodne garde. Rasponski sklop je kontinuirana, sandučasta čelična konstrukcija.

1.5 Stupovi i piloti

Predviđeni su stupovi iz kružne čelične cijevi promjera 80 cm i debljine lima 20 mm, ispunjeni betonom klase C 40/50. Najviši stup je visok 7.52 m, a najniži je visok 1.92 m (mjereno od razine tla). Vrh stupa kruto je vezan s rasponskom konstrukcijom. Stupovi su produžetak bušenih pilota koji su usidreni u dobro nosivo tlo.

1.6 Upornjaci

Upornjak U_1 čini betonska greda i stup koji je kruto vezan sa rasponskom konstrukcijom.
Upornjak U_2 je klasičan betonski, s dva krila, kruto vezana sa zidom upornjaka. Krilo upornjaka se nastavlja u potporni zid koji se smanjuje do nestajanja visinske razlike sa donjom cestom.
Debljina zida i krila upornjaka iznosi 50 cm. Visina temelja zida i krila upornjaka iznosi 60cm. Na vrhu naglavnice potrebna je izvedba dviju klupica za oslanjanje ležajeva. Tlocrtne dimenzije klupica su 50x50 cm.
Sve plohe upornjaka u dodiru s tlom treba hidroizolirati prema projektu. Prijelazne ploče na početku i na kraju mosta su duljina 5.00 m (prilagođene visini nasipa) i debljine 25 cm, s uzdužnim padom od 10% prema trupu ceste. Izvode se na sloju podložnog betona debljine 8 cm, na prethodno dostatno zbijenom nasipu. Gornja ploha ploče treba biti zaglađena, da eventualne procijedne vode otiču što brže.

Ispod prijelazne ploče treba postići zbijenost tla MS ≥ 80 MPa. Kvalitetna izvedba nasipa na lokaciji upornjaka treba omogućiti što manje potiske tla, te veću sigurnost upornjaka na prijenos horizontalnih sila.

1.7 Oprema i još neka rješenja

Kolnički Zastor

Zastor na kolničkoj ploči rasponske konstrukcije formira habajući sloj asfaltbetona AB debljine 4 cm, lijevani asfalt debljine 2 cm, te hidroizolacija debljine 1 cm.

Kakvoća i kontrola asfaltbetona u svemu treba zadovoljavati važeće norme i pravila struke, kao i sama izvedba asfaltnih slojeva.

Prijelazne naprave

Predviđene su uobičajene vodonepropusne prijelazne naprave koje udovoljavaju svim tehničkim zahtjevima.

Ležajevi

Na upornjaku U_2 predviđena su dva lončasta (elastomerna) ležaja. Ležajevi su oslonjeni na uzdignute betonske klupice, čime je omogućeno umetanje preša ispod rasponskog nosača, njegovo odizanje i izmjena ležajeva.

Odvodnja

Predviđen je zatvoreni sustav odvodnje. Vode s kolnika prihvaćaju se preko slivnika u odvodnu cijev na istočnoj strani mosta, te se odvodi do upornjaka U_1 i dalje ide u kanalizaciju.

Ograda

Ograda mosta je pješačka i odbojna, iz čeličnih cijevi i na dnu je zavarena za rasponsku konstrukciju. Visina ograde iznad konstrukcije je 1.20 m. Treba posvetiti pažnju geometriji ograde, jer o njenom izgledu ovisi ukupan estetski dojam objekta, zbog samog pogleda na most sa zapadne strane.

Uređenje okoliša

Nakon završene gradnje predmetnog mosta, potrebno je izvršiti sanaciju okoliša gradilišta. Sve zahvaćene površine treba ozeleniti autohtonim biljnim vrstama.

Kompletnu zonu, devastiranu zahvatom, treba adekvatno urediti tako da je prihvatljivo estetsko rješenje mosta i njegovo uklapanje u ambijent.

Probno opterećenje

Prije stavljanja objekta u uporabu, potrebno je izvršiti probno ispitivanje glavne rasponske konstrukcije objekta, a sukladno važećim propisima. Svrha probnog ispitivanja je utvrđivanje da li se izvedena konstrukcija ponaša u skladu s projektiranim stanjem. U tom smislu, nužno je utvrđivanje stanja pomaka (deformacija) i naprezanja glavnih nosača objekta.

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.

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

- 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.

Izvedba

Postupak izvedbe ukratko je opisan u koracima po redoslijedu radnje:

- Bušenje rupa u tlu i postavljanje pilota (istovremeno i stupova),
- Ispunjavanje stupova betonom,
- Izvedba upornjaka,
- Montaža segmenata rasponske konstrukcije autodizalicom,
- Završni radovi i uređenje okoliša.

2. Građevinski nacrti

2.1 Cestovni projekti

2.1.1 Tlocrt ceste

2.2 Tlocrt mosta

2.3 Situacija

2.3 Uzdužni presjek mosta

2.4 Pogled na most sa zapada

2.5 Poprečni presjeci mosta

2.5.1 Normalni poprečni presjek rasponske konstrukcije

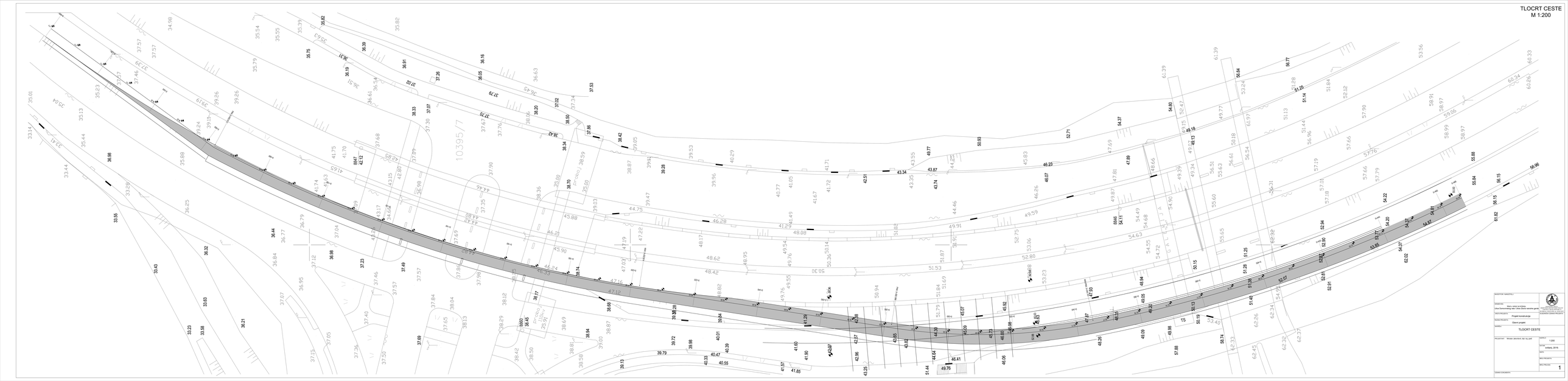
2.5.2 Normalni poprečni presjek u stupu S_1

2.5.3 Normalni poprečni presjek u upornjaku U_1

2.5.4 Normalni poprečni presjek u upornjaku U_2

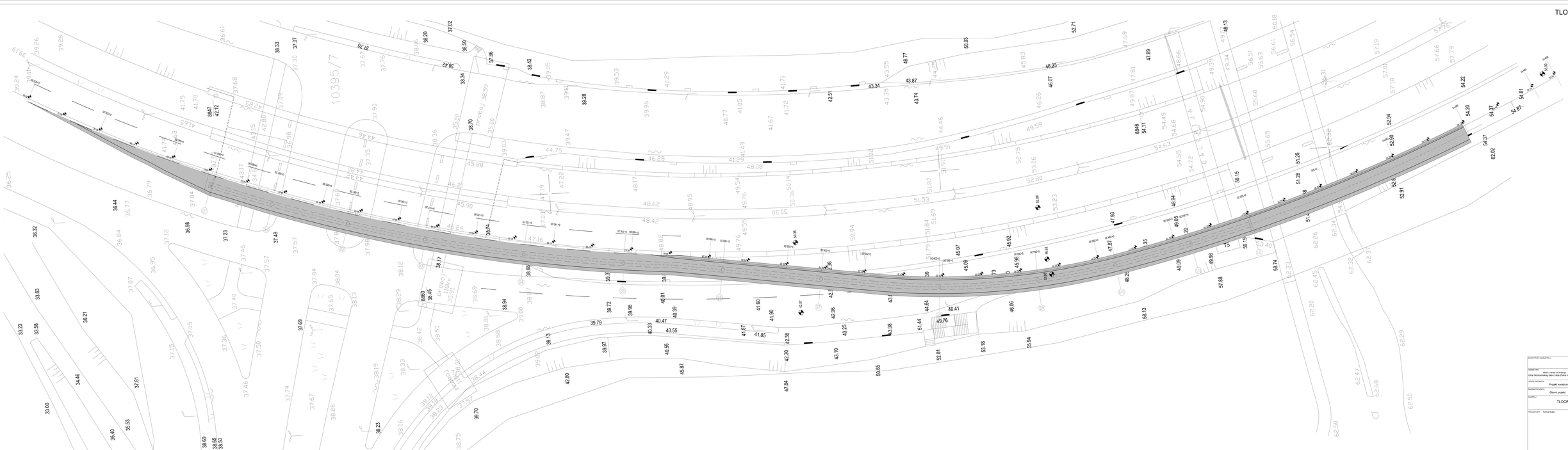
2.6 Detalj ograde

TLOCRT CESTE
M 1:200



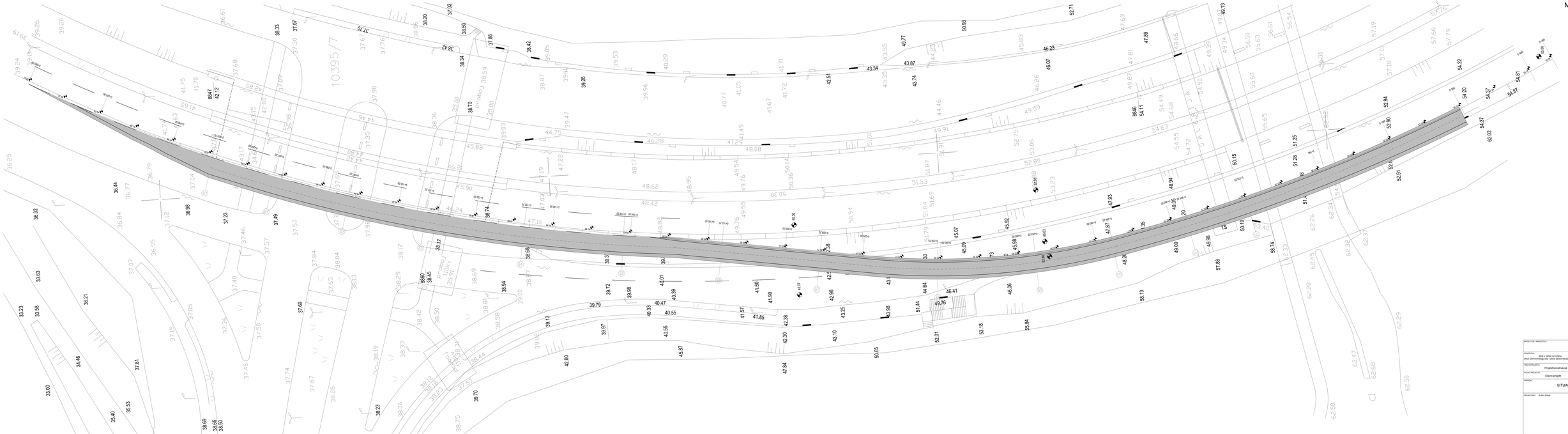
INVESTITOR / NARUČILAC:	
OBJEKAT/OBJ.:	Rekonstrukcija ulice Dimitrija Tucovića u Lučanima
Ulica Dimitrija Tucovića u Lučanima	
INFRASTRUKTURA:	Projekat konstrukcije
PROJEKTANT/PROJEKTANTI:	
Glavni projekt	
SADRŽAJ:	TLOCRT CESTE
PROJEKAT BR.:	Idejno rešenje elektronski dan 4g. prof.
R.BR.:	1
SAOBRAĆAJNI PRIKLJUČCI:	1:200
DATUM:	oktobar, 2019.
MAT.PROJEKTA:	
BROJ PROJEKTA:	1
IZRADIO SARADNIK:	

TLOCRT MOSTA
M 1:200

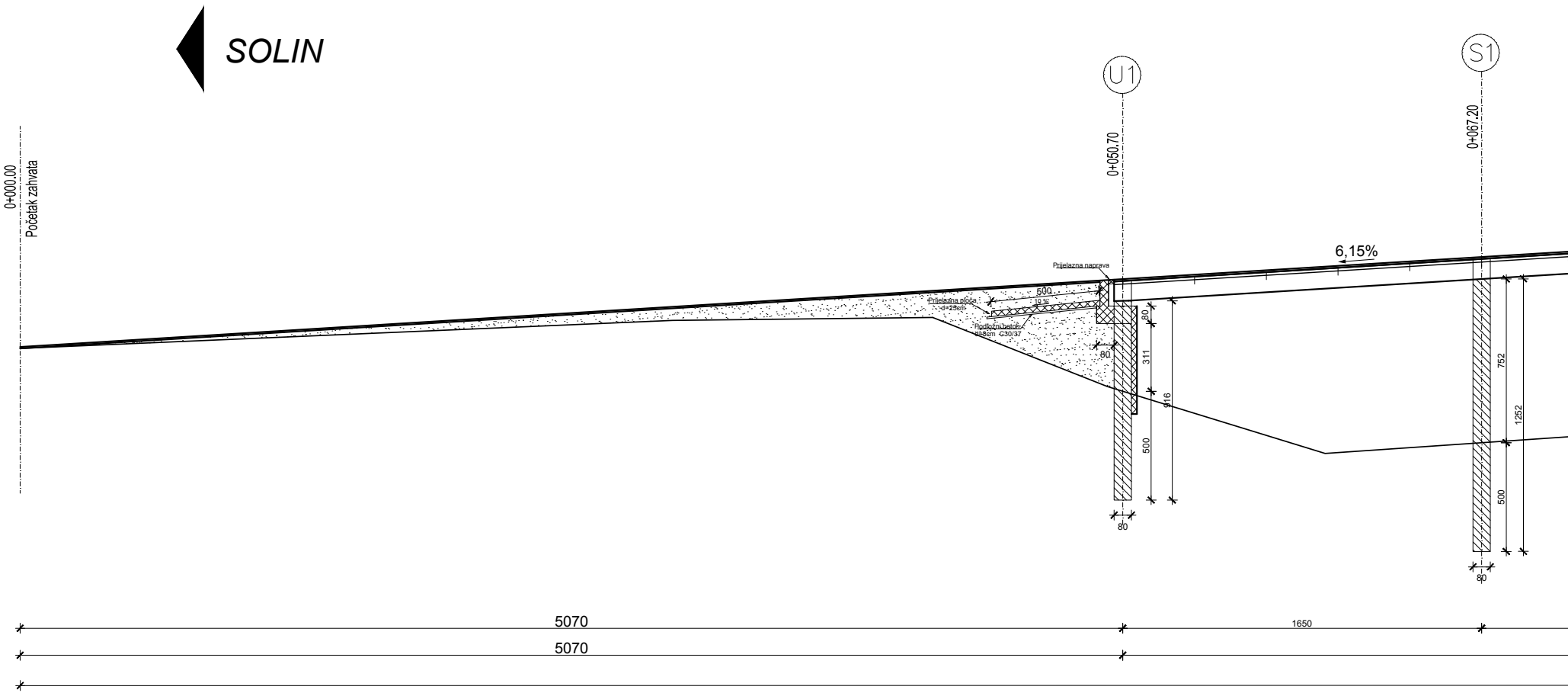


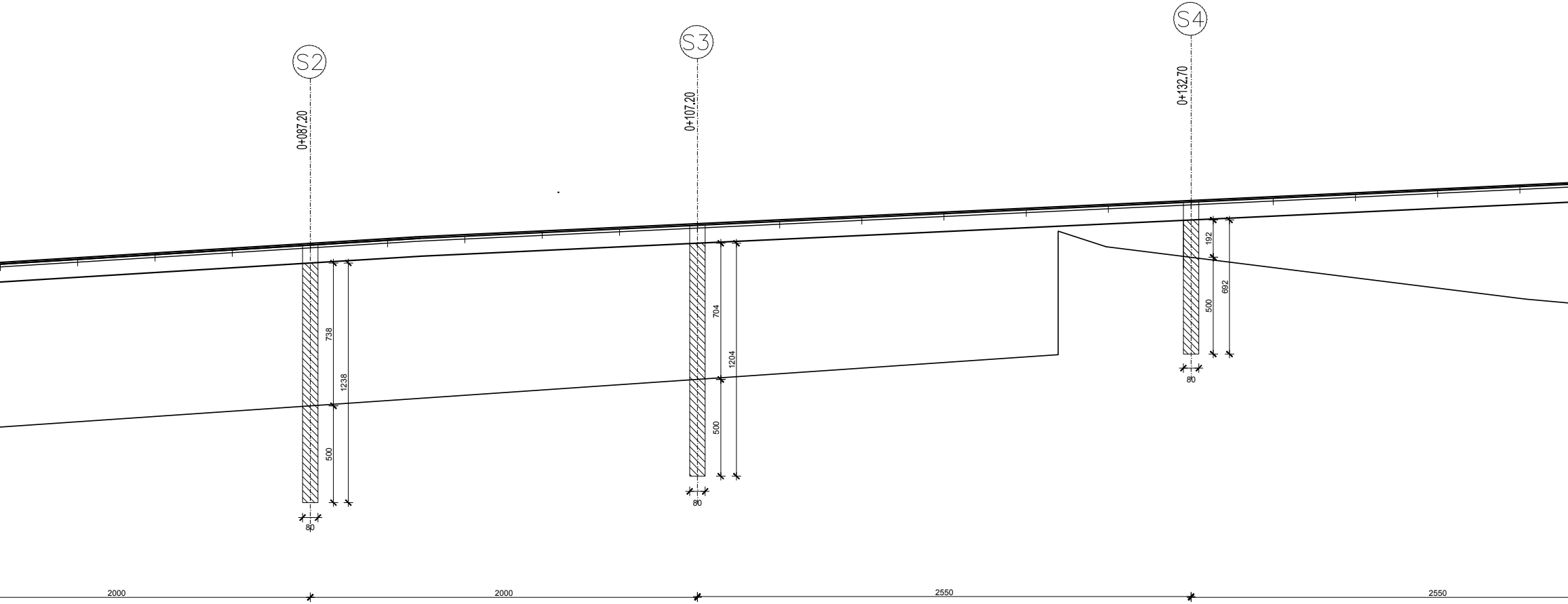
INVESTITOR / NARUČITELJ:	
GRAĐEVINA:	Most u nivou raskrsnice Ulica Osmonošnog rejd i Ulica Dvora Hamilma garbi
VRSTA PROJEKTA:	Projekt konstrukcije
FAZNOST PROJEKTA:	Glavni projekt
NASLOV:	TLOCRT MOSTA
PROJEKTANT:	Ružica Bulajic
R.BR./LIST:	2
MJERILO:	1:200
DATUM:	svibanj, 2019.
DATA:	
BROJ PROJEKTA:	
BROJ PRILOGA:	2
OZNAKA DOKUMENTA:	

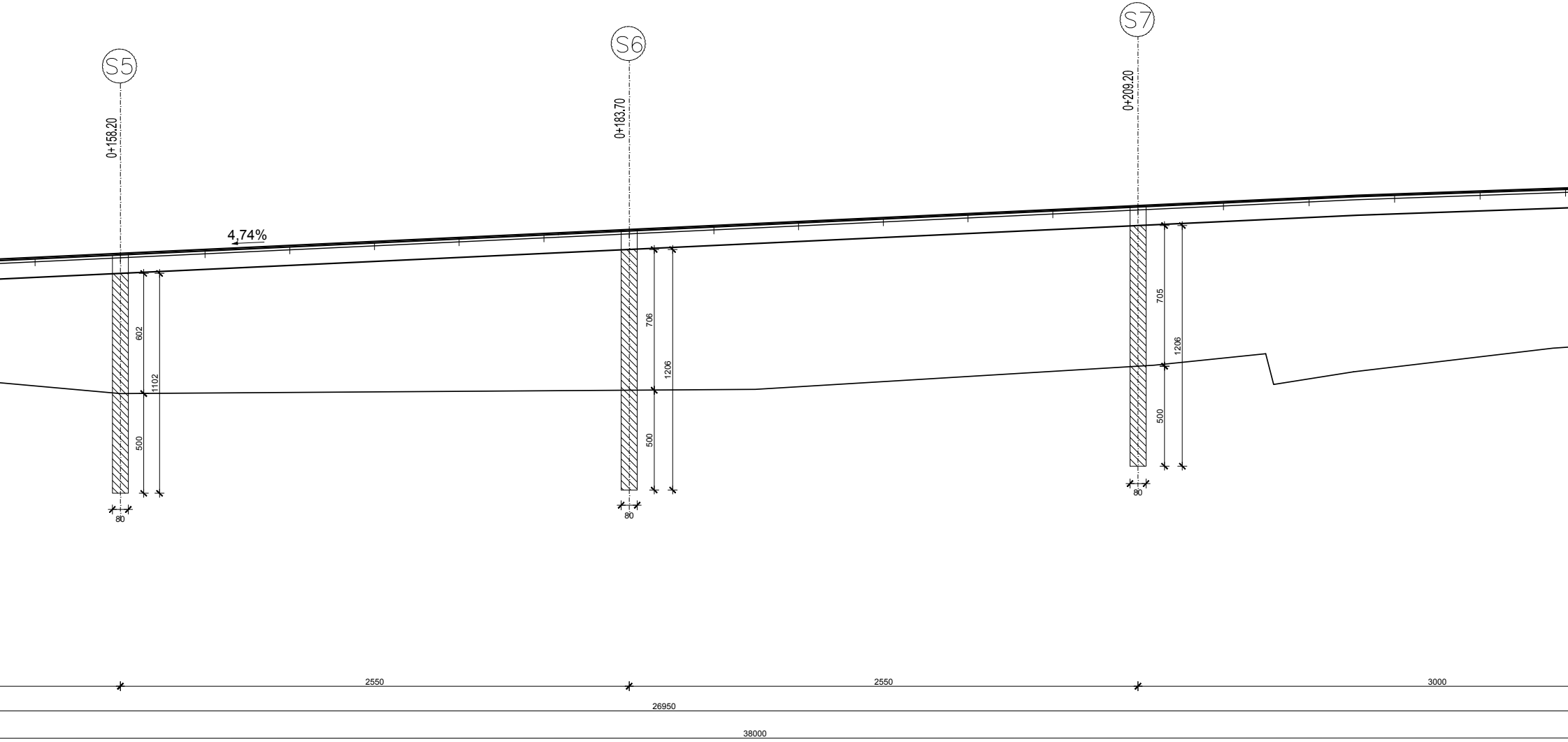
SITUACIJA
M 1:200

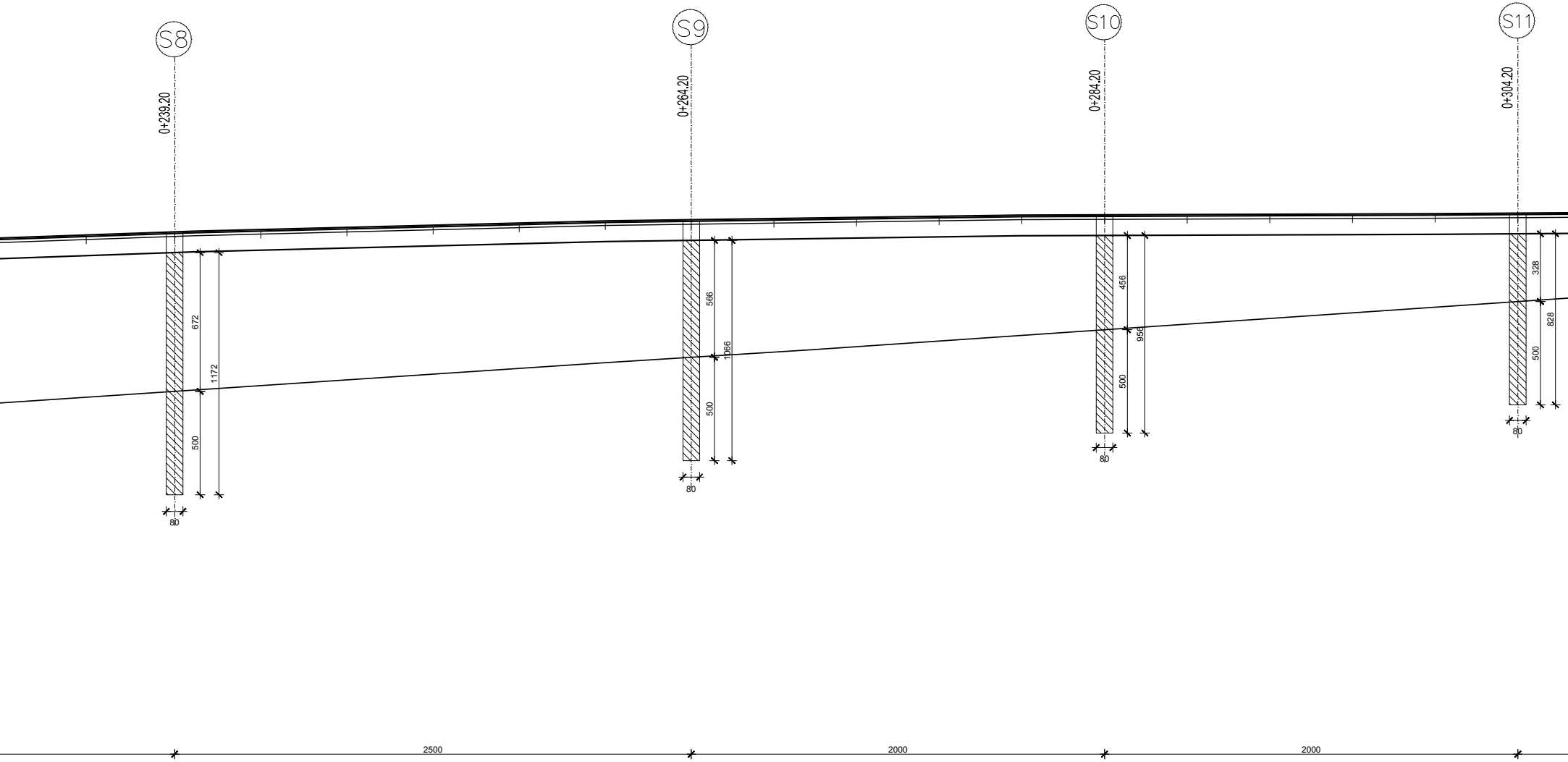


INVESTITOR / NARUČITELJ:	
GRAĐEVINA:	Most u nerp na Hrtkovci Ulica Domovinskog rata i Ulica Dunja Ivanova gara
VRSTA PROJEKTA:	Projekt konstrukcije
FAZNA PROJEKTA:	Glavni projekt
NASLOV:	SITUACIJA
PROJEKTANT:	Ružica Buljan
MJERILO:	1:200
DATUM:	svibanj, 2019.
BROJ PROJEKTA:	
BROJ PRILOGA:	3
OZNAKA DOKUMENTA:	

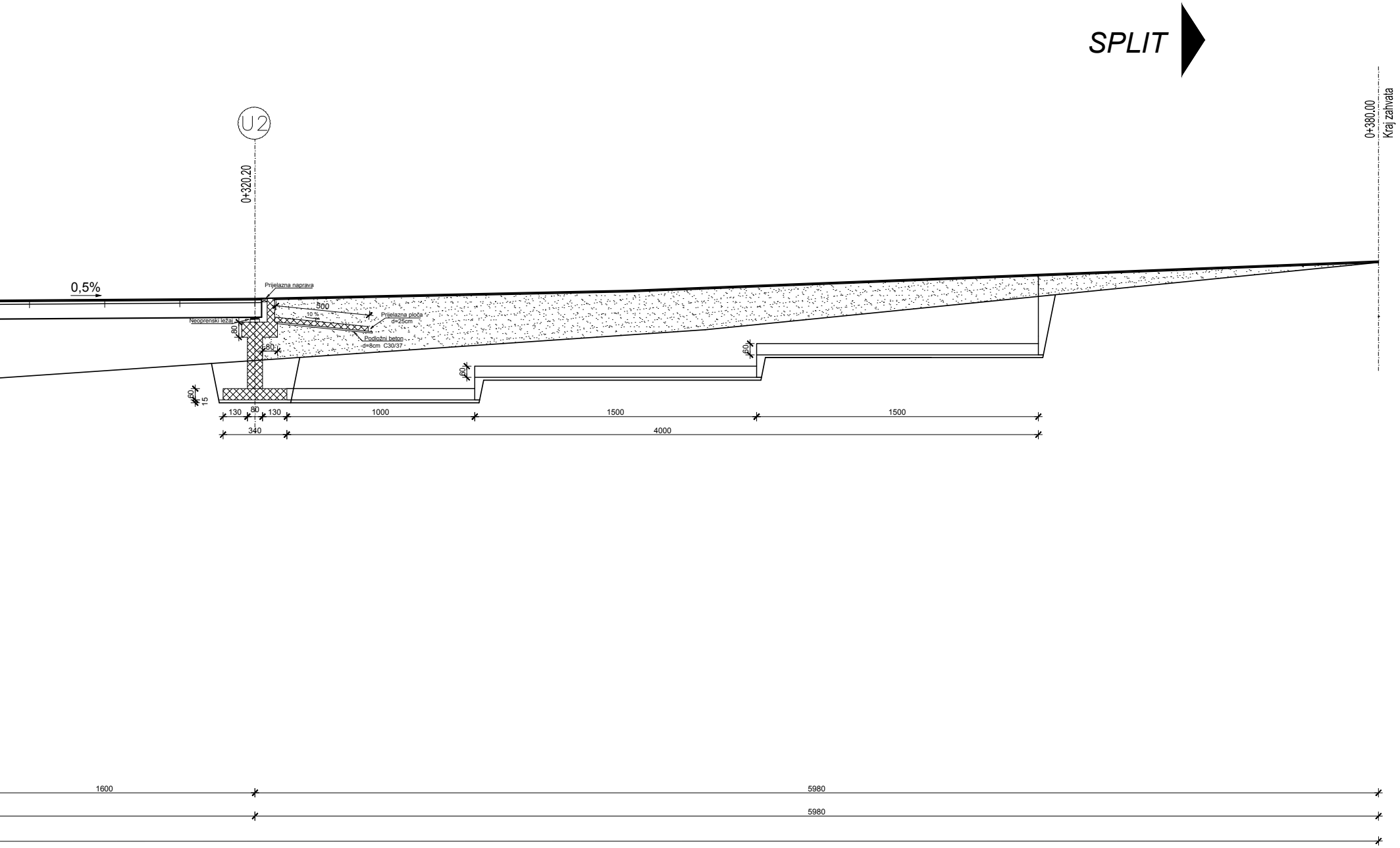

SOLIN
0+000,00
Početak zahvata
U1
0+050,70
S1
0+067,20
6,15%
Prijelazna naprava
Prijelazna ploča
d=25cm
500
10 %
Podložni beton
d=8cm C30/37
80
80
311
916
500
80
752
1252
500
80
5070
1650
5070


S2
0+087,20
738
1238
500
80
S3
0+107,20
704
1204
500
80
S4
0+132,70
192
500
692
80
2000
2000
2550
2550


S5
0+158.20
S6
0+183.70
S7
0+209.20
4,74%
602
1102
500
80
706
1206
500
80
705
1206
500
80
2550
2550
3000
26950
38000


S8
0+239.20
672
1172
500
80
S9
0+264.20
566
1066
500
80
S10
0+284.20
456
956
500
80
S11
0+304.20
328
828
500
80
2500
2000
2000

UZDUŽNI PRESJEK
U OSI MOSTA
M 1:200


SPLIT
U2
0+320.20
0+380,00
Kraj zahvata
0,5%
Prijelazna naprava
Neoprenski ležaj
500
10 %
Prijelazna ploča
d=25cm
Podložni beton
d=8cm C30/37
80
80
60
60
60
15
130
80
130
1000
1500
1500
340
4000
1600
5980
5980

INVESTITOR / NARUČITELJ:

GRAĐEVINA:
Most u rampi na križanju
Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde

SVEUČILIŠTE U SPLITU,
GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15
MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117

VRSTA PROJEKTA:
Projekt konstrukcije

ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:

RAZINA PROJEKTA:
Glavni projekt

SADRŽAJ:
UZDUŽNI PRESJEK MOSTA

PROJEKTANT: Ružica Buljac

MJERILO:
1:200

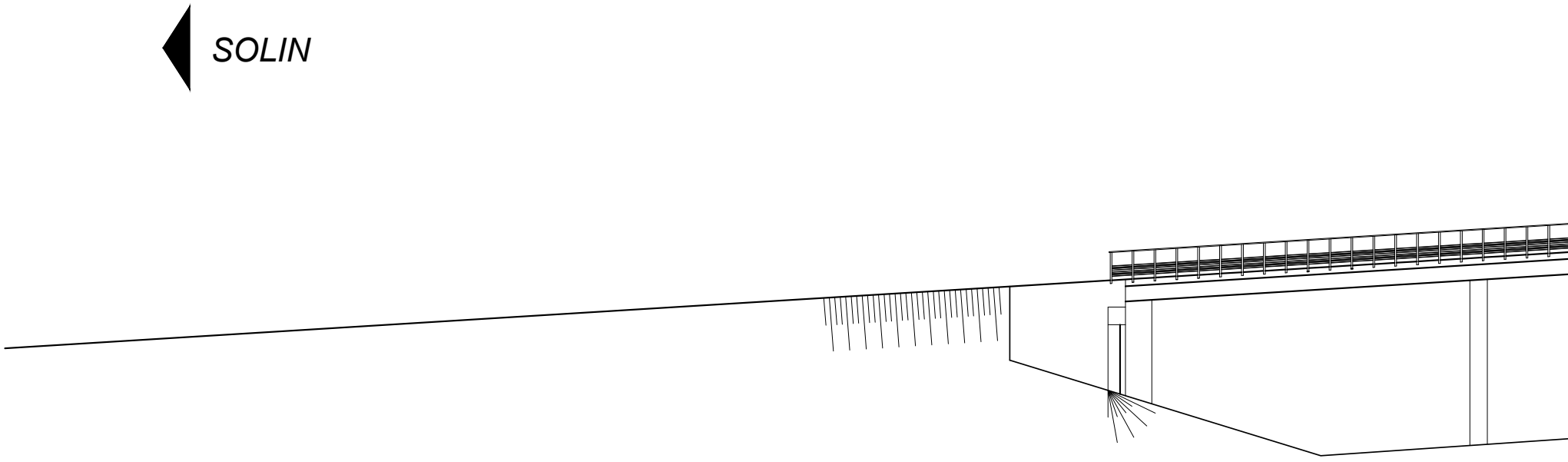
DATUM:
svibanj, 2019.

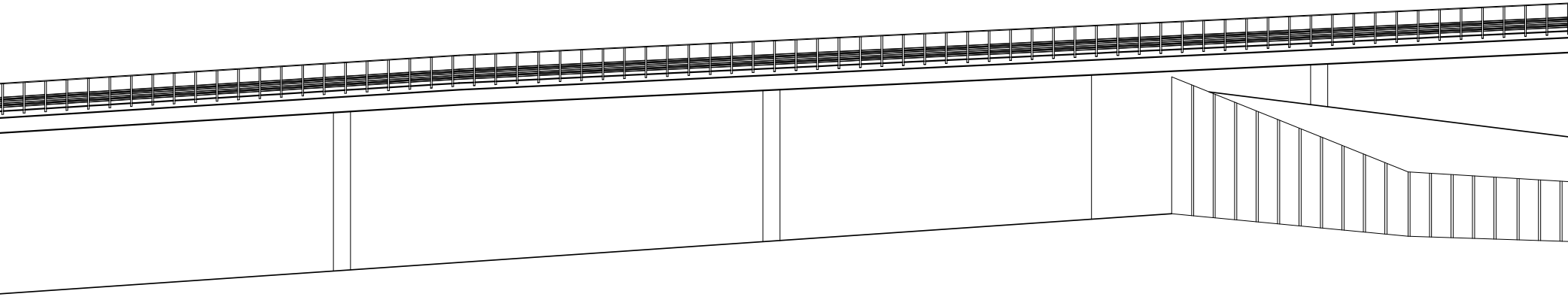
MAPA:

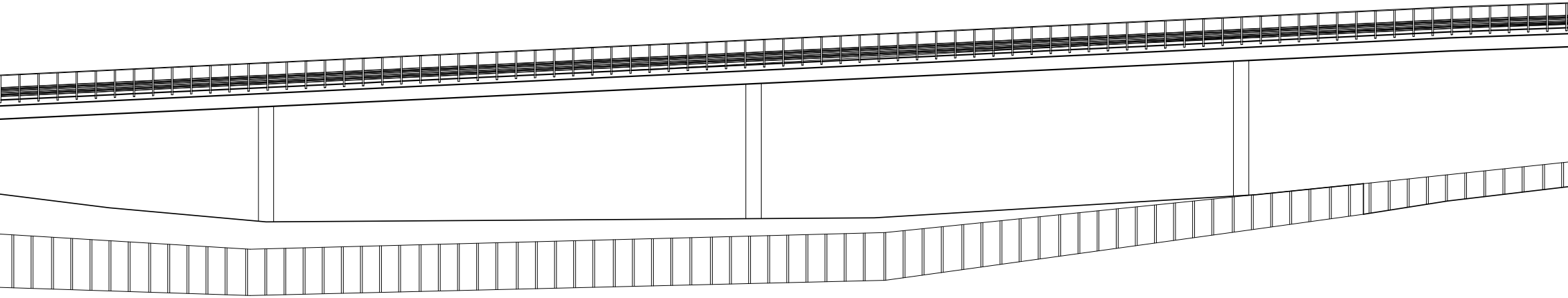
BROJ PROJEKTA:

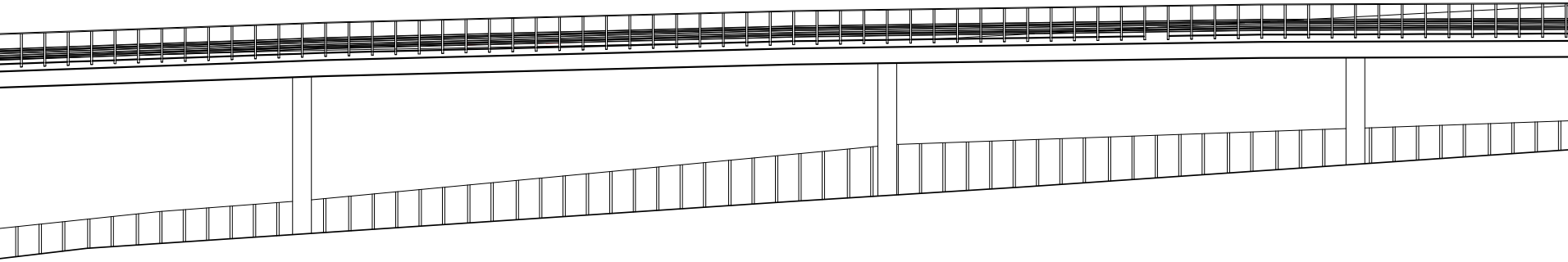
BROJ PRILOGA:
4

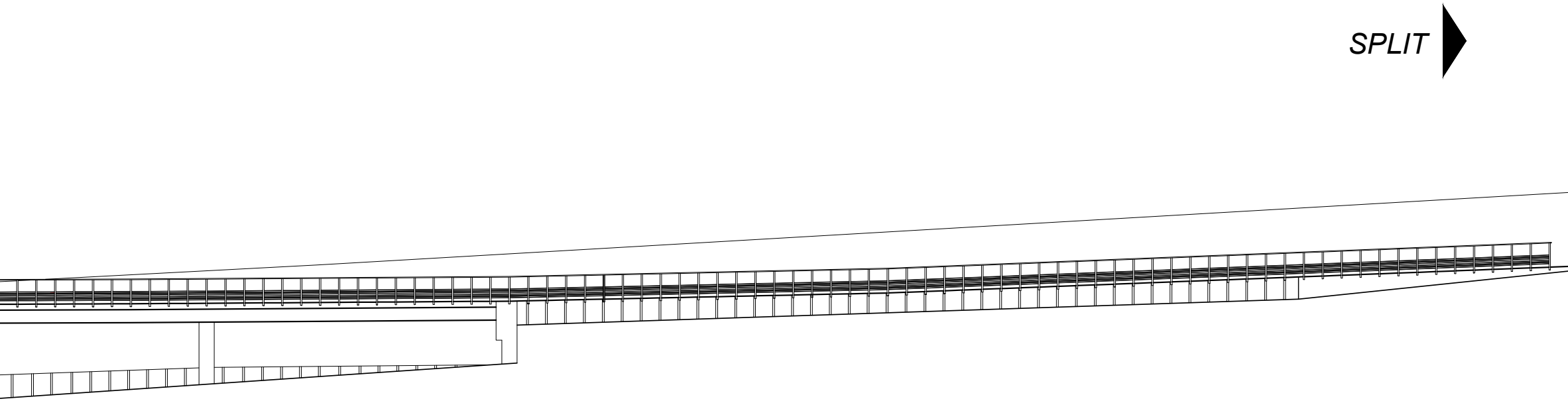
OZNAKA DOKUMENTA:











POGLED NA MOST
M 1:200

INVESTITOR / NARUČITELJ:

GRAĐEVINA:
Most u rampi na križanju
Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde

SVEUČILIŠTE U SPLITU,
GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15
MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117

VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije

ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:

RAZINA PROJEKTA: Glavni projekt

SADRŽAJ:

POGLED NA MOST

PROJEKTANT: Ružica Buljac

MJERILO: 1:200

DATUM: svibanj, 2019.

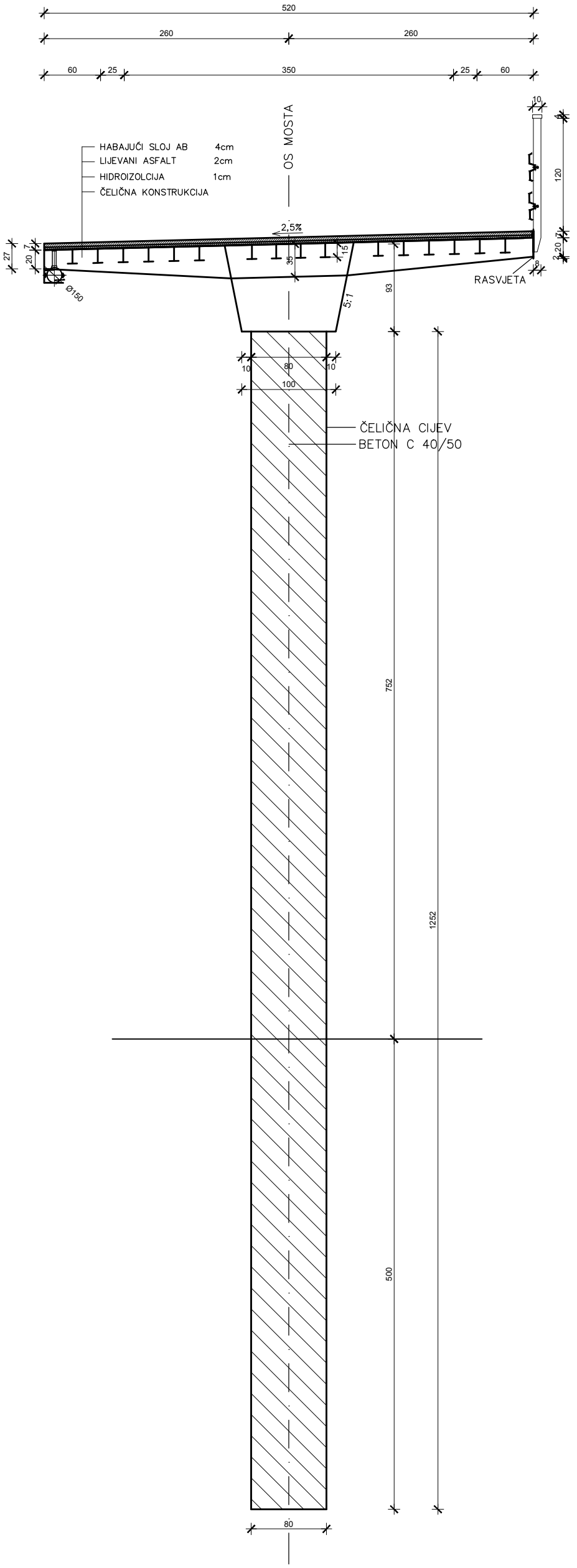
MAPA:

BROJ PROJEKTA:

BROJ PRILOGA: 5

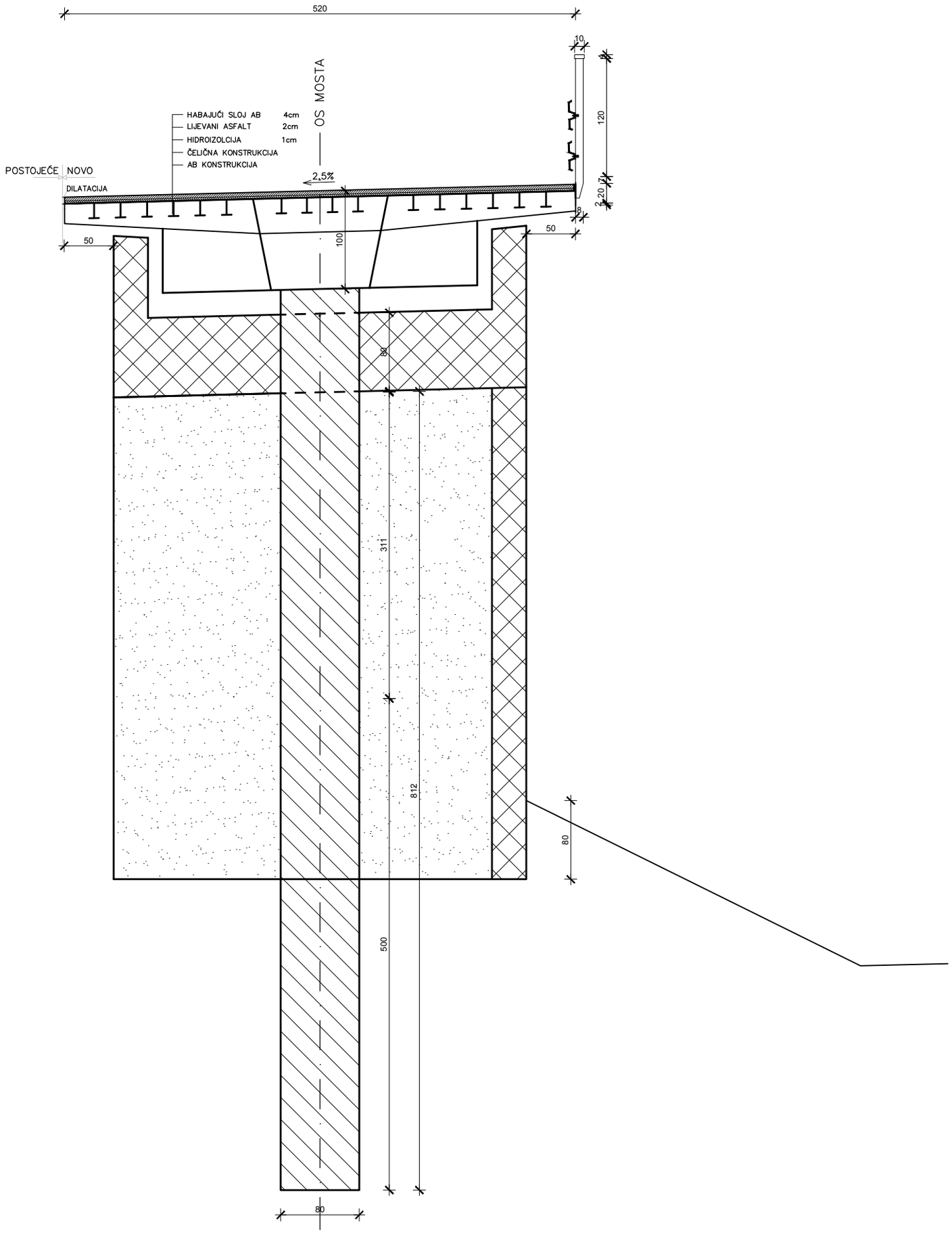
OZNAKA DOKUMENTA:

POPREČNI PRESJEK
U OSI STUPA S1
M 1:50



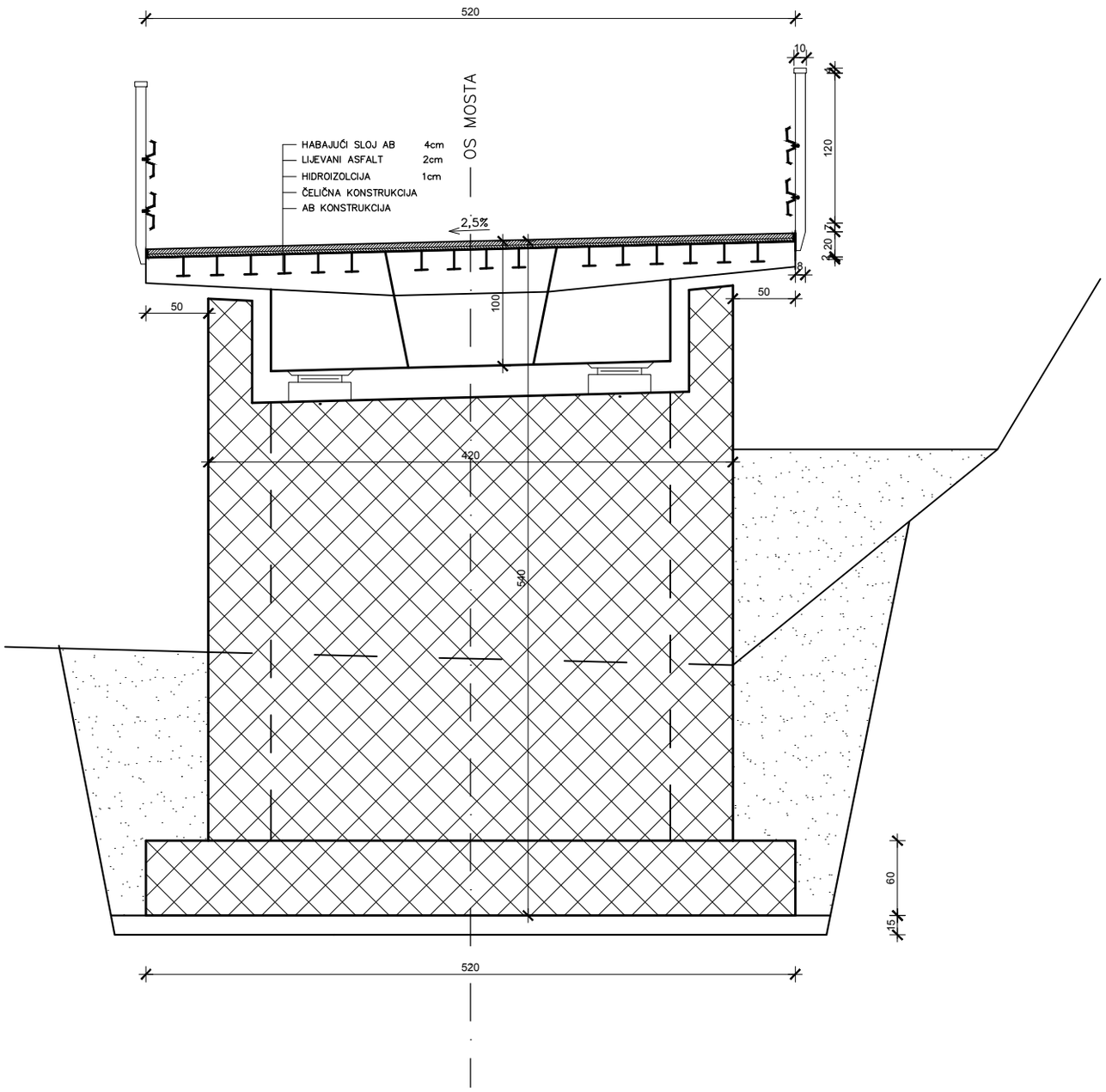
INVESTITOR / NARUČITELJ:	SVEUČILIŠTE U SPLITU, GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117
GRAĐEVINA: Most u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde	
VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:
RAZINA PROJEKTA: Glavni projekt	
SADRŽAJ: POPREČNI PRESJEK U OSI STUPA S1	
PROJEKTANT: Ružica Buljac	MJERILO: 1:50 DATUM: svibanj, 2019. MAPA: BROJ PROJEKTA: BROJ PRILOGA: 7
OZNAKA DOKUMENTA:	

POPREČNI PRESJEK
U OSI UPORNJAKA U1
M 1:50



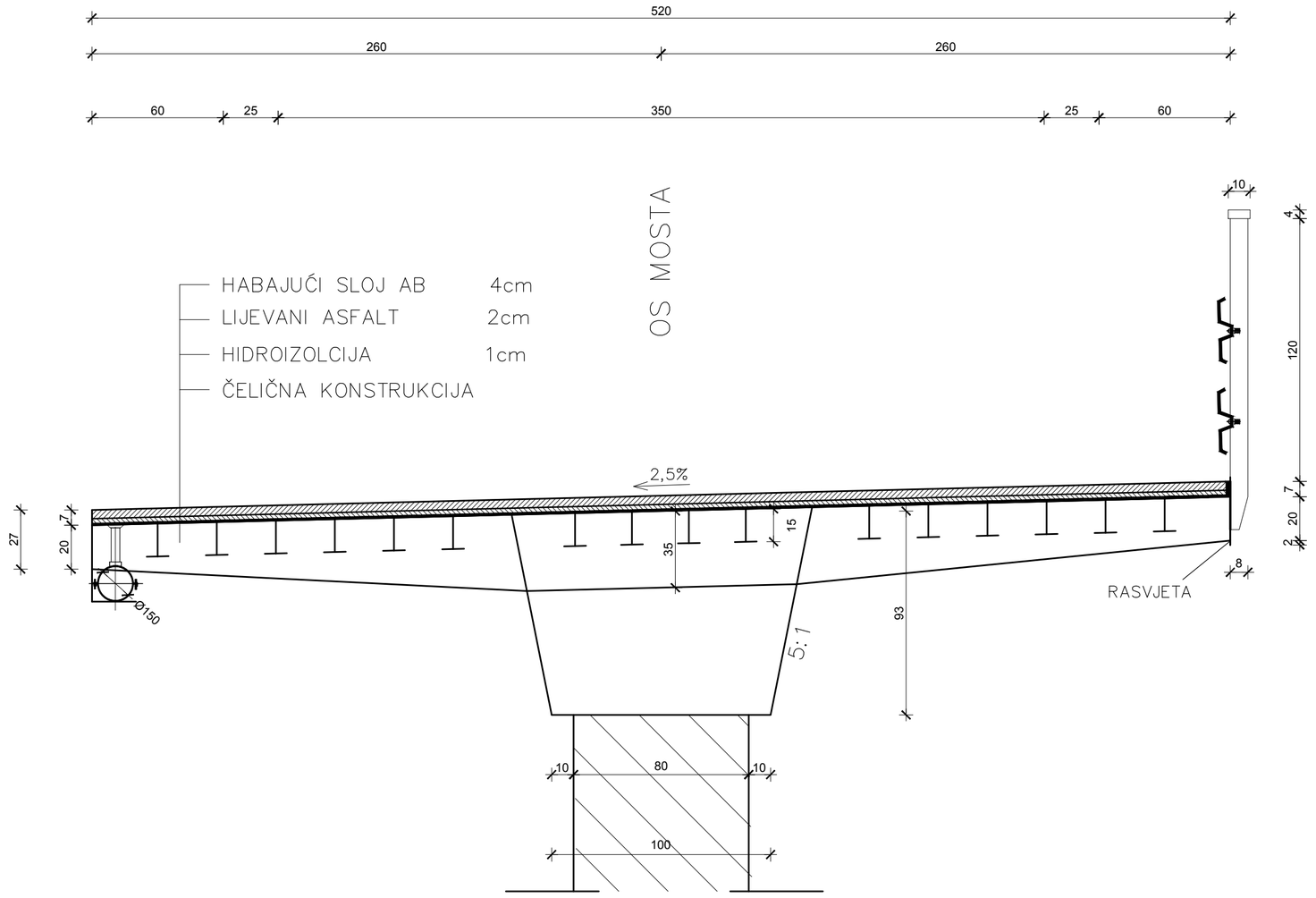
INVESTITOR / NARUČITELJ:	SVEUČILIŠTE U SPLITU, GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117
GRAĐEVINA: Most u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde	
VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:
RAZINA PROJEKTA: Glavni projekt	
SADRŽAJ: POPREČNI PRESJEK U OSI UPORNJAKA U1	
PROJEKTANT: Ružica Buljac	MJERILO: 1:50
	DATUM: svibanj, 2019.
	MAPA:
	BROJ PROJEKTA:
	BROJ PRILOGA: 8
OZNAKA DOKUMENTA:	

POPREČNI PRESJEK
U OSI UPORNJAKA U2
M 1:50



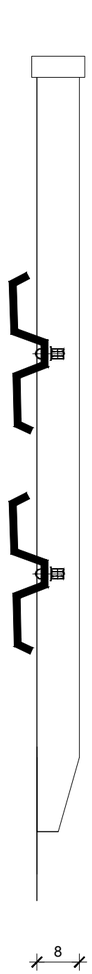
INVESTITOR / NARUČITELJ:	SVEUČILIŠTE U SPLITU, GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117
GRAĐEVINA: Most u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde	
VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:
RAZINA PROJEKTA: Glavni projekt	
SADRŽAJ: POPREČNI PRESJEK U OSI UPORNJAKA U2	
PROJEKTANT: Ružica Buljac	MJERILO: 1:50
	DATUM: svibanj, 2019.
	MAPA:
	BROJ PROJEKTA:
	BROJ PRILOGA: 9
OZNAKA DOKUMENTA:	

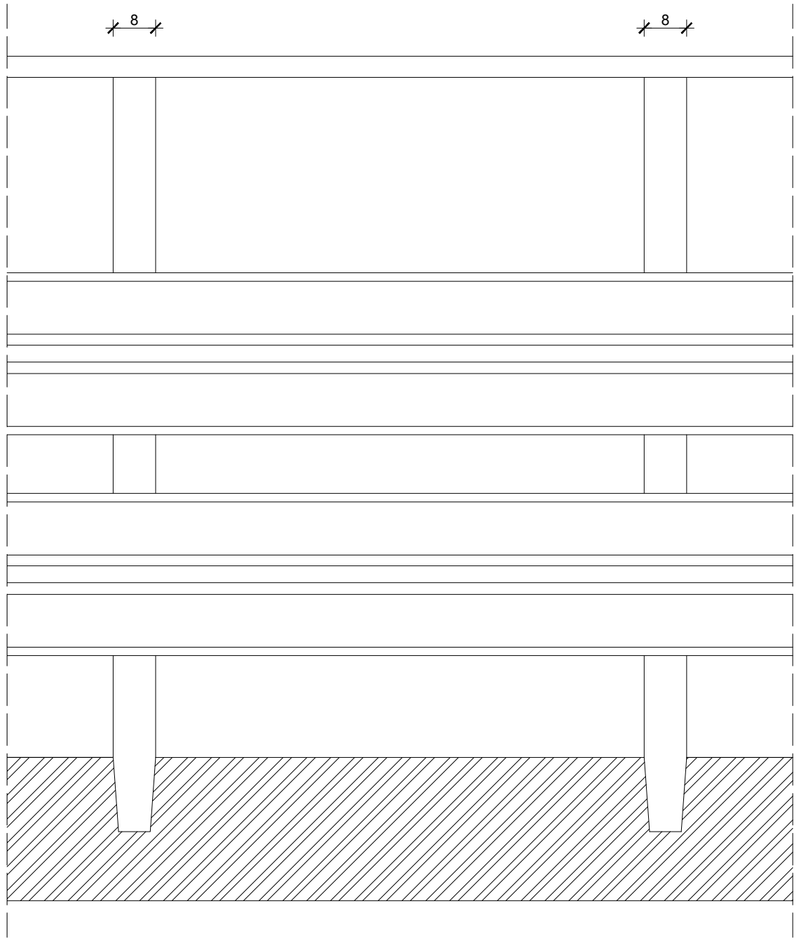
POPREČNI PRESJEK RASPONSKE KONSTRUKCIJE
M 1:20

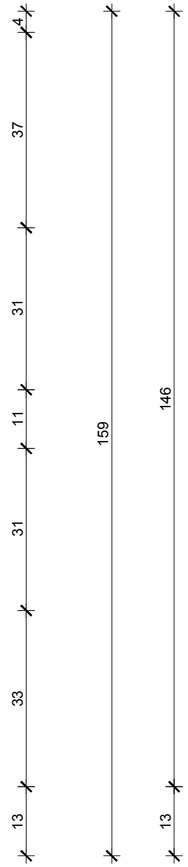


INVESTITOR / NARUČITELJ:	SVEUČILIŠTE U SPLITU, GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117
GRAĐEVINA: Most u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde	ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:
VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	
RAZINA PROJEKTA: Glavni projekt	
SADRŽAJ: POPREČNI PRESJEK RASPONSKE KONSTRUKCIJE	
PROJEKTANT: Ružica Buljac	MJERILO: 1:20
	DATUM: svibanj, 2019.
	MAPA:
	BROJ PROJEKTA:
	BROJ PRILOGA: 6
OZNAKA DOKUMENTA:	

DETALJ OGRADE
M 1:20







INVESTITOR / NARUČITELJ:	SVEUČILIŠTE U SPLITU, GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117
GRAĐEVINA: Most u rampi na križanju Ulice Domovinskog rata i Ulice Zbora narodne garde	
VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:
RAZINA PROJEKTA: Glavni projekt	
SADRŽAJ: DETALJ OGRADE	
PROJEKTANT: Ružica Buljac	MJERILO: 1:20
	DATUM: svibanj, 2019.
	MAPA:
	BROJ PROJEKTA:
	BROJ PRILOGA: 10
OZNAKA DOKUMENTA:	

3. Proračun

Pri proračunu unutarnjih sila konstrukcije korišten je računalni program Scia Engineer 18.1, pri čemu je most modeliran kao štapni sustav.

U kombinacije opterećenja uzeto je stalno djelovanje (vlastita težina, dodatno stalno opterećenje), promjenjivo djelovanje (prometno opterećenje, djelovanje vjetra na puni i prazni most, kočenje i zaustavljanje vozila, temperaturno opterećenje, udar vozila u određene stupove) i izvanredno djelovanje (potres).

Mjerodavno za dimenzioniranje uzeta je najkritičnija kombinacija opterećenja, pomnoženih s odgovarajućim faktorima sigurnosti. Dimenzioniranje je izvedeno prema Eurocode EN 1993-2.

3.1 Analiza opterećenja

3.1.1 Vlastita težina (G)

Vlastita težina čelične rasponske konstrukcije i stupova uključena je u sklopu programskog paketa SCIA.

3.1.2 Dodatno stalno opterećenje (ΔG)

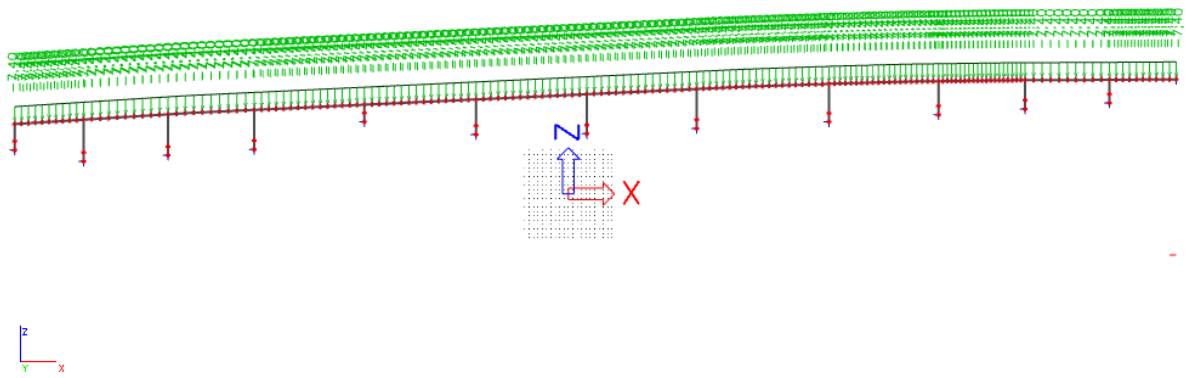
- kolnički zastor - asfalt $\gamma_a = 22\,\text{kN/m}^3$

- instalacije 0,10 kN/m^2

$A_{asfalt} = 0.06 \cdot 5.2 = 0.31m^2$

$\check{S}_{presjek} = 5.2m$

$22 \cdot 0.31 + 0{,}10 \cdot 5.2 = 7.4\ kN/m$

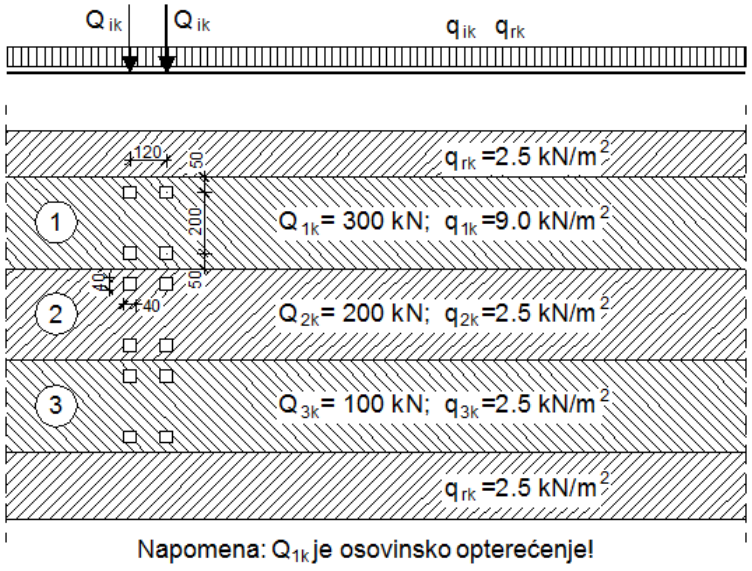


Slika 3.1 Dodatno stalno opterećenje

3.1.3 Prometno opterećenje (Q)

Proračun prometnog opterećenja izvršen je po EN 1991-3. Model opterećenja 1 pokriva većinu djelovanja teretnih i osobnih vozila i predstavlja glavni model opterećenja. Sastoji se iz dva dijela: dvoosovinskog sustava i jednoliko raspodijeljenog opterećenja.

Širina kolnika w (m)	Broj prometnih trakova	Širina prometnog traka (m)	Preostala širina kolnika (m)
w < 5.4 m	1	3	w - 3
5.4 m ≤ w < 6.0 m	2	w/2	0
w ≥ 6.0 m	n = Int (w/3)	3	w - 3 • n



Slika 3.2 Raspodjela prometnog opterećenja za Model opterećenja 1

Širina kolnika w (odgovara razmaku između rubnjaka) w = 4.7 m

Broj prometnih trakova n_l = 1

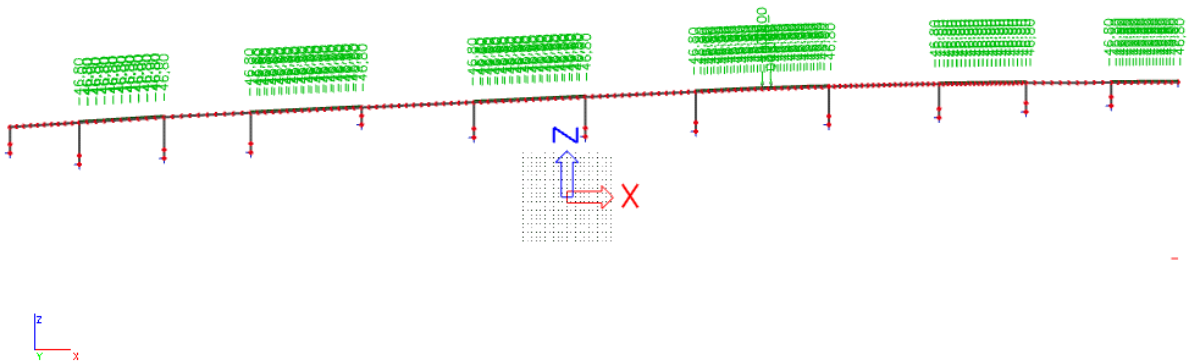
Širina prometnog traka b = 3 m

Prometni trak 1:

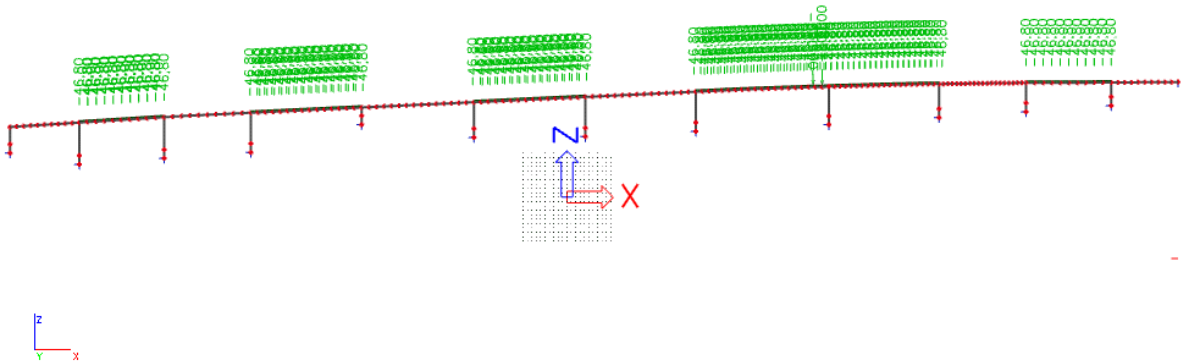
- jednoliko raspodijeljeno opterećenje q_{1k} = 9.0 kN/m^2

q_{1k} = 9.0 · 5.2 = 46.8 kN/m'

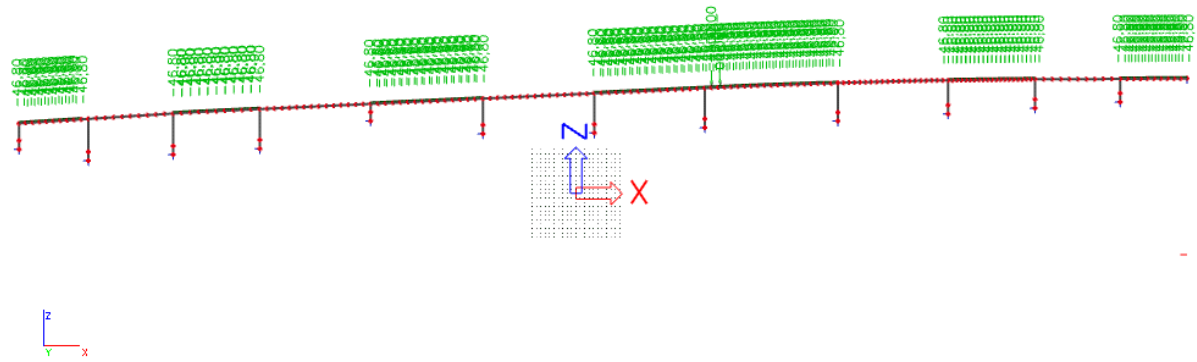
- dva osovinska opterećenja Q_{1k} = 300 kN



Slika 3.4 Shema 1 prometnog opterećenja za najveći moment u polju



Slika 3.5 Shema 2 prometnog opterećenja za najveći moment na ležaju



Slika 3.6 Shema 3 prometnog opterećenja za najveći moment na ležaju

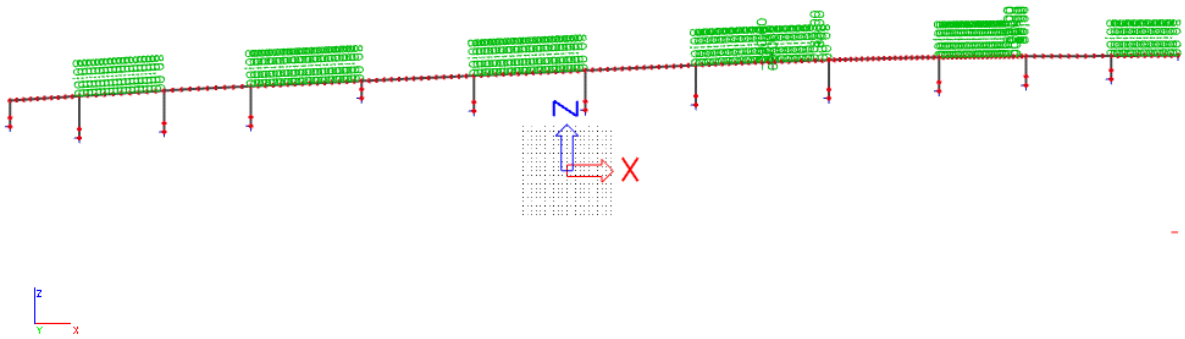
Iako most ima jedan vozni trak, razmatrana je mogućnost kretanja vozila izvan osi mosta, zbog pojave unutarnje sile momenta torzije u konstrukciji. Ovaj utjecaj je prikazan kao djelujući moment nastao od sile polovice punog iznosa prometnog opterećenja.

$\frac{46.8}{2} = 23.4$ kN/m'

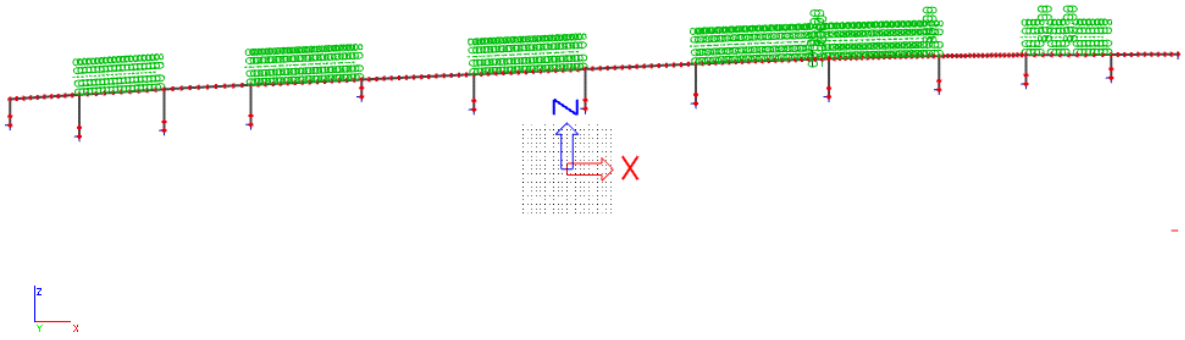
$\frac{300}{2} = 150$ kN

$M = 23.4 \cdot 2.6 \cdot 1.3 = 80$ kNm (moment od raspodjeljene sile)

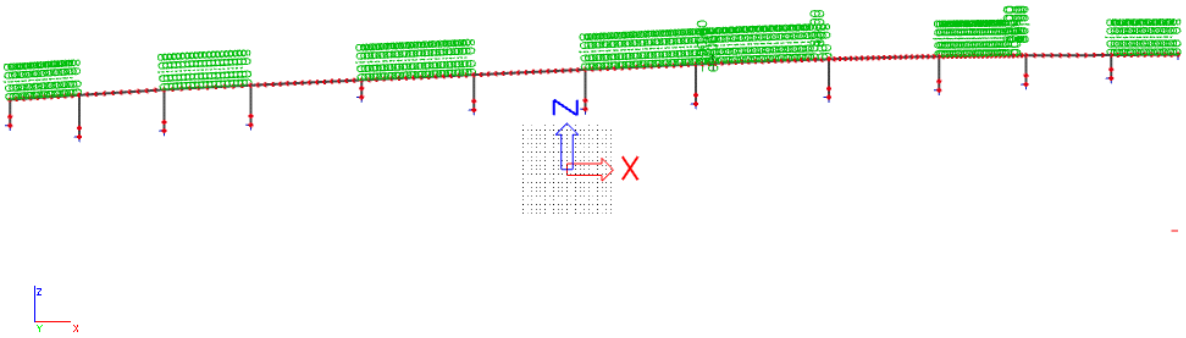
$M = 150 \cdot 1.3 = 195$ kN (moment od koncentrirane sile)



Slika 3.7 Shema 1 za polovicu opterećenog presjeka mosta



Slika 3.8 Shema 2 za polovicu opterećenog presjeka mosta



Slika 3.9 Shema 3 za polovicu opterećenog presjeka mosta

3.1.4 Opterećenje vjetra (W)

Proračun opterećenja vjetrom izvršen je po EN 1991-2-4.

- ukupna širina mosta

b = 0.85 + 3.5 + 0.85 = 5.2 m

- visina od donjeg ruba nosive konstrukcije do gornjeg ruba ograde visine iznosi

d = 1.0 +1.2 m = 2.2 m

omjer b/d = 2.36

Pritisak vjetra na jedinicu površine definira se kao,

$$w_e = q_p \cdot c_e(z_e) \cdot c_d \cdot c_{fx}[kN/m^2]$$

gdje je q_p poredbeni tlak vjetra pri srednjoj brzini vjetra, $c_e(z_e)$ koef. izloženosti koji uzima u obzir neravnine terena, topografiju i visinu iznad tla, c_d dinamički koeficijent, c_{fx} aerodinamički koeficijent, a z_e poredbena visina za lokalni tlak.

Poredbeni tlak vjetra pri srednjoj brzini vjetra dobiva se kao,

$$q_b = \frac{\rho}{2} \cdot v_b^2[kN/m^2]$$

gdje je v_b osnovna brzina vjetra, ρ gustoća zraka (u ovom poračunu uzeta s vrijednošću od 1.25 kg/m^3).

Osnovna brzina vjetra dana je izrazom:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}[m/s]$$

gdje je $v_{b,0}$ fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra, c_{dir} faktor smjera vjetra (obično se uzima vrijednost 1.0), c_{season} faktor ovisan o godišnjem dobu (obično se uzima vrijednost 1.0).

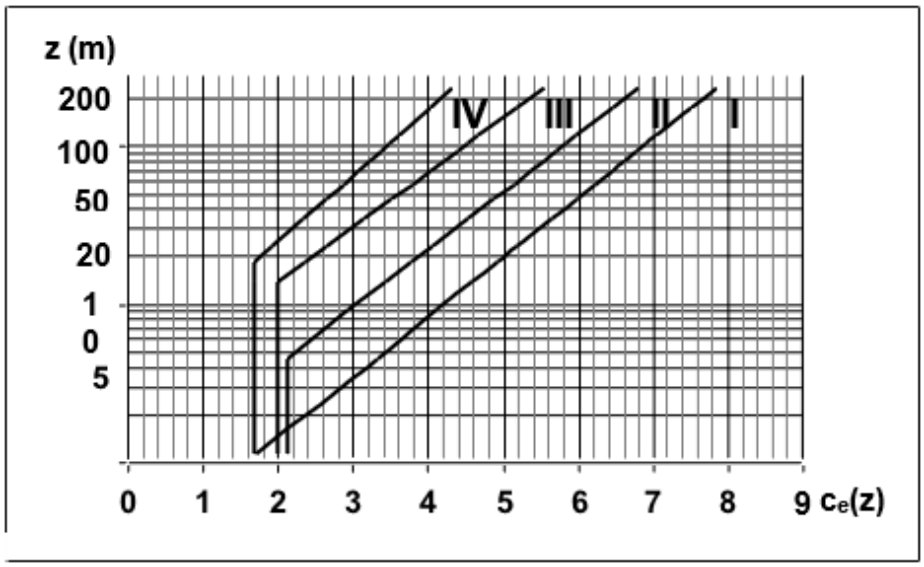
Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$v_{b,0}$ = 30 m/s → očitano za područje Split

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 30 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 30m/s$$

$$q_b = \frac{\rho}{2} \cdot v_b^2 = \frac{1.25}{2} \cdot 30^2 = 562.2\frac{N}{m^2} = 0.56\frac{kN}{m^2}$$

➔ Kategorija terena I (Split), visina objekta z = 8.52m



Slika 3.10 Koeficijent položaja $c_e(z)$ u ovisnosti o visini z iznad terena i kategorijama terena I do IV

$c_e(z)$ = 4.0 (očitano)

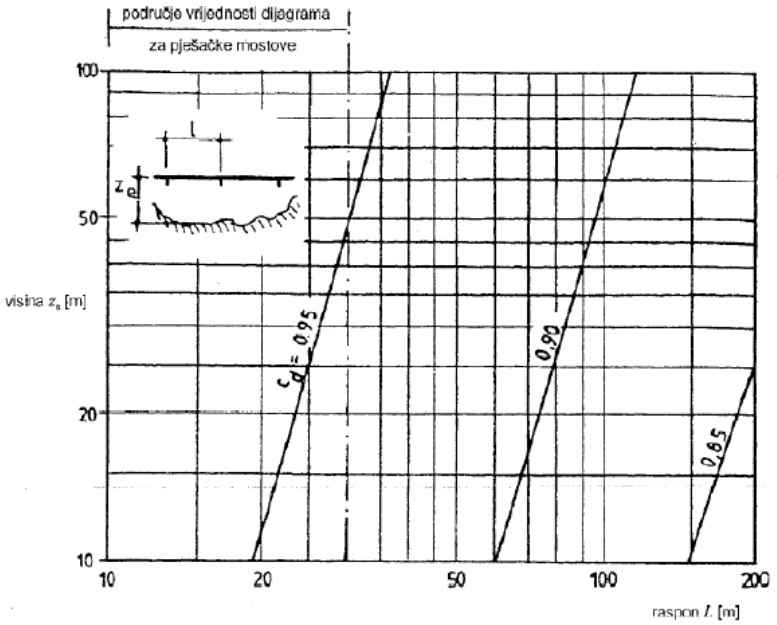
Za most pod prometnim opterećenjem (puni most) ENV 1991-3 predlaže:

v_{ref} = 23m/s

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1.25}{2} \cdot 23^2 = 330.63 \frac{N}{m^2} = 0.33 \frac{kN}{m^2}$$

Vrijednost dinamičkog koeficijenta c_d prema slici 9.4 u ENV 1991-2-4:

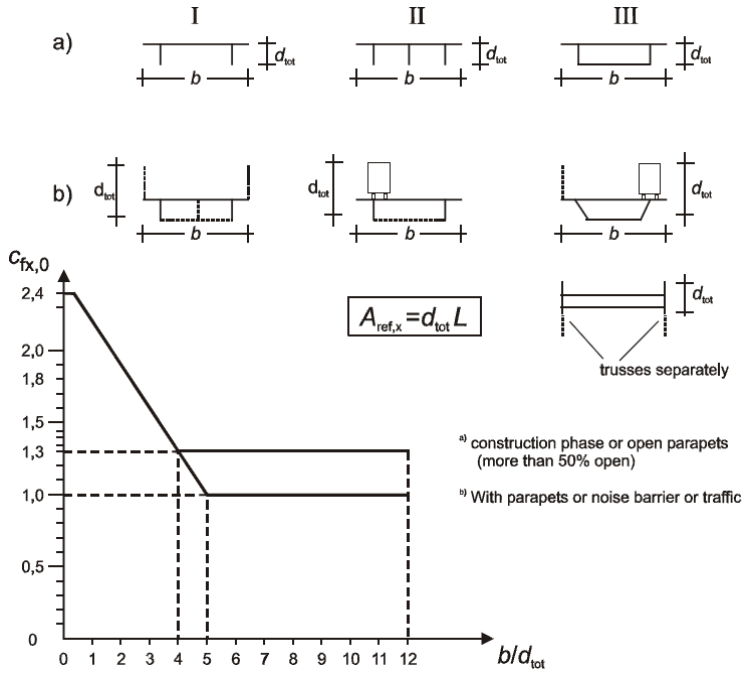
raspon L = 269.50m, visina objekta z = 8.52m (od razine terena do vrha raspona)



Slika 3.11 Koeficijent c_d za mostove

c_d = 0.85 (očitano)

Vrijednost aerodinamičkog koeficijenta c_{fx} :



Slika 3.12 Vrijednost $c_{fx,0}$ za mostove

Za puni most:

b = 5.2 m

d = 12.02 m

b/d = 5.2 /12.02 = 0.43

$c_{fx,0}$ = 2.4 (očitano)

Za prazan most:

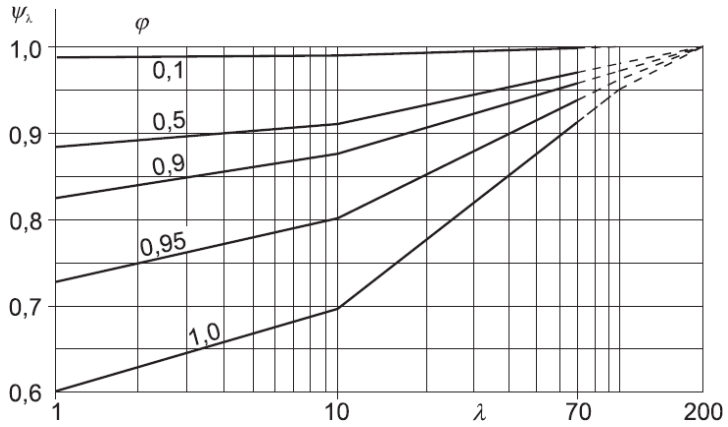
d = 5.2 m

b = 9.72 m

d/b = 5.2/9.72 = 0.53

$c_{fx,0}$ = 2.4 (očitano)

ψ_λ - koeficijent umanjenja s obzirom navitkost



Slika 3.13 Koeficijent umanjenja na osnovi vitkosti ψ_λ u ovisnosti o proračunskoj vitkosti λ i za različite stupnjeve punoće φ

$\rho = A/A_c$ - stupanj punoće

A - zbroj projiciranih ploština pojedinih elemenata; A_c - uključena ploština

ρ = 1.0

Prazan most

$$\lambda = \frac{L}{d} = \frac{269.50}{9.72} = 27.67 \rightarrow \psi_\lambda = 0.825 \quad c_{fx} = c_{fx,0} \cdot \psi_\lambda = 2.4 \cdot 0.825 = 1.98$$

Puni most

$$\lambda = \frac{L}{d} = \frac{269.50}{12.02} = 22.42 \rightarrow \psi_\lambda = 0.775 \quad c_{fkx} = c_{fx,0} \cdot \psi_\lambda = 2.4 \cdot 0.775 = 1.86$$

- Referentni tlak vjetra na prazni most

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1.25}{2} \cdot 30^2 = 562.2 \frac{N}{m^2} = 0.56 \frac{kN}{m^2}$$

- Referentni tlak vjetra na puni most

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1.25}{2} \cdot 23^2 = 330.63 \frac{N}{m^2} = 0.33 \frac{kN}{m^2}$$

Pritisak vjetra na jedinicu površine:

$$w = q_{ref} \cdot c_e \cdot c_d \cdot c_{fx} [kN/m^2]$$

c_e = 4.0 ; c_d = 0.85

Prazni most	*Puni most*
w = 0.56 · 4.0 · 0.85 · 1.98 = 3.76 kN/m^2	w = 0.33 · 4.0 · 0.85 · 1.86 = 2.09 kN/m^2
Okomito na most	
Rasponska konstrukcija $w_{rk} = w \cdot h_{rk}$ = 3.76 · 9.72 = 36.5 kN/m’	Rasponska konstrukcija $w_{rk} = w \cdot h_{rk}$ = 2.09 · 4.5 = 9.4 kN/m’
Stupovi $w_{st} = w \cdot h_{st}$ = 3.76 · 0.8 = 3.1 kN/m’	Stupovi $w_{st} = w \cdot h_{st}$ = 2.09 · 0.8 = 1.7 kN/m’
U smjeru mosta	
Rasponska konstrukcija $w_{rk} = w \cdot h_{rk}$ = 3.76 · 5.2 = 19.1 kN/m’	Rasponska konstrukcija $w_{rk} = w \cdot h_{rk}$ = 2.09 · 5.2 = 10.9 kN/m’
Stupovi $w_{st} = w \cdot h_{st}$ = 3.76 · 0.8 = 3.1 kN/m’	Stupovi $w_{st} = w \cdot h_{st}$ = 2.09 · 0.8 = 1.7 kN/m’

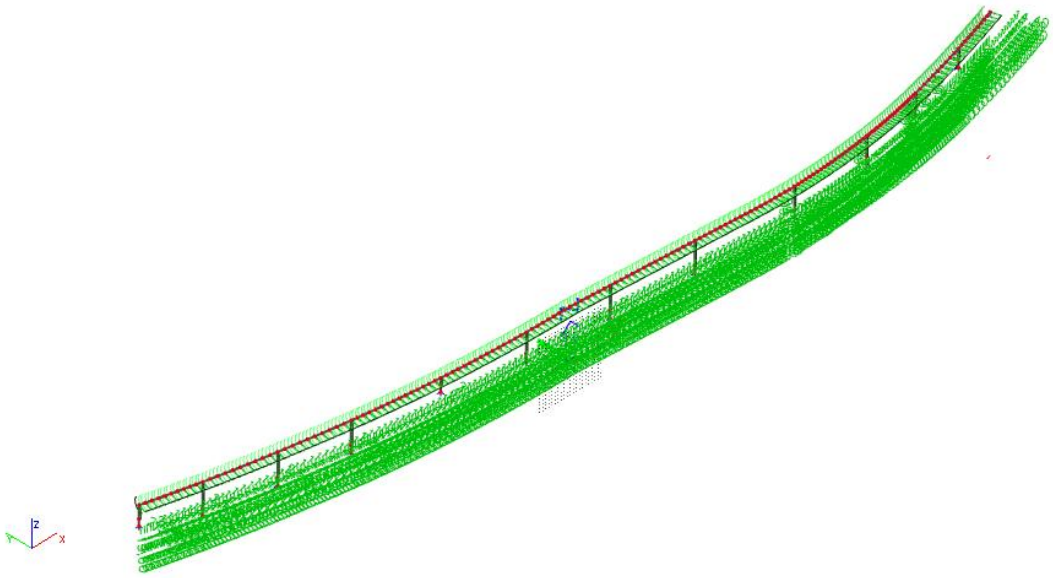
U slučaju djelovanja vjetra okomito na puni most, osim raspodjeljenog opterećenja i koncentrirane sile, uzet je u obzir i utjecaj djelovanja sile od vozila koje potiskuje kolnik mosta uslijed udara vjetra. Izračunat je djelujući moment od pritiska vjetra na jedinicu površine (u ovome slučaju površine vozila).

w = 2.09 kN/m^2

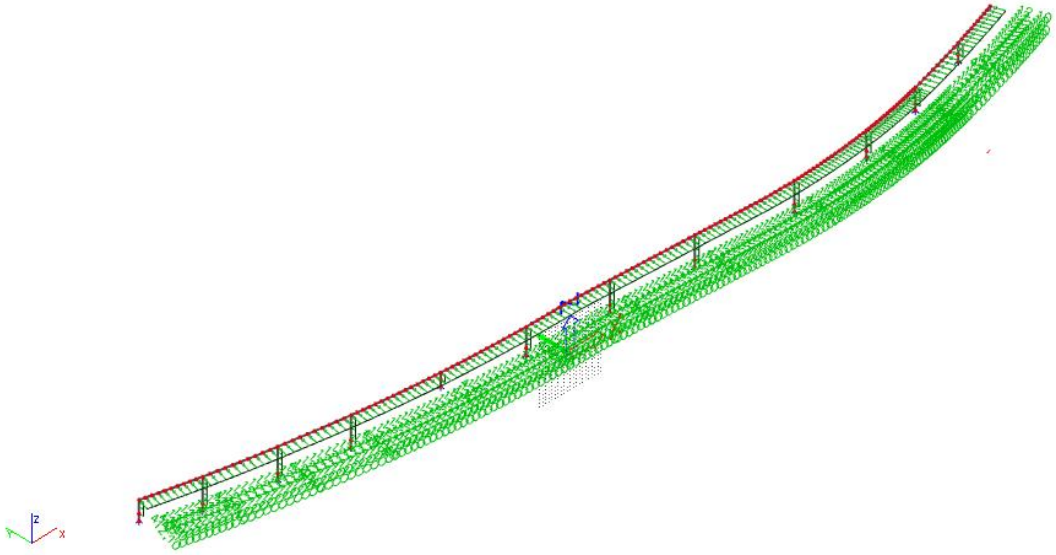
h = 3.5m (visina vozila) ; L = 269.5m

$M = 2.09 \cdot (3.5 \cdot 269.5) \cdot 1.75 = 3449.9$ kNm

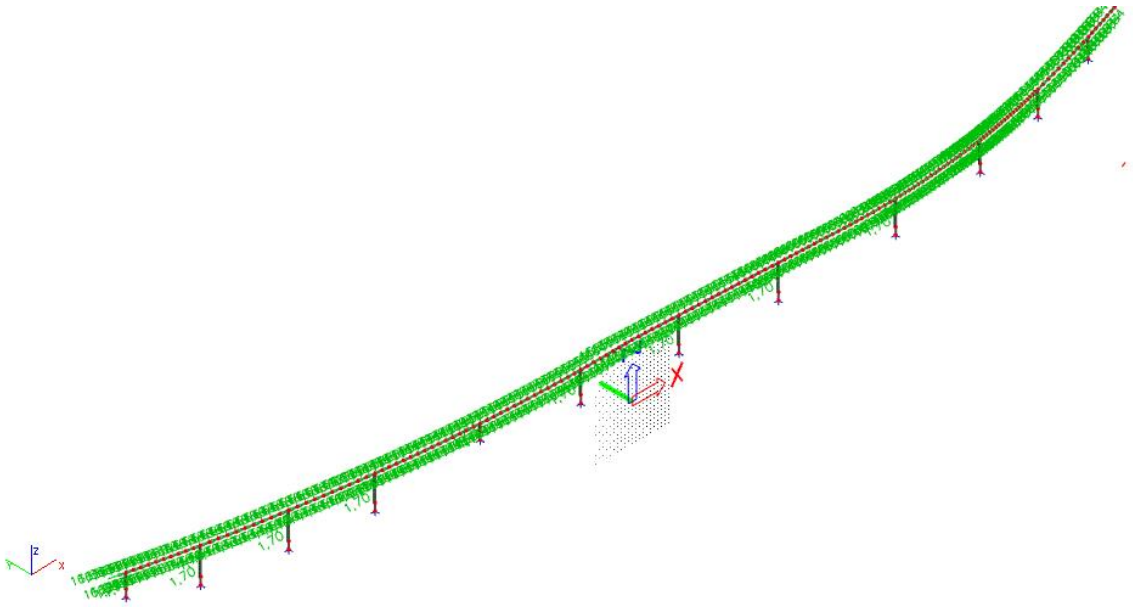
$$\frac{3449.9}{269.5} = 12.8\ kNm/m'$$



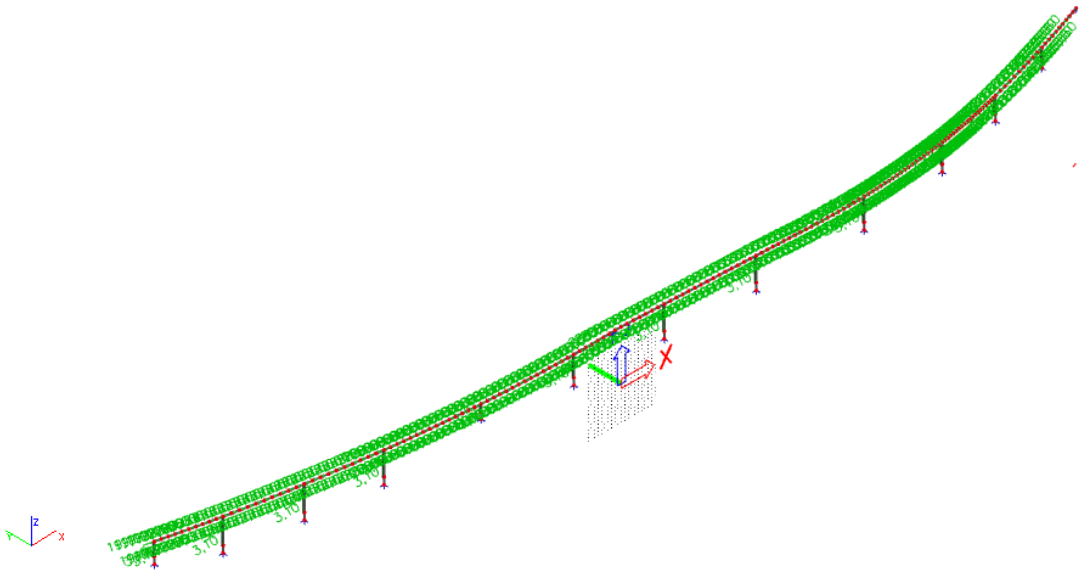
Slika 3.14 Vjetar okomito na puni most



Slika 3.15 Vjetar okomito na prazni most



Slika 3.16 Vjetar u smjeru na puni most



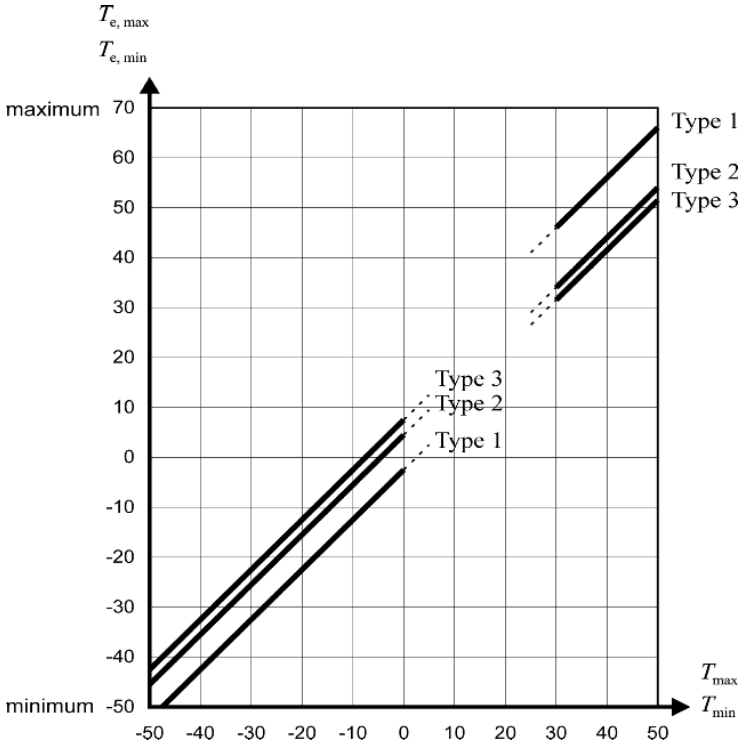
Slika 3.17 Vjetar u smjeru na prazni most

3.1.5 Jednoliko temperaturno opterećenje (T)

Temperaturno djelovanje na mostove kategoriziramo u ovisnosti materijala izrade mosta. Skupina: čelična kolnička ortotropna ploča na čeličnom sanduku, rešetkastom ili limenom nosaču. Karakteristična maksimalna i minimalna vanjska temperatura zraka, određena iz karte najviših i najnižih temperatura u hladu, prema područjima u ovisnosti o nadmorskoj visini (do 400 m):

T_{max} = 36 ºC

T_{min} = -13 ºC



Slika 3.18 Suodnos između najniže i najviše temperature u hladu (T_{min}/T_{max}) te najniže i najviše proračunske temperature mosta ($T_{e,min}/T_{e,max}$)

$T_{e,max}$ = 51 ºC

$T_{e,min}$ = -17 ºC

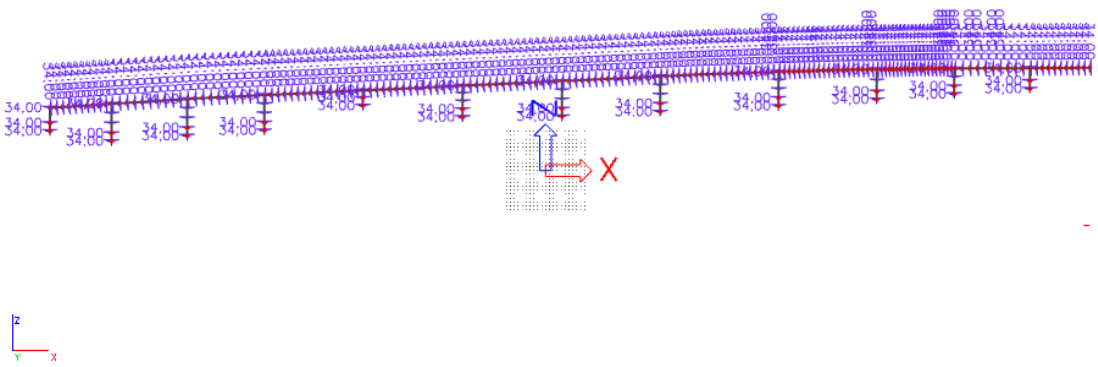
- vjerojatna proračunska temperatura mosta u vrijeme kada je konstrukcija djelotvorno upeta

T_0 = 15 ºC

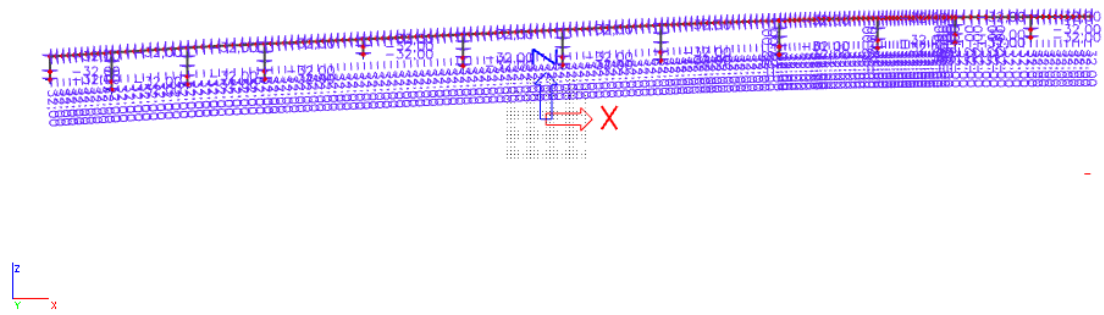
- karakteristične vrijednosti najvećeg raspona pozitivne i negativne proračunske temperature mosta

$\Delta T_{N,pos} = T_{e,max} - T_0 = 51 - 15 = 36$ ºC (širenje)

$\Delta T_{N,neg} = T_{e,min} - T_0 = -17 - 15 = 32$ ºC (skupljanje)



Slika 3.19 Pozitivna temperatura



Slika 3.20 Negativna temperatura

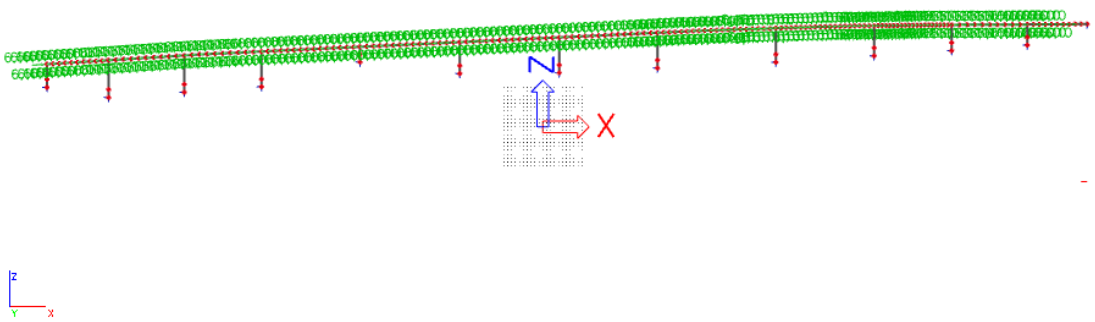
3.1.6 Pokretanje i zaustavljanje vozila (K)

Pri pokretanju i zaustavljanju vozila nastaju horizontalne sile koje djeluju u uzdužnom smjeru na razini površine gotovog zastora. Iznos ovih sila dobije se kao 60% koncentriranog tereta i 10% jednoliko raspodjeljenog opterećenja na jednom voznom traku (najopterećenijem), ali s donjom granicom od 180 kN i gornjom granicom od 800 kN.

$$Q_k = 0.6 \cdot (2 \cdot\ Q_{1k}) + 0.1 \cdot (q_{1k} \cdot b) \cdot L_{most}$$

$$Q_k = 0.6 \cdot (2 \cdot 300) + 0.1 \cdot (9 \cdot 5.2) \cdot 269.5 = 1621{,}26\ kN$$

$$\frac{Q_k}{L_{most}} = \frac{1621.26}{269.5} = 6.1 \frac{kN}{m}$$



Slika 3.21 Kočenje vozila

3.1.7 Udar vozila (G_{udar})

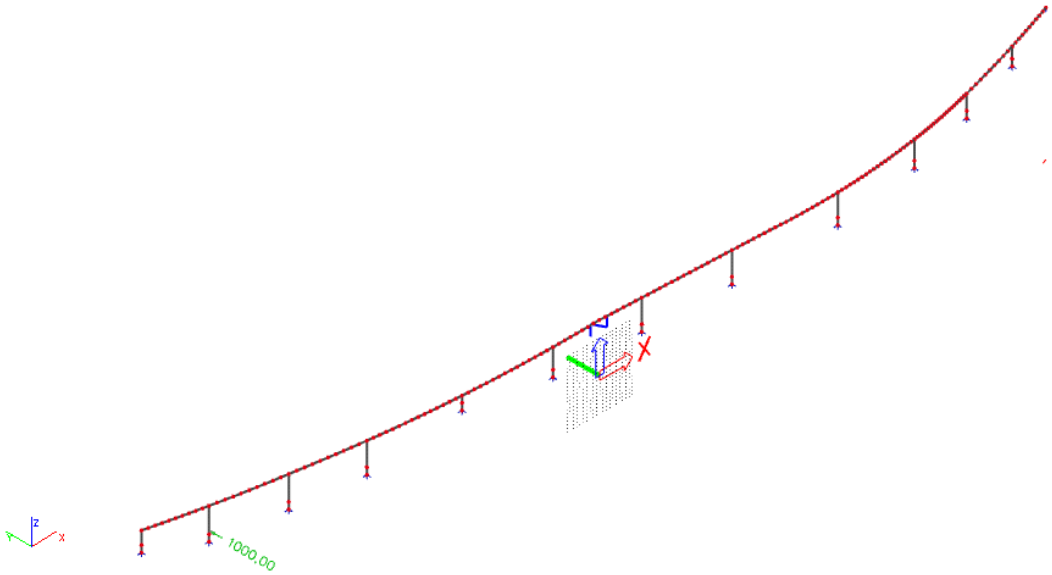
Udar vozila u stup mosta zadan je kao koncentrirana sila na visini od 1.0 metra mjereno od razine tla. U predmetnom projektu ovaj utjecaj se promatra na drugom, trećem, četvrtom i devetom stupu (tamo gdje postoji mogućnost pojave ovog izvanrednog djelovanja).

Prema EN 1991-1-7 iznos sile udara vozila za autoceste i brze ceste je:

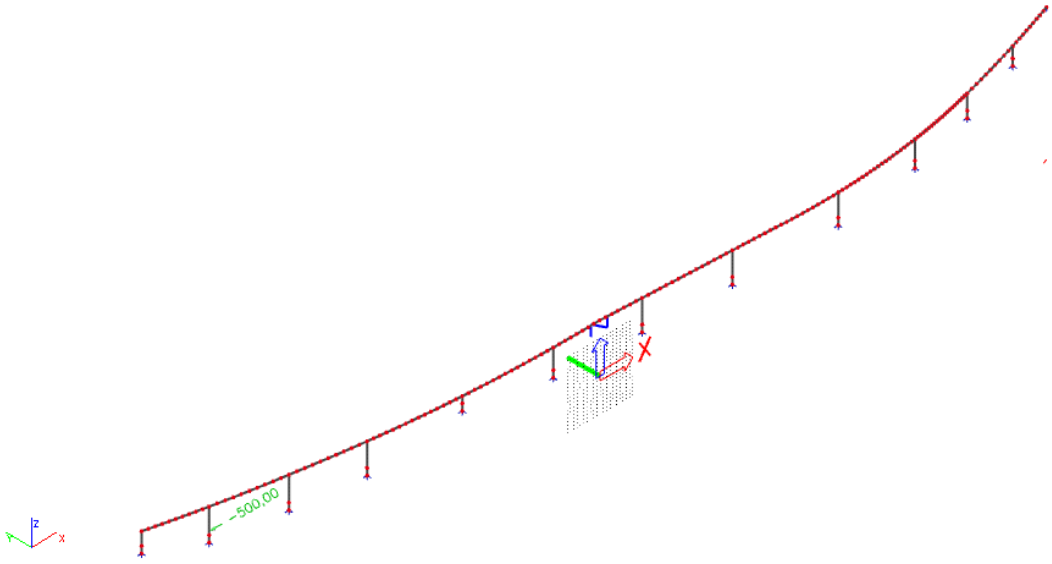
F_{dx} = 1000 kN (x - u smjeru vožnje)

F_{dy} = 500 kN (y - okomito na smjer vožnje)

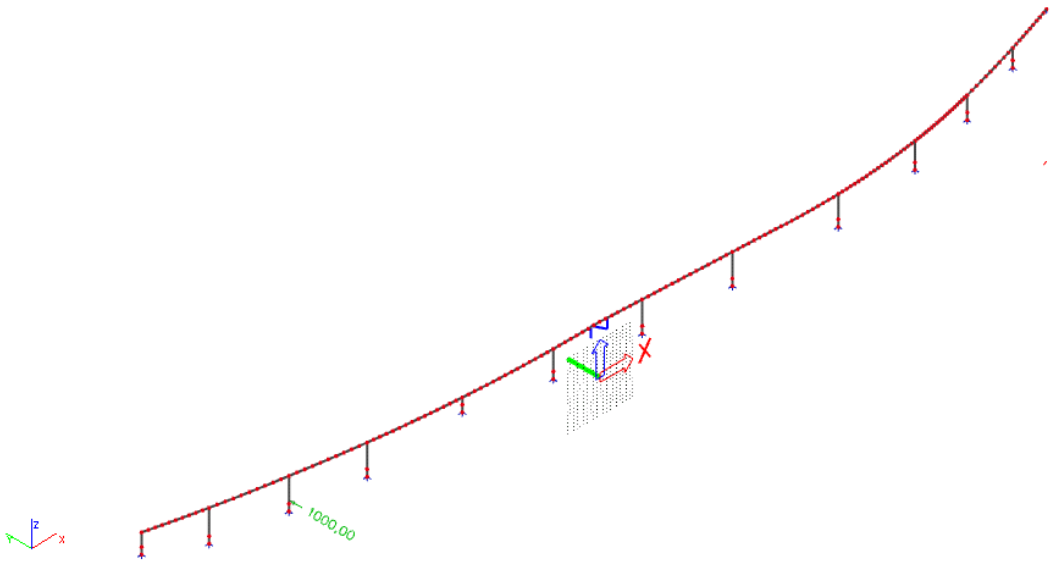
Ove dvije sile ne mogu djelovati istodobno.



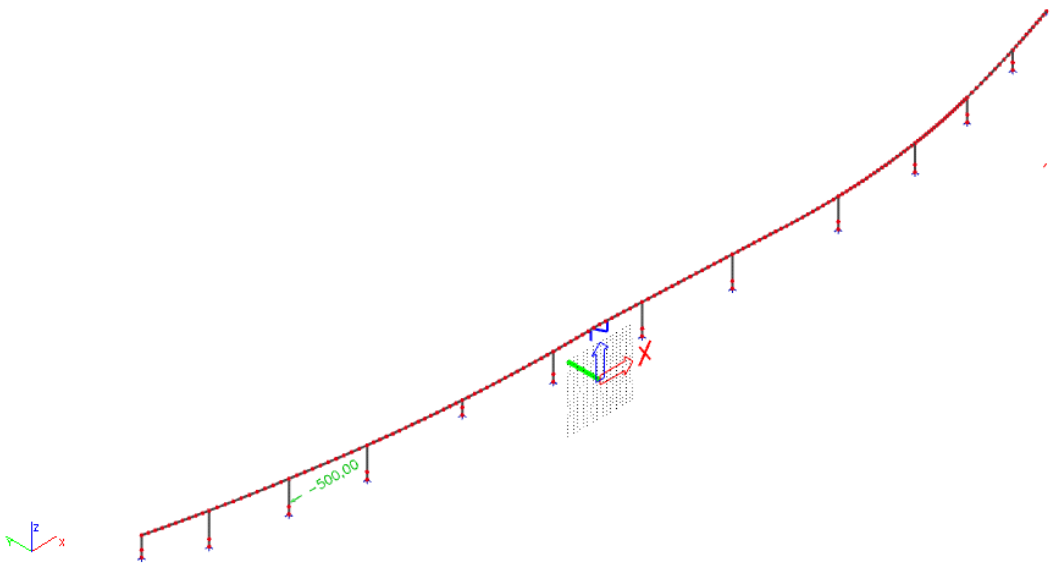
Slika 3.22 Udar vozila na S2 u smjeru x



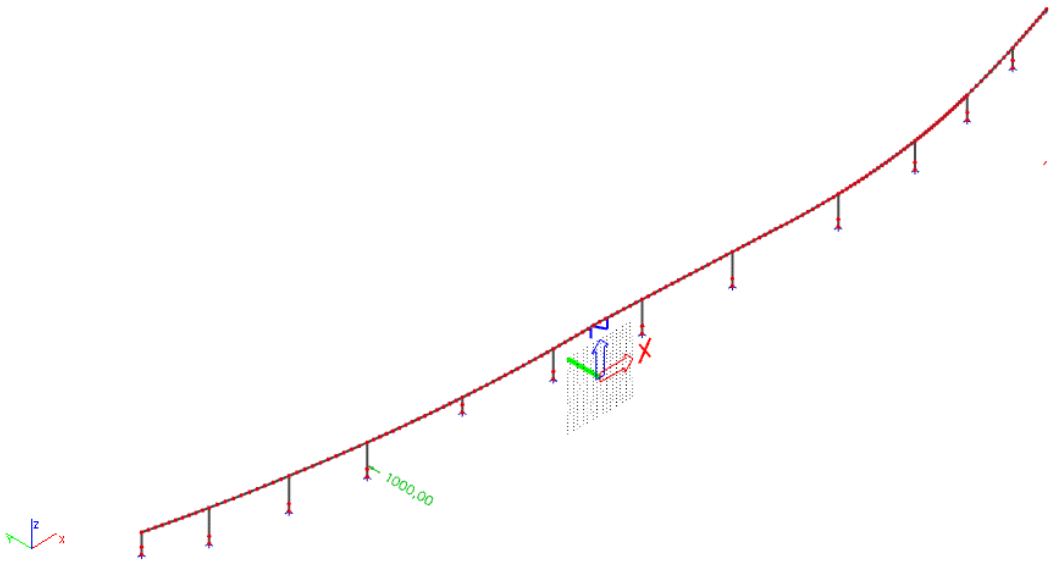
Slika 3.23 Udar vozila na S2 u smjeru y



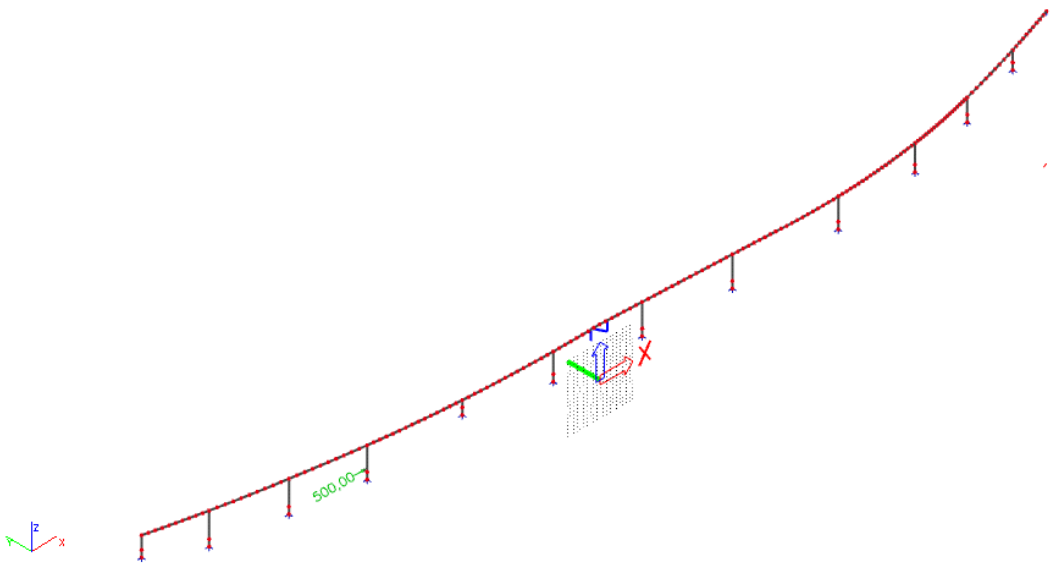
Slika 3.24 Udar vozila na S3 u smjeru x



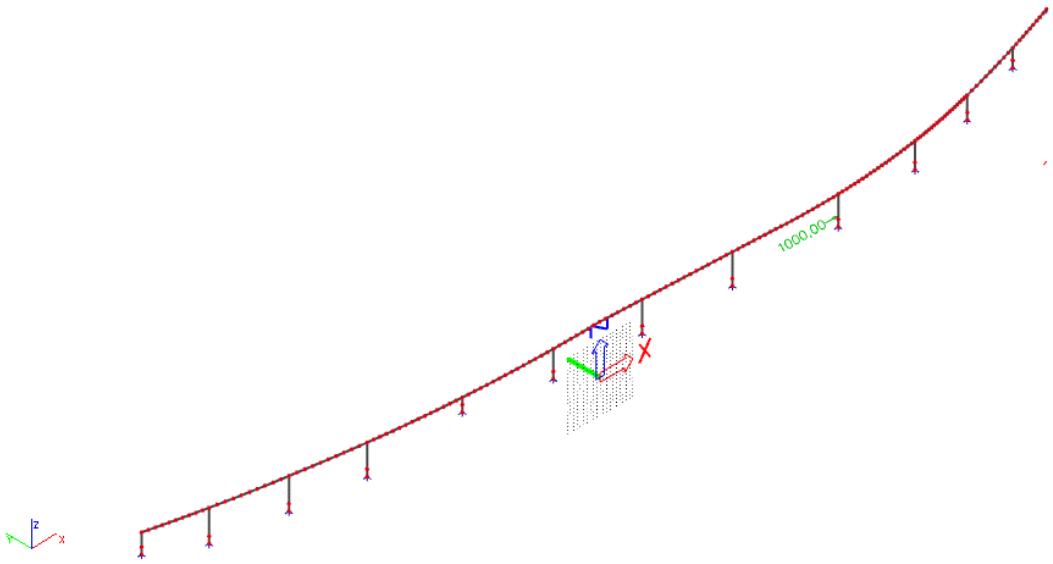
Slika 3.25 Udar vozila na S3 u smjeru y



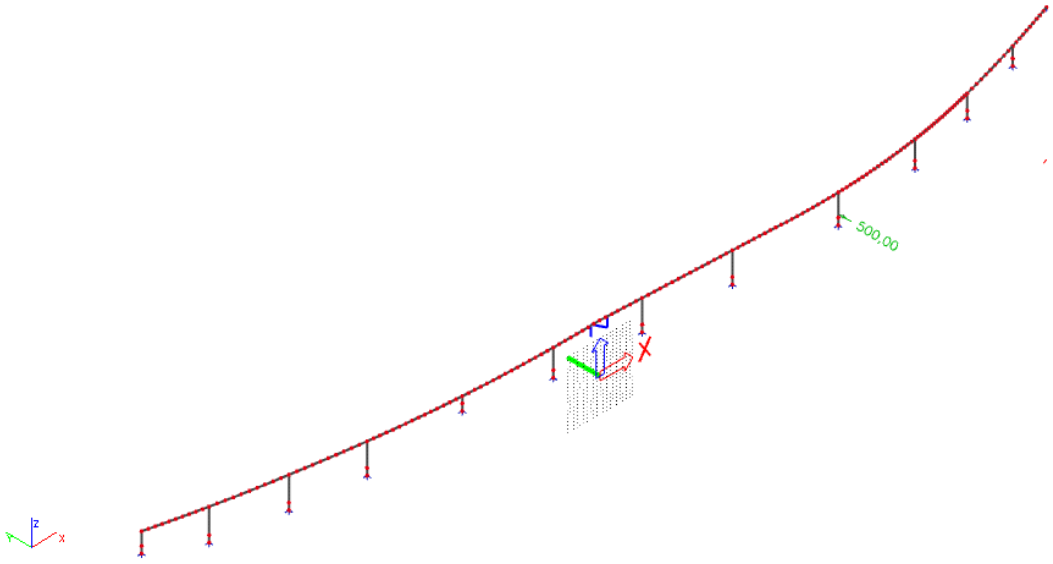
Slika 3.26 Udar vozila na S4 u smjeru x



Slika 3.27 Udar vozila na S4 u smjeru y



Slika 3.28 Udar vozila na S9 u smjeru x



Slika 3.29 Udar vozila na S9 u smjeru y

3.1.8 Potresno djelovanje (A)

Potresne sile proračunate su postupkom spektralne analize prema EC-8. Građevina je smještena u VIII potresnoj zoni prema važećoj seizmičkoj karti. Računsko projektno ubrzanje tla je a = 0.20 g. Građevina je temeljena na stjenovitom tlu, što odgovara klasi tla A. Proračun je izvršen za faktor ponašanja q = 1.5. Ukupno je izračunato prvih 20 vlastitih vektora.

Koeficijenti za proračun ordinata spektra odgovora:

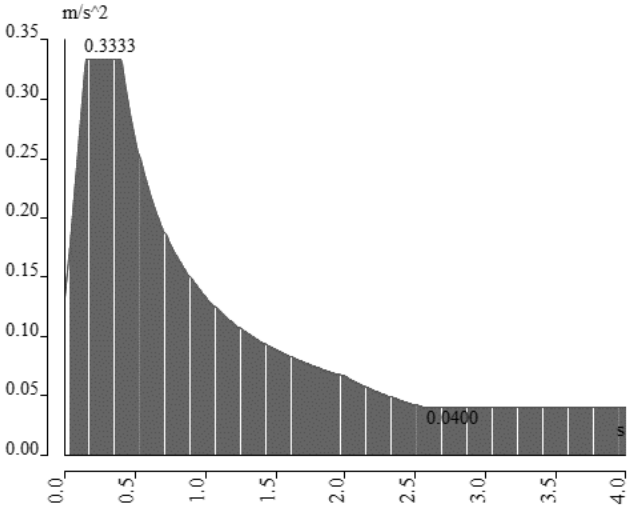
Faktor važnosti ψ = 1.0 (most prosječne važnosti)

Faktor ponašanja q = 1.5

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 = 0.20 g (VIII seizmička zona)

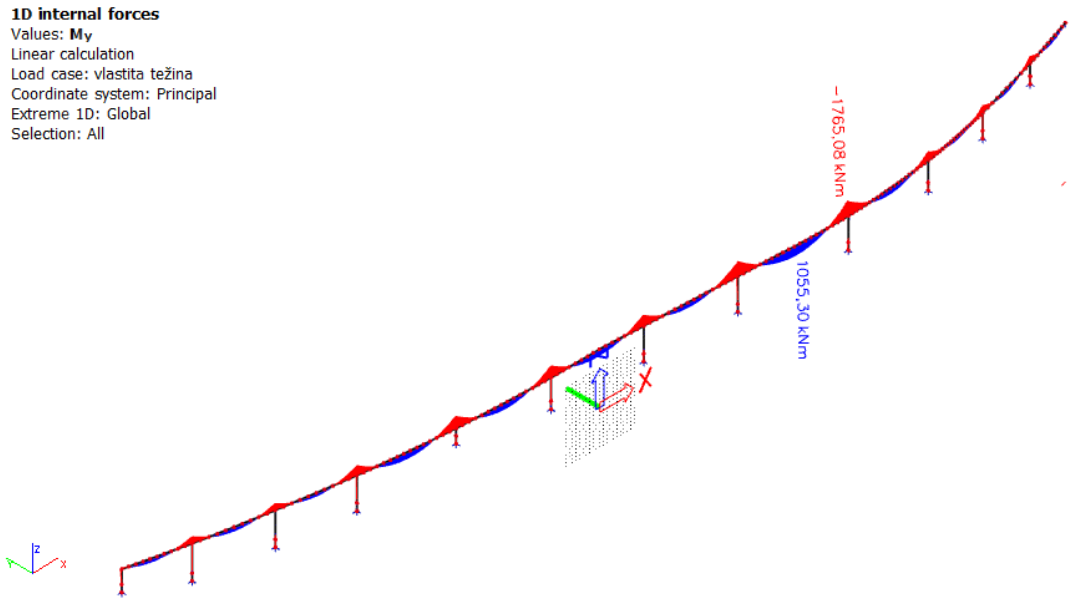
Ukupno je izračunato prvih 30 vlastitih vektora.



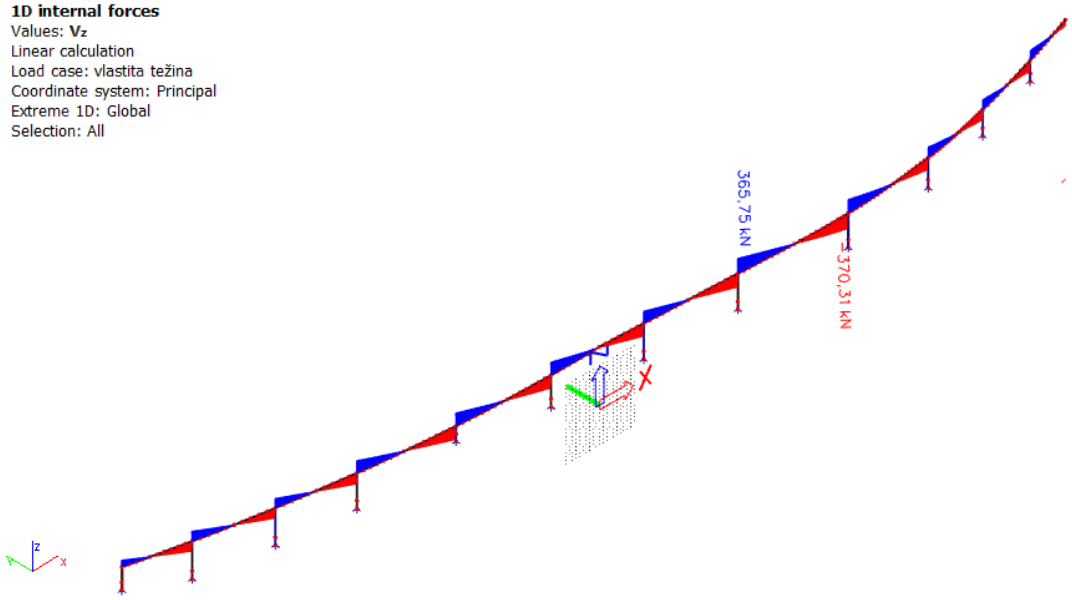
Slika 3.30 Projektni spektar za proračun potresnog djelovanja (za smjer x i y)

3.2 Rezultati proračuna – unutarnje sile

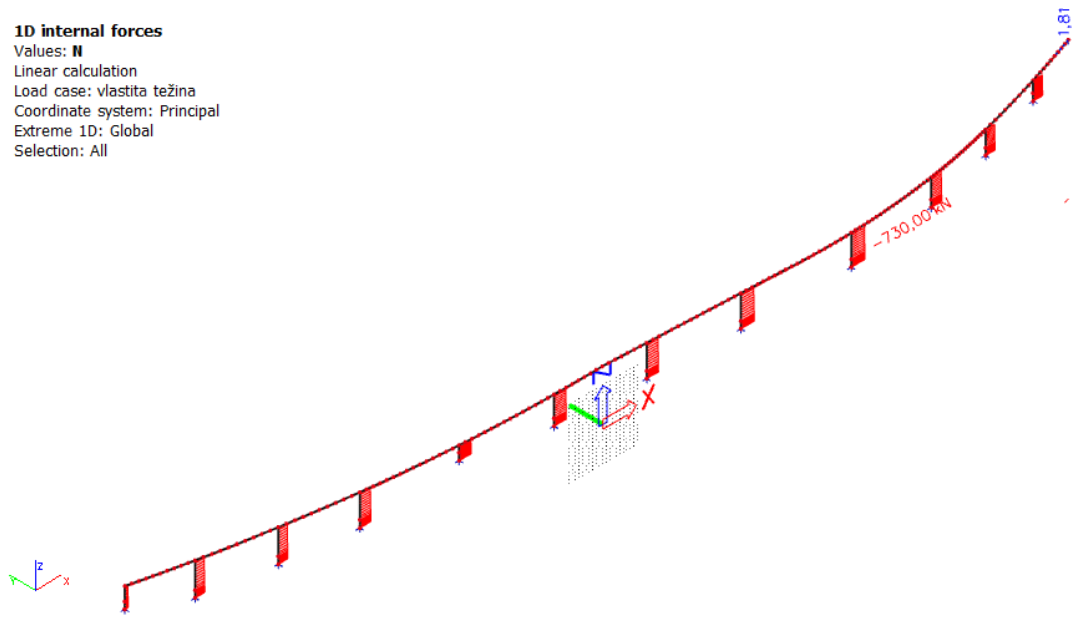
3.2.1 Vlastita težina



Slika 3.31 Moment savijanja My

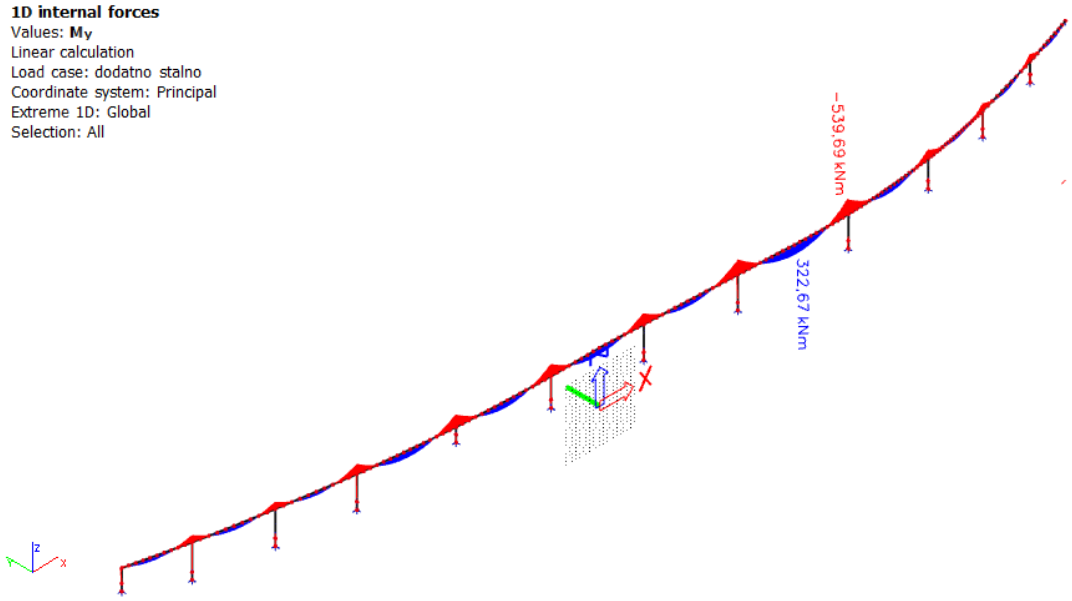


Slika 3.32 Poprečna sila Vz

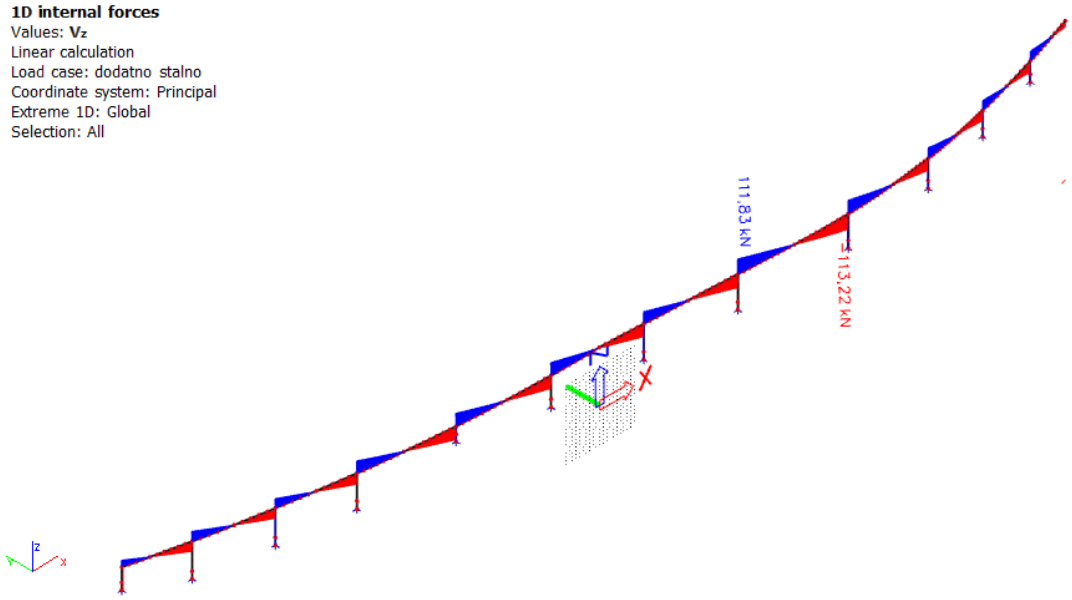


Slika 3.33 Uzdužna sila N

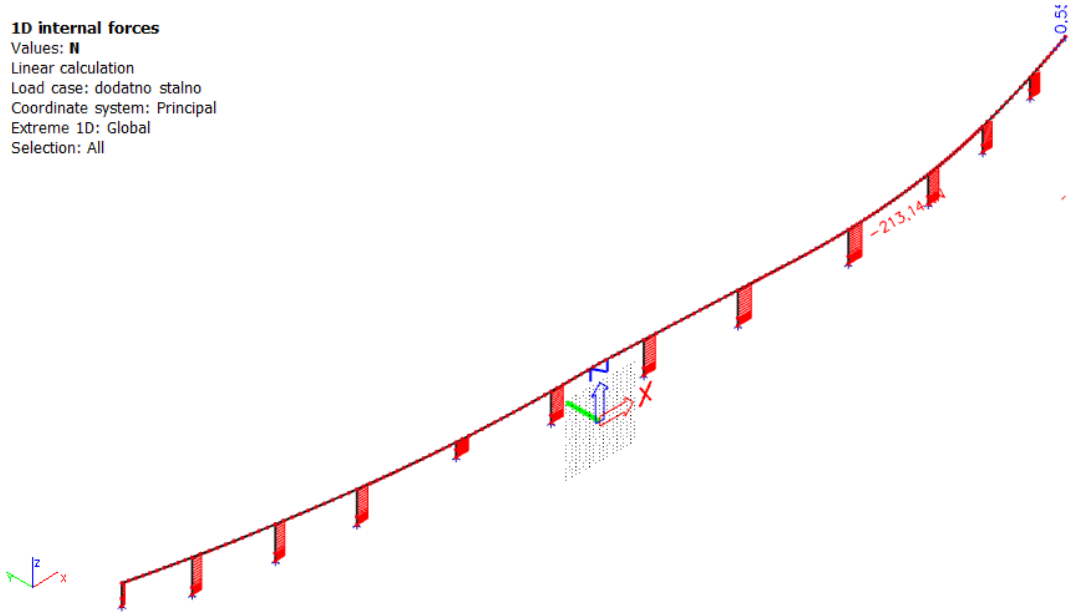
3.2.2 Dodatno stalno opterećenje



Slika 3.34 Moment savijanja My



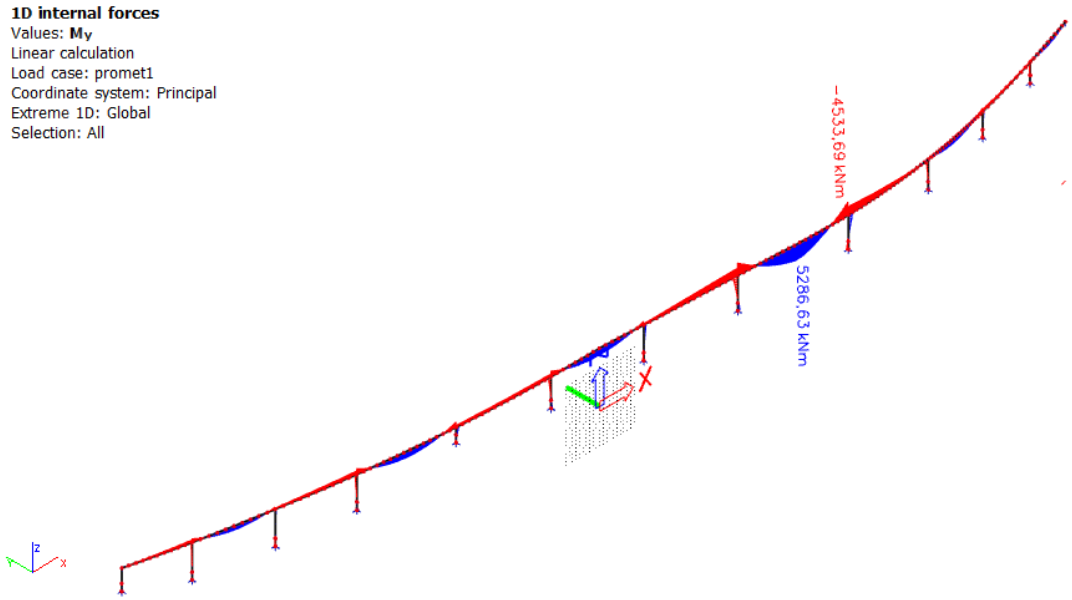
Slika 3.35 Poprečna sila Vz



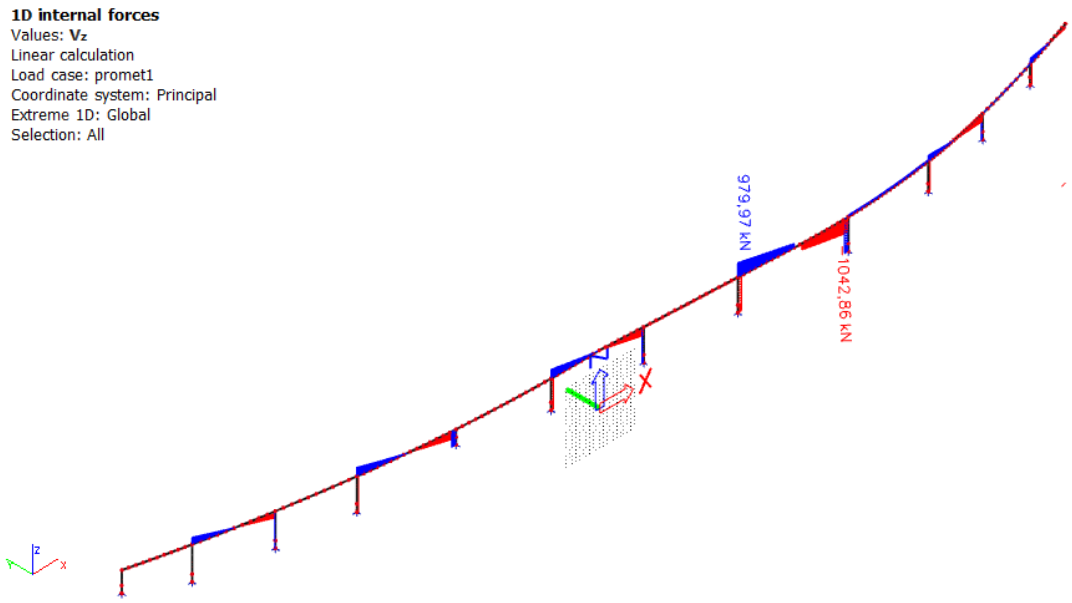
Slika 3.36 Uzdužna sila N

3.2.3 Prometno opterećenje

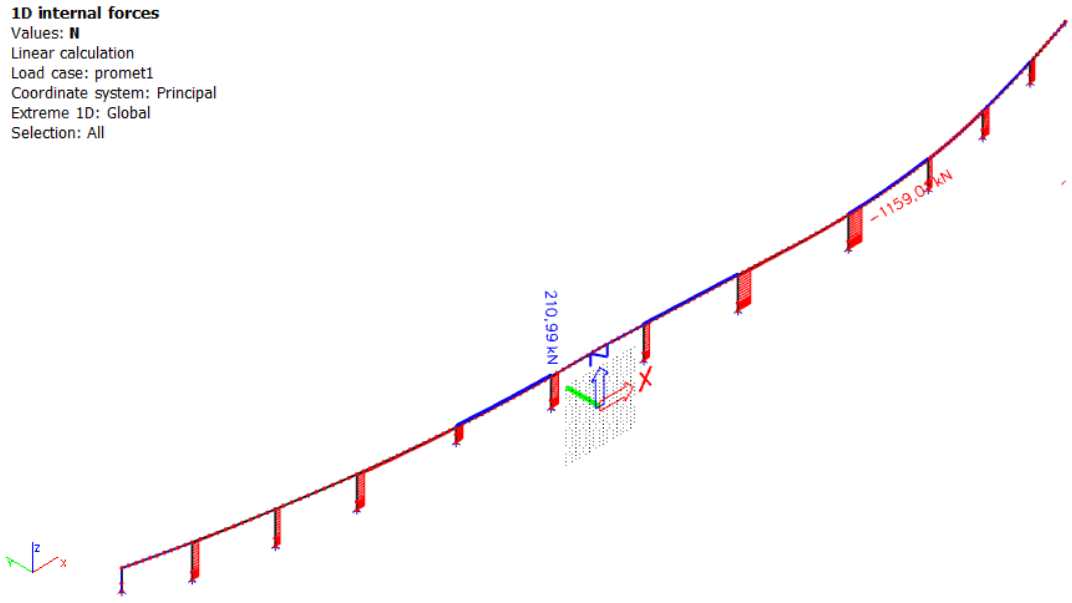
Shema 1



Slika 3.37 Moment savijanja My

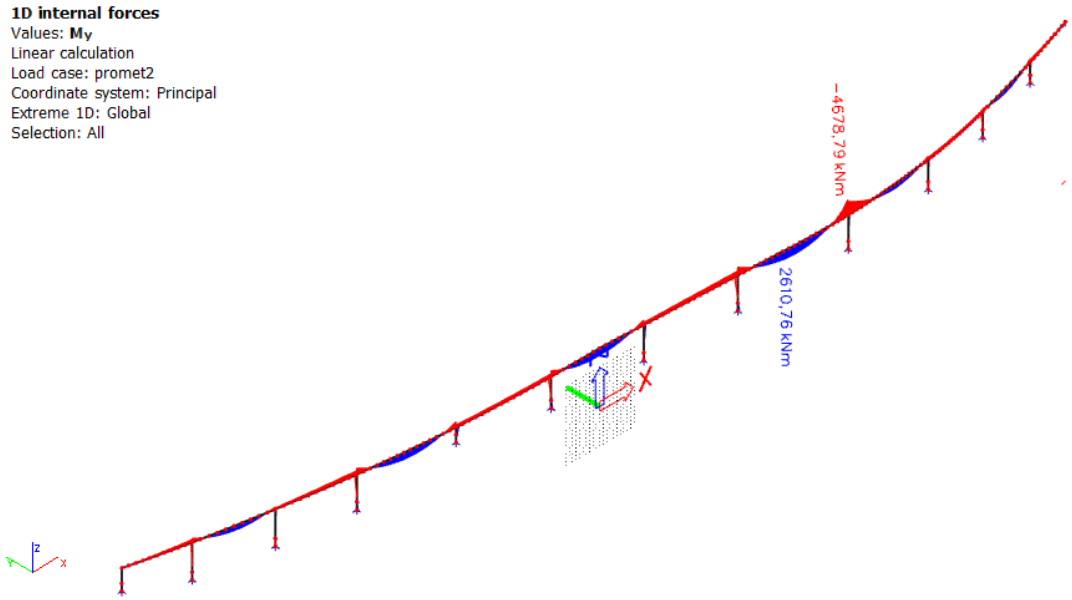


Slika 3.38 Poprečna sila Vz

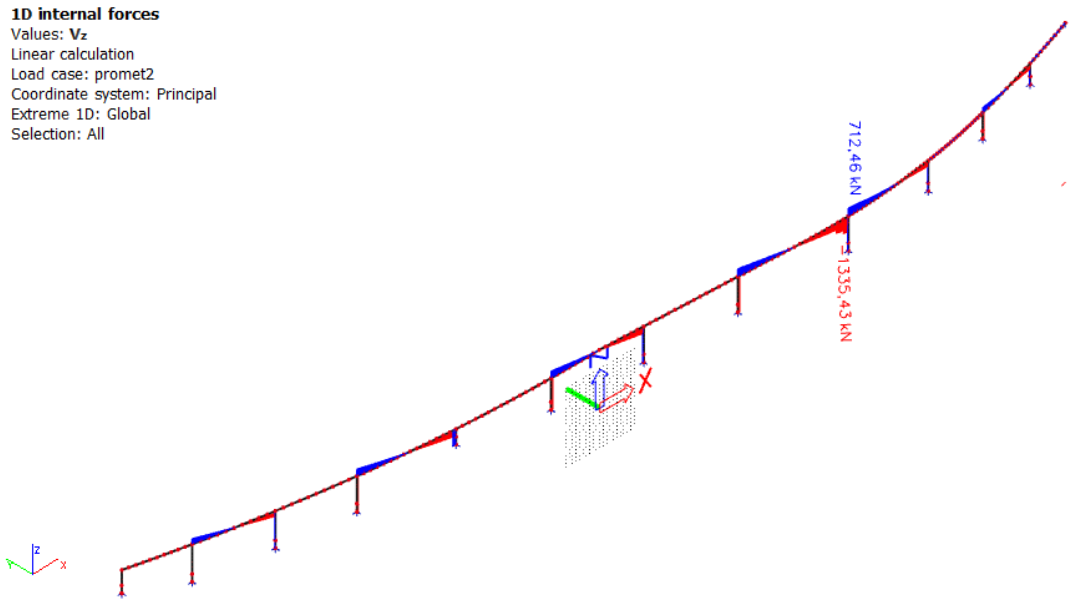


Slika 3.39 Uzdužna sila N

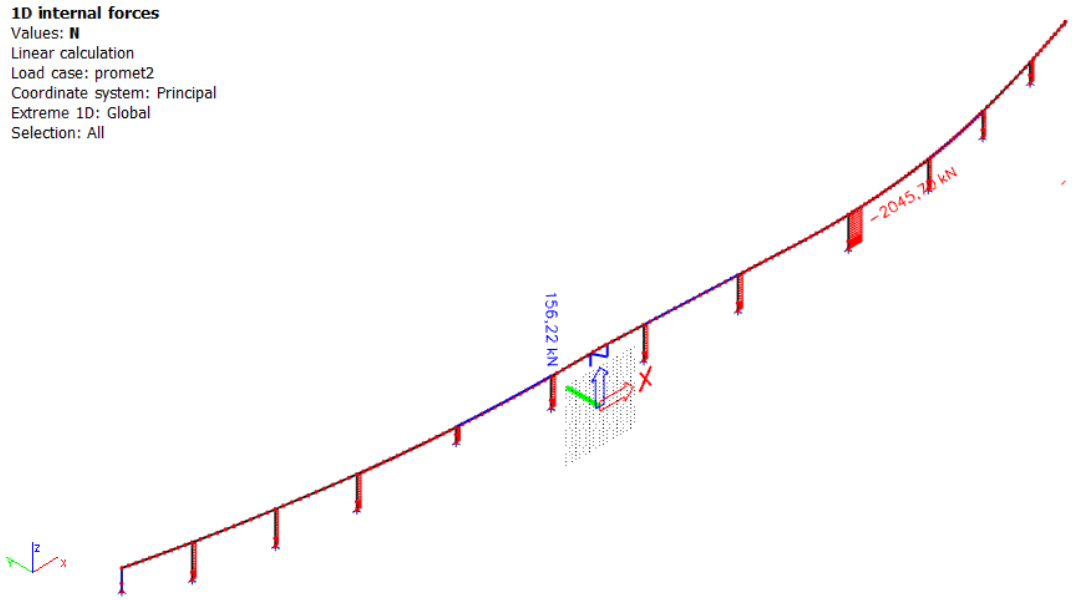
Shema 2



Slika 3.40 Moment savijanja My

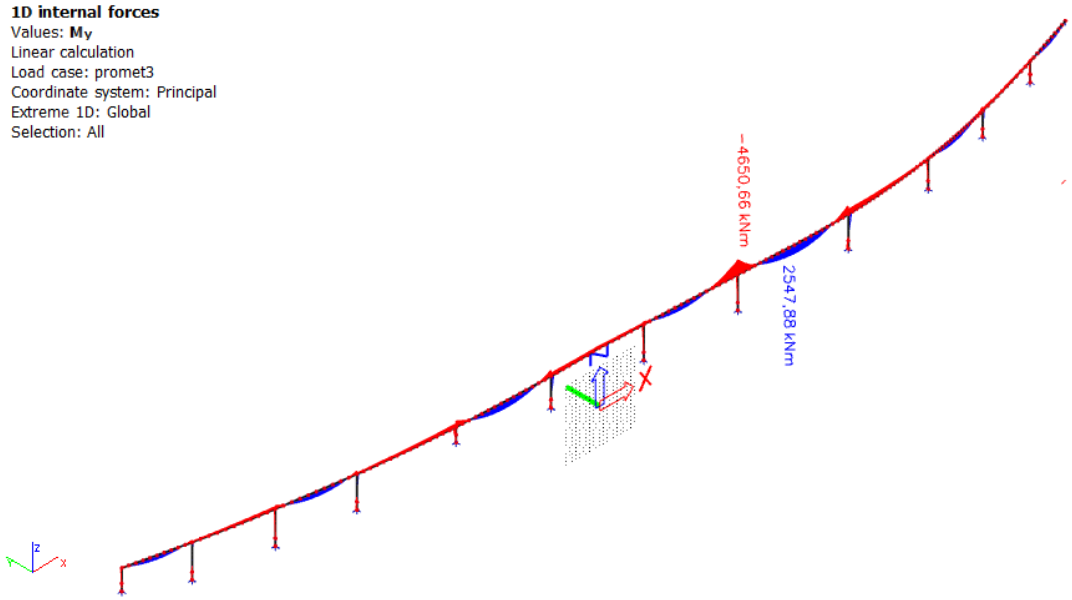


Slika 3.41 Poprečna sila Vz

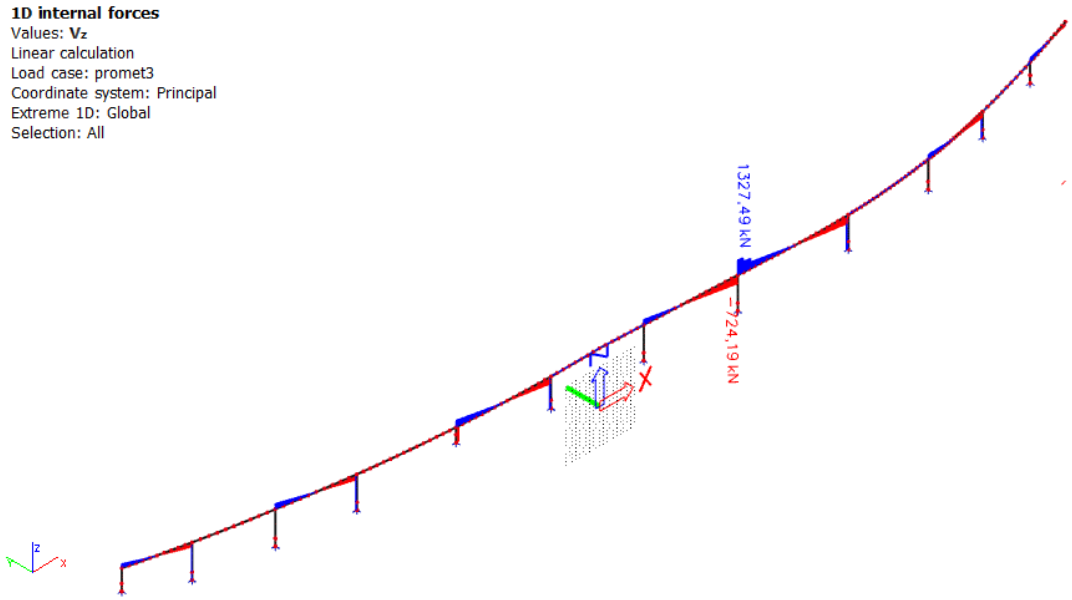


Slika 3.42 Uzdužna sila N

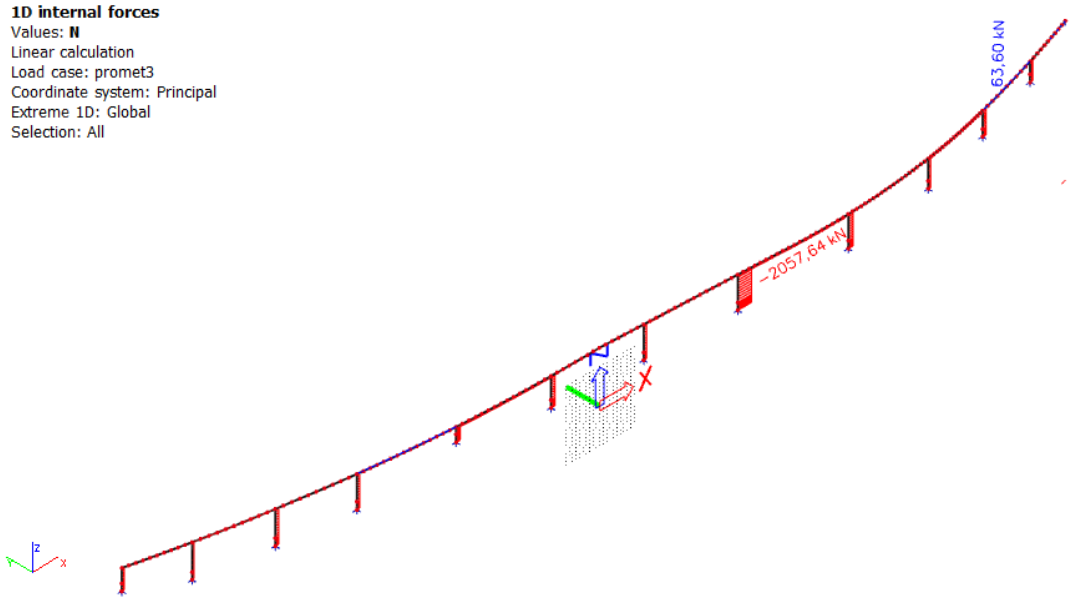
Shema 3



Slika 3.43 Moment savijanja My

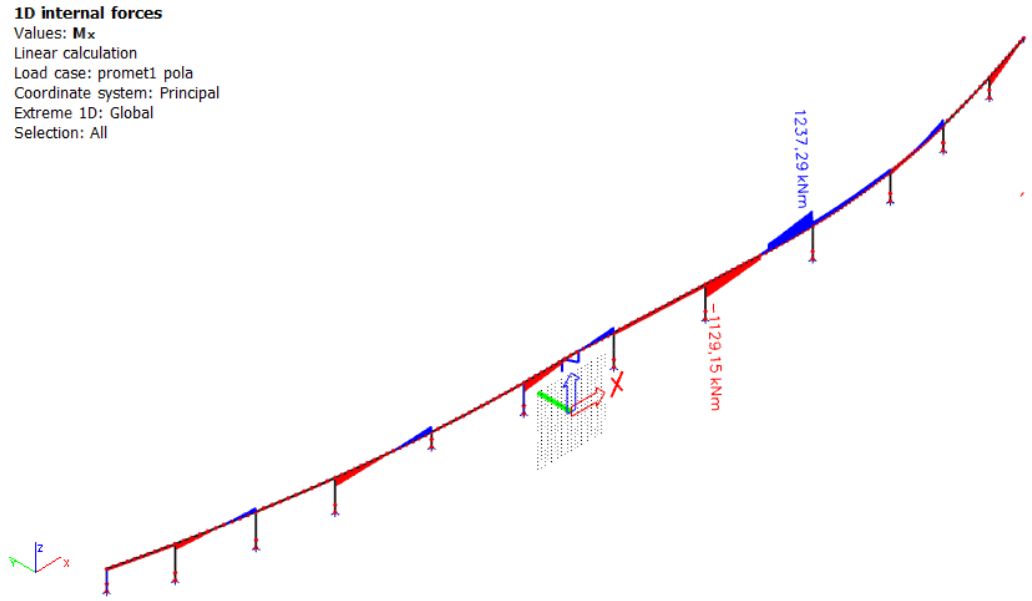


Slika 3.44 Poprečna sila Vz



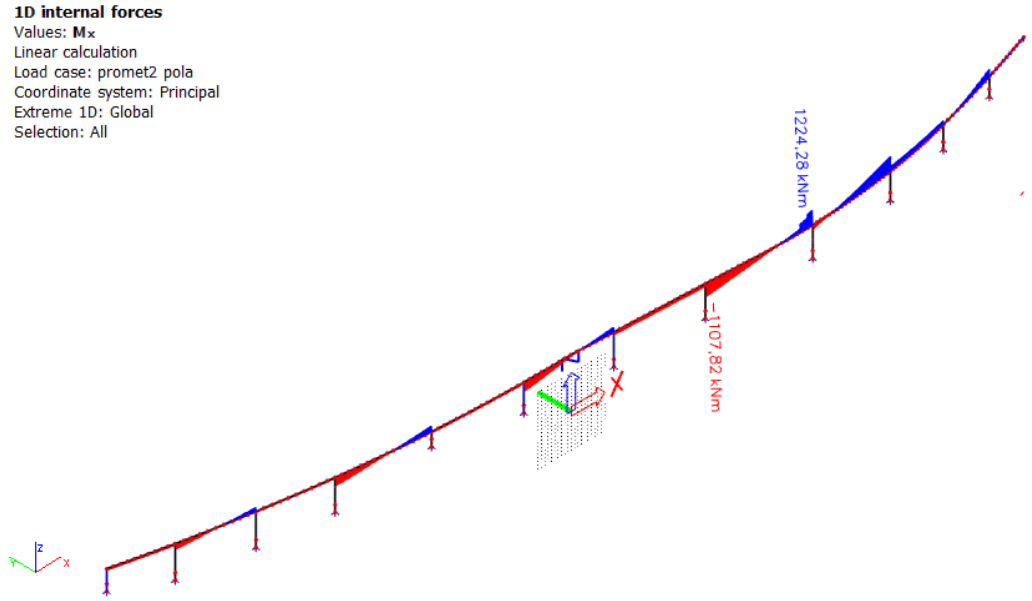
Slika 3.45 Uzdužna sila N

Shema 4



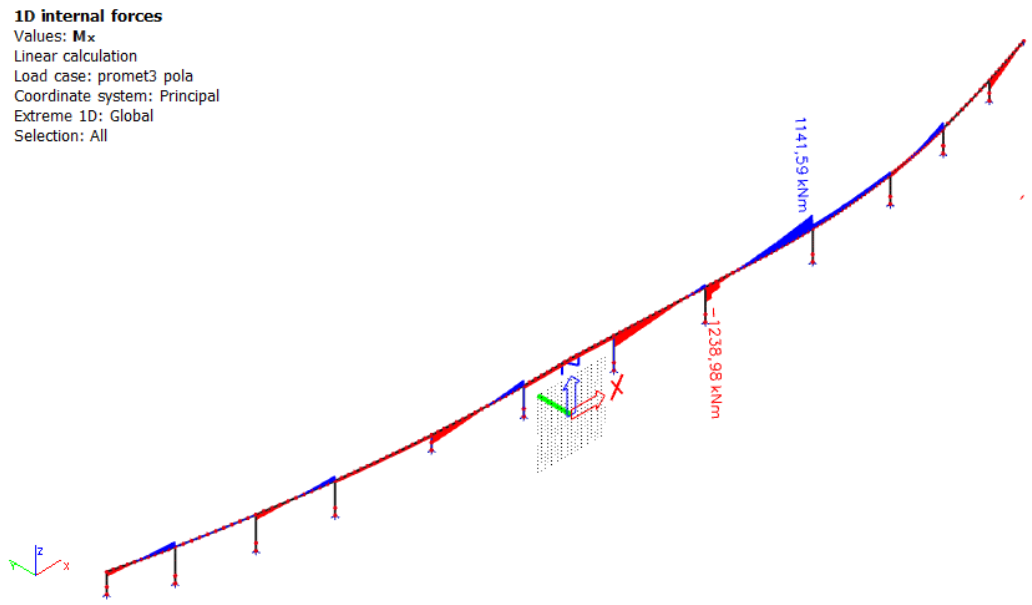
Slika 3.46 Moment torzije Mx

Shema 5



Slika 3.47 Moment torzije Mx

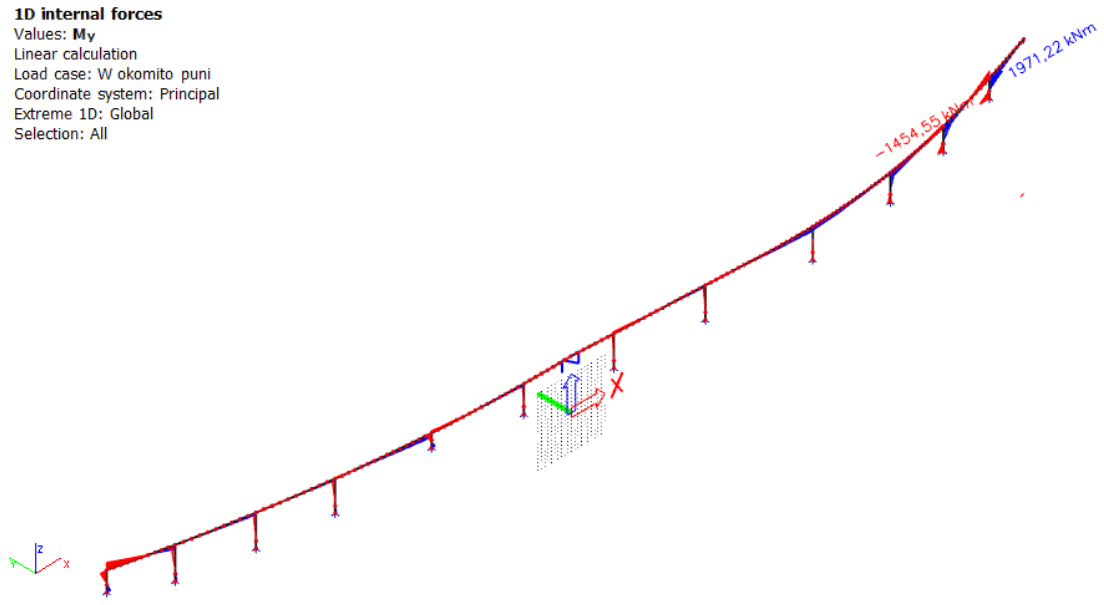
Shema 6



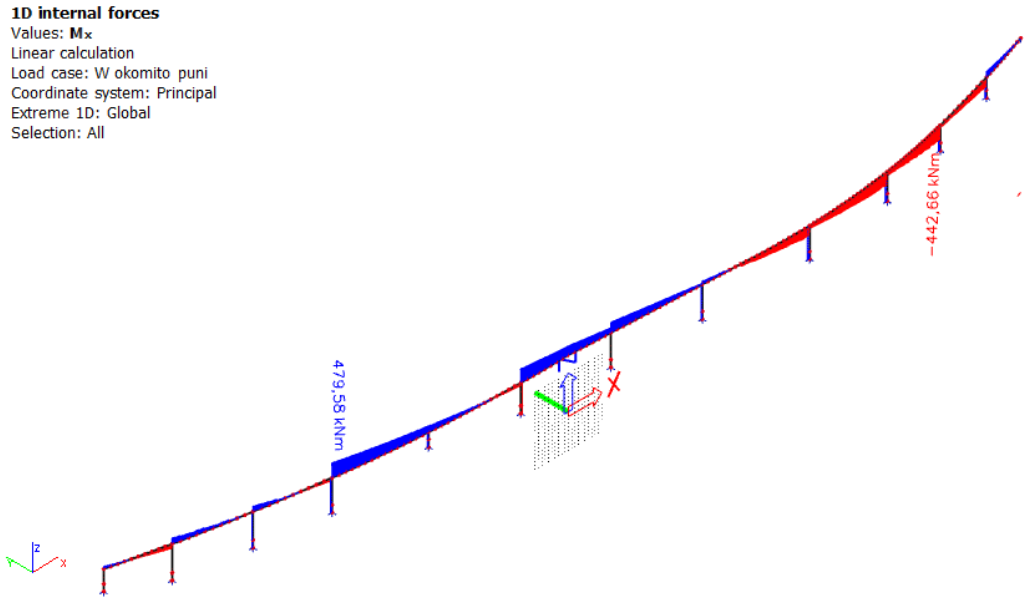
Slika 3.48 Moment torzije Mx

3.2.4 Opterećenje vjetra

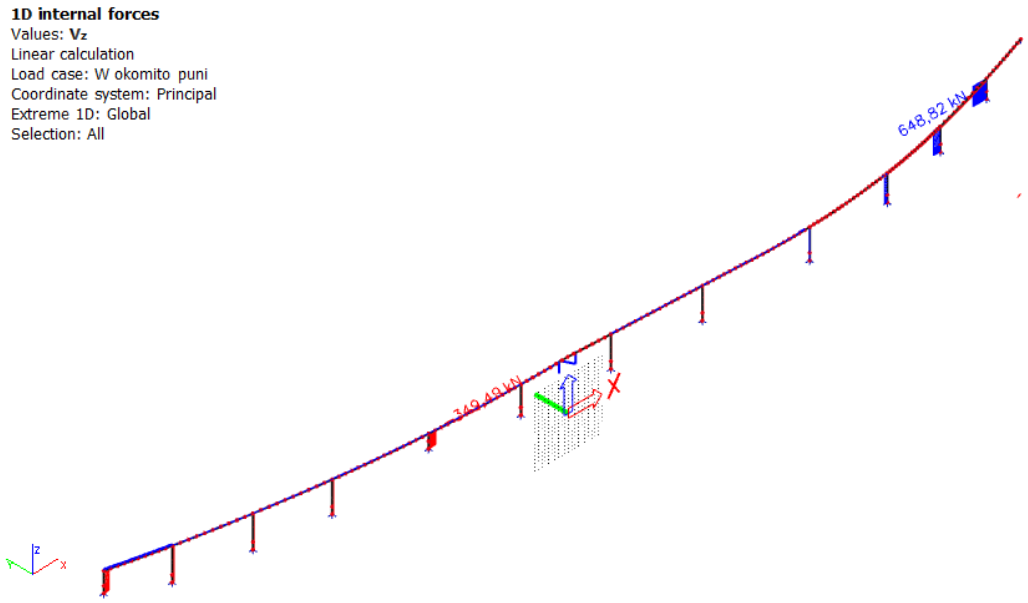
Vjetar okomito na puni most



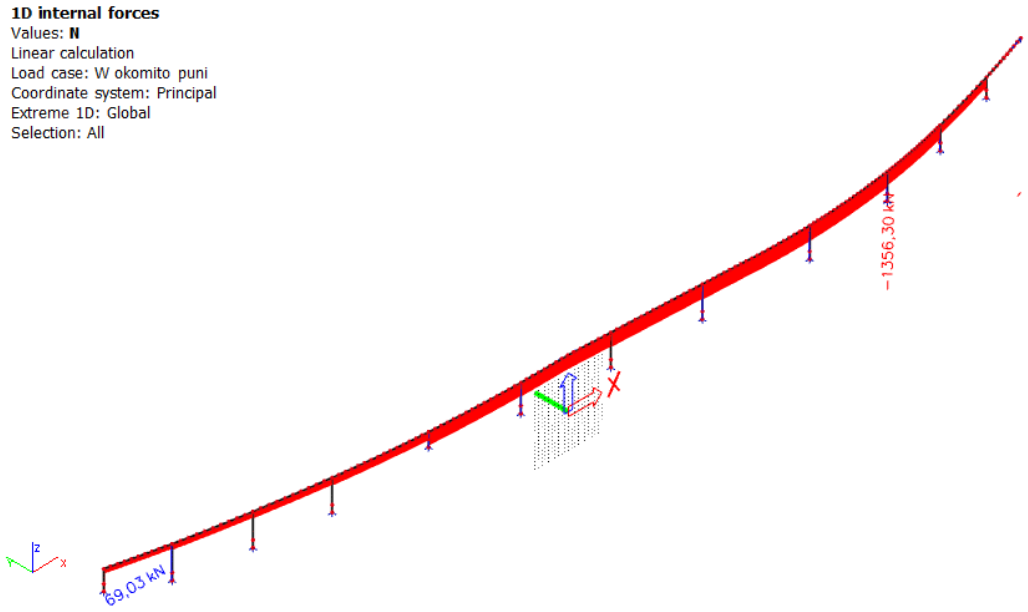
Slika 3.49 Moment savijanja My



Slika 3.50 Moment torzije Mx

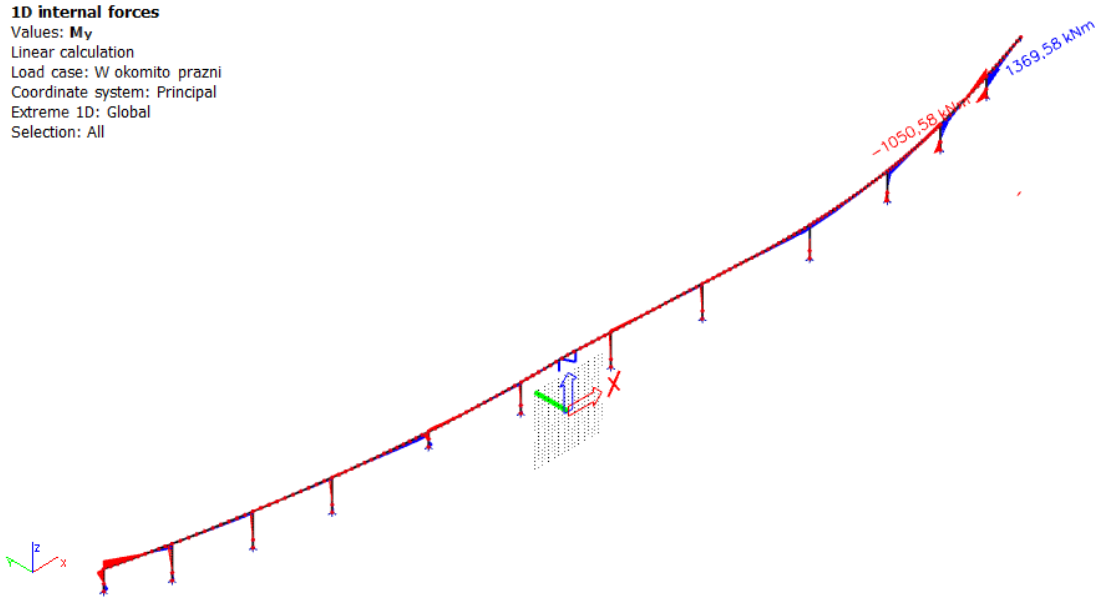


Slika 3.51 Poprečna sila Vz

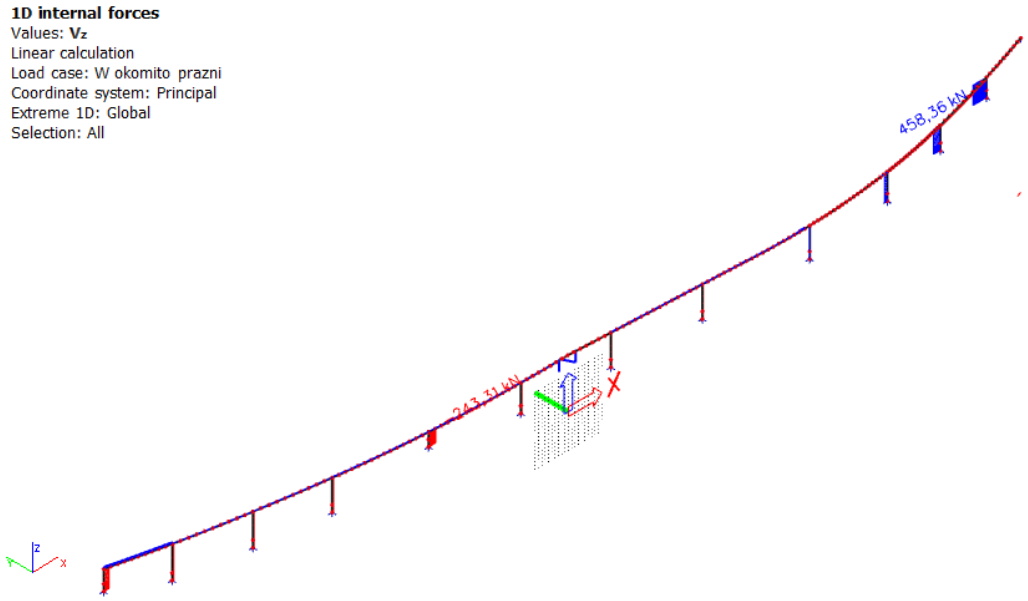


Slika 3.52 Uzdužna sila N

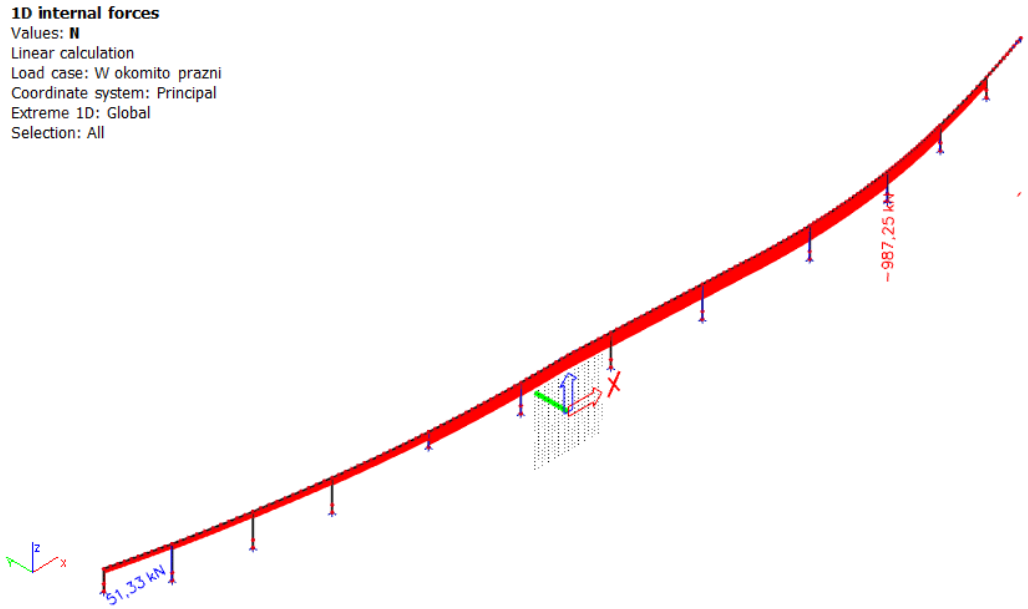
Vjetar okomito na prazni most



Slika 3.53 Moment savijanja My

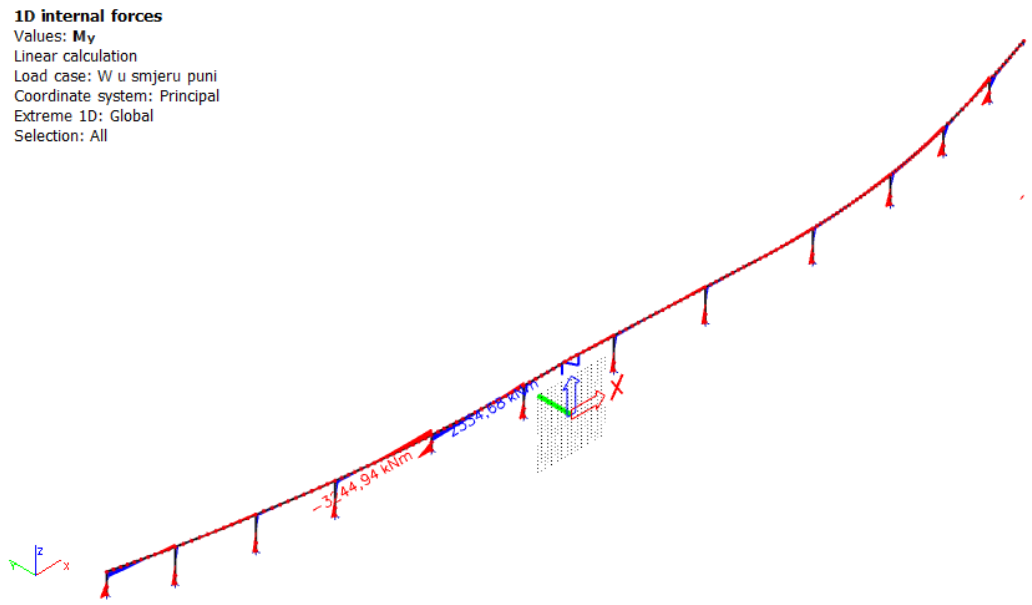


Slika 3.54 Poprečna sila Vz

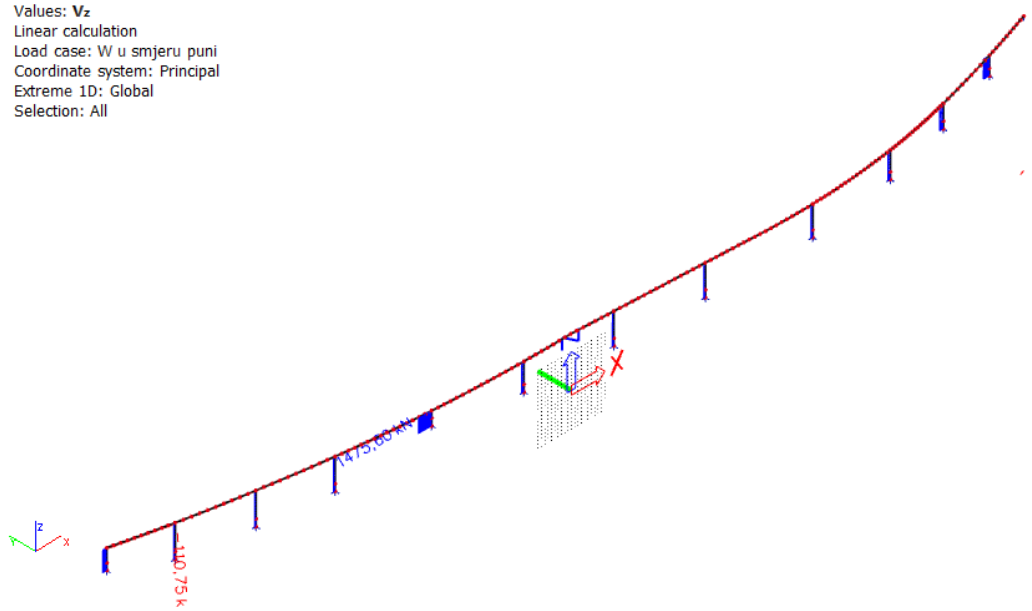


Slika 3.55 Uzdužna sila N

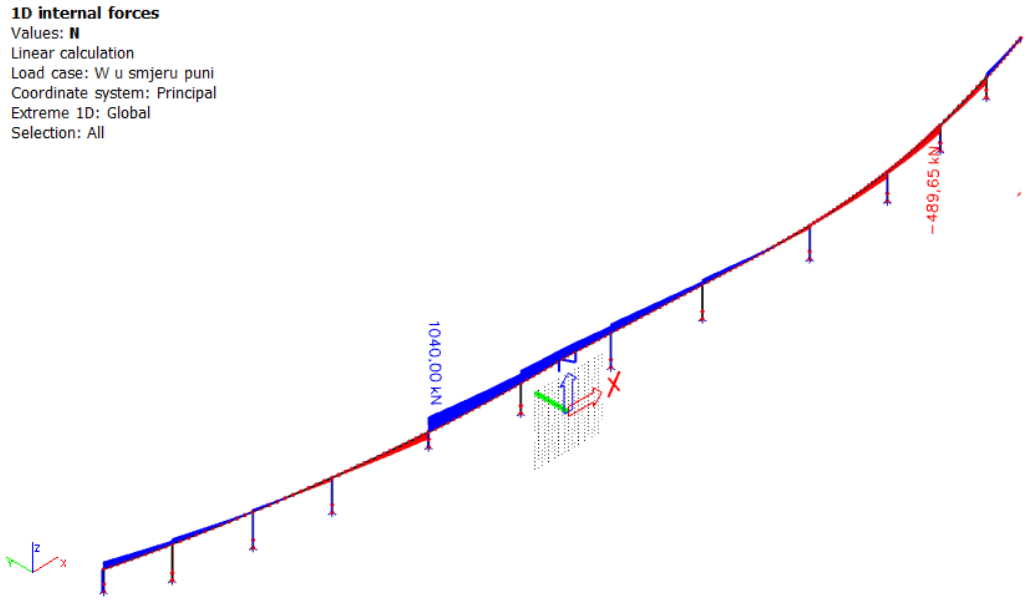
Vjetar u smjeru na puni most



Slika 3.56 Moment savijanja My

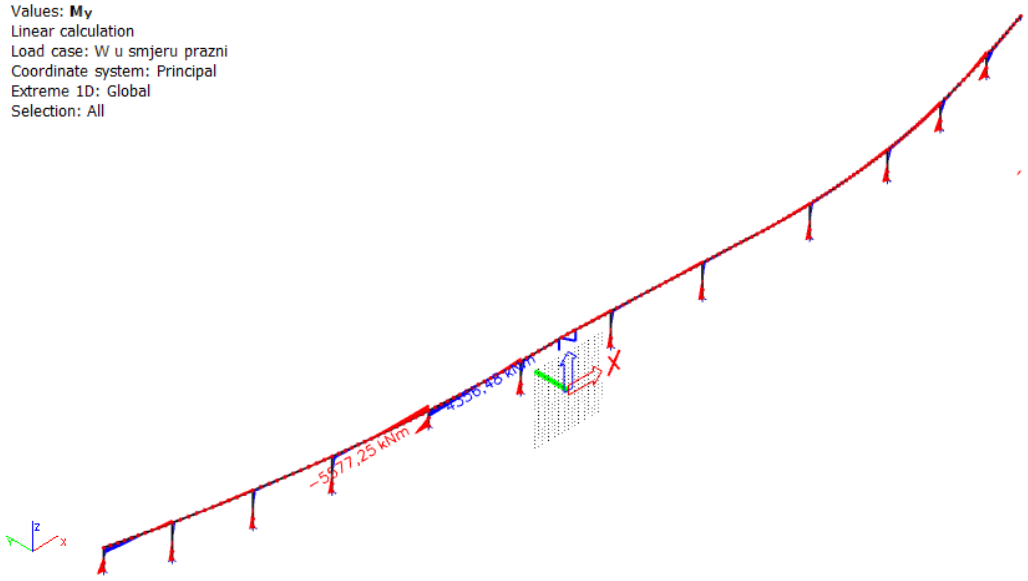


Slika 3.57 Poprečna sila Vz

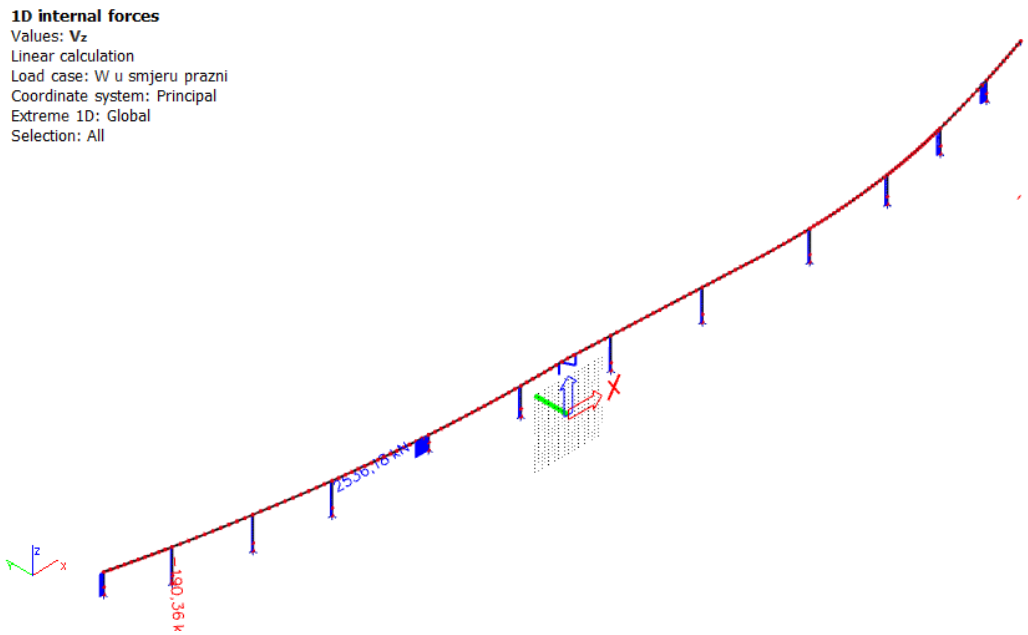


Slika 3.58 Uzdužna sila N

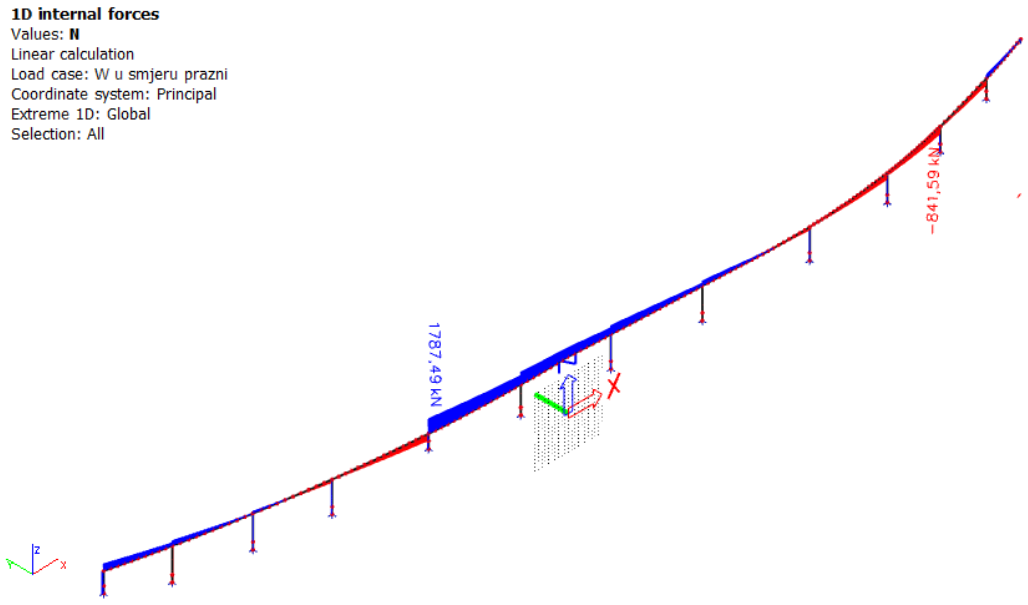
Vjetar u smjeru na prazni most



Slika 3.59 Moment savijanja My



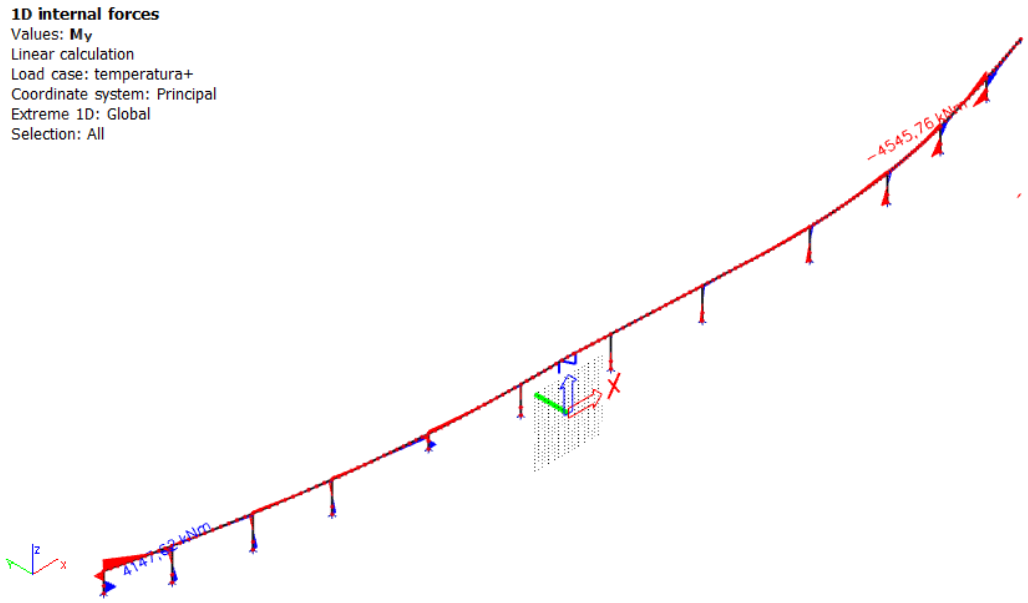
Slika 3.60 Poprečna sila Vz



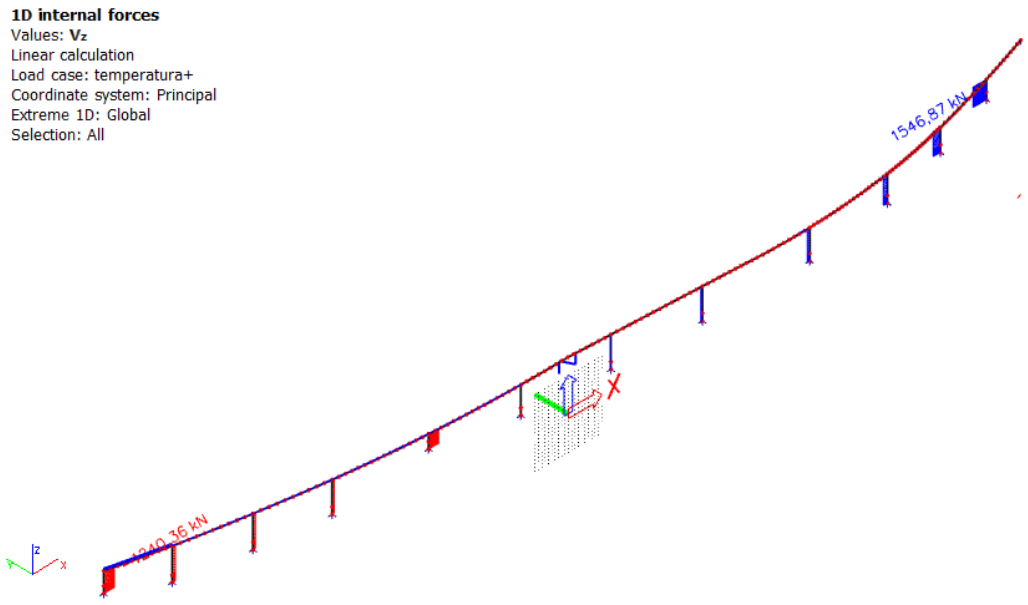
Slika 3.61 Uzdužna sila N

3.2.5 Temperaturno opterećenje

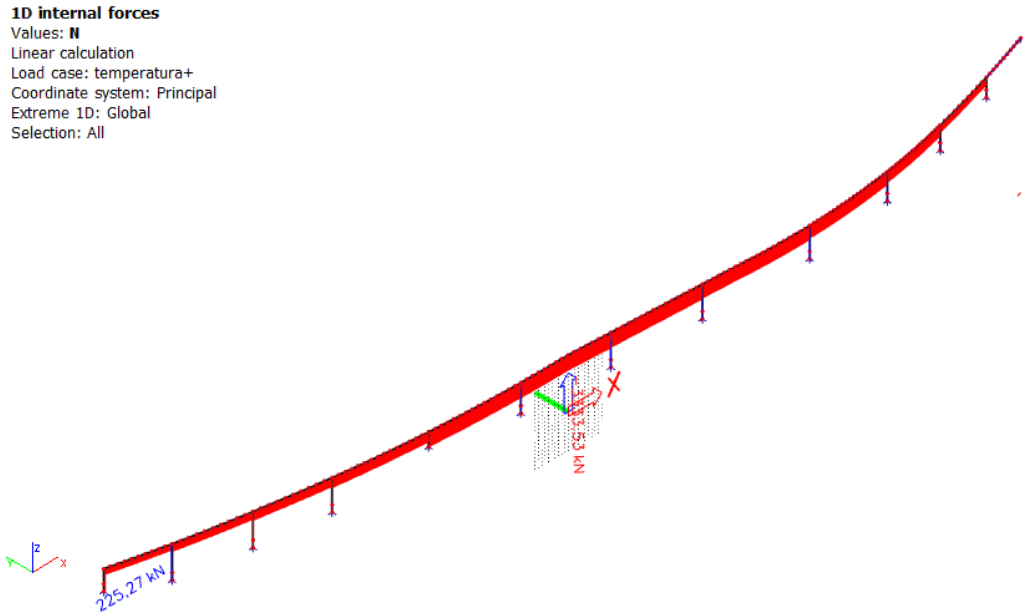
Pozitivna temperatura



Slika 3.62 Moment savijanja My

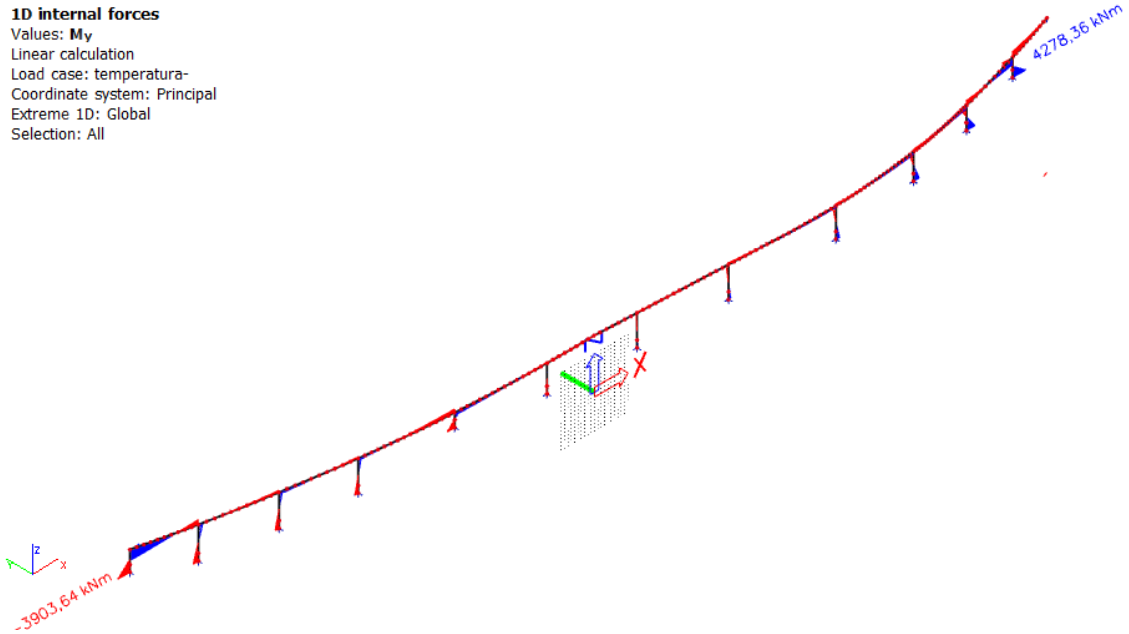


Slika 3.63 Poprečna sila Vz

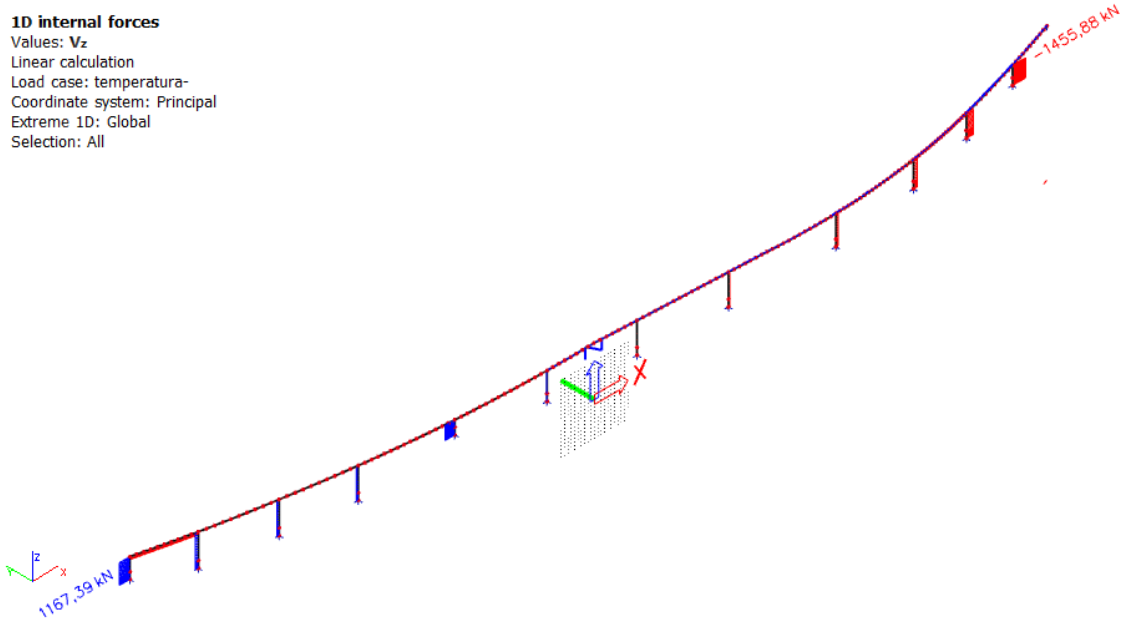


Slika 3.64 Uzdužna sila N

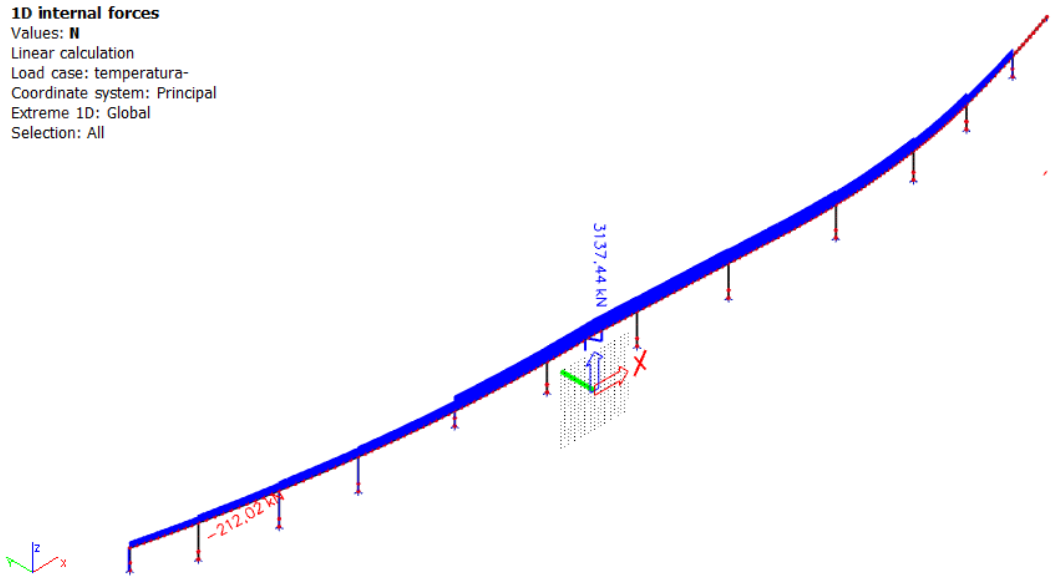
Negativna temperatura



Slika 3.65 Moment savijanja My

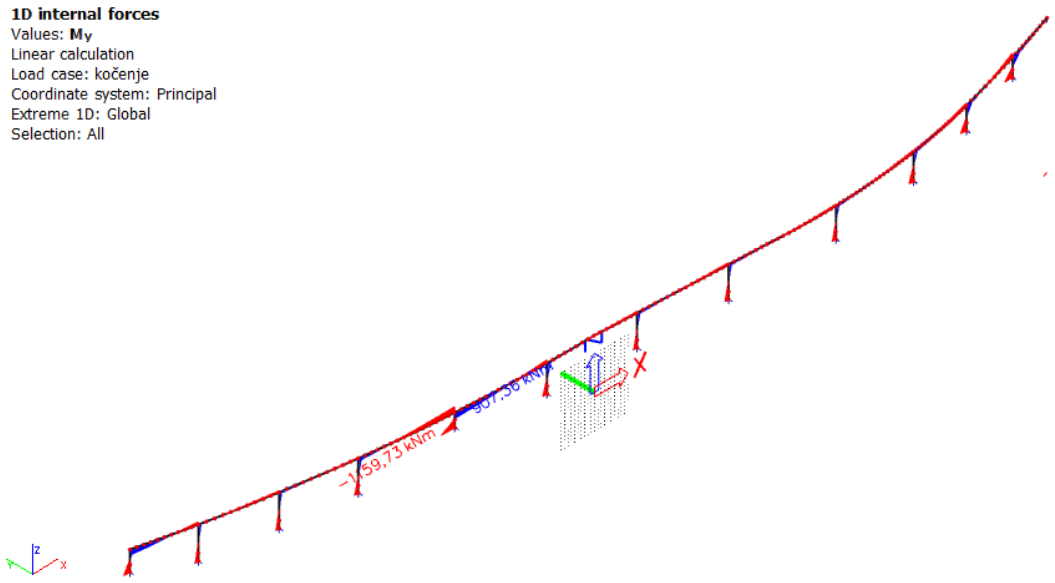


Slika 3.66 Poprečna sila Vz



Slika 3.67 Uzdužna sila N

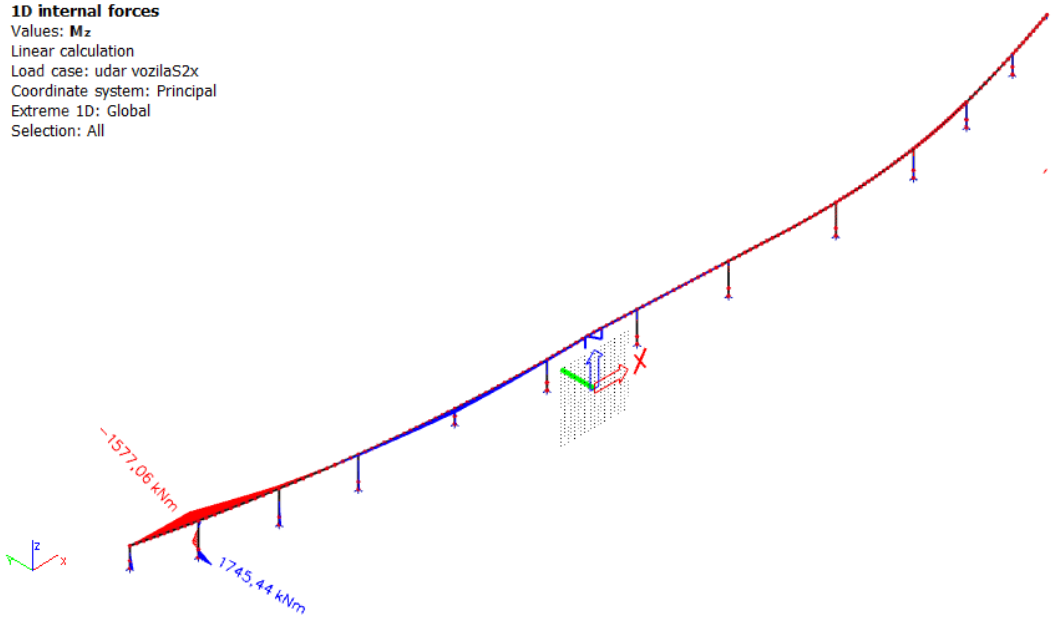
3.2.6 Pokretanje i zaustavljanje vozila



Slika 3.68 Moment savijanja My

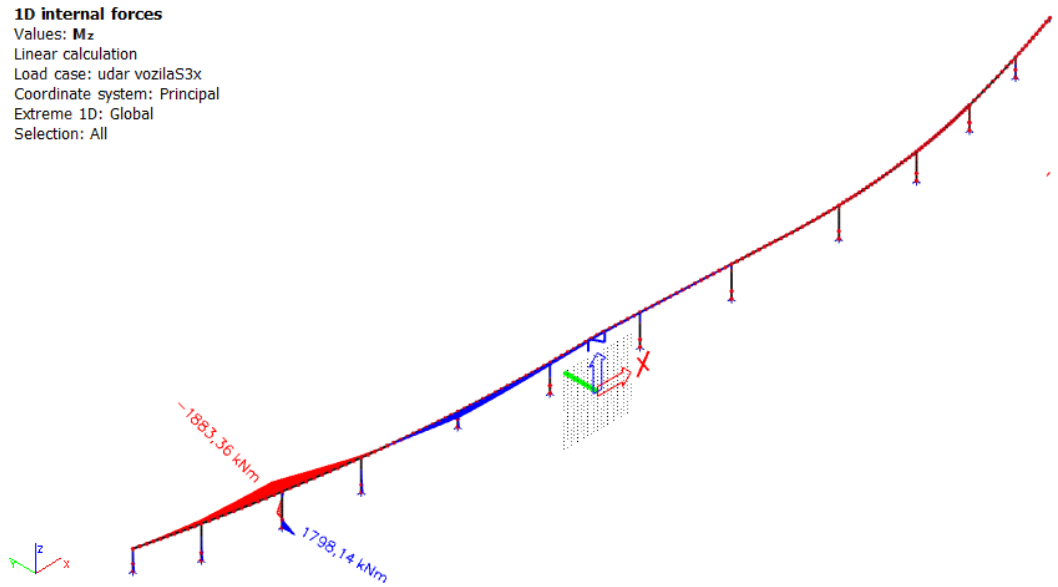
3.2.7 Udar vozila

Udar u smjeru vožnje na S_2



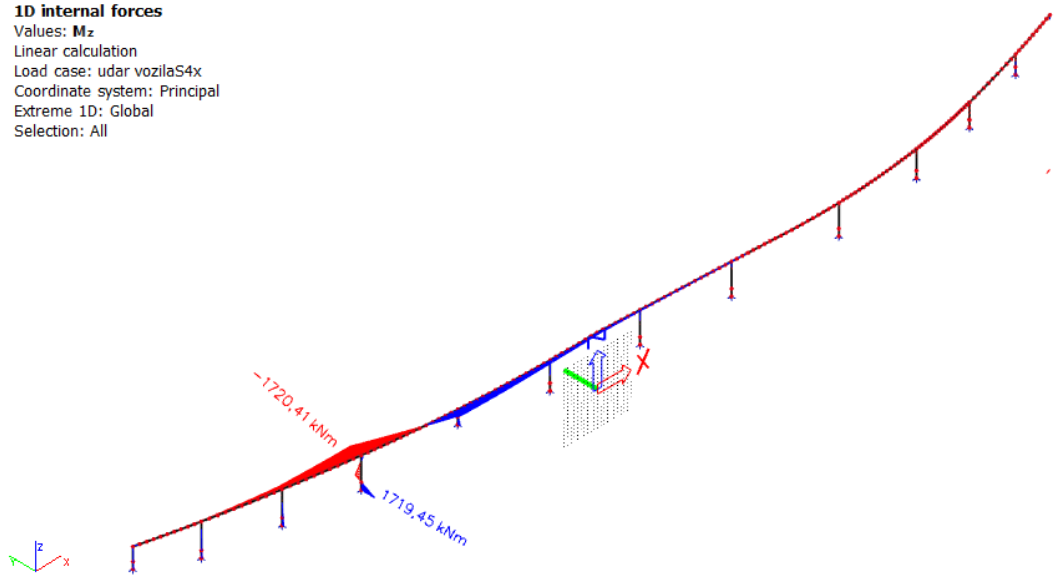
Slika 3.69 Moment savijanja Mz

Udar u smjeru vožnje na S_3



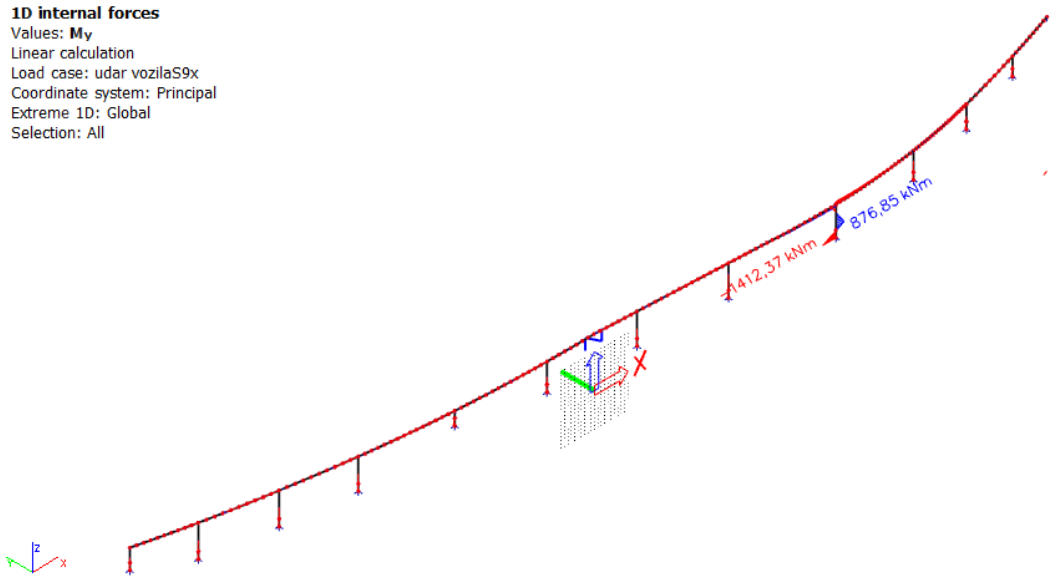
Slika 3.70 Moment savijanja Mz

Udar u smjeru vožnje na S_4



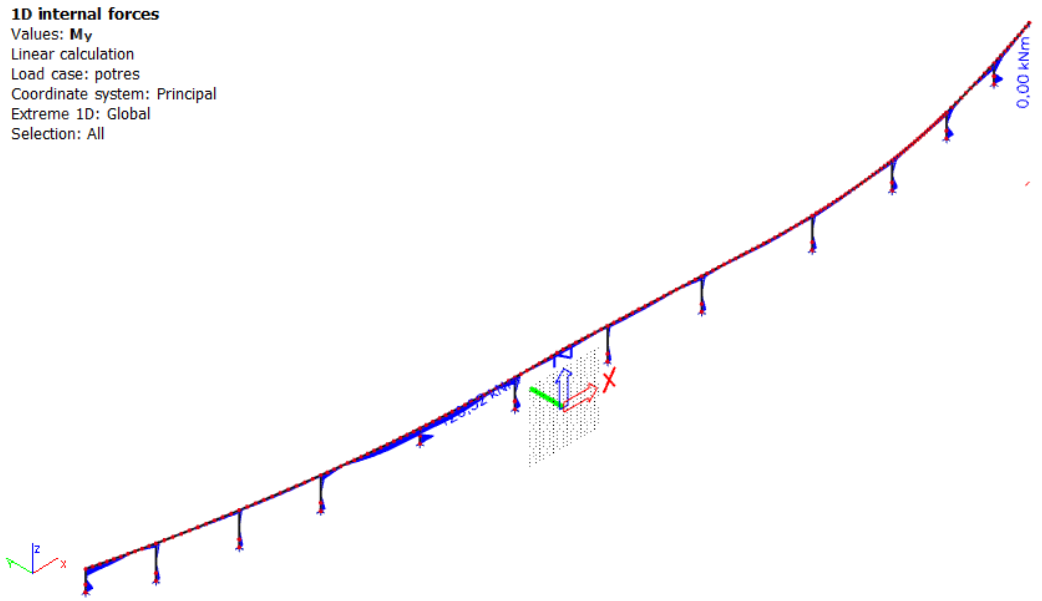
Slika 3.71 Moment savijanja Mz

Udar u smjeru vožnje na S_9



Slika 3.72 Moment savijanja My

3.2.8 Potresno opterećenje



Slika 3.73 Moment savijanja My

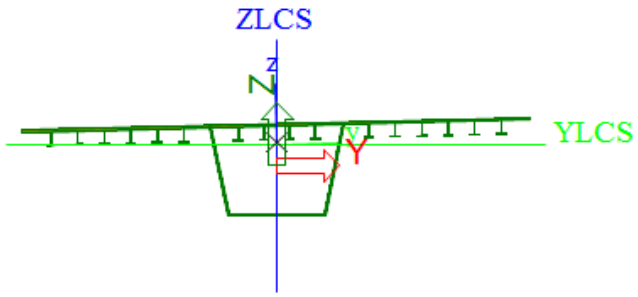
3.3. Dimenzioniranje

3.3.1 Rasponska konstrukcija

Karakteristike odabranog poprečnog presjeka

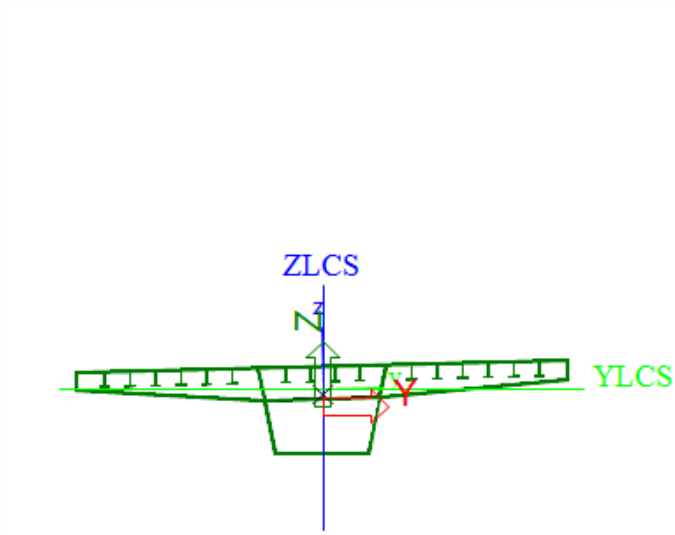
Materijal: čelik S355

$$f_y = 355\ \frac{N}{mm^2} = 35.5 \frac{kN}{cm^2}$$



Property	
A [m^2]	2,0238e-01
Ay [m^2]	1,5624e-01
Az [m^2]	4,4363e-02
AL [m^2/m]	1,7610e+01
AD [m^2/m]	2,3681e+01
cYUCS [mm]	3
cZUCS [mm]	233
IYLCS [m^4]	2,0943e-02
IZLCS [m^4]	3,3620e-01
IYZLCS [m^4]	8,1264e-03
α [deg]	1,48
Iy [m^4]	2,0734e-02
Iz [m^4]	3,3641e-01
iy [mm]	320
iz [mm]	1289
Wely [m^3]	2,7521e-02
Welz [m^3]	1,2926e-01
Wply [m^3]	4,0636e-02
Wplz [m^3]	2,1443e-01

Slika 3.74 Poprečni presjek raspona u polju



Property	
A [m^2]	3,1428e-01
Ay [m^2]	2,6158e-01
Az [m^2]	7,2602e-02
AL [m^2/m]	1,1847e+01
AD [m^2/m]	3,4742e+01
cYUCS [mm]	2
cZUCS [mm]	205
IYLCS [m^4]	2,2125e-02
IZLCS [m^4]	6,2522e-01
IYZLCS [m^4]	1,5350e-02
α [deg]	1,46
Iy [m^4]	2,1735e-02
Iz [m^4]	6,2562e-01
iy [mm]	263
iz [mm]	1411
Wely [m^3]	2,9973e-02
Welz [m^3]	2,3927e-01
Wply [m^3]	6,1283e-02
Wplz [m^3]	3,7065e-01

Slika 3.75 Poprečni presjek raspona na ležaju

Savijanje

$W_y = 0.040636\ m^3 = 40636\ cm^3$(u polju) - moment otpora presjeka

$W_y = 0.061283\ m^3 = 61283\ cm^3$(na ležaju) - moment otpora presjeka

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{40636 \cdot 35.5}{1.1} = 1311434.5\ kNcm = 13114.3\ kNm$$

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{61283 \cdot 35.5}{1.1} = 1977769.5\ kNcm = 19777.6\ kNm$$

Mjerodavna kombinacija opterećenja

- Polje

$$M_{Sd} = 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot (Q_1) + 1.5 \cdot \left(W_{okomito\ na\ puni\ most}\right)$$

$M_{Sd} = 1.35 \cdot (1055.3 + 322.67) + 1.5 \cdot (5286.63) + 1.5 \cdot (146.23) = 10009.6\ kN$

$M_{Sd} = 10009.6\ kNm < M_{Rd} = 13114.3\ kNm$

- Ležaj

$M_{Sd} = 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot (Q_3) + 1.5 \cdot (T^+)$

$M_{Sd} = 1.35 \cdot (1765.1 + 539.7) + 1.5 \cdot (4678.8) + 1.5 \cdot (560.45) = 10970.3\ kN$

$M_{Sd} = 10970.3\ kNm < M_{Rd} = 19777.6\ kNm$

Uzdužna sila

$A = 0.20238\ m^2 = 2023.8\ cm^2$ - površina poprečnog presjeka (bez poprečnog nosača)

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{2023.8 \cdot 35.5}{1.1} = 65313.5\ kN$$

Mjerodavna kombinacija opterećenja

- Tlačna sila

$N_{Sd} = 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot \left(W_{okomito\ na\ puni\ most}\right) + 1.5 \cdot (T^+) + 1.5 \cdot (K)$

$N_{Sd} = 1.35 \cdot (25 + 7.6) + 1.5 \cdot (1356.3) + 1.5 \cdot (2811.5) + 1.5 \cdot (148.8) = 6518.9\ kN$

$N_{Sd} = 6518.9\ kN < N_{Rd} = 65313.5\ kN$

- Vlačna sila

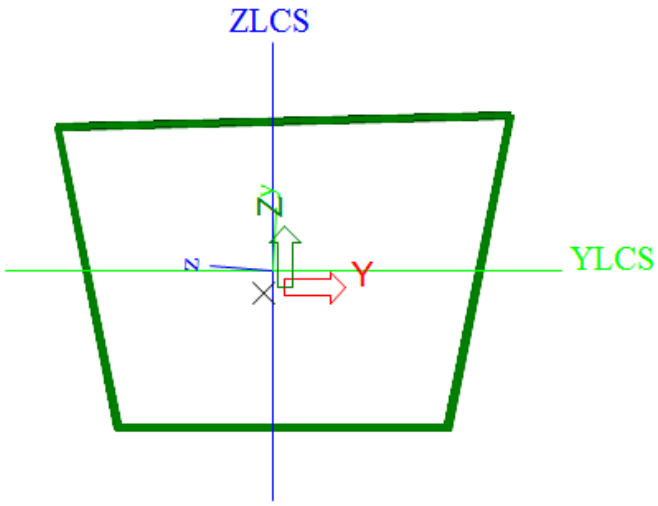
$$N_{Sd} = -1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot (Q_5) + 1.5 \cdot (T^-) + 1.5 \cdot \left(W_{u\ smjeru\ na\ prazni\ most}\right) + 1.5 \cdot (K)$$

$$N_{Sd} = -1.0 \cdot (49.7 + 15.2) + 1.5 \cdot (509.4) + 1.5 \cdot (3136.6) + 1.5 \cdot (1472.6) + 1.5 \cdot (309.7) = 8077.6\ kN$$

$N_{Sd} = 8077.6\ kN < N_{Rd} = 65313.5\ kN$

Torzija

U poprečnom presjeku djelovanje torzije preuzima sandučasti dio presjeka, a nosivost ostatka presjeka je zanemariva.



Property	
A [m^2]	1,1625e-01
Ay [m^2]	7,2499e-02
Az [m^2]	5,3813e-02
AL [m^2/m]	4,3447e+00
AD [m^2/m]	8,5350e+00
cYUCS [mm]	-35
cZUCS [mm]	52
IYLCS [m^4]	1,5027e-02
IZLCS [m^4]	2,9736e-02
IYZLCS [m^4]	-8,1636e-04
α [deg]	86,83
Iy [m^4]	2,9781e-02
Iz [m^4]	1,4982e-02
iy [mm]	506
iz [mm]	359
Wely [m^3]	4,2322e-02
Welz [m^3]	2,8769e-02
Wply [m^3]	5,4599e-02
Wplz [m^3]	3,7417e-02
Mply+ [Nm]	1,94e+07
Mply- [Nm]	1,94e+07
Mplz+ [Nm]	1,33e+07
Mplz- [Nm]	1,33e+07
dy [mm]	-70
dz [mm]	25
It [m^4]	2,7882e-02
Iw [m^6]	3,6944e-04

Slika 3.76 Poprečni presjek raspona (sandučasti dio)

$I_t = 0.027882\ m^4 = 2788200\ cm^4$ - polarni moment inercije presjeka

$t_{max} = 20\ mm = 2\ cm$ - najveća debljina stijenke poprečnog presjeka

$W_p = \frac{I_t}{t_{max}} = \frac{2788200}{2} = 1394100\ cm^3 = 1.3941\ m^3$ - moment otpora presjeka

$I_z = 0.014982\ m^4$ -moment inercije presjeka

$A = 0.11625\ m^2$ - površina poprečnog presjeka

x_0 = 66 cm , y_0 = 52 cm (koordinate težišta poprečnog presjeka)

$y = y_0$-1 = 52-1 = 51 cm

$S_z = A \cdot y = (100 \cdot 2) \cdot 51 = 10200\ cm^3 = 0.0102\ m^3$ - statički moment površine

b = 100 cm = 1 m

Dopušteno posmično naprezanje:

$$\tau_{dop} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{355000\,\frac{kN}{m^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 186842.1\ \frac{kN}{m^2}$$

Mjerodavna kombinacija opterećenja:

$M_{Sd} = 1.35\ \cdot (G + \Delta G) + 1.5\ \cdot (Q_4) + 1.5 \cdot (T^-)$

$M_{Sd} = 1.35\ \cdot (23.7 + 7.2) + 1.5\ \cdot (1237.3) + 1.5 \cdot (353.6) = 2428.1\ kNm$

$V_{Sd} = 1.35\ \cdot (G + \Delta G) + 1.5\ \cdot (Q_4) + 1.5 \cdot (T^-)$

$V_{Sd} = -1.0\ \cdot (370.3 + 113.2) + 1.5\ \cdot (1.65) + 1.5 \cdot (108.3) = -318.3\ kN$

Utjecaj momenta torzije i poprečne sile je zbrojen i prikazan kao naprezanje, tako da vrijedi:

- Posmična naprezanja od momenta torzije $\tau_M = \frac{M_{Sd}}{W_p} = \frac{2428.1}{1.3941} = 1741.7\ \frac{kN}{m^2}$

- Posmična naprezanja od poprečne sile $\tau_T = \frac{T_{Sd} \cdot S}{I_z \cdot b} = \frac{318.3 \cdot 0.0102}{0.014982 \cdot 1} = 216.7\ \frac{kN}{m^2}$

Ukupna naprezanja:

$$\tau_M + \tau_T = 1741.7 + 216.7 = 1958.4\ \frac{kN}{m^2}\ <\ \tau_{dop} = 186842.1\ \frac{kN}{m^2}$$

Provjera na izbočavanje (bočno izvijanje) nosača

Problem bočnog izvijanja nosača računski se promatra kao izvijanje izraženo savijanjem i torzijom bez uzdužne sile.

Idealni kritični moment bočnog izvijanja se dobiva kao,

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_Z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[C_2 \cdot z_g + \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_W}{I_Z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_Z} + \left(C_2 \cdot z_g\right)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

gdje je: C_1, C_2 faktori ovisni o uvjetima opterećenja, I_Z moment inercije oko slabije osi, I_t torzijska konstanta, I_W konstanta krivljenja, a k i k_w faktori efektivne dužine.

L = 30 m = 3000 cm

$z_g = \frac{h}{2} = \frac{100}{2} = 50\ cm$ (h – visina poprečnog presjeka)

$E = 210000 \frac{N}{mm^2} = 21000\ \frac{kN}{cm^2}$

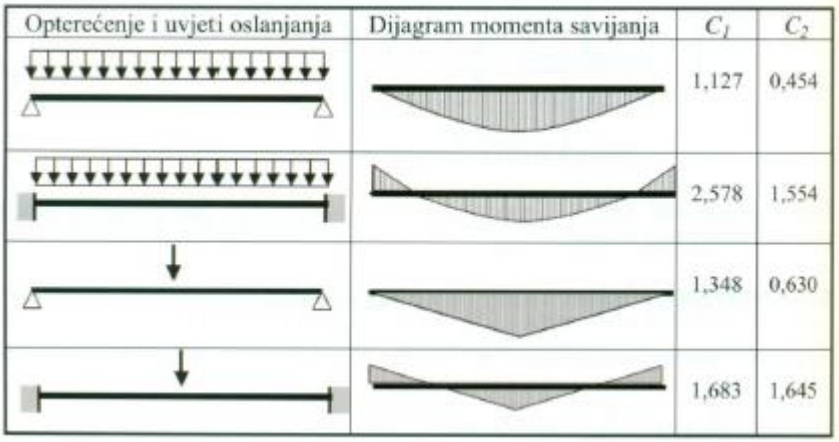
ν = 0.3

$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0.3)} = 8077\ \frac{kN}{cm^2}$

$I_Z = 0.014982\ m^4 = 1498200\ cm^4$

$I_W = 0.027882\ m^4 = 2788200\ cm^4$

$I_t = 0.00036944\ m^4 = 36944\ cm^4$



Opterećenje i uvjeti oslanjanja	Dijagram momenta savijanja	C_1	C_2
		1,127	0,454
		2,578	1,554
		1,348	0,630
		1,683	1,645

Slika 3.77 Vrijednosti C_1, C_2

$C_1 = 2.578$, $C_2 = 1.554$

$k = 1.0$, $k_w = 1.0$

$$M_{cr} = 2.578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1498200}{(1 \cdot 3000)^2} \cdot \left[1.554 \cdot 50 + \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{2788200}{1498200} + \frac{(1 \cdot 3000)^2 \cdot 8077 \cdot 36944}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1498200} + (1.554 \cdot 50)^2} - 1.554 \cdot 50\right]$$
$$= 10788258.6\ kNcm = 107882.5\ kNm$$

Ako je $\lambda_{LT} \leq 0.4$ nije potrebno izvoditi dokaz bočnog izvijanja.

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{40636 \cdot 35.5}{10788258.6}} = 0.36$$

$\lambda_{LT} = 0.36 \leq 0.4$

3.3.2 Stupovi

Karakteristike odabranog poprečnog presjeka

Materijal:

Čelik S355

$f_y = 355\ \frac{N}{mm^2} = 35.5 \frac{kN}{cm^2}$

Beton C 40/50

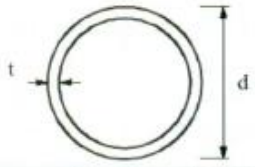
$f_{ck} = 40\ \frac{N}{mm^2}$

$f_{cd} = \frac{40}{1.5} = 26.7\ \frac{N}{mm^2} = 2.67 \frac{kN}{cm^2}$

Klasifikacija poprečnog presjeka

$\frac{d}{t} = \frac{800}{20} = 40$

Cijevi



Klasa	Presjek u savijanju i/ili tlaku
1	$d/t \le 50\varepsilon^2$
2	$d/t \le 70\varepsilon^2$
3	$d/t \le 90\varepsilon^2$ Za $d/t \le 90\varepsilon^2$ vidi EN 1993-1-6

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Slika 3.78 Uvjeti klasifikacije za cijevi

$\varepsilon^2 = 0.66$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 33$$

$$40 > 30$$

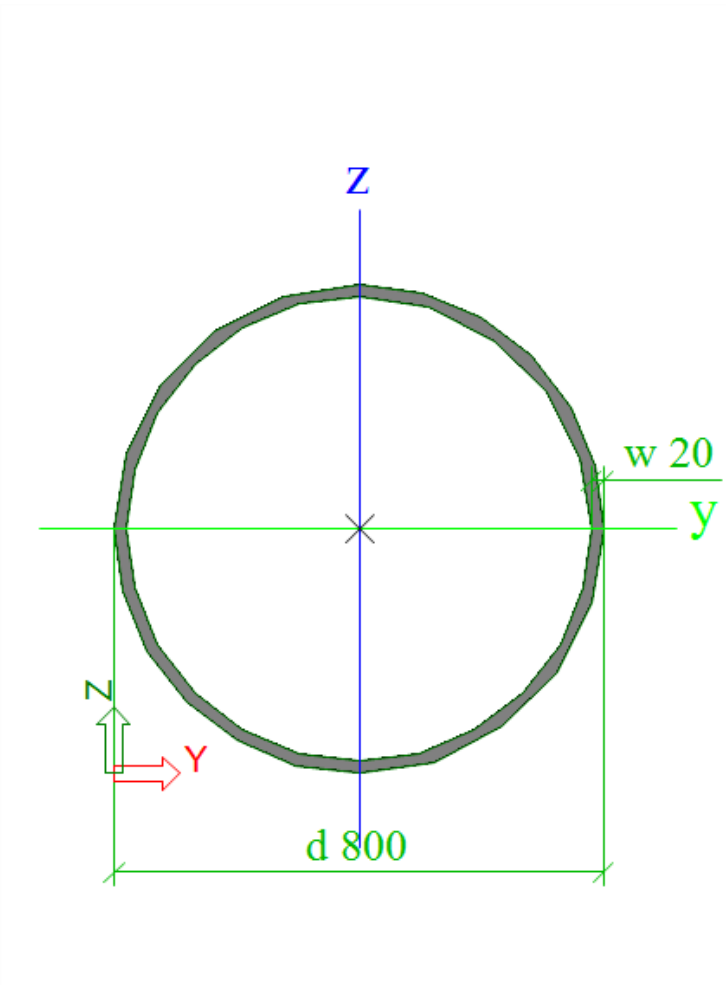
Uvjet za klasu 2:

$$\frac{d}{t} \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 46.2$$

$$40 < 46.2$$

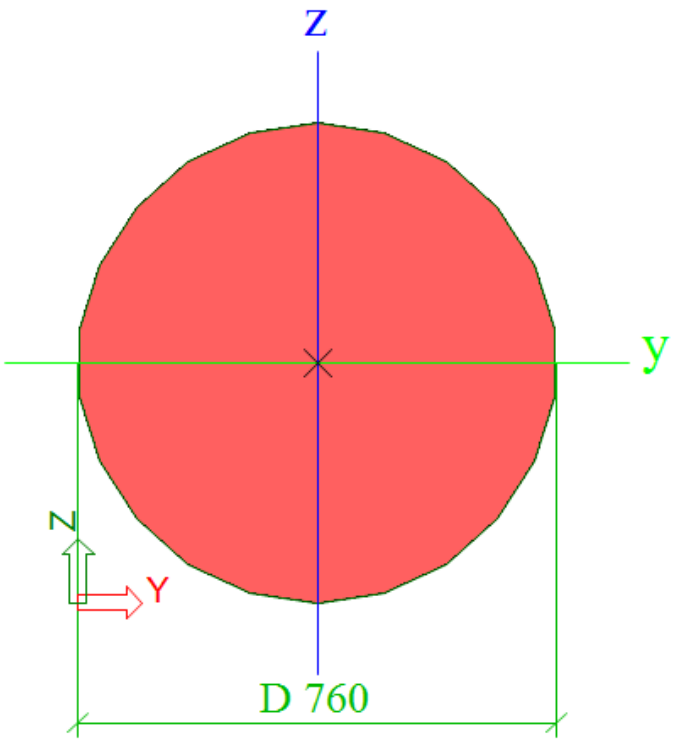
Poprečni presjek je svrstan u klasu 2.

Zbog određivanja karakteristika presjeka posebno su promatrani čelični šuplji presjek i betonski puni presjek.



Property	
A [m^2]	4,9009e-02
Ay [m^2]	3,1200e-02
Az [m^2]	3,1200e-02
AL [m^2/m]	2,5131e+00
AD [m^2/m]	4,9006e+00
cYUCS [mm]	400
cZUCS [mm]	400
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	3,7296e-03
Iz [m^4]	3,7296e-03
iy [mm]	276
iz [mm]	276
Wely [m^3]	9,3239e-03
Welz [m^3]	9,3239e-03
Wply [m^3]	1,2171e-02
Wplz [m^3]	1,2171e-02
Mply+ [Nm]	4,32e+06
Mply- [Nm]	4,32e+06
Mplz+ [Nm]	4,32e+06
Mplz- [Nm]	4,32e+06
dy [mm]	0
dz [mm]	0
It [m^4]	7,4542e-03
Iw [m^6]	7,6478e-37
β y [mm]	0
β z [mm]	0

Slika 3.79 Poprečni presjek stupa (čelični dio)



Property	
A [m^2]	4,5365e-01
Ay [m^2]	4,0742e-01
Az [m^2]	4,0742e-01
AL [m^2/m]	2,3875e+00
AD [m^2/m]	2,3875e+00
cYUCS [mm]	380
cZUCS [mm]	380
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	1,6377e-02
Iz [m^4]	1,6377e-02
iy [mm]	190
iz [mm]	190
Wely [m^3]	4,3096e-02
Welz [m^3]	4,3096e-02
Wply [m^3]	7,3163e-02
Wplz [m^3]	7,3163e-02
Mply+ [Nm]	0,00e+00
Mply- [Nm]	0,00e+00
Mplz+ [Nm]	0,00e+00
Mplz- [Nm]	0,00e+00
dy [mm]	0
dz [mm]	0
It [m^4]	3,2830e-02
Iw [m^6]	9,8780e-14
β y [mm]	0
β z [mm]	0

Slika 3.80 Poprečni presjek stupa (betonski dio)

Savijanje

$W_{y,č} = 0.012171\ m^3$- moment otpora presjeka (čelični dio)

$W_{y,b} = 0.073163\ m^3$- moment otpora presjeka (betonski dio)

$W_y = W_{y,č} + W_{y,b} = 0.085334\ m^3 = 85334\ cm^3$- moment otpora presjeka (ukupno)

$W_y = W_z$

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{85334 \cdot 35.5}{1.1} = 2753961\ kNcm = 27539.6\ kNm$$

Mjerodavna kombinacija opterećenja

$$M_{Sd} = 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot (Q_5) + 1.5 \cdot (T^-) + 1.5 \cdot \left(W_{u\ smjeru\ praznog\ mosta}\right) + 1.5 \cdot (K)$$

$$M_{Sd} = 1.35 \cdot (24 + 7.4) + 1.5 \cdot (395.9) + 1.5 \cdot (2419.7) + 1.5 \cdot (5577.3) + 1.5 \cdot (1159.7) = 14371.2\ kNm$$

$$M_{Sd} = 14371.2 < M_{Rd} = 27539.6\ kNm$$

- M_{Sd} u ovom presjeku na konstrukciji stvara tlačna naprezanja, tako da u otporu poprečnog presjeka(M_{Rd}) možemo uzeti u obzir i betonski dio presjeka

Zbroj naprezanja oko osi y i osi z

$$M_{Sd,y} = 14371.2\ kNm$$

$$M_{Sd} = 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot (Q_5) + 0 \cdot (T^-) + 1.5 \cdot \left(W_{u\ smjeru\ praznog\ mosta}\right) + 1.5 \cdot (K)$$

$$M_{Sd,z} = 1.35 \cdot (6.7 + 2) + 1.5 \cdot (1200.5) + 1.5 \cdot (522.5) + 1.5 \cdot (111.6) = 2763.7\ kNm$$

$$\sigma_y = \frac{M_{Sd,y}}{W_y} = \frac{14371.2}{0.085334} = 168411.2\ \frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma_z = \frac{M_{Sd,z}}{W_z} = \frac{2763.7}{0.085334} = 32386.9\ \frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma_{uk} = \sqrt{{\sigma_y}^2 + {\sigma_z}^2} = \sqrt{168411.2^2 + 32386.9^2} = 171497.1\ \frac{kN}{m^2} = 171.4 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{dop} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{355}{1.1} = 322.7 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{uk} = 171.4\ \frac{N}{mm^2} < \sigma_{dop} = 322.7 \frac{N}{mm^2}$$

Uzdužna sila

$A_{č} = 0.049009\ m^2 = 490.1\ cm^2$ - površina poprečnog presjeka (čelični dio)

$A_b = 0.45365\ m^2 = 4536.5\ cm^2$- površina poprečnog presjeka (betonski dio)

$A = A_{č} + A_b = 0.50266\ m^2 = 5026.6\ cm^2$- površina poprečnog presjeka (ukupno)

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu - tlak:

$$N_{Rd} = \frac{A_{č} \cdot f_y}{\gamma_M} + \frac{A_b \cdot f_{cd}}{\gamma_M} = \frac{490.1 \cdot 35.5}{1.1} + \frac{4536.5 \cdot 2.67}{1.1} = 15813.6 + 11011.3 = 26825\ kN$$

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu - vlak:

$$N_{Rd} = \frac{A_{č} \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{490.1 \cdot 35.5}{1.1} = 15813.6\ kN$$

Mjerodavna kombinacija opterećenja

- Tlačna sila

$$N_{Sd} = 1.35\ \cdot (G + \Delta G) + 1.5\ \cdot (Q_2) + 1.5 \cdot (T^-)$$

$$N_{Sd} = 1.35\ \cdot (730 + 213.1) + 1.5\ \cdot (2045.7) + 1.5 \cdot (67.5) = 4443.1\ kN$$

$$N_{Sd} = 4443.1 < N_{Rd} = 26825\ kN$$

- Vlačna sila

$$N_{Sd} = -1.0\ \cdot (G + \Delta G) + 1.5\ \cdot (Q_1) + 1.5 \cdot (T^-) + 1.5 \cdot \left(W_{u\ smjeru\ praznog\ mosta}\right) + 1.5 \cdot (K)$$

$$N_{Sd} = -1.0\ \cdot (166 + 50.8) + 1.5\ \cdot (54.2) + 1.5 \cdot (349.3) + 1.5 \cdot (239.9) + 1.5 \cdot (50.4) = 829.9\ kN$$

$$N_{Sd} = 829.9\ kN < N_{Rd} = 15813.6\ kN$$

Torzija

$I_t = 0.0402842\ m^4 = 4028420\ cm^4$ - polarni moment inercije presjeka

$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 80^3}{16} = 100530.9\ cm^3 = 0.1\ m^3$ - moment otpora presjeka

$I_z = 0.0201066\ m^4 = 2010660\ cm^4$ - moment inercije presjeka

$A = 0.50266\ m^2 = 5026.6\ cm^2$ - površina poprečnog presjeka

$y = \frac{2d}{3\pi} = \frac{2 \cdot 80}{3\pi} = 16.9\ cm$

$S_z = A \cdot y = \left(\frac{r^2 \cdot \pi}{2}\right) \cdot 16.9 = \left(\frac{40^2 \cdot \pi}{2}\right) \cdot 16.9 = 42474.3\ cm^3 = 0.04\ m^3$- statički moment površine

b = 80 cm = 0.8 m

Dopušteno posmično naprezanje:

$$\tau_{dop} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{355000\ \frac{kN}{m^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 186842.1\ \frac{kN}{m^2}$$

Mjerodavna kombinacija opterećenja:

$$M_{Sd} = 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot (Q_5) + 1.5 \cdot (T^-) + 1.5 \cdot \left(W_{u\ smjeru\ praznog\ mosta}\right) + 1.5 \cdot (K)$$

$$M_{Sd} = 1.35 \cdot (0.8 + 0.3) + 1.5 \cdot (45.3) + 1.5 \cdot (129.7) + 1.5 \cdot (31.5) + 1.5 \cdot (6.5) = 320.9\ kNm$$

$$V_{Sd} = -1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot (Q_5) + 1.5 \cdot (T^-) + 0 \cdot \left(W_{u\ smjeru\ praznog\ mosta}\right) + 0 \cdot (K)$$

$$V_{Sd} = -1.0 \cdot (9.9 + 3) + 1.5 \cdot (332.1) + 1.5 \cdot (1455.9) = 2668.9\ kN$$

- Posmična naprezanja od momenta torzije $\tau_M = \frac{M_{Sd}}{W_p} = \frac{320.9}{0.1} = 3209\ \frac{kN}{m^2}$

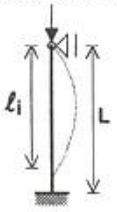
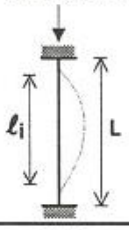
- Posmična naprezanja od poprečne sile$\tau_T = \frac{T_{Sd} \cdot S}{I_z \cdot b} = \frac{2668.9 \cdot 0.04}{0.0201066 \cdot 0.8} = 6636.8 \ \frac{kN}{m^2}$

Ukupna naprezanja:

$$\tau_M + \tau_T = 3209 + \ 6636.8 = 9845.8 \ \frac{kN}{m^2} < \tau_{dop} = 186842.1 \ \frac{kN}{m^2}$$

Provjera na izvijanje stupova

Dužina izvijanja elementa predstavlja razmak točaka infleksije elastične linije u trenutku kada je dosegnuta Eulerova kritična sila izvijanja.

$\varepsilon = \alpha L$ $\alpha^2 = \frac{N_{ki}}{EI}$	SLUČAJ I 	SLUČAJ II 	SLUČAJ III 	SLUČAJ IV 
UVJET IZVIJANJA	$\cos\varepsilon = 0$	Zamjenski štap $\sin\varepsilon = 0$	$\frac{\varepsilon}{\tan\varepsilon} = 1$	$\cos\varepsilon = 1$
NAJNIŽA VLASTITA VRIJEDNOST	$\varepsilon = \frac{\pi}{2}$	$\varepsilon = \pi$	$\varepsilon = 4.493$ $\varepsilon = \frac{\pi}{0.699}$	$\varepsilon = 2\pi$
DUŽINA IZVIJANJA	2.0·L	L	$\cong$ 0.7·L	0.5·L

Slika 3.81 Osnovni Euler-ovi slučajevi dužina izvijanja

Promatrajući rubne uvjete stupova mosta odabran je slučaj II.

$l_i = l$ – dužina izvijanja

Promatran je stup koji ima najveću uzdužnu tlačnu silu:

$N_{Sd} = 4443.1 \ kN$

$l_i = l = 672cm$

$$E = 210000 \frac{N}{mm^2} = 21000 \frac{kN}{cm^2}$$

$$I = 0.0201066\ m^4 = 2010660\ cm^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{2010660}{5026.6}} = 20$$

- Kontrola vitkosti

$$\lambda = \frac{l_i}{i} \leq 150$$

$$\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{672}{20} = 33.6 < 150$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{{L_{cr}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2010660}{672^2} = 922824.5\ kN$$

- Relativna vitkost

$$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rd}}{N_{cr}}} \leq 2$$

$$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rd}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{15813.6}{922824.5}} = 0.13 \leq 2$$

$$\phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(\overline{\lambda} - 0.2\right) + \overline{\lambda}^{\,2}\right]$$

Krivulja izvijanja	a_0	a	b	c	d
Faktor imperfekcije α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Slika 3.82 Faktor imperfekcije α

- krivulja izvijanja a (α = 0.21)

$$\phi = 0.5 \cdot \left[1 + 0.21 \cdot \left(\overline{\lambda} - 0.2\right) + \overline{\lambda}^{2}\right]$$

$$\phi = 0.5 \cdot [1 + 0.21 \cdot (0.13 - 0.2) + 0.13^2] = 0.51$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^{2}}} = \frac{1}{0.51 + \sqrt{0.51^2 - 0.13^2}} = 0.99$$

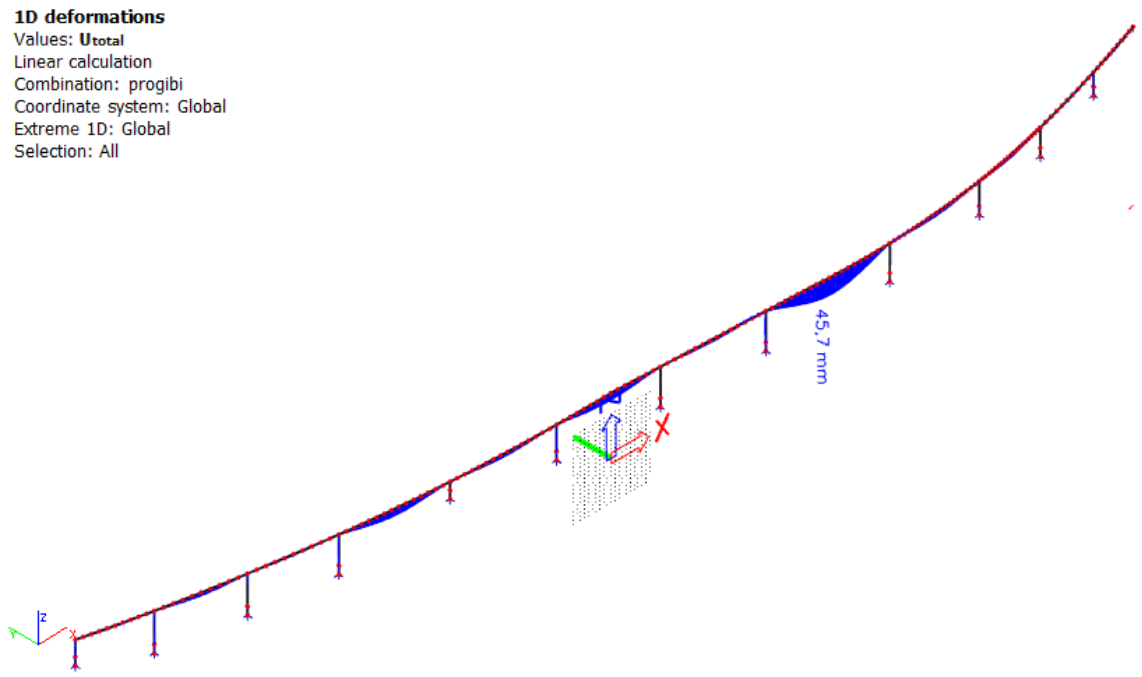
$$N_{Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0.99 \cdot 5026.6 \cdot 35.5}{1.1} = 160599.8\ kN$$

$$N_{Rd} = 160599.8\ kN \ > N_{Sd} = 4443.1\ kN$$

3.4. Granično stanje uporabljivosti

Mjerodavna kombinacija opterećenja:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot (Q_1)$



Slika 3.83 Ukupni progibi U_{total}

$u_{dop} = \frac{L}{300}$ - dopušteni progibi

L = 30 m = 30000 mm (razmak između točaka pridržanja)

$$u_{dop} = \frac{30000}{300} = 100\ mm$$

U_{total} = 45.7 mm < $u_{dop} = 100\ mm$