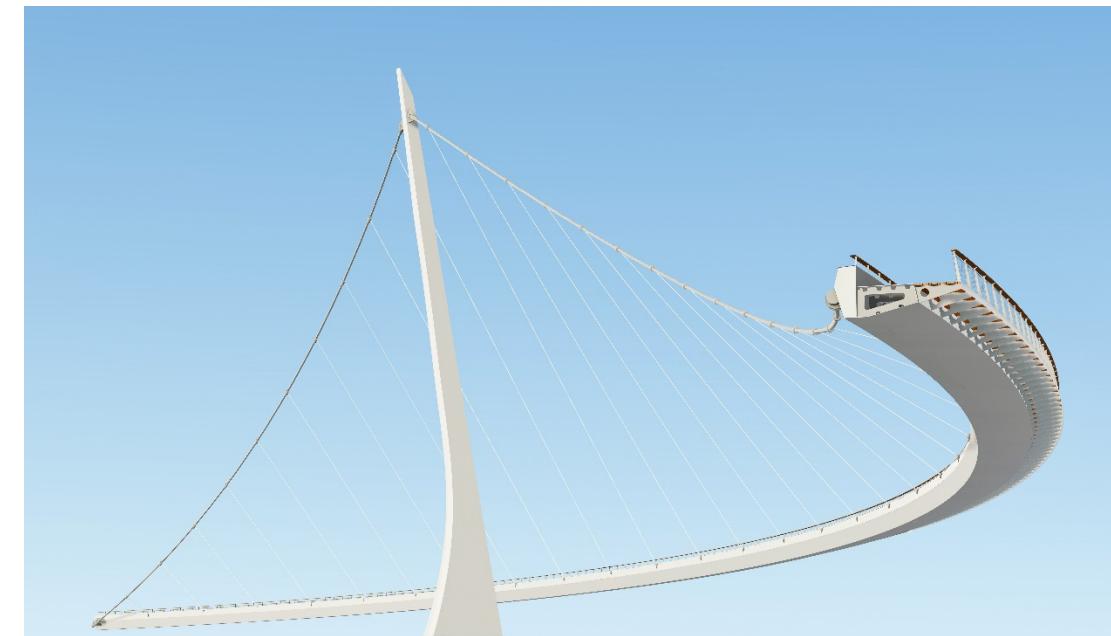


# *Nova brv čez Mariborski otok (Huzarska brv)*

*Natečajna rešitev, september 2022*



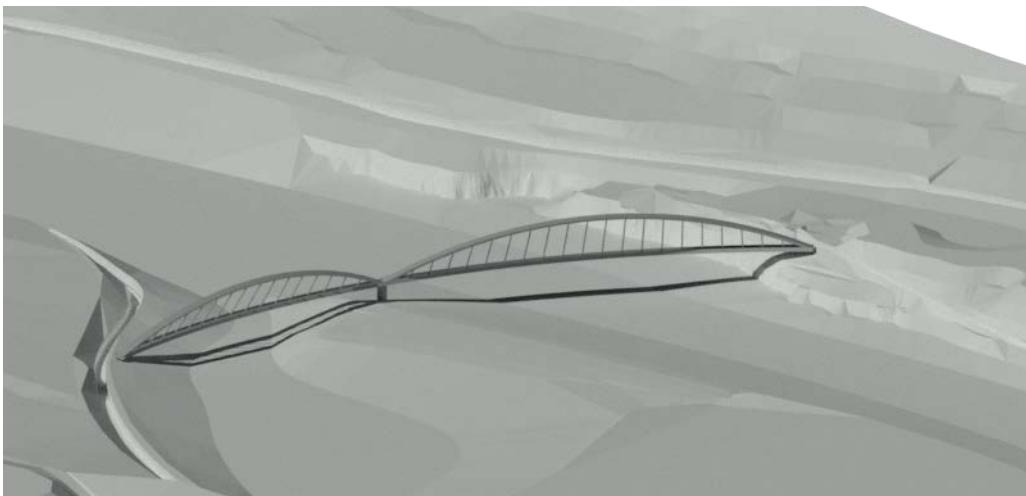
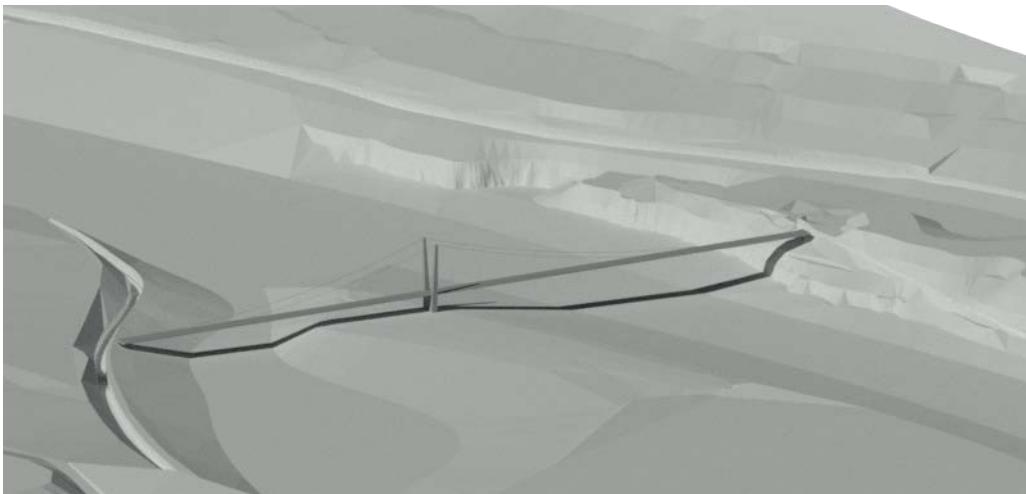
## UVOD

Mestna občina Maribor (MOM) je razpisala natečaj za pridobitev najboljše rešitve premostitve reke Drave na lokaciji gorvodnega rta Mariborskega otoka. Bodoča brv na izjemni lokaciji ima namen povezati poti na obeh bregovih in vzpostaviti krožno kolesarsko in peš promenado. Tak obroč, še posebej z atraktivno premostitvijo bi pomenil dvig kvalitete bivanja prebivalcev, hkrati pa bi bil generator novih priložnosti tudi v turizmu.

Odgovornost načrtovanje je še posebej velika, saj lokacija predstavlja izjemno naravno okolje, ki je opredeljeno kot naravna vrednota z zaščitenimi habitati in hkrati spada tudi v območje Nature 2000. Hidroelektrarna Mariborski otok v neposredni bližini lokacije pa je spomenik kulturne dediščine.



Izbor rešitve nalaga veliko odgovornost, saj je bodoča premostitev umeščena v zaščiteno naravno okolje in v bližino spomenika kulturne dediščine



## KONTEKS PREMOSITVE

Na zasnovo premoščanja so vplivale naravne danosti lokacije in zahteve iz podlog in natečajne naloge. Bistvena dejstva in značilnosti, ki vplivajo na vse možne rešitve so:

- zaščiteno naravno okolje otoka in Drave, ki diktira postavljanje podpor;
- morfologija premositve zahteva zelo veliko dolžino brvi z velikimi razponi;
- razpona sta asimetrična 170 m in 115 m, kar je konstrukcijsko zelo neugodno;
- nesimetrična bregova, levi breg na kot 270,0 mnv, desni na kot 258,3 mnv  $\Delta H=11,7$  m;
- nizka niveleta ob desnem bregu  $Q_{100}=256,49$  mnv, varnostna višina vsaj 1,00m do spodnjega roba konstrukcije
- velik padec, oz. vzpon nivelete: 11,7 m / 285 m = 4,1 %, kar je več kot je dopustno po Pravilniku o kolesarskih površinah. Za vzpone daljše od 250 m je dovoljen maksimalni vzpon 3%.

Analizirali smo prostor in različne možnosti premoščanja. Izločili smo gredne rešitve zaradi masivne pojavnosti in težav, ki jih povzroča asimetrija. Zelo atraktivne, vendar agresivne in prevladujoče nad okoljem so izpadle ločne variante. Za tako velike razpone peš in kolesarskih mostov ne moremo mimo racionalnih kabelskih mostov, ki pa imajo lahko težave pri dokazovanju razreda udobja.

Razpis natečaja pomeni iskanje najprimernejše rešitve s presežkom, zato smo se lotili problematike od začetka, to je od urbanistično – prometnega koncepta.

*Začetna analiza različnih možnosti premoščanja Drave – od zgoraj navzdol:*

- Ravni obešeni,
- Gredni in
- Ločni most

## URBANISTIČNO – PROMETNI KONCEPT

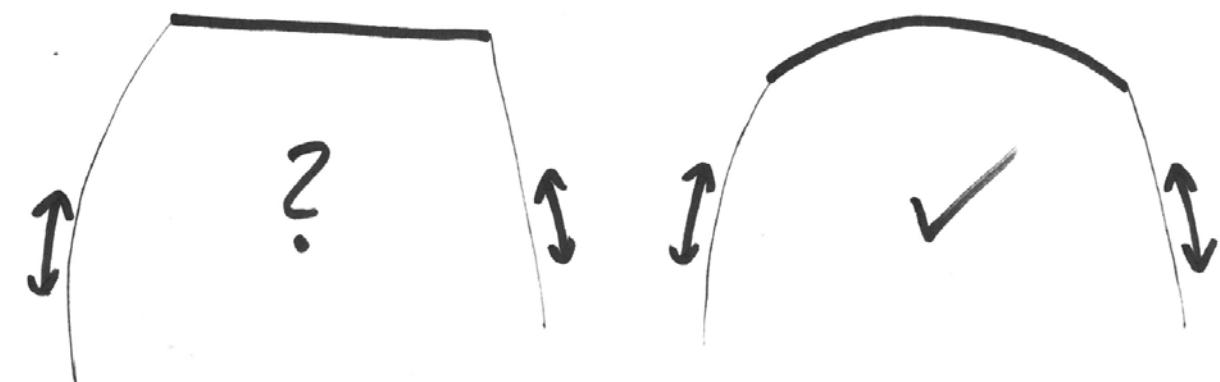


Da bi zadostili zahtevam Pravilnika o kolesarskih površinah moramo znižati več kot 250 m dolgi vzpon na še dovoljenih 3% nagiba. To dosežemo z nižanjem nivelete na levem in višanjem na desnem bregu. Na levem bregu to dosežemo tako, da z mostom začнем že na vzponu proti naravnemu platoju, na desnem pa se priključimo z manjšo rampo.

Os mostu zarišemo v krožnem loku, s čimer podaljšamo povezavo in znižamo vzpon (olajšamo vzpenjanje), s krivino pa istočasno znižamo hitrost spuščanja kolesarjev. To poleg povečanja prometne varnosti kolesarke povezave tudi simbolično upraviči ime krožne promenade.

S krožno urbanistično potezo hkrati naslovimo in rešimo več problemov:

- dobimo zvezno peš in kolesarsko krožno povezavo, tako v funkcionalnem kot pomenskem smislu.
- uredimo skladnost s predpisi o maksimalno dovoljenem vzponu (Pravilnik o kolesarskih površinah),
- s krivino zmanjšamo hitrost spuščanja kolesarjev in s tem povečamo varnost na mešani prometni površini,
- prostorsko zakriviljena konstrukcija s 3D delovanjem je bolj nosilna in ima predvsem boljše dinamično obnašanje kot ravna linijska konstrukcija,
- objekt v krivini se spogleduje z mehkimi krivuljami naravnih brežin.



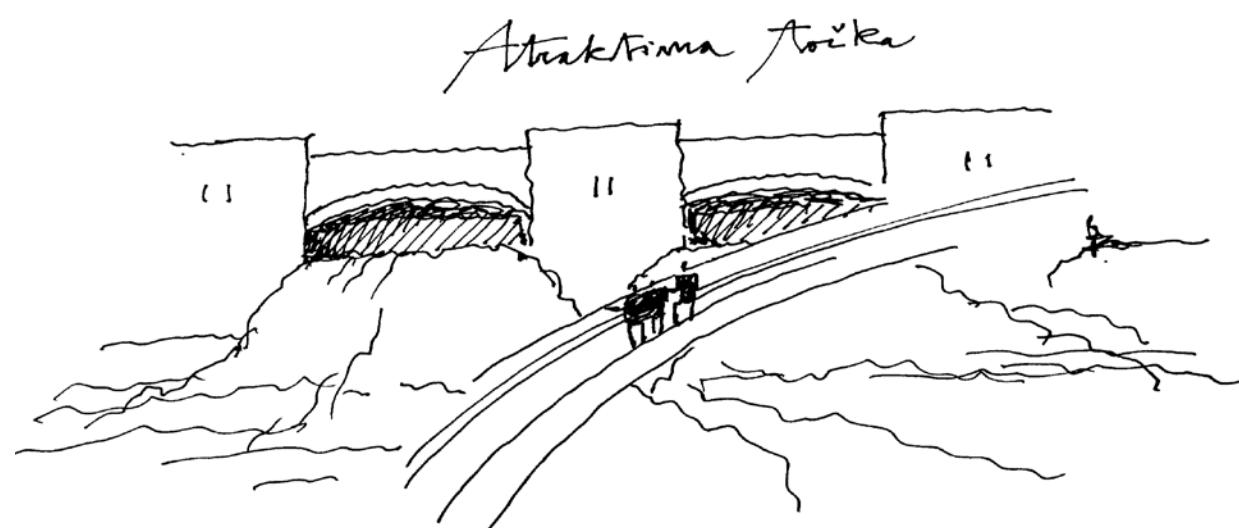
*Referenčni projekti:*

*Zgoraj: Footbridge Sassintz, Nemčija 2007*

*Sredina in spodaj: Hemei Bridge, Kitajska 2020, z največjim razponom tega tipa 217 m*

## PROSTORSKA ZASNOVA, ARHITEKTURA, OBLIKOVANJE

Maribor bo z novim mostom za pešce in kolesarje pridobil nekaj kilometrov dolgo povezano rekreativno pot ob Dravi, iz katere se odpirajo atraktivni pogledi na rečno krajino. S predlaganim ločnim potekom poti preko reke želimo omogočiti doživljaje celotne poti kot enotne in zvezne prostorske poteze brez prekinitve.



Po odločitvi o izboru visečega zakriviljenega mostu ima načrtovalec zelo malo oblikovnih možnosti. Obliko nosilne konstrukcije namreč določna ravnotežje sil v prostoru. To se poišče s posebnim postopkom iskanja oblike (form finding). Preostanejo nam še odločitve o prečnem prerezu in uporabnih površinah na mostu, o obliki nosilnega pilona ter o oblikovanju obeh krajnih opornikov.

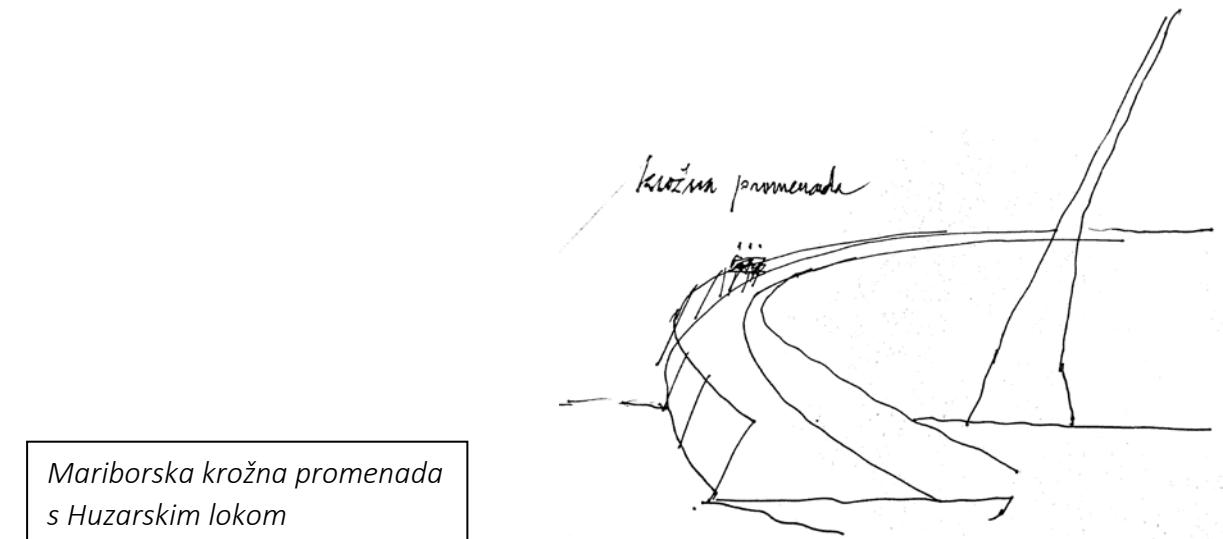
Če postavimo nosilni pilon v notranjost zakriviljene grede, bo le-ta delovala v horizontalni smeri kot tlačno obremenjena ločna konstrukcija oprta na oba opornika. Centralni pilon, ki nosi glavni kabel, se lahko oblikuje na dva načina. Klasična rešitev je nihajni členasti jekleni steber, ki je držan še z parom poševnih zateg, ki zagotavljajo stabilnost sistema. Druga možnost je konzolni pilon, ki je dovolj tog, da sam zagotavlja stabilnost sistema. Zaradi varovanja narave na otoku smo se odločili za konzolni pilon, saj je v tem primeru gradbišče na eni sami lokaciji, medtem ko je v primeru členkastega pilona gradbišče dodatno še na dveh lokacijah, kjer se sidrajo zatege pilona. Posebej oblikovani konzolni pilon daje Huzarski brvi tudi svojstven značaj in prepoznavnost med podobnimi visečimi mostovi.

Uporabna površina mostu je po materialu ločena na hrapavo peščeno površino (kremenčev epoksi posip ne jekleni konstrukciji), ki je namenjena kolesarjem ter na leseno površino, ki je namenjena pešcem. Na ta način se uporabniki brez drugega ločevanja razporedijo po površini mostu. Delitev prereza na jekleno škatlo in konzolo z leseno pohodno površino, daje atraktivnost in prepoznavnost mostu tudi s spodnje strani.

Most je barvan v svetlo golobje sivi barvi, kar ga dematerializira in s tem dodatno poudari njegovo eleganco. Površina poti je diskretno osvetljena preko horizontalnega LED traka umeščenega pod ročaje mostne ograje. S tem se pojavi most v nočnem času le kot tanka krožna linija zarisana v nočni panorami. Diskretno je osvetljena tudi konica pilona.



*Mariborska krožna promenada  
s Huzarskim lokom*

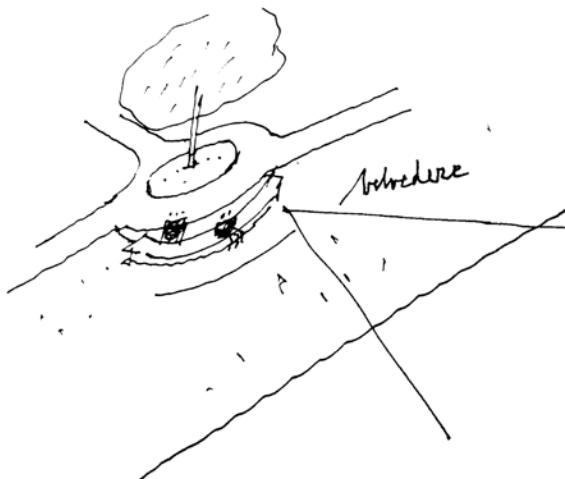


## KRAJINSKA UREDITEV IN OKOLICA

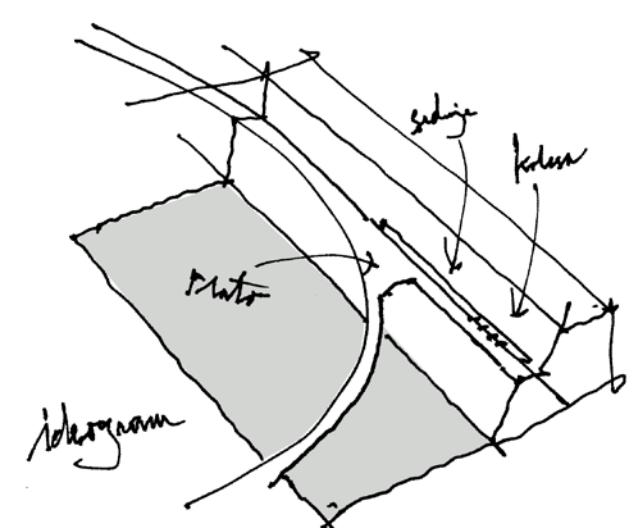
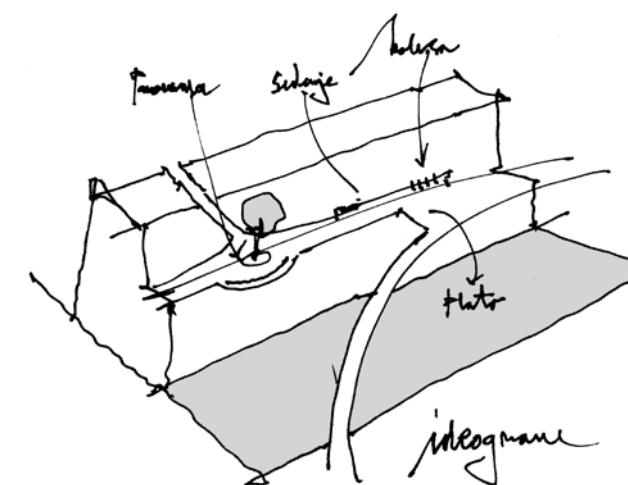
Viseči most se s krožno oblikovano pohodno gredo harmonično prilagaja naravnim krivinam dravskih brežin in Mariborskega otoka. Umirjen dialog med mostom in okoljem zato ne zahteva dodanih oblikovalnih poudarkov razen unikatno oblikovanega mostnega pilona, ki učinkuje kot akcent v sicer horizontalni prostorski kompoziciji. Tudi oba nosilna kabla in zatege oblikujejo v prostoru atraktivne prostorske linije zato bo postal novi most brez dvoma privlačno mesto in senzacijo za obiskovalce.

Most svetle širine 4 m je dovolj širok, da se uporabniki lahko na mostu ustavijo, za trenutek postojijo in občudujejo okolico. Celoten most tako postane razgledna ploščad. Na obeh koncih mostu so predvidene funkcionalne površine za ustavljanje, odlaganje koles, počitek in druženje. Ploščadi ob opornikih sta zasnovani na zunanjih strani krivine, s čimer se notranja krožna linija mostu nadaljuje zvezno tudi v nadaljevanju poti brez motnje pogledov na reko in ovir pri gibanju pešev in kolesarjev.

Oblikovanje in materialna obdelava poti in priključkov sta skladna z idejno zasnovo mariborske promenade.



*Krožna linija v prostoru, ki je glavni konstrukcijski in oblikovalski element mostu, nagovarja mehke brežine, ki jih oblikovala reka skozi tisočletja*



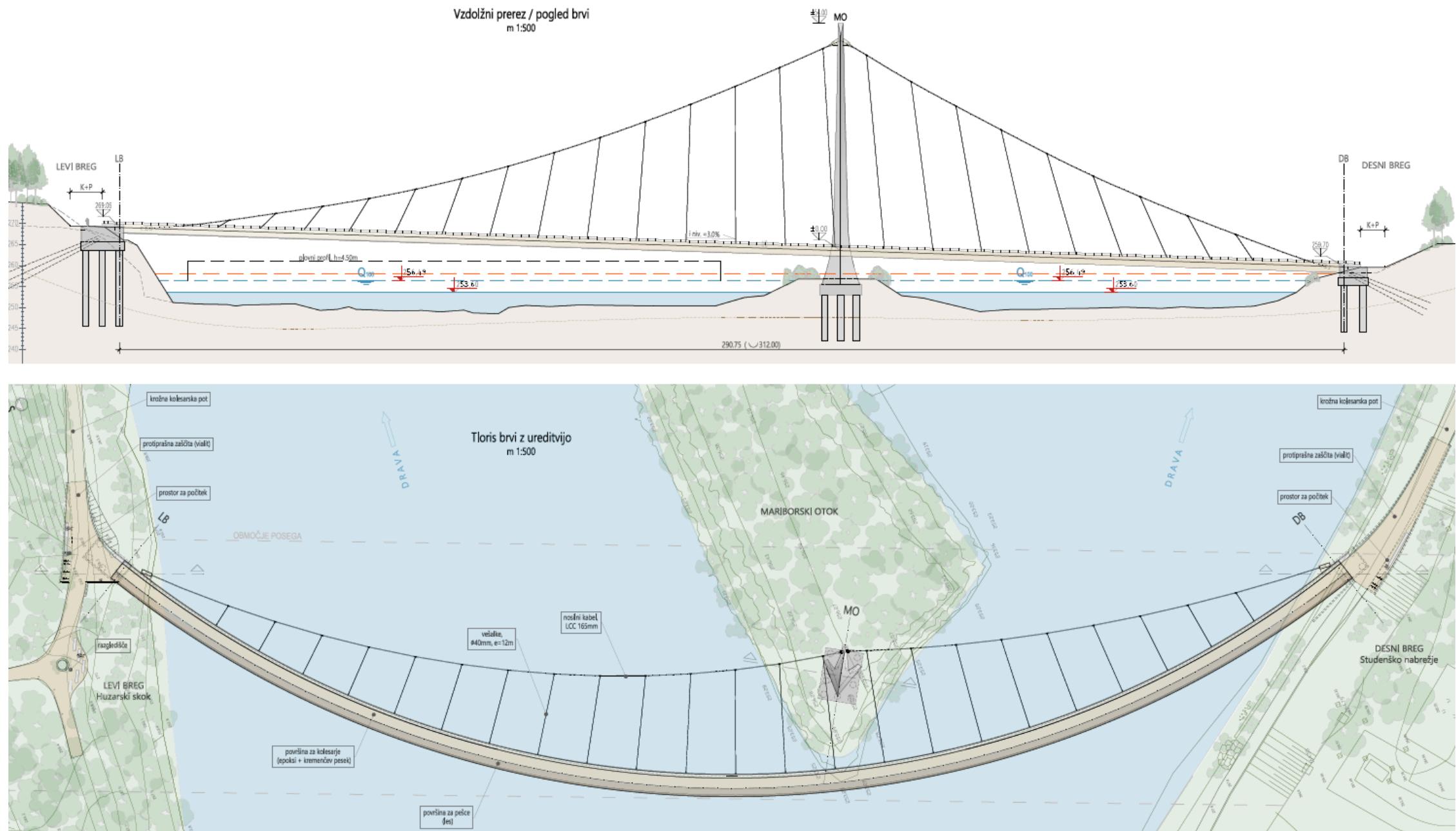
*Notranja krožna linija poteka zvezno, s čimer ne moti pogledov in ne ovira gibanja pešev in kolesarjev*

## KONSTRUKCIJA

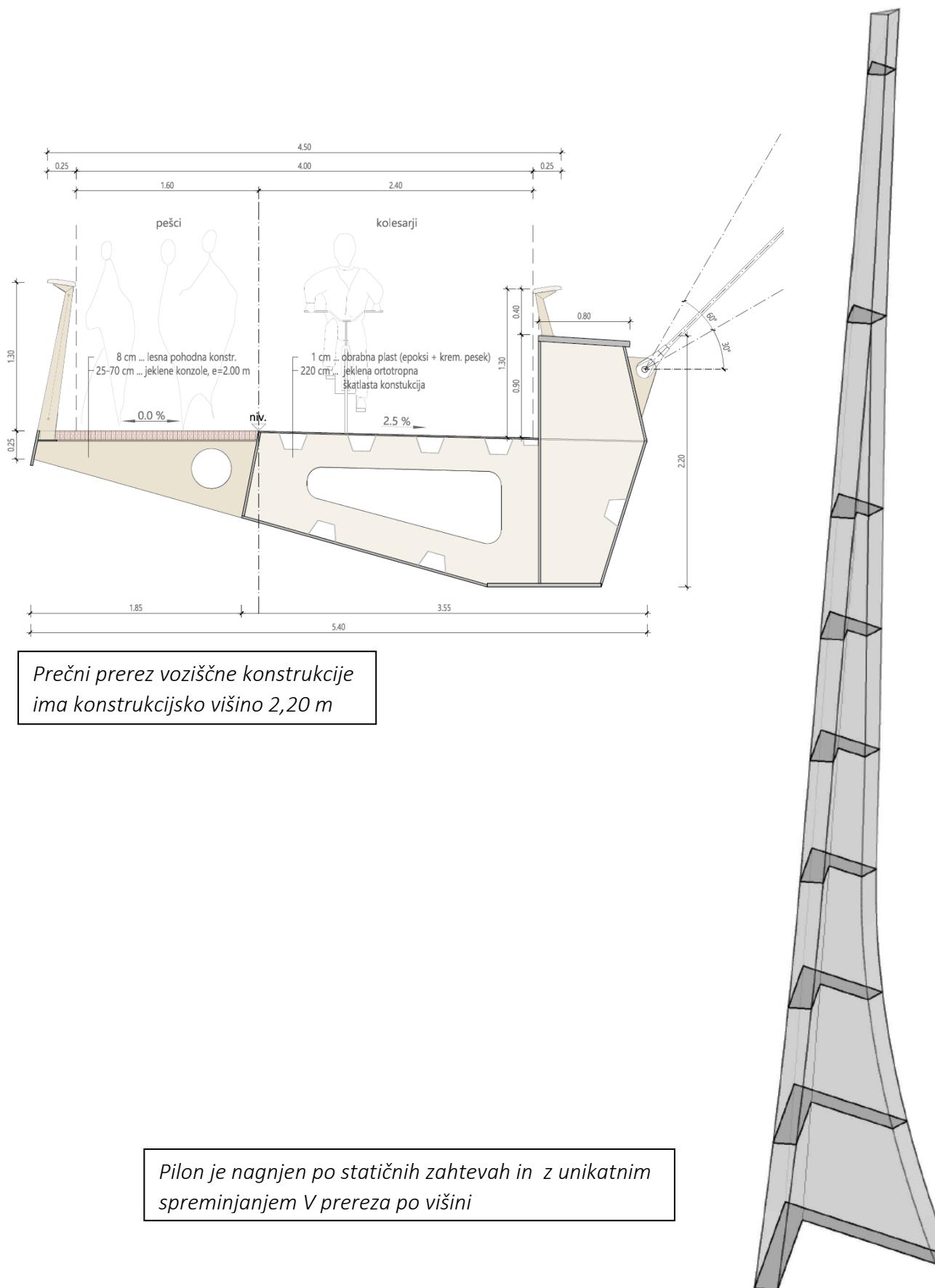
Konstrukcija Huzarske brvi po tipologiji spada med viseče konstrukcije z zakriviljeno osjo. Dolžina konstrukcije znaša 312 m merjeno po zakriviljeni osi (ravna linija znaša 290,75 m), celotna širina konstrukcije znaša 5,40 m, uporabna širina pa 4,00 m. Uporabna kvadratura mostu znaša  $312 \text{ m} \times 4,00 \text{ m} = 1.248 \text{ m}^2$ .

Glavni sestavni deli take konstrukcije so:

- pohodna, oz. voziščna greda;
- glavni nosilni kabli in vešalke (natezni sistem);
- pilon, ki je vertikalni tlačni nosilni element, ki daje nateznemu sistemu puščico in
- krajni oporniki, ki sodelujejo tudi pri prenosu nateznih sil.



Vzdolžni prerez konstrukcije in tloris



### Vaziščna greda

Ker je pilon postavljen na notranjo stran zakrivljenosti grede, le-ta zaradi horizontalne projekcije sil v vešalkah dobiva tlačne obremenitve. Greda za stalne obremenitev v uravnoveženem sistemu deluje podobno kot ločna konstrukcija za horizontalno smer, v vertikalni smeri pa kot kontinuirni sistem podprt z vešalkami v rastru 12 m. Za koristno obtežbo pešcev in kolesarjev pa deluje kot nosilec na elastični podlagi, ki jo predstavlja celoten natezni sistem.

Prečni prerez grede je sestavljen iz jeklene zaprte škatle skupne višine 2,20 m, ki je na zunanjem delu radija podaljšana s konzolami na rastru 2 m. Te konzole nosijo leseno površino rezervirano za pešce ter venec in ograjo na robu. Na notranji strani konstrukcije pa je dodano konstrukcijsko »nadvišanje« v višini 90 cm, ki služi za povečanje togosti voziščne grede in dviguje točko priključevanja vešalk, kar je ugodno za uravnavanje torzijskih vplivov v konstrukciji. Večja togost grede omogoča, da so vešalke razporejene večjem rastu, oz da jih je manj.

Skupna uporabna površina mostu med ograjama znaša 4,00 m, višina ograje je 1,30 skladno s pravilniki za kolesarje.

### Natezni kabelski sistem

Natezni kabelski sistem je sestavljen iz glavnih nosilnih kablov LCC 165 mm (locked coil cables), vešalk d 40 mm ter trajnih geotehničnih sider v obeh opornikih.

Glavna nosilna kabla sta dolžine 183 in 130 m, tipa LCC ter premera 165 m. Poševne vešalke dolžine od 6 do 53 m podpirajo gredo na rastru 12 m, kar statično ustreza elastično podprtji jekleni gredi konstrukcijske višine 2,20 m. Nagib vešalk se spreminja od 30 do 60 stopinj.

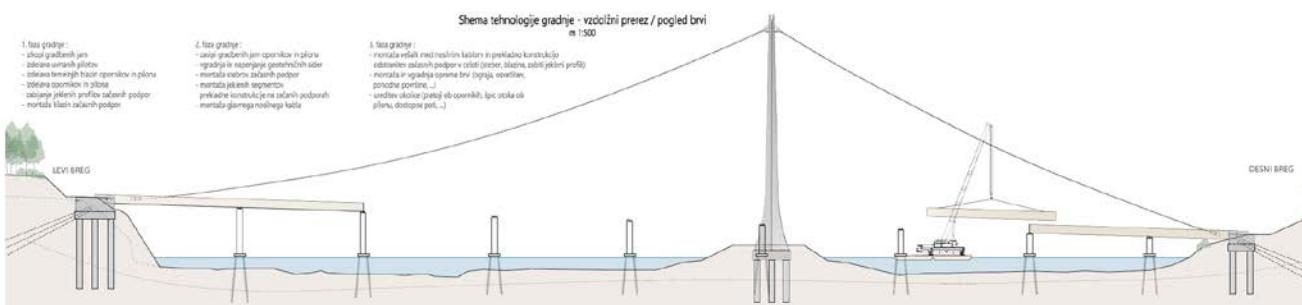
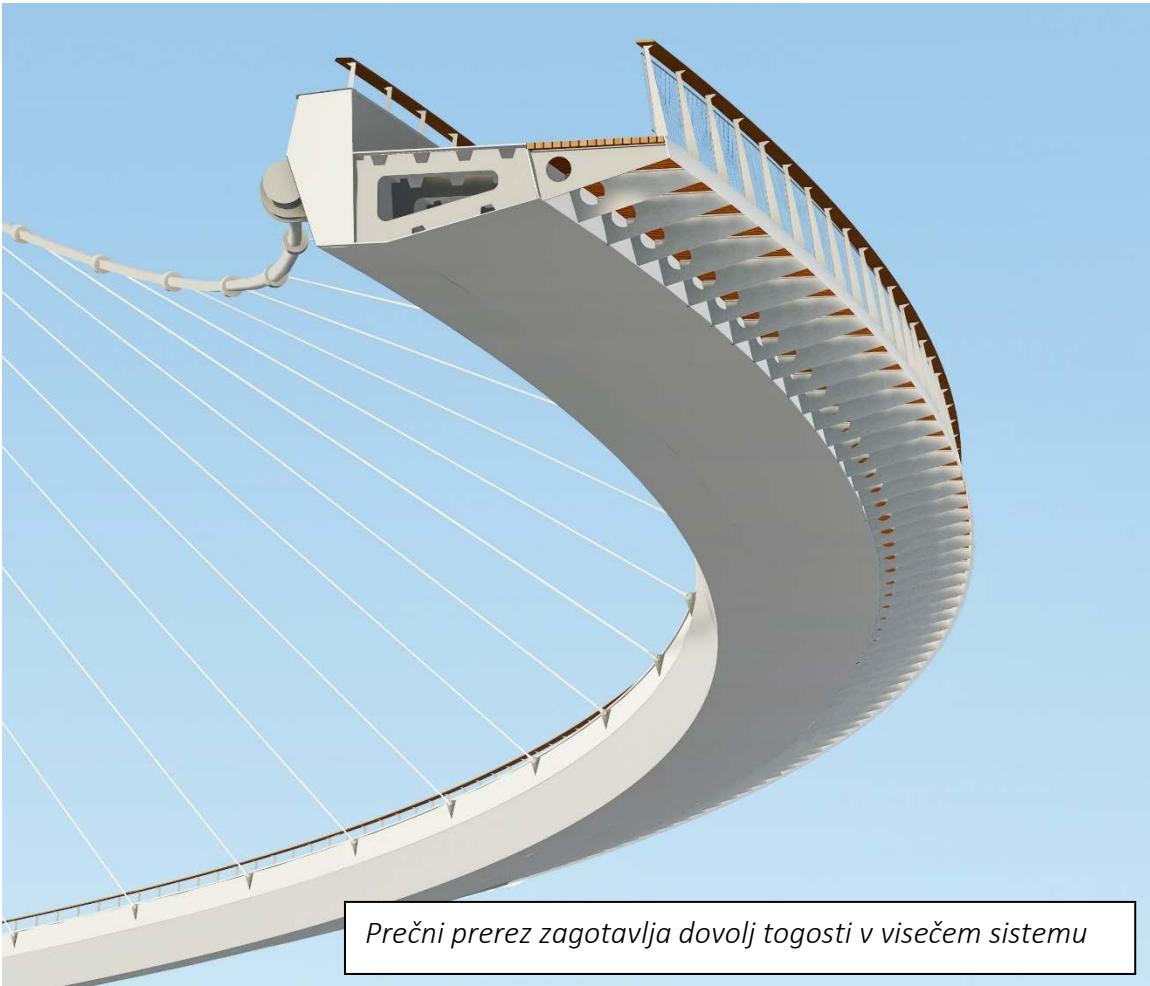
Razliko med natezno silo v glavnih kablih in tlačno silo v gredi morajo prevzeti oporniki s sistemom temeljenja na pilotih ter trajnimi geotehničnimi sidri.

### Pilon

Pilon je postavljen na sam gorvodni špic Mariborskega otoka, zato leži malce ekscentrično na celotni 312 m dolgi razpon. Lega je izbrana tako, da gradnja povzroči najmanj možne škode na naravo občutljivem področju, po gradnji pa se okolica sonaravno uredi. Pilon dviguje nosilni kabel 50 m nad niveleto, celotna višina pilona nad temeljem pa znaša 59 m.

Odločili smo se za konzolni pilon, ne pa za klasični členkasti pilon, ki bi bil držan še z dvema poševnima zategama. Razlog je varovanje narave, saj imamo temelj samo na eni lokaciji, namesto na treh. Pilon je prostorsko usmerjen – nagnjen v smeri rezultante sile obeh glavnih kablov, zato je pod stalno obremenitvijo tlačno obremenjen, pod ostalimi pa tudi upogibno.

Prečni prerez pilona je sestavljen iz dveh sten, ki tvorita trikotno V obliko, spodaj dimenzije 9 m, zgoraj pa 1,3 m / 1,5 m deltoidne oblike. Tako lahko prevzame horizontalne obtežbe, ki nastopajo ob nesimetrični (»šahovski«) obtežbi na pohodni gredi. Istočasno pa postane prepoznavni element, ki ga razlikuje od podobnih visečih mostov.



## Krajni oporniki in temeljenje

Pohodna greda je elastično vpeta v oba krajna opornika, kar pomeni da konstrukcija deluje kot integralna brez ležišč in dilatacije. Sprememba temperature se v večji meri izrazi kot prostorska deformacija grede, deloma pa v spremembni napetosti v gredi in v silah v opornikih. Razlog za to je zakriviljenost konstrukcije.

Krajna opornika sta sestavljena iz pilotov, ki segajo v nosilno osnovo ter iz trajnih geotehničnih sider. Višje ležeči opornik (levi breg) ima 6 pilotov d 150 cm dolžine 18 m, nižje ležeči pa 4 pilote dolžine 11 m. Pilon je temeljen na 12 pilotih d 150 cm dolžine 11 m.

## Materiali

Temeljenje s podporno konstrukcijo in pilonom je predvideno v armiranem betonu. Nosilna greda je varjena iz konstrukcijskega, kabli in vešalke pa so iz visokovrednega jekla.

Površina na mostu je predvidena kot kombinacija, v lesu za pešce ter v epoksi tlaku s peščenim posipom za kolesarje. Ograja se izdela iz pocinkanega ali nerjavnega jekla v kombinaciji z lesom. Območja okoli obeh opornikov se uredi v protiprašni zaščiti, enako kot je predvideno s projektom mariborske promenade. Za urbano oprema na počivališčih je uporabljen beton, les in nerjavno jeklo.

Tabela materialov s karakteristikami po veljavnih standardih je podana v statičnem izračunu.

## Tehnologija in faze gradnje

Organizacija gradbišča bo zahtevna, saj so dostopi do mostu precej omejeni. Na obeh bregovih bo potrebno urediti dostope za izvedbo pilotov in geotehničnih sider. Do podpornega mesta na otoku je možen dostop za gradbeno mehanizacijo le s plavajočimi platformami.

Temeljenje, oporniki in betonski pilon se gradijo na poznane načine za AB konstrukcije. Pilon višine 59 m se gradi v taktih po 4 m s premičnim opažem.

Jeklena konstrukcija brvi se izdela z varjenjem v delavnici v segmentih dolžine 12 m. Segmenti se pripeljejo na delovni plato za sestavljanje ob Dravi pri obstoječem mostu na otoku. Tam se sestavijo segmente dolžine 36 m (mase 68 ton), ki se s pontonom pripeljejo na lokacijo. Z dvigalom na platformi se ti elementi dvignejo na začasne podpore (jekleni jarmi) za sestavljanje v končno, dobrih 300 m dolgo konstrukcijo. Sledi pritrjevanje in aktiviranje (dvig) konstrukcije s pomočjo vešalk v načrtovanou lego. Za konec se izvede še montaža lesene pohodne površine ter ograje in razsvetljave.

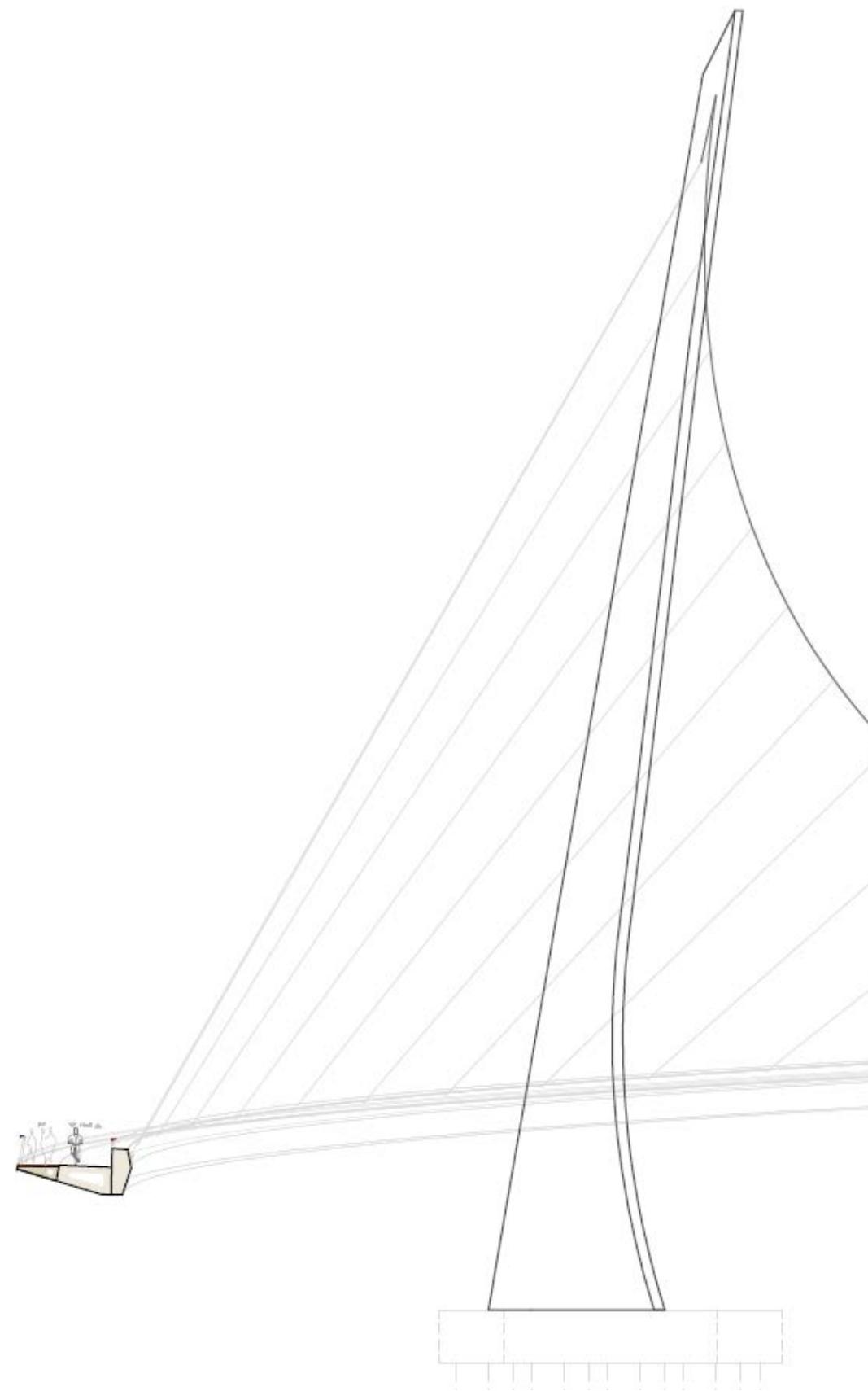
## Oprema

Zaradi integralnega koncepta, most nima ležišč in dilatacije.

Ovodnja je predvidena z izlivniki direktno v Dravo. Leseni del pohodne površine vode ne zbira, ampak prepušča padavinsko vodo, medtem ko na jeklenem delu zbiramo vodo ob notranjem delu ter jo na enakomernem rastru spuščamo skozi izlivnike v Dravo.

Razsvetljiva pohodna površina je diskretna z LED trakom iz ročaja. Na sredini mostu pa je predvidena mini meteorološka postaja (temperatura, hitrost vetra, merjenje pospeškov) za monitoring obnašanja konstrukcije.

Druge opreme na mostu ni, urbana oprema za funkcioniranje počivališč pri obeh opornikih je predvidena skladno z opremo na preostalem delu mariborske promenade.

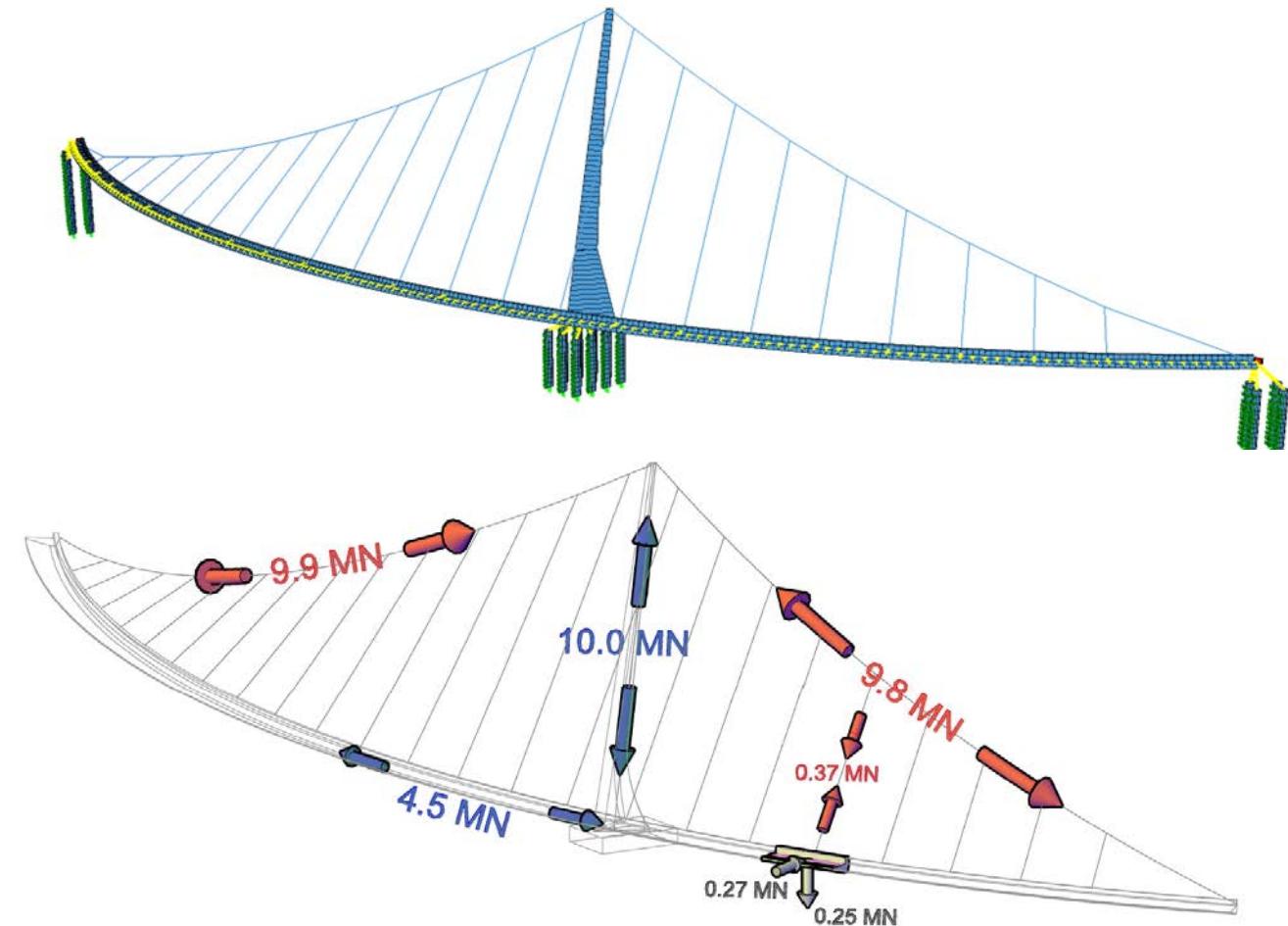


### Dokaz stabilnosti in mehanske odpornosti

je podan prilogi tekstualnega dela in izkazuje korektno zasnowo in izvedljivost.

Analiza pri visečih konstrukcijah poteka drugače kot pri običajnih konstrukcijskih mostnih sistemih kot so grede, okvirji ali ločne konstrukcije. Najprej je potrebno poiskati obliko, v kateri je sistem s podanimi robnimi pogoji v ravnotežju. To je še posebej zahtevno, kadar se kabli ne nahajajo v ravnini, ampak so prostorsko zakriviljeni. Šele nato sledi analiza ostalih vplivov.

Dodana je tudi kratka analiza nihanja in vibracij. Viseči mostovi z velikimi razponi so največkrat podvrženi prečnemu nihanju zaradi vetra ali vzbujanja pešcev pri usklajenem t.i. »mornarskem« koraku. Pri konstrukciji v horizontalnem loku ta riziko ni tako izrazit, saj se prečni premiki prenašajo v osno silo. Mnogokrat je težko zelo natančno opredeliti dinamično obnašanje konstrukcije vnaprej, se pa morebitne težave lahko rešujejo na gredi s TMD napravami (Tuned Mass Damper), na kablih pa s podkvastimi dušilci (Stockbridge Damper). Kontrola vibracij ne izkazuje potrebe po dodatnih ukrepih.



Zgoraj: Računski model konstrukcije

Spodaj: Globalni prenos sil v nosilnem sistemu:

- Modro – tlačne sile
- Rdeče – natezne sile

POPIS UREDITEV NA NATEČAJNEM OBMOČJU - kvadrature z oceno investicijske vre kratki OPIS - predvideni poseg						OCENJENA VREDNOST
BRV						
zap.št.	UREDITEV IN VRSTA DEL	količina	enota		cena/enota	cena
1	pred dela, zemeljska dela in temeljenje	1	kos	izkopi: 1650m <sup>3</sup> piloti: 284m <sup>1</sup> pilotne blazine: 521m <sup>3</sup>	10 €/m <sup>3</sup> 500 €/m <sup>1</sup> 426 €/m <sup>3</sup>	380.446,00
2	levobrežni krajni opornik	1	kos	opornik: 200m <sup>3</sup> geotehnična sidra: 400m <sup>1</sup>	450 €/m <sup>3</sup> 170 €/m <sup>1</sup>	158.000,00
3	desnobrežni krajni opornik	1	kos	opornik: 90m <sup>3</sup> geotehnična sidra: 240m <sup>1</sup>	450 €/m <sup>3</sup> 170 €/m <sup>1</sup>	80.100,00
4	opornik na otoku - pilon	1	kos	pilon: 290m <sup>3</sup>	614 €/m <sup>3</sup>	178.060,00
5	konstrukcija brvi	1685	m <sup>2</sup>	jeklena konstrukcija: 603720kg nosilni kabli: 48515kg vešalke: 5887kg	5,5 €/kg 20 €/kg 20 €/kg	4.408.500,00
6	"voziščna" (pohodna konstrukcija z zaključnim slojem) konstrukcija	1358	m <sup>2</sup>	lesena konstrukcija: 593m <sup>2</sup> obrabna plast: 765m <sup>2</sup>	120 €/m <sup>2</sup> 40 €/m <sup>2</sup>	101.760,00
7	odvodnjavanje	324	m <sup>1</sup>		25 €/m <sup>1</sup>	8.100,00
8	oprema brvi	1	kos	ograda: 630m <sup>1</sup> osvetlitev: 312m <sup>1</sup>	220 €/m <sup>1</sup> 100 €/m <sup>1</sup>	169.800,00
9	drugo - vpiši	1	kos	tehnologija gradnje		1.400.000,00
				SKUPAJ		6.884.766,00
<b>DESNI BREG - POČIVALIŠČE (razgledišče)</b>						
zap.št.	UREDITEV IN VRSTA DEL	količina	enota		cena/enota	cena
1	tlakovanje	250	m <sup>2</sup>	protiprašna zaščita	60 €/m <sup>2</sup>	15.000,00
2	urbana oprema	1	kos	klop s kolesarnico: 15m <sup>1</sup>	600 €/m <sup>1</sup>	9.000,00
3	druga ureditev počivališča - zasaditve, ograje itd.	1	kos	ograda: 40m <sup>1</sup>	220 €/m <sup>1</sup>	8.800,00
4	drugo - vpiši	1		oporni zid: 42,5m <sup>1</sup>	2000 €/m <sup>1</sup>	85.000,00
				SKUPAJ		117.800,00
<b>LEVI BREG - POČIVALIŠČE (razgledišče), morebitne KLANČINA IN NOVONAST</b>						
zap.št.	UREDITEV IN VRSTA DEL	količina	enota		cena/enota	cena
1	tlakovanje	200	m <sup>2</sup>	protiprašna zaščita	60 €/m <sup>2</sup>	12.000,00
2	urbana oprema	1	kos	klop s kolesarnico: 15m <sup>1</sup>	600 €/m <sup>1</sup>	9.000,00
3	druga ureditev počivališča - zasaditve, ograje itd.	1	kos	ograda: 30m <sup>1</sup>	220 €/m <sup>1</sup>	6.600,00
4	drugo - vpiši			oporni zid: 35m <sup>1</sup>	2000 €/m <sup>1</sup>	70.000,00
5	voziščna konstrukcija (klančina, povezava na obstoječo p	250	m <sup>2</sup>			8.750,00
6	odvodnjavanje	50	m <sup>1</sup>			5.000,00
7	oprema in varovanje poti	1	kos	klop: 16m <sup>1</sup> ograda na razgledišču: 20m <sup>1</sup>	450 €/m <sup>1</sup> 220 €/m <sup>1</sup>	11.600,00
8	ureditev in odvodnjavanje brežin	1	kos			4.000,00
9	zasaditve brežin	1	kos			4.000,00
10	varovanje brežine proti reki	1	kos			25.000,00
				SKUPAJ		155.950,00
				SKUPAJ		7.158.516,00

### Investicijska vrednost in čas gradnje

Natančno oceno investicije je danes zelo težko narediti, saj se cene materialov in opreme zaradi razmer na trgu hitro spreminjajo.

Most ima neto kvadraturo 312 m x 4 m = 1248 m<sup>2</sup>, priključni dostopi s počivališči in razgledišči pa skupaj 700 m<sup>2</sup>.

Po priloženih postavkah in predračunu znaša ocena investicije:

Most	6.884.766 Eur (5.517 Eur/m <sup>2</sup> mostu)
Ureditev levi breg	155.950 Eur
Ureditev desni breg	117.800 Eur
<b>Skupaj</b>	<b>7.158.516 Eur (5.736 Eur/m<sup>2</sup> mostu)</b>

Ocenujemo, da je mogoče pripraviti projektno dokumentacijo (IDZ, mnenja, IDP, DGD, gradbeno dovoljenje, PZI in razpisno dokumentacijo) v enem letu in pol, enak čas letu in pol pa bo potrebno tudi za izgradnjo tega mostu.

### ZAKLJUČEK »Huzarski lok« - svetovni rekord

Največji most takega tipa (Mono-cable Suspension Bridge) je leta 2020 odprt Hemei Bridge na Kitajskem z nosilnim razponom 217 m. Most »Huzarski lok« z razponom 312 m bi precej prekosil trenutnega rekorderja. Kako smo to dosegli?

- Povečali smo togost grede z dodatnim bočnim delom, ki poviša konstrukcijsko višino na 2,20 m.
- Togi betonski pilon ima manjše deformacije in s tem zmanjšuje tudi deformacije pohodne površine.
- Integralno povezana opornika prenašata natezne sile s kombinacijo pilotov in trajnih geotehničnih sider.

Most s svojo zasnovno istočasno nagovarja in rešuje problematiko umestitve v prostor, prometno problematiko, vprašanje oblikovnega in likovnega pristopa, kakor tudi konstrukcijsko varnost in uporabnost. Dobesedno krožna promenada zagotavlja zvezno in varno prometno povezavo, s svojimi mehkimi krivuljami nagovarja naravno oblikovane rečne brežine. Drzna prostorska konstruktorska rešitev, kljub rekordnemu razponu, zagotavlja udobno uporabo.

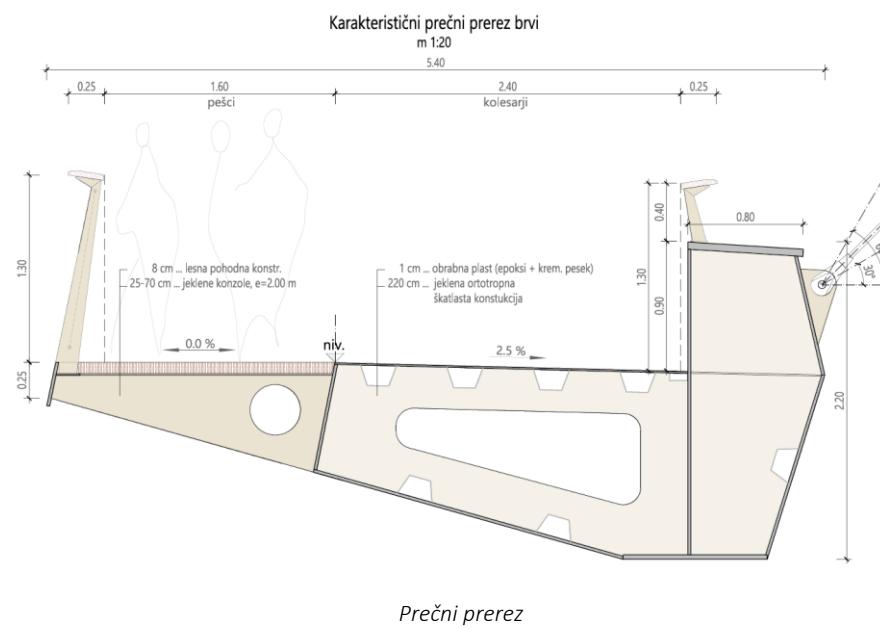
S togom trikotno oblikovanim pilonom se dotaknemo samo rta Mariborskega otoka, s čimer ohranjamo naravo na otoku v največji možni meri. Hkrati pa dobimo unikatno prepoznavno silhueto visečega zakriviljenega mostu. Novi atraktivni in rekordni most ne bo samo povezoval obeh bregov, ampak lahko, zaradi izjemne naravne in kulturne lokacije, povzroči tako imenovani bilbao efekt v razvoju, vsekakor pa bo nova dodana vrednost mesta Maribor.



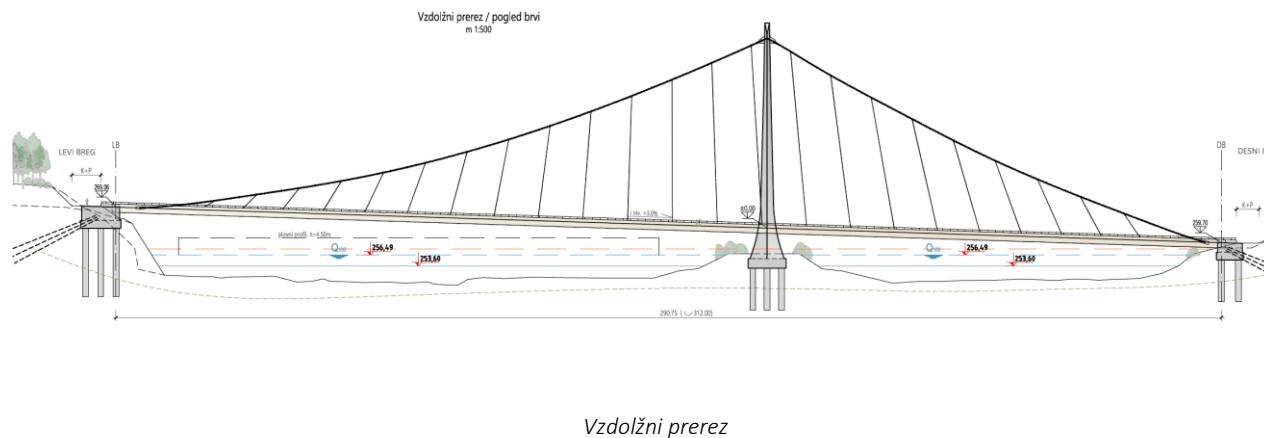
## IZVLEČEK STATIČNE IN DINAMIČNE ANALIZE

### 1.0 ZASNOVA

Natečajna rešitev je zasnovana kot viseča brv na glavnih nosilnih kablih z zakriviljeno oblikovano jekleno prekladno konstrukcijo ter pilonom, ki je lociran na območju Mariborskega otoka. Dolžina brvi po osi nivelete znaša 312 m, svetla širina je 4,00 m, skupna širina pa znaša 5,40 m. Glavni nosilen sistem brvi predstavlja kabela LCC 165, na katera je preko vešalk D 40 mm ( $e=12\text{m}$ ) obešena prekladna konstrukcija. Prekladna konstrukcija je zakriviljen jeklen škatlast nosilec trapezne oblike, višine 2,20 m, ki je na območju opornikov elastično vpet. Obremenitve se v temeljna tla prenašajo preko pilotov in geotehničnih sider. V uravnoteženem sistemu za stalne obremenitve greda deluje kot ločna konstrukcija v horizontalni smeri, medtem ko v vertikalni smeri, zaradi sistema glavnih nosilnih kablov in vertikalnih vešalk, deluje kot nosilec na elastični podlagi.



Konzolni pilon je postavljen na gor vodni del Mariborskega otoka ter posledično leži malce ekscentrično glede na celotni razpon 312 m. Nosilni kabel se dviguje nad niveleto za 50 m. Prečni prerez pilona predstavlja dve steni, ki tvorita trikotno obliko, saj je na ta način možno prevzeti nesimetrične koristne obtežbe na pohodni gredi.



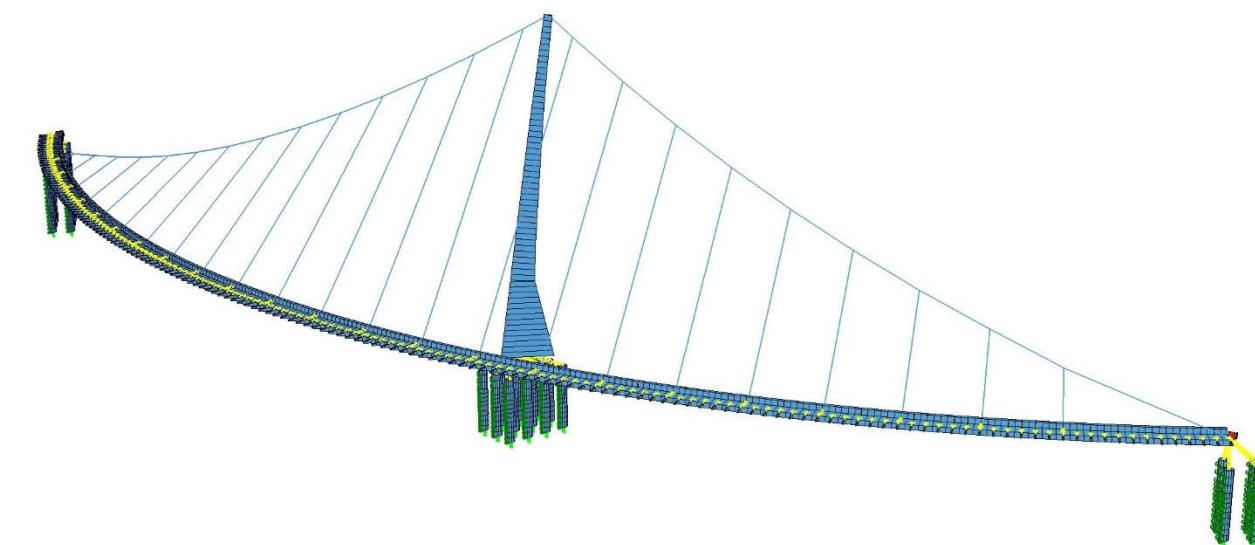
Konstrukcija je sestavljena iz naslednjih elementov:

- Jeklena prekladna konstrukcija, jeklo kvalitete S 355 oz. na mestu vpetja S 460
  - zgornja pasnica nosilca  $t = 40-50 \text{ mm}$
  - spodnja pasnica  $t = 30-40 \text{ mm}$
  - stojine  $t = 16-25 \text{ mm}$
  - vzdolžne ojačitve  $t = 6 \text{ mm}$
  - prečne ojačitve  $t = 16 \text{ mm}$
- Glavni nosilni kabli LCC 165, material kvalitete  $f_{u,k} = 1570 \text{ MPa}$
- Vešalke D 40 mm, material kvalitete  $f_{u,k} = 1570 \text{ MPa}$
- Pilon, beton C 50/60
- Piloti  $d=150\text{cm}$ , beton C 30/37
- Pilotne blazine in oporniki, beton C 30/37
- Geotehnična sidra, kvaliteta sider  $f_{pk} / f_{p0,1k} = 1860/1600 \text{ MPa}$

Greda je v temeljna tla elastično vpeta, pri čemer se obremenitve prenašajo preko pilotov  $d=150\text{cm}$  (6 pilotov  $L=18\text{m}$  na levem oporniku oz. 4 piloti  $L=11\text{m}$  na desnem oporniku) ter geotehničnih sider.

Konstrukcija je analizirana kot prostorska linijska konstrukcija. Statičen model je opisan z upoštevanjem dejanske geometrije konstrukcije in dejanskimi karakteristikami uporabljenih materialov. Pri modeliranju zemljine in hribine so bili podatki povzeti iz natečajnih prilog (geološke in hidrogeološke razmere ter sestava tal). Analiza in dimenzioniranje konstrukcije so bili izvedeni skladno z veljavnimi Evrokod standardi ter priporočili za mostove namenjene pešcem in kolesarjem. Izvedena je bila celotna analiza po mejnem stanju nosilnosti (kombinacije za stalna in potresna stanja) ter po mejnem stanju uporabnosti. Analiza vsled potresnih obremenitev ni bila merodajna za noben glavni element konstrukcije.

Statična in dinamična analiza je bila izvedena s pomočjo programskega paketa SOFISTIK. Na spodnji sliki je prikazan model za analizo konstrukcije. Za kontrolo prečnih prerezov pilona se je uporabil program Fagus.



Računski model konstrukcije

## 2.0 OBTEŽBE

## 2.1 STALNA TEŽA

## Lastna teža konstrukcije

Lastna teža konstrukcije je upoštevana v skladu z dejanskimi karakteristikami prečnih prerezov in upoštevanjem specifične teže  $\gamma_f = 78,5 \text{ kN/m}^3$  za jeklo oz.  $\gamma_b = 25,0 \text{ kN/m}^3$  za beton ( $G_{LT} = A \times \gamma$ ). Ob upoštevanju konzol ter dodatnih vzdolžnih in prečnih ojačitev znaša teža jeklene konstrukcije na  $m' G_{LT} = 19,35 \text{ kN/m}'$ .

## Krov

	$G_{krov} [\text{kN/m}']$
ograda	$0,40 + 0,20 = 0,60 \text{ kN/m}'$
obrabna plast	$0,49 \text{ kN/m}'$
lesena pohodna konstrukcija	$0,70 \text{ kN/m}'$
morebitne inštalacije	$0,30 \text{ kN/m}'$
	$\Sigma = 2,09 \text{ kN/m}'$

## 2.2 PROMETNA OBTEŽBA

Pri določanju prometne obtežbe je upoštevana obtežna shema po SIST EN 1991-2.

## Vertikalna obtežba

- Zvezna obtežba

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L + 30}; \quad 2,50 \leq q_{fk} \leq 5,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{312 + 30} = 2,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow \text{upoštevamo } 2,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

V statičnem računu upoštevamo  $2,50 \text{ kN/m}^2$  oz.  $10,0 \text{ kN/m}'$ . Upoštevane so bile različne postavitve obtežb, gledano vzdolž konstrukcije kot tudi prečno glede na prerez.

- Servisno vozilo

Upoštevana obtežba intervencijskega vozila  $80\text{kN}$ , ki pa ni bila merodajna za dimenzioniranje globalne konstrukcije in v nadaljevanju ne bo posebej prikazana.

## Horizontalna obtežba

Horizontalna sila znaša 10% vertikalne zvezne obtežbe oz. 60% obtežbe servisnega vozila.

$$Q_{flk1} = 0,1 \times (4,00 \times 312,0 \times 2,50) = 312,0 \text{ kN}$$

$$Q_{flk2} = 0,6 \times 80,0 = 48,0 \text{ kN}$$

Merodajna obtežba je  $Q_{flk1} = 312 \text{ kN}$ .

## 2.3 TEMPERATURNI OBTEŽBA

Za lokacijo objekta sta bili upoštevani maksimalni temperaturi  $T_{max} = 38,7^\circ\text{C}$  oziroma  $T_{min} = -23,1^\circ\text{C}$ .

Enakomerna temperaturna spremembra		Neenakomerna temperaturna spremembra	
$\Delta T_{N,exp}$	$\Delta T_{N,con}$	$\Delta T_{M,heat}$ (zgoraj topleje)	$\Delta T_{M,cool}$ (spodaj topleje)
+46,3°C	-38,3°C	18,0°C	13,0°C

## Kombinacija linearne in nelinearne temperature

$$\Delta T_M + \omega_N \cdot \Delta T_N \quad \text{oz.} \quad \Delta T_N + \omega_M \cdot \Delta T_M \quad \text{pri čemer znašata faktorja } \omega_N = 0,35 \text{ in } \omega_M = 0,75.$$

## 2.4 OBTEŽBA VETRA

## Podatki o lokaciji:

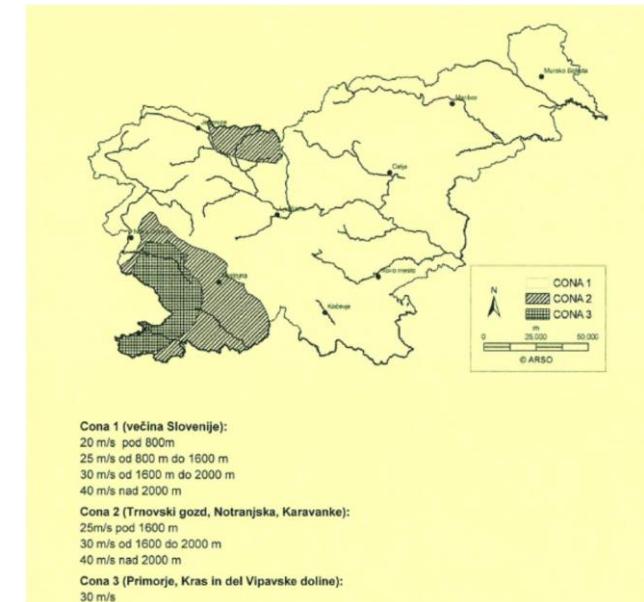
- nadmorska višina < 800 m
- cona 1
- osnovna hitrost vetra  $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$

## Kategorija terena II:

- $z_0 = 0,05$
- $z_{min} = 2,0 \text{ m}$

## Rezultirajoča sila vetra:

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum c_f \cdot g_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



## Obtežba vetra na prekladno konstrukcijo:

$$F_{w,x} = c_s c_d \cdot \sum c_f \cdot g_p(z_e) \cdot A_{ref} = 3,30 \text{ kN/m}'$$

$$F_{w,z} = c_s c_d \cdot \sum c_f \cdot g_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,94 \text{ kN/m}'$$

## 2.5 OBTEŽBA SNEGA

Podatki o lokaciji:

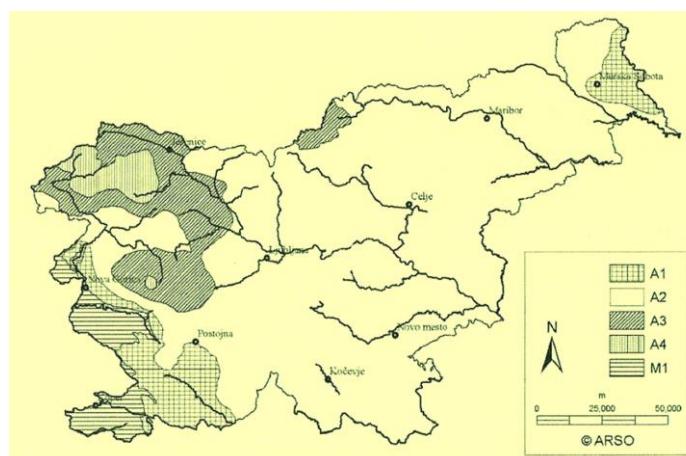
- nadmorska višina 264 m n.v.
- cona A2

Karakteristična obtežba snega v coni A2:

$$s_k = 1,293 \cdot [1 + (A/728)^2]$$

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

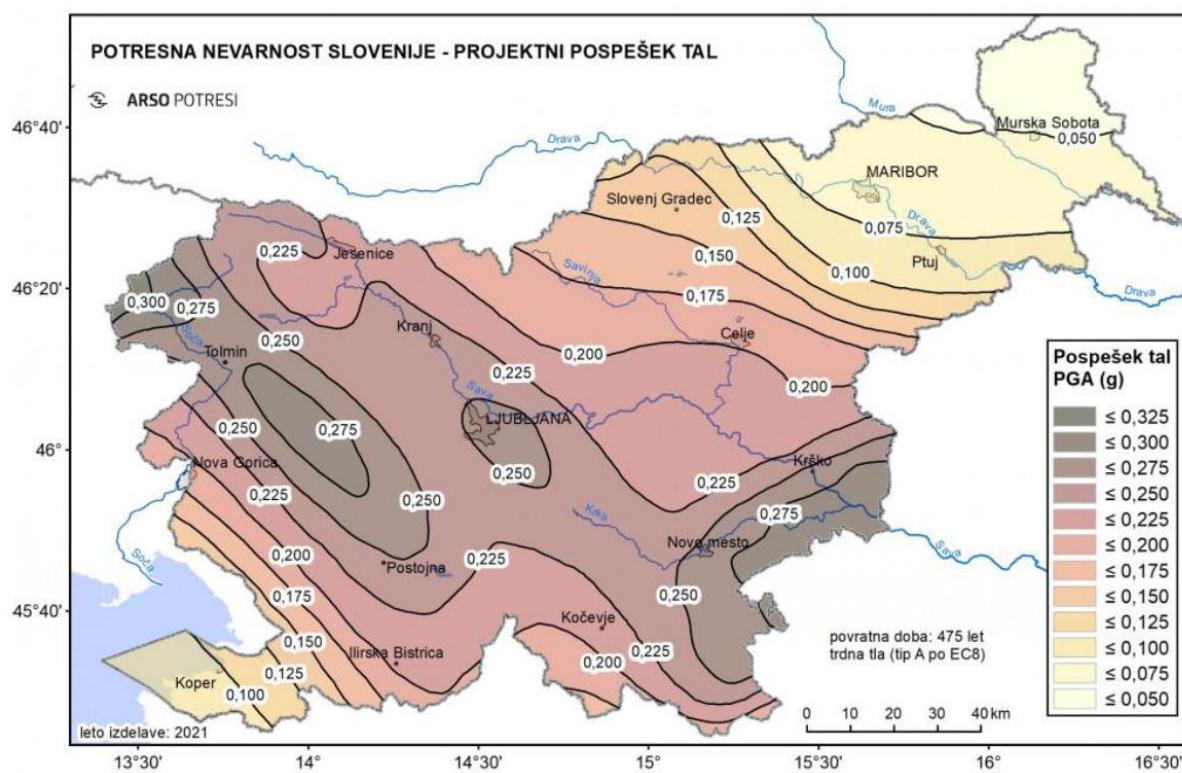
$$F_s = s \cdot B = 7,89 \text{ kN/m}^2$$



Obtežba snega ni bila merodajna za analizo konstrukcije.

## 2.6 POTRES

Podatki za analizo so bili povzeti po natečajni nalogi. Obravnavano območje je uvrščeno v 6. stopnji seizmične intenzitete po EMS lestvici. Karta projektnega pospeška tal za trdna tla za povratno dobo 475 let je uradna karta potresne nevarnosti Slovenije. Za Maribor znaša projektni pospešek tal 0,075 (g).



Nova karta projektnih pospeškov tal

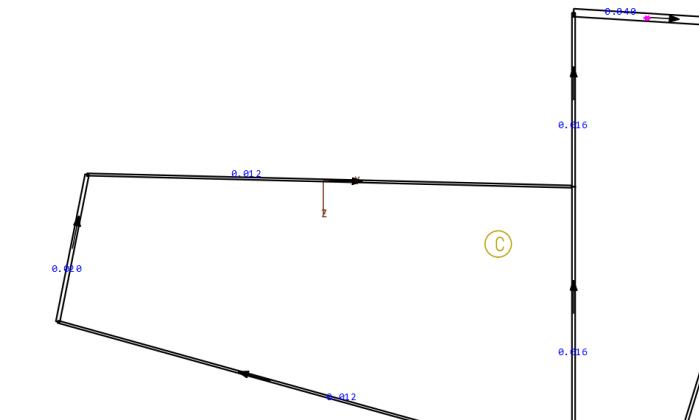
Opravljena je bila osnovna dinamična analiza konstrukcije. Za dimenzioniranje na upogibne obremenitve se je za pilon upošteval faktor obnašanja  $q=2,1$ , medtem ko se je analizo preostalih elementov konstrukcije upošteval faktor obnašanja  $q=1,0$ . Potresne obremenitve niso bile merodajna za dimenzioniranje glavnih elementov obravnavane konstrukcije.

## 3.0 MATERIALI

- konstrukcijsko jeklo: jeklena prekladna konstrukcija S 355 oz. S 460 J2
- beton: piloti in pilotne blazine C 30/37
- oporniki C 30/37
- pilon C 50/60
- armaturno jeklo: jeklo za armiranje B 500B
- nosilni kabli: kabli LCC 165  $f_{u,k} = 1570 \text{ MPa}$
- vešalke D 40  $f_{u,k} = 1570 \text{ MPa}$
- geotehnična sidra: geotehnična sidra 4x0,62"  $f_{pk}/f_{p0,1k}=1860/1600 \text{ MPa}$

## 4.0 PREČNI PREREZ PREKLADNE KONSTRUKCIJE

Preklado predstavlja zaprt jeklen škatlast prerez trapezne oblike ter višine 2,20m. Širina prereza znaša 3,55m (skupaj s konzolami 5,40 m). Zaradi podpiranja z vešalkami na rastru 12,0 m je preklada kot nosilec na elastični podlagi, ki je na območju opornikov elastično vpet. Zaprt škatlast nosilec sodeluje pri prevzemu upogibnih (vertikalnih in prečnih) ter torzijskih obremenitev.

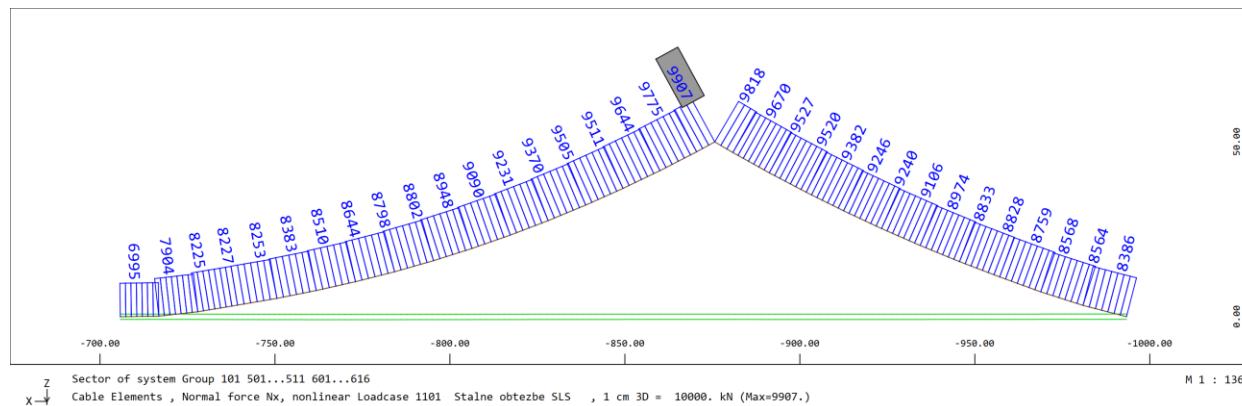
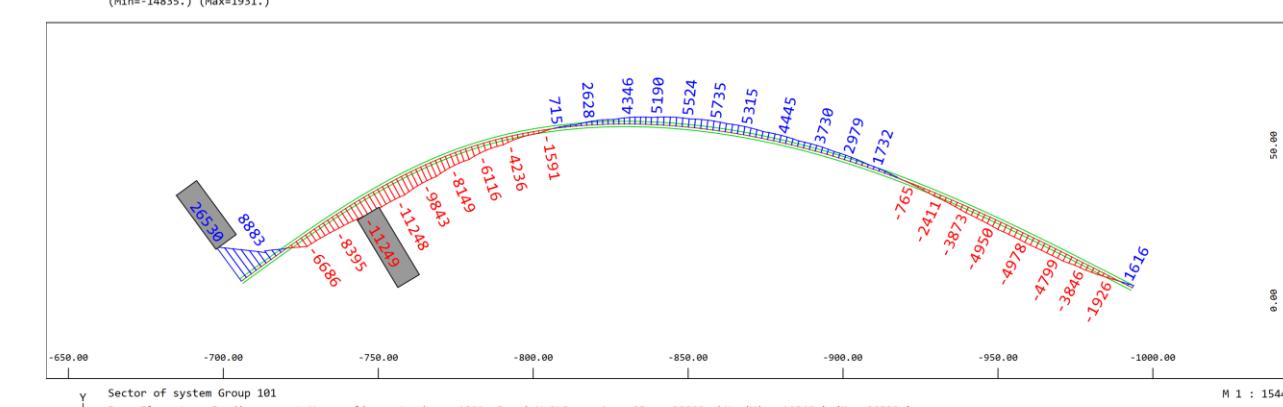
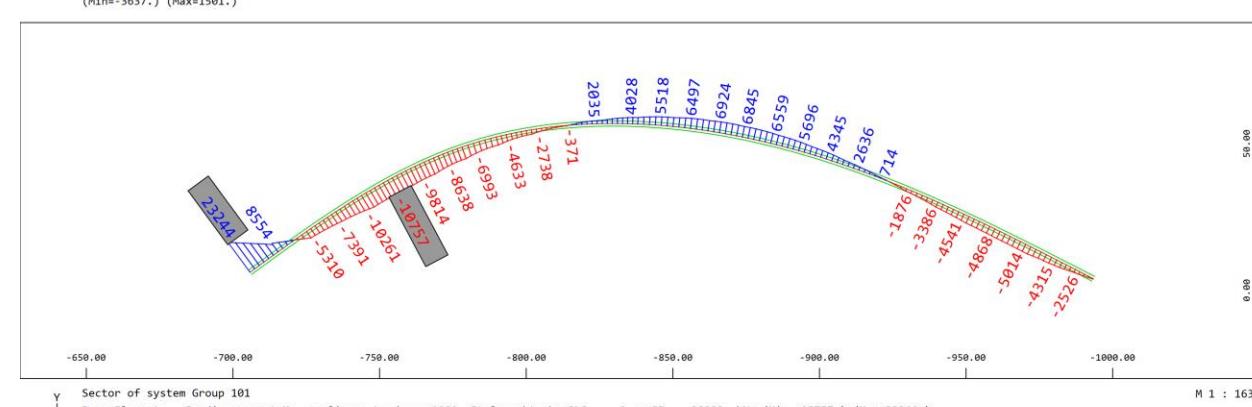
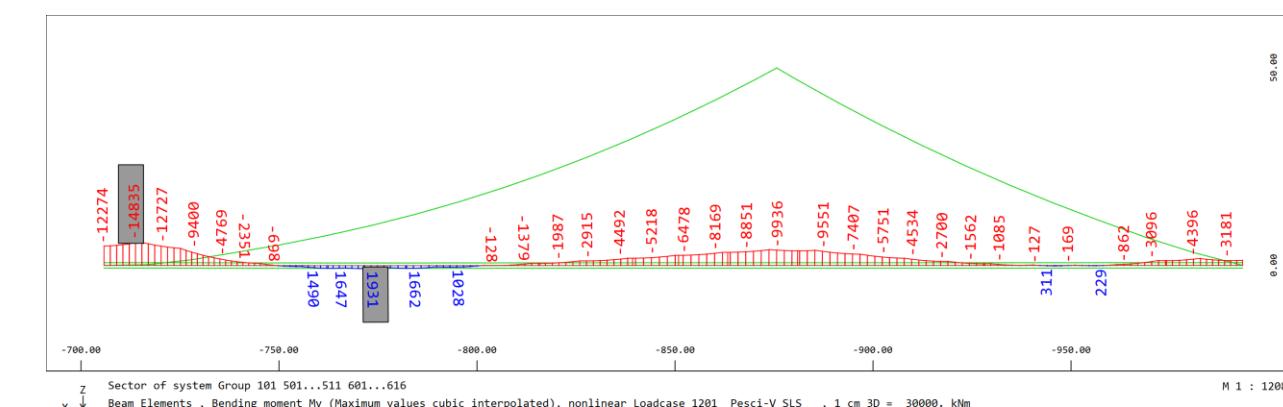
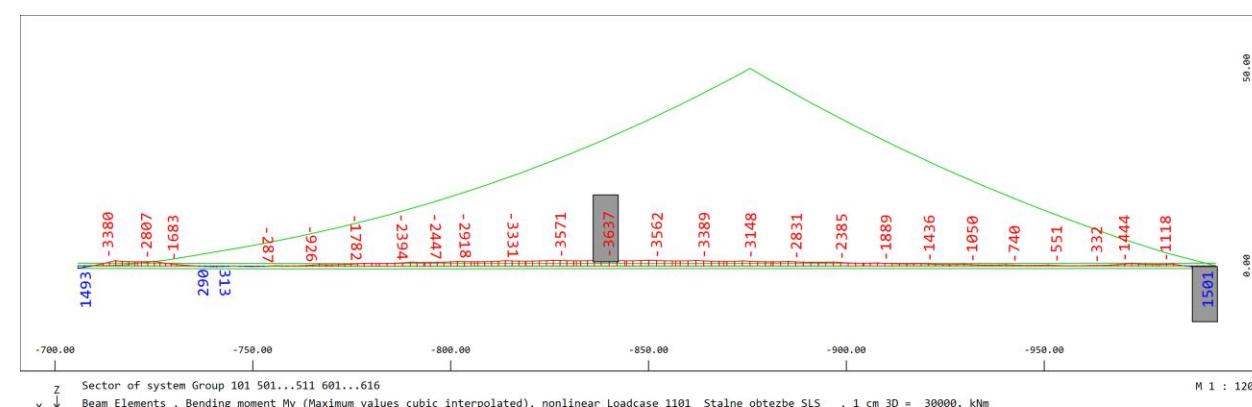
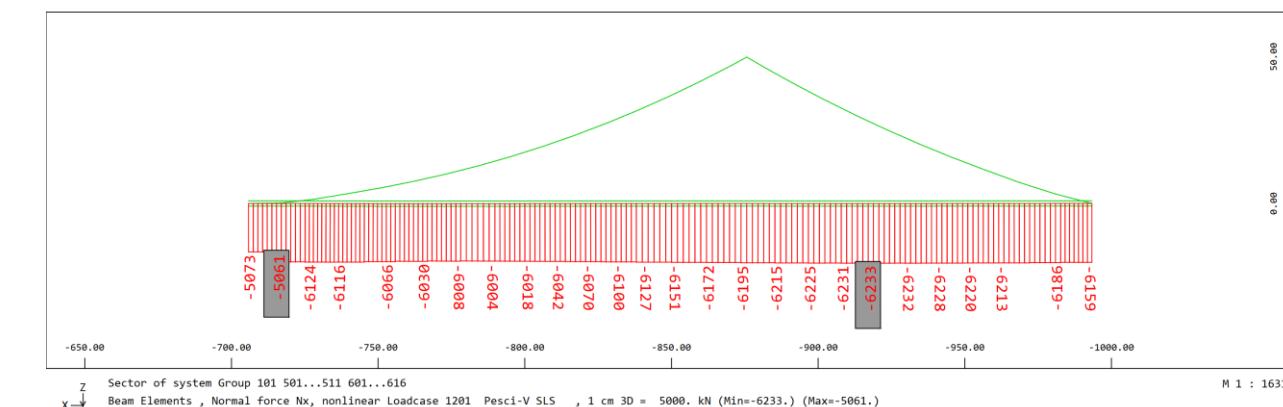
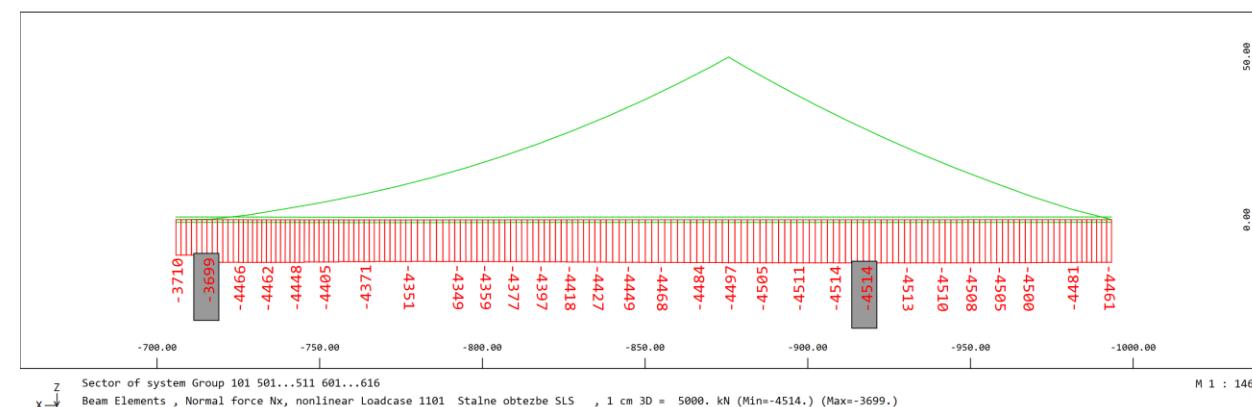
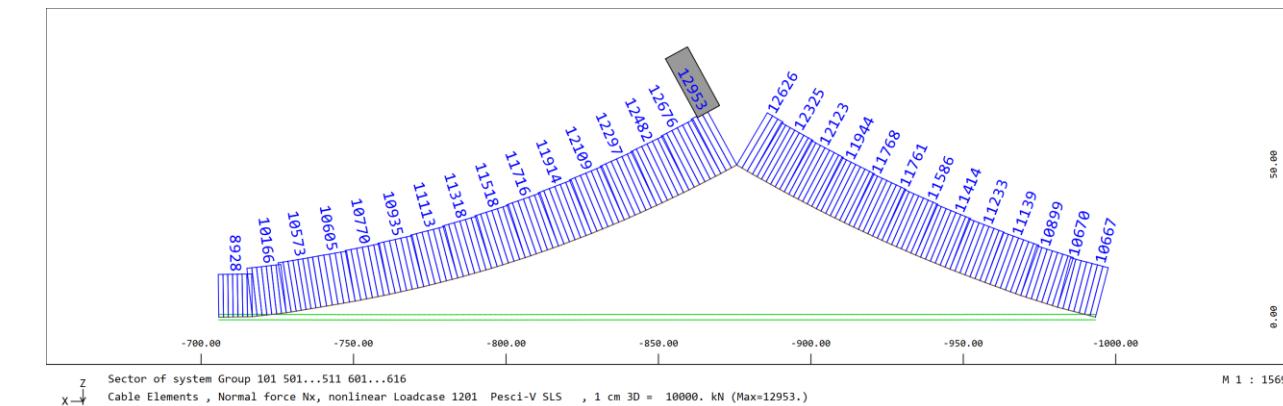


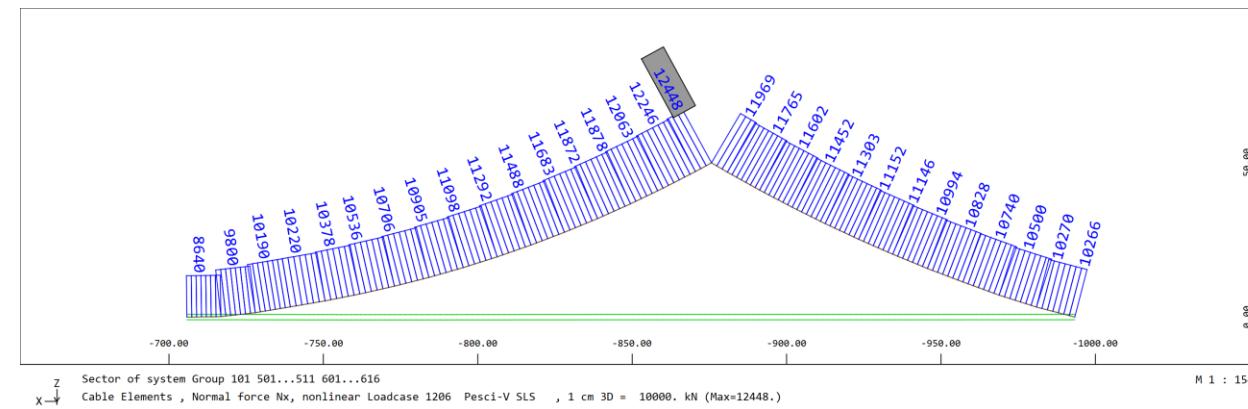
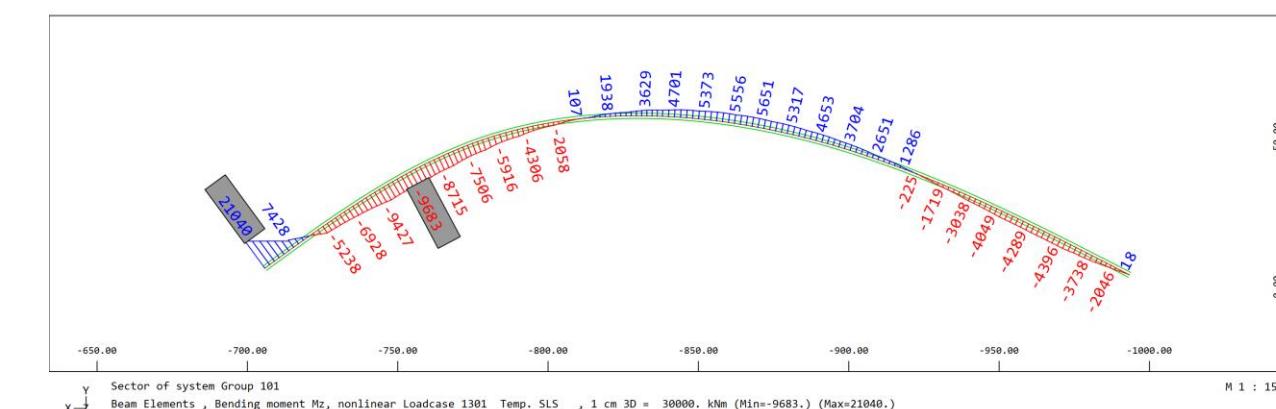
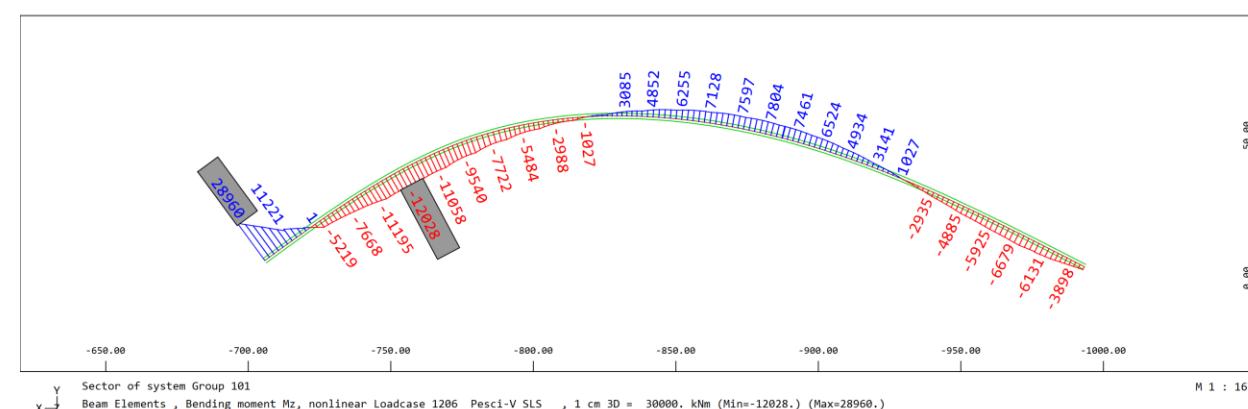
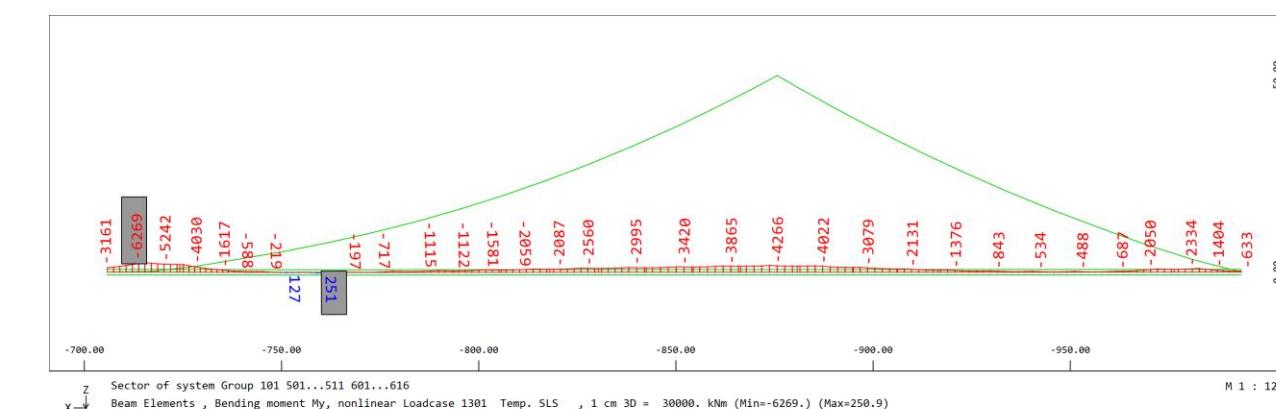
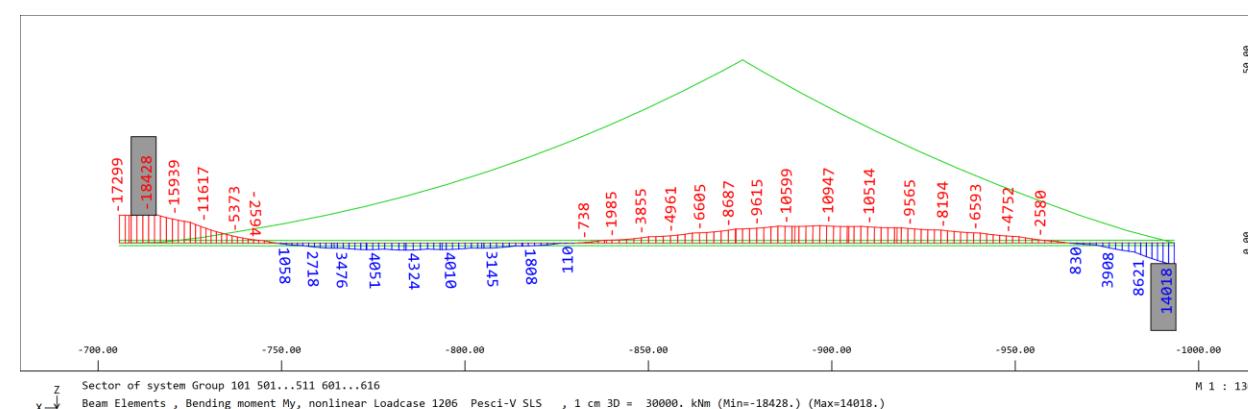
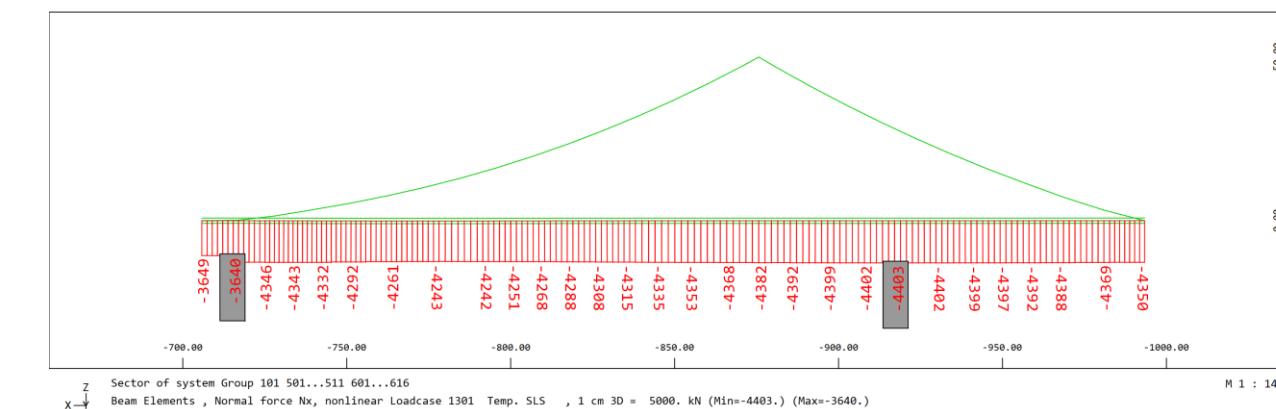
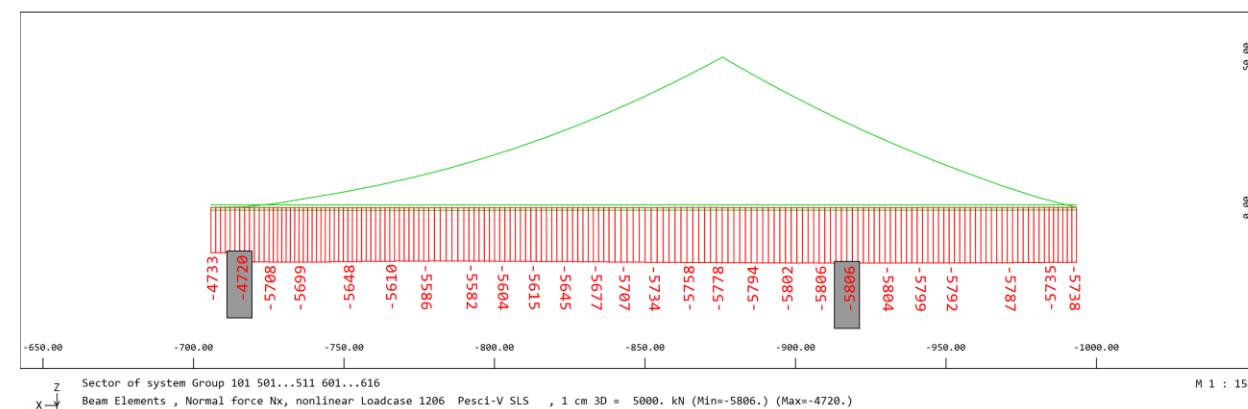
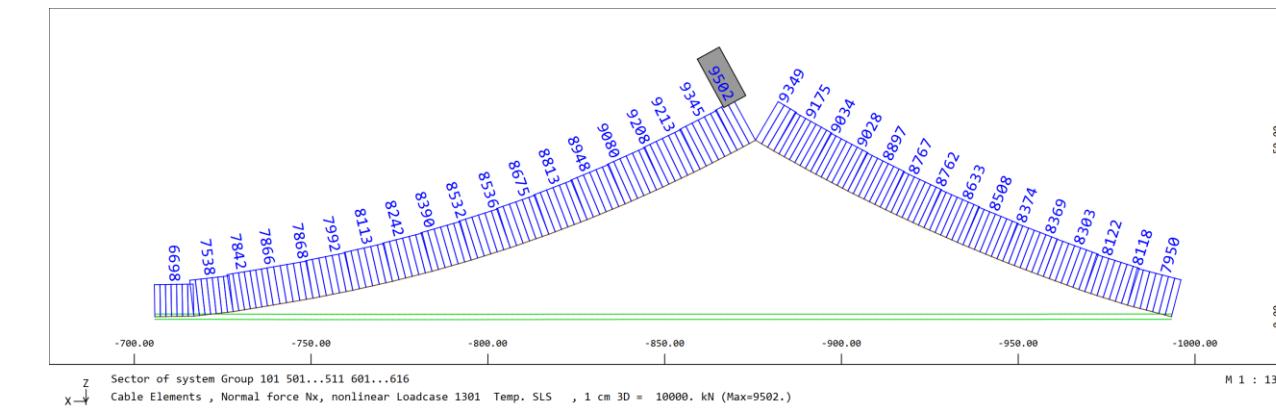
Static properties of cross section

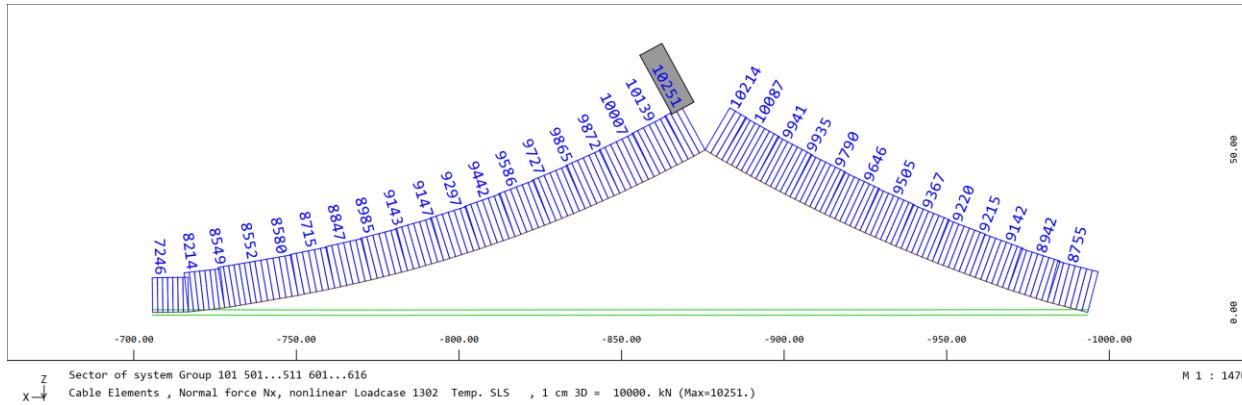
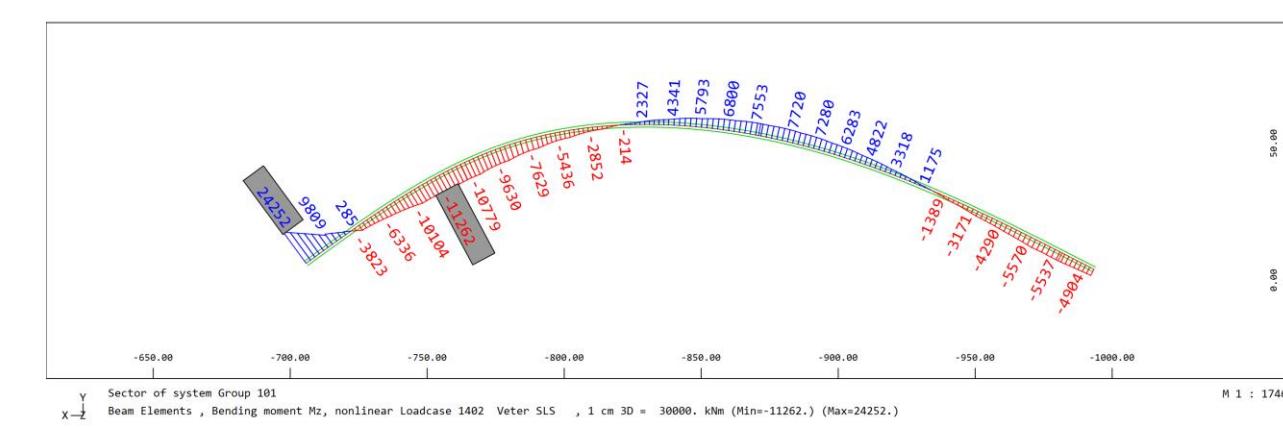
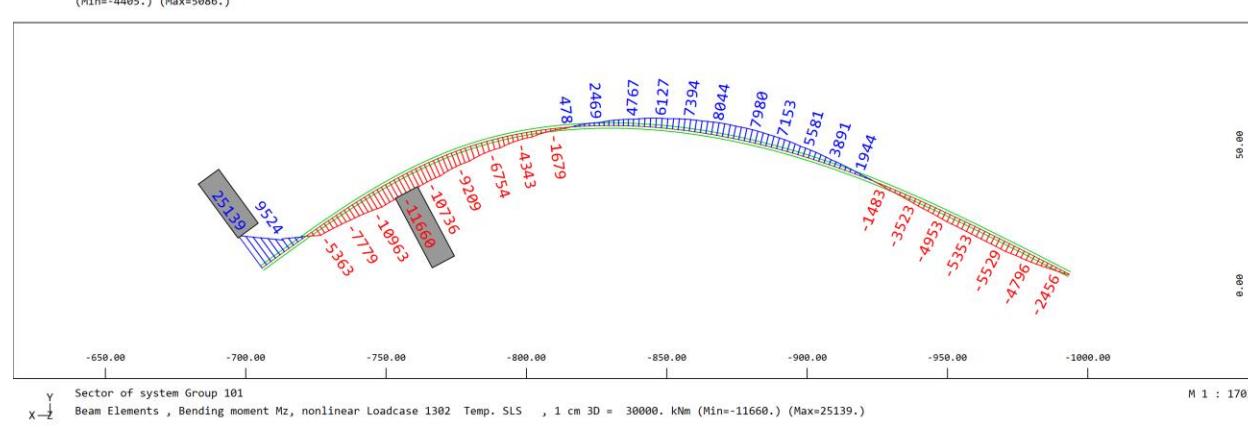
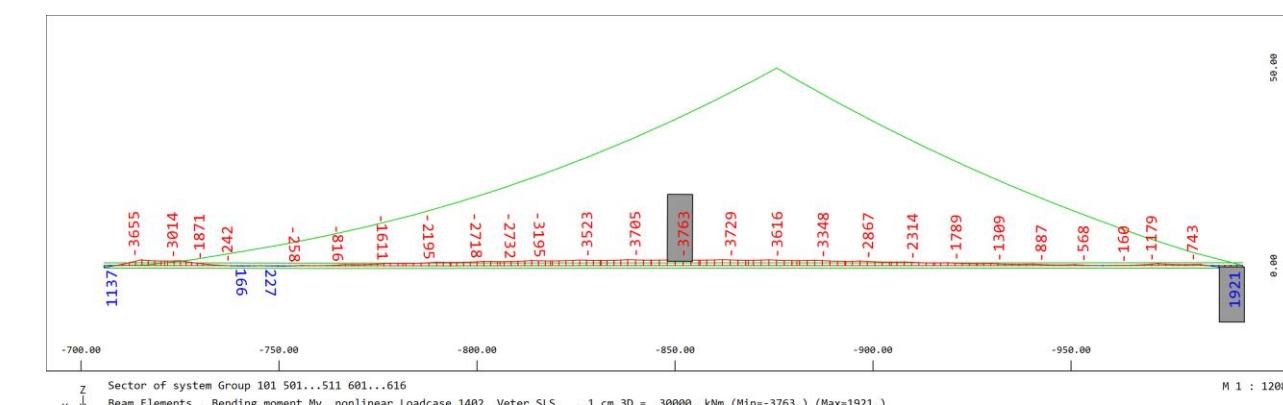
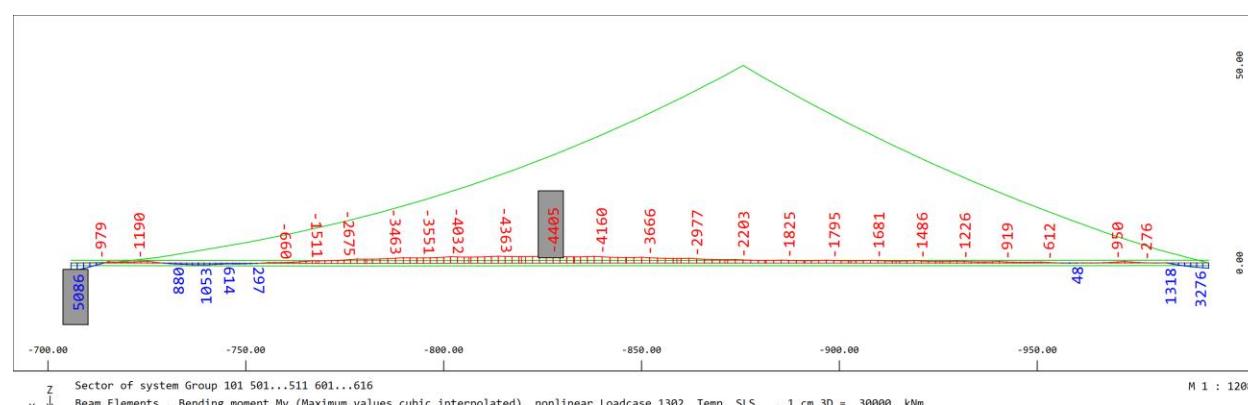
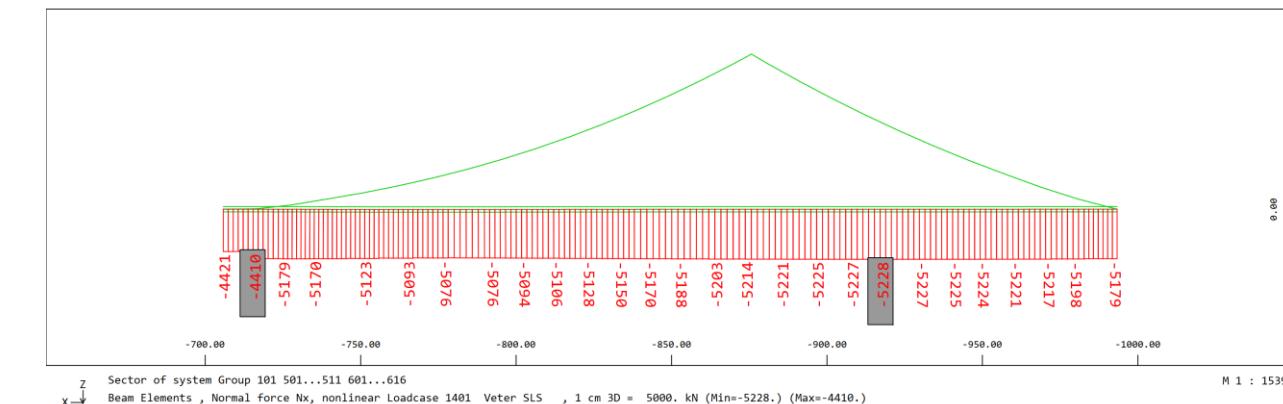
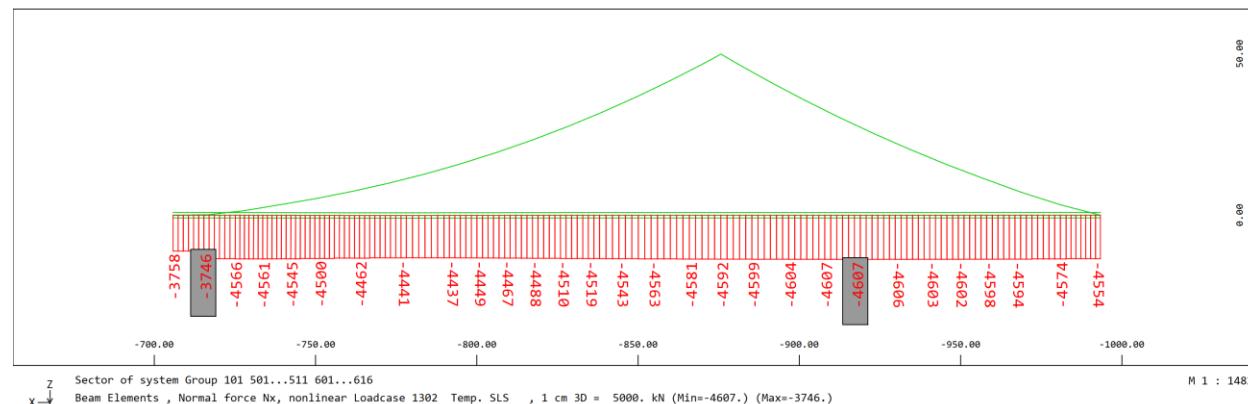
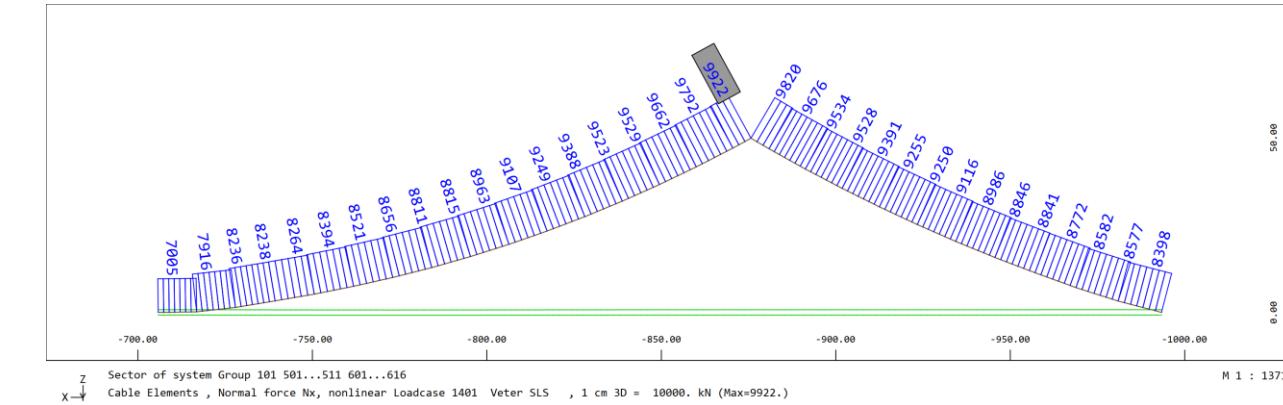
Mat	$A[\text{cm}^2]$	$Ay[\text{cm}^2]$	$Iy[\text{cm}^4]$	$yc[\text{mm}]$	$ysc[\text{mm}]$	$E[\text{N/mm}^2]$	$g[\text{kg/m}]$	$I-1[\text{cm}^4]$	$I-2[\text{cm}^4]$	$\alpha[\text{°}]$
MRF	$It[\text{cm}^4]$	$Az[\text{cm}^2]$	$Iz[\text{cm}^4]$	$zc[\text{mm}]$	$zsc[\text{mm}]$	$G[\text{N/mm}^2]$				
3	2001.82	333.11	11216843.9	881.0	1546.7	210000	1571.4	22852377.7		
	10624768.6	670.53	22852377.7	321.5	1957.4	80769	(BEAM)		11216844.7	

## 5.0 OBREΜENITVE KONSTRUKCIJE

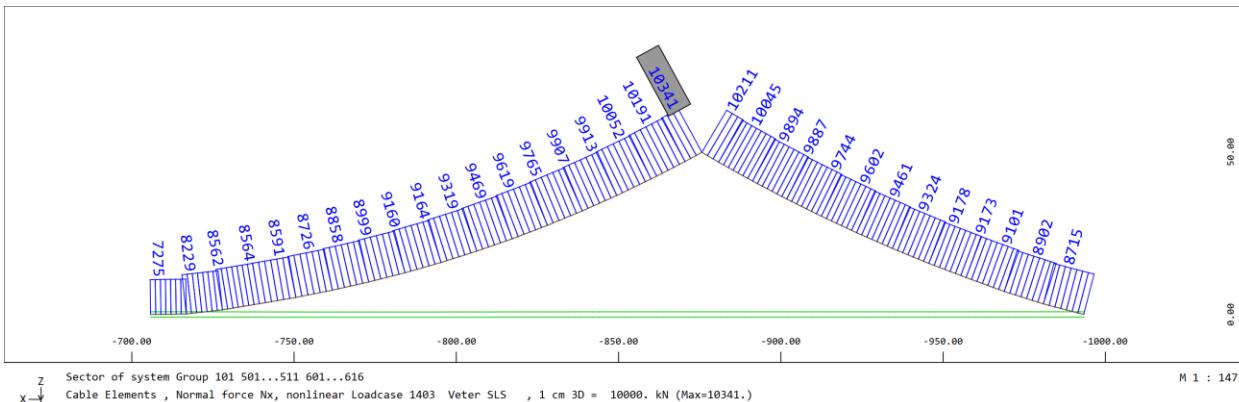
V nadaljevanju bodo prikazane le obremenitve konstrukcije, ki so bile merodajne za kontrolo.

Stalna teža konstrukcije (LT+krov) –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ Stalna teža in obtežba pešcev (obremenjena celotna konstrukcija) –  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ,  $N_{kabel}$ 

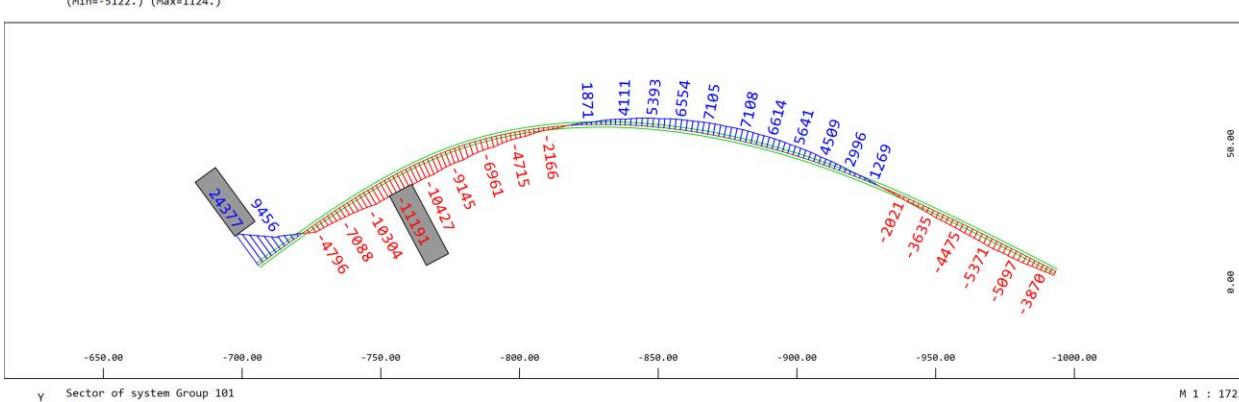
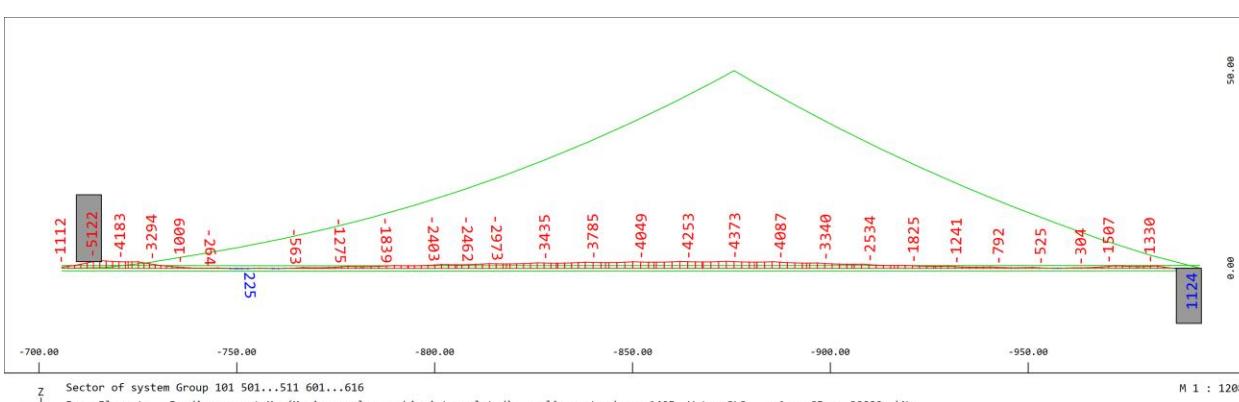
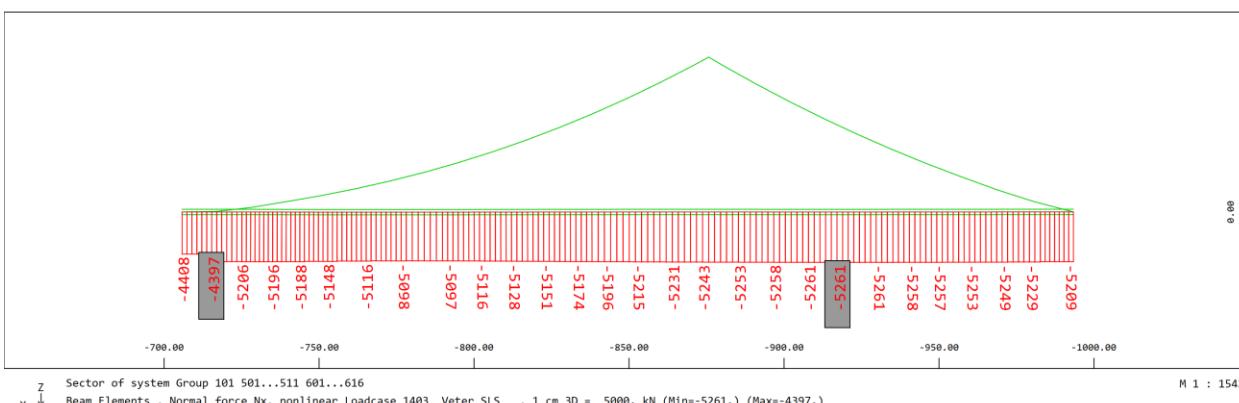
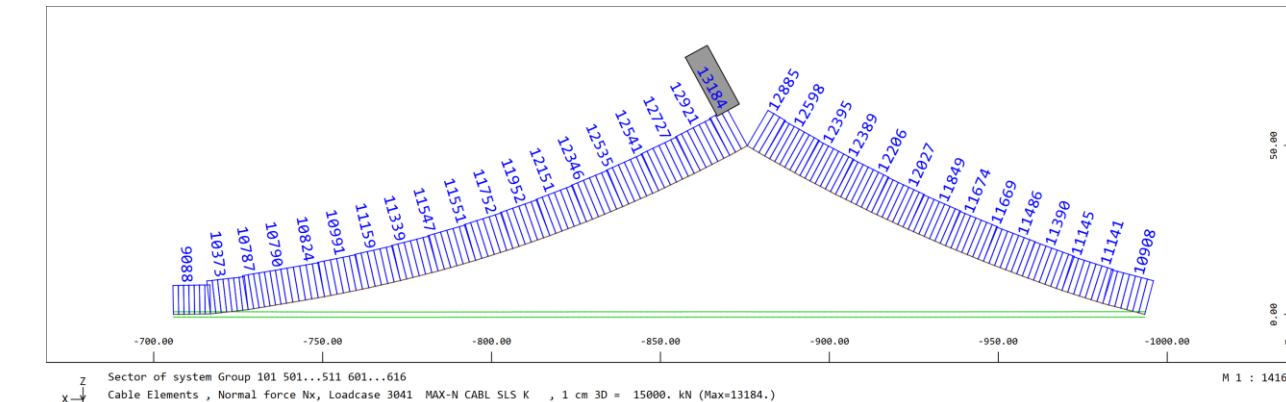
Stalna teža in obtežba peščev (obremenjen daljši razpon) –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ Stalna teža in enak.temp. obtežba – segrevanje –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ 

Stalna teža in enak. temp. obtežba – ohlajevanje –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ Stalna teža in veter - horizontalen –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ 

Stalna teža in veter – horizontalen + vertikalnen –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$

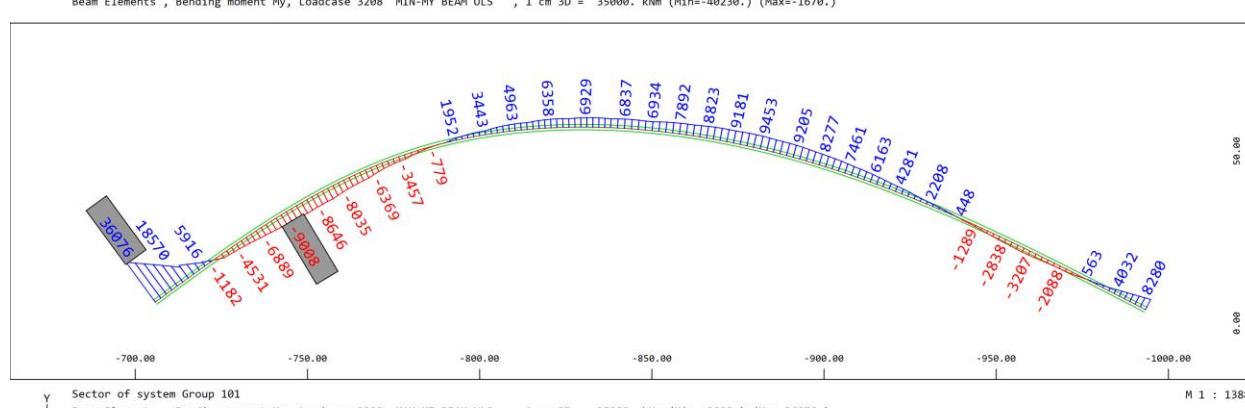
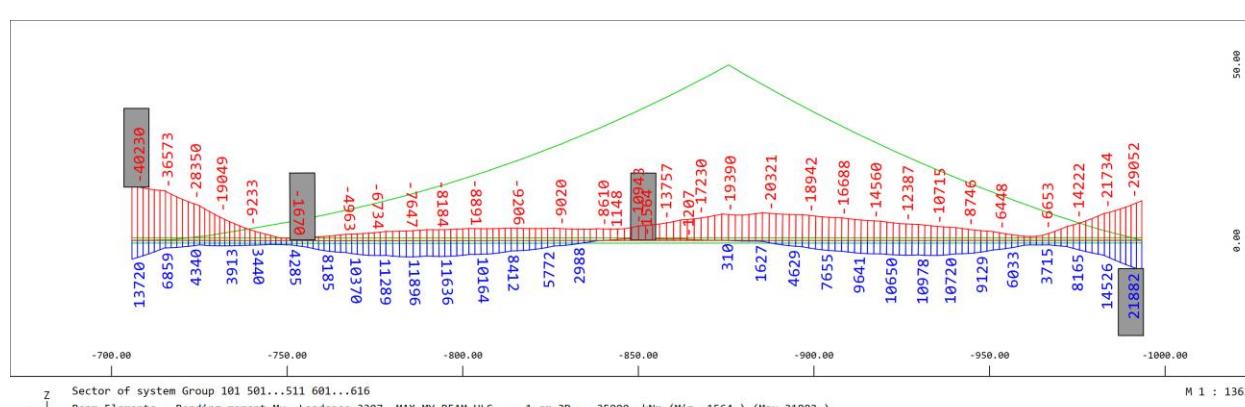
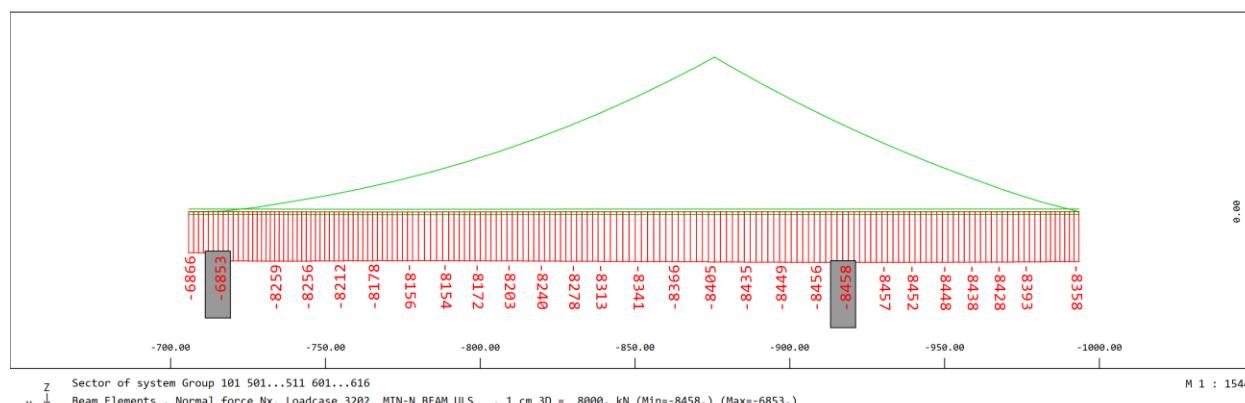
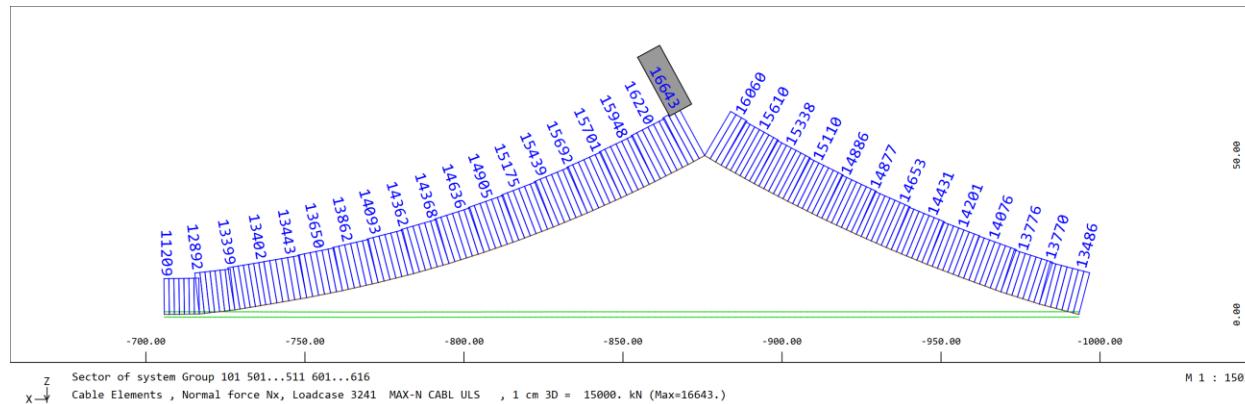


Ovojnica za mejno stanje uporabnosti (MSU) – karakteristična kombinacija –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$



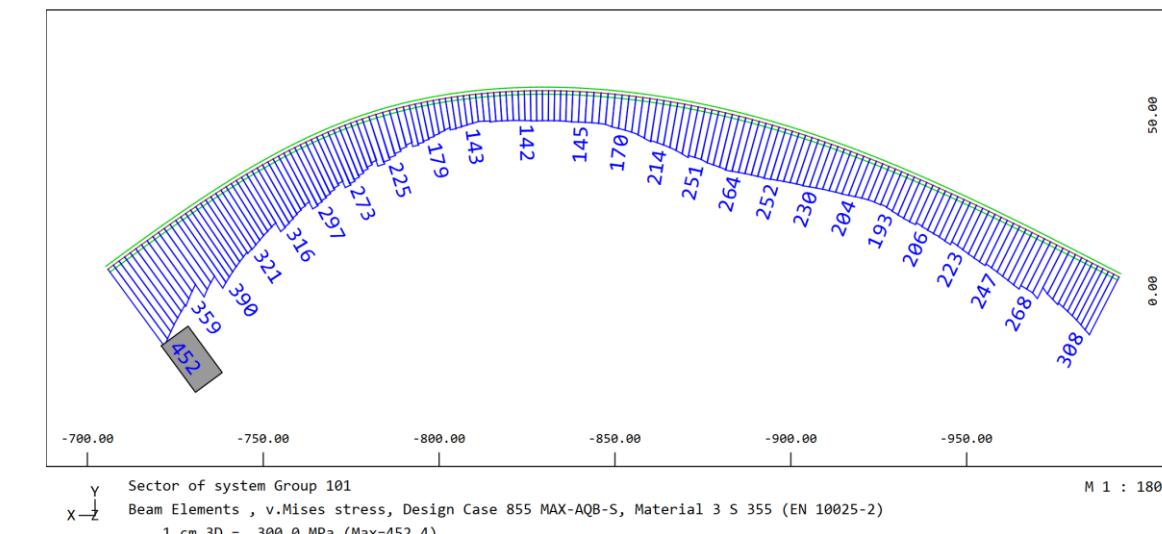
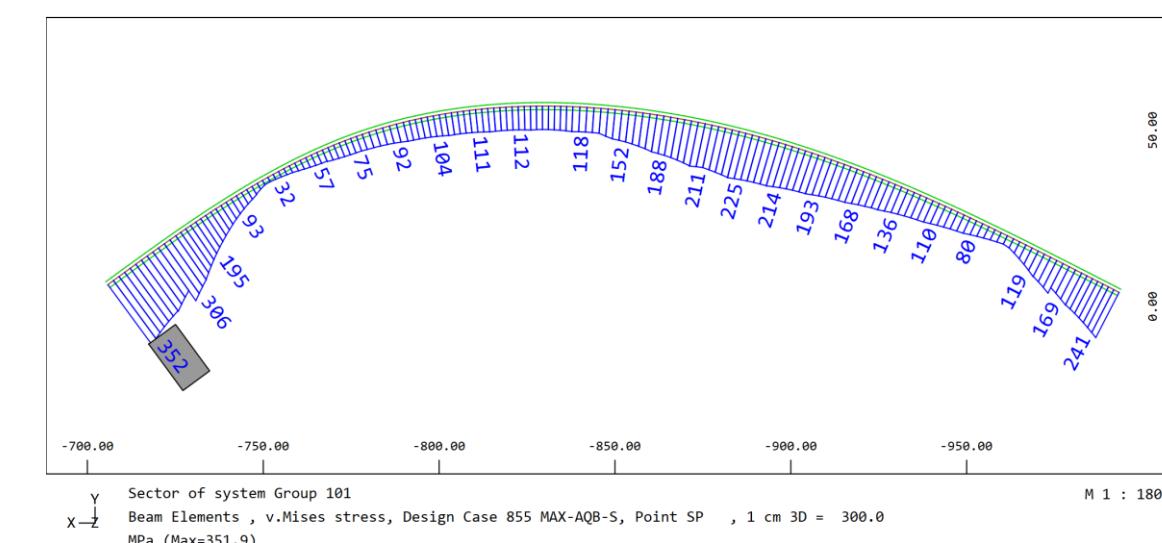
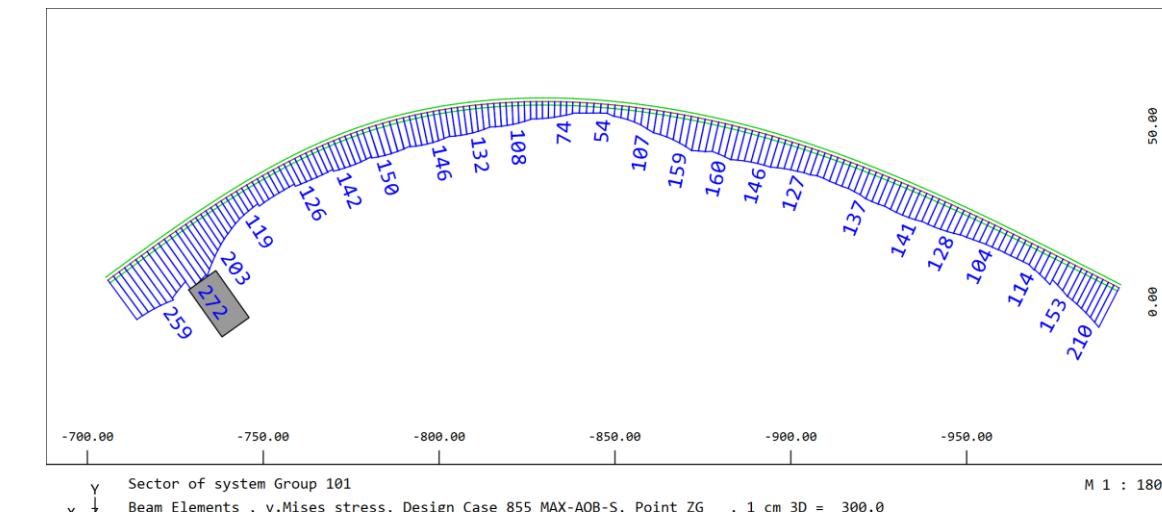
The diagram displays a series of beam elements (labeled 3045, 11586, 45, 6732, 9419, 9239, 1967, 242, -2111, -14845, -6130, -7919, -9239, 3147, 6113, 7717, 8032, 5837, 4351, 8151, 7044, 5485, 3743, 1644, -518, -2102, -3405, -3674, -3080, -1820, 527, 4515) arranged along a curved path. The x-axis represents distance from -700.00 to -1000.00, and the y-axis represents the sector of system Group 101. A red dashed line indicates the zero-bending-moment axis. The bending moment values are labeled at various points along the curve.

Ovojnica za mejno stanje nosilnosti (MSN) - regularne obtežbe –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$



## 6.0 ANALIZA PREKLADNE KONSTRUKCIJE

### 6.1 Kontrola maksimalnih v. Misesovih napetosti ( $\sigma_{zg}/\sigma_{sp.}/\sigma_{prerez}$ ) – prikaz ovojnice

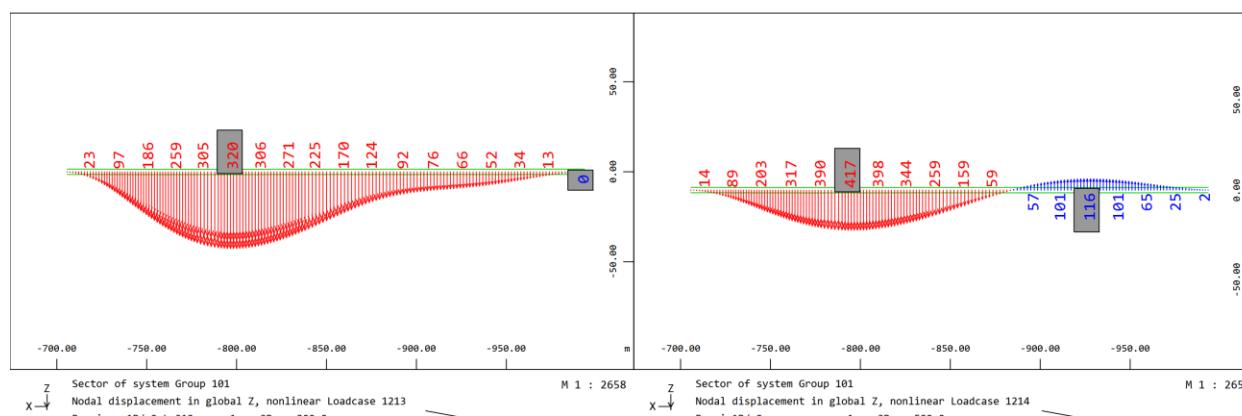
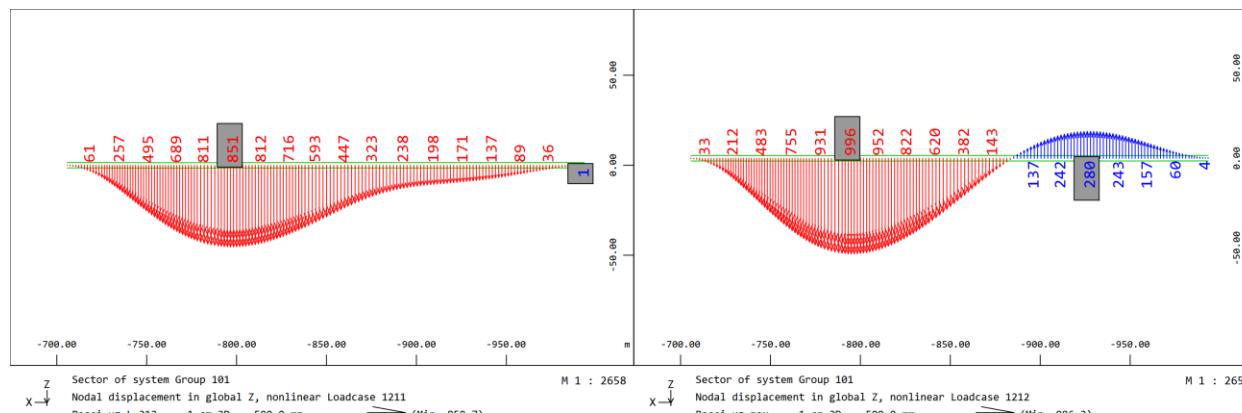


$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{dop}}$$

## 6.2 KONTROLA DEFORMACIJ

Prometna obtežba:  $2.5 \text{ kN/m}^2$  po celotni konstrukciji / obtežba v daljšem razponu

1.0 oseba/ $\text{m}^2$  (TC4) po celotni konstrukciji / obtežba v daljšem razponu



## 7.0 KONTROLA KABELSKIH ELEMENTOV

### 7.1 Kontrola glavnih nosilnih kablov LCC 165

V analizi so bili upoštevani kabli s sledečimi karakteristikami:

- Kvaliteta materiala  $f_{u,k} = 1570 \text{ MPa}$
- Prerez kabla  $A = 192,5 \text{ cm}^2$
- Modul elastičnosti  $E = 165000 \text{ MPa}$
- Karakteristična nosilnost  $F_{uk} = 26100 \text{ kN}$

Kontrola nosilnosti po MSN:  $F_{Ed,max} = 16643 \text{ kN}$

$F_{Ed,max} = 16643 \text{ kN} \leq F_{Rd} = (F_{uk} / 1,5) / \gamma_R = 17400 \text{ kN}$

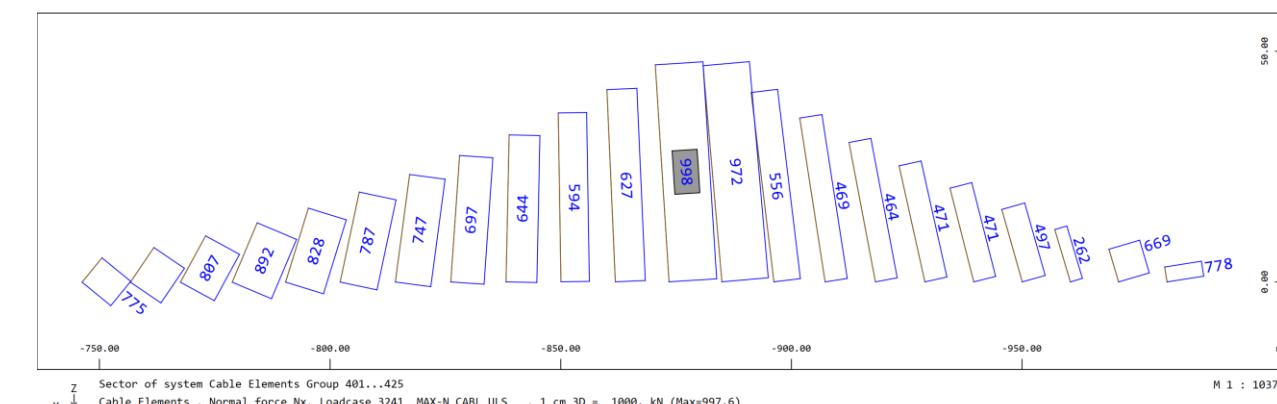
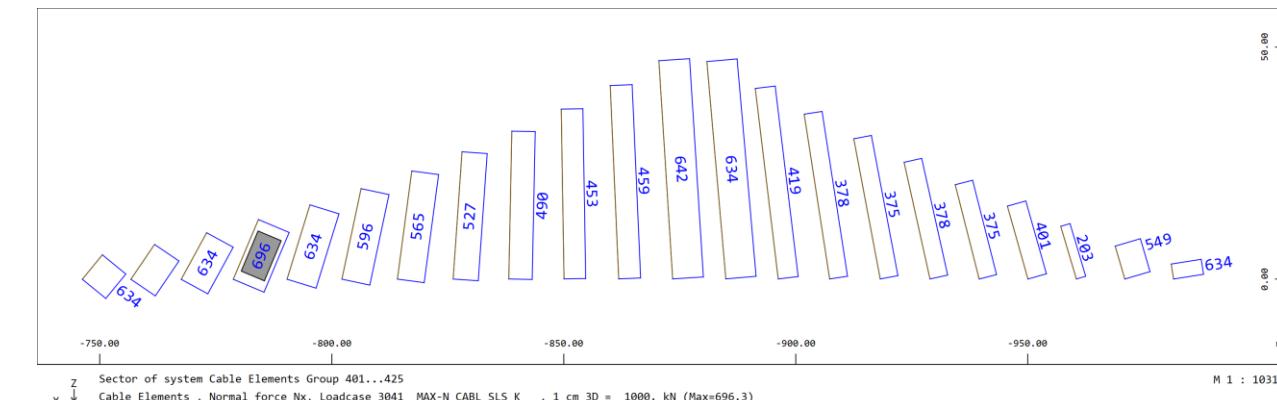
izkoriščenost  $i=0,96$

Kontrola dopustnih napetosti po MSU:  $F_{Ek,max} = 13184 \text{ kN}$

$\sigma_k = F_{Ek} / A = 685 \text{ MPa} \leq 0,45 \cdot \sigma_{uk} = 706,5 \text{ MPa}$

## 7.2 Kontrola vešalk D 40

Maksimalne obremenitve v vešalkah po MSN /MSU - ovojnica



V analizi so bili upoštevane vešalke s sledečimi karakteristikami:

- Kvaliteta materiala  $f_{u,k} = 1570 \text{ MPa}$
- Prerez vešalke  $A = 10,9 \text{ cm}^2$
- Modul elastičnosti  $E = 165000 \text{ MPa}$
- Karakteristična nosilnost  $F_{uk} = 1580 \text{ kN}$

Kontrola nosilnosti po MSN:  $F_{Ed,max} = 998 \text{ kN}$

$F_{Ed,max} = 998 \text{ kN} \leq F_{Rd} = (F_{uk} / 1,5) / \gamma_R = 1053 \text{ kN}$  izkoriščenost  $i=0,95$

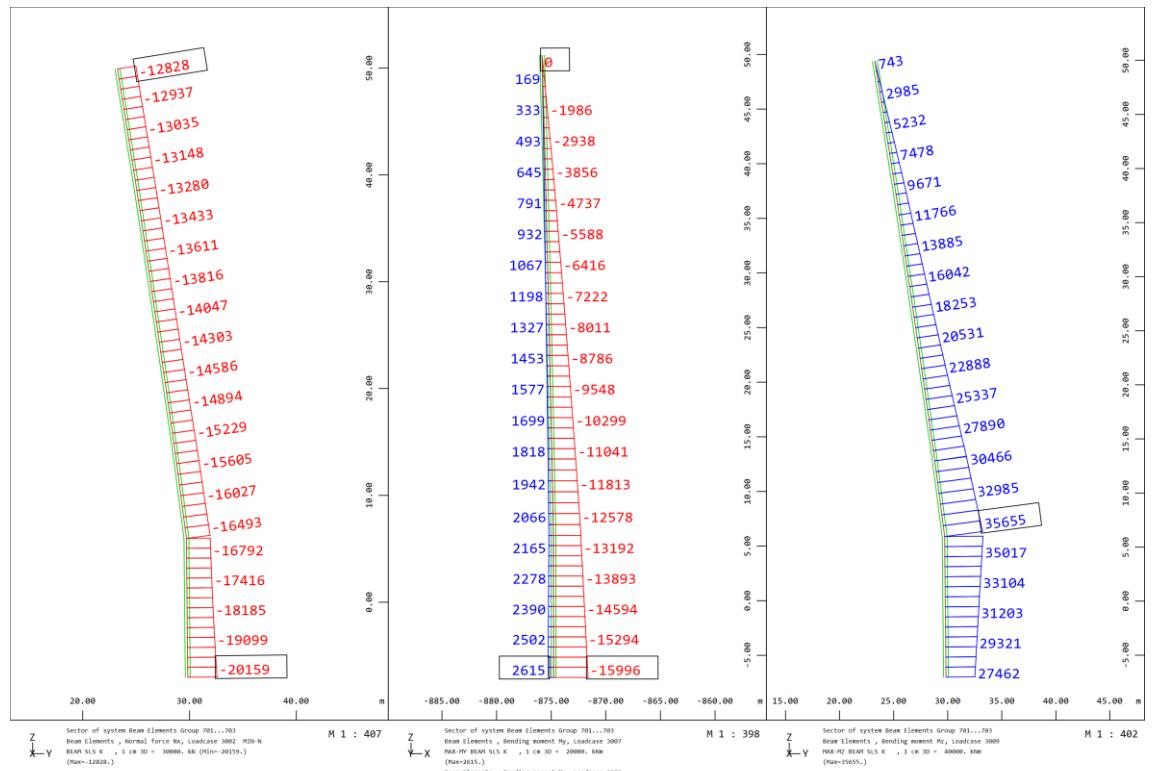
Kontrola dopustnih napetosti po MSU:  $F_{Ek,max} = 696 \text{ kN}$

$\sigma_k = F_{Ek} / A = 639 \text{ MPa} \leq 0,45 \cdot \sigma_{uk} = 706,5 \text{ MPa}$

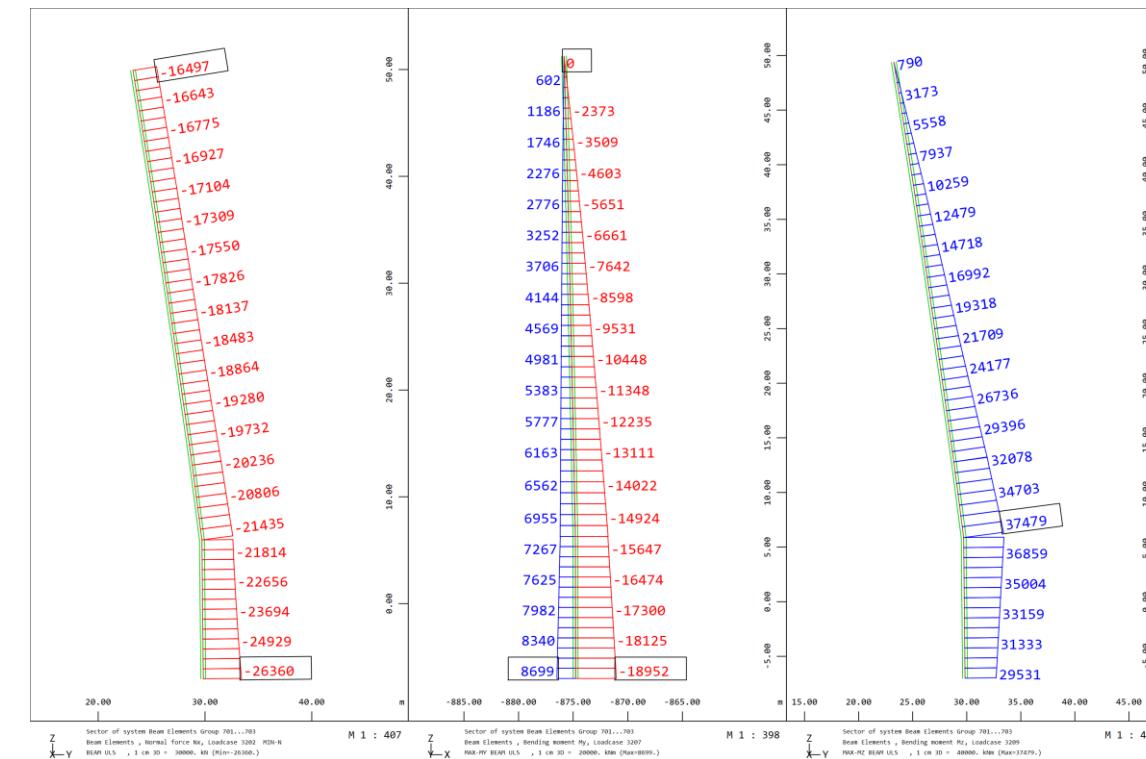
## 8.0 KONTROLA PILONA

### 8.1 MAKSIMALNE OBREMEMENITVE V PILONU

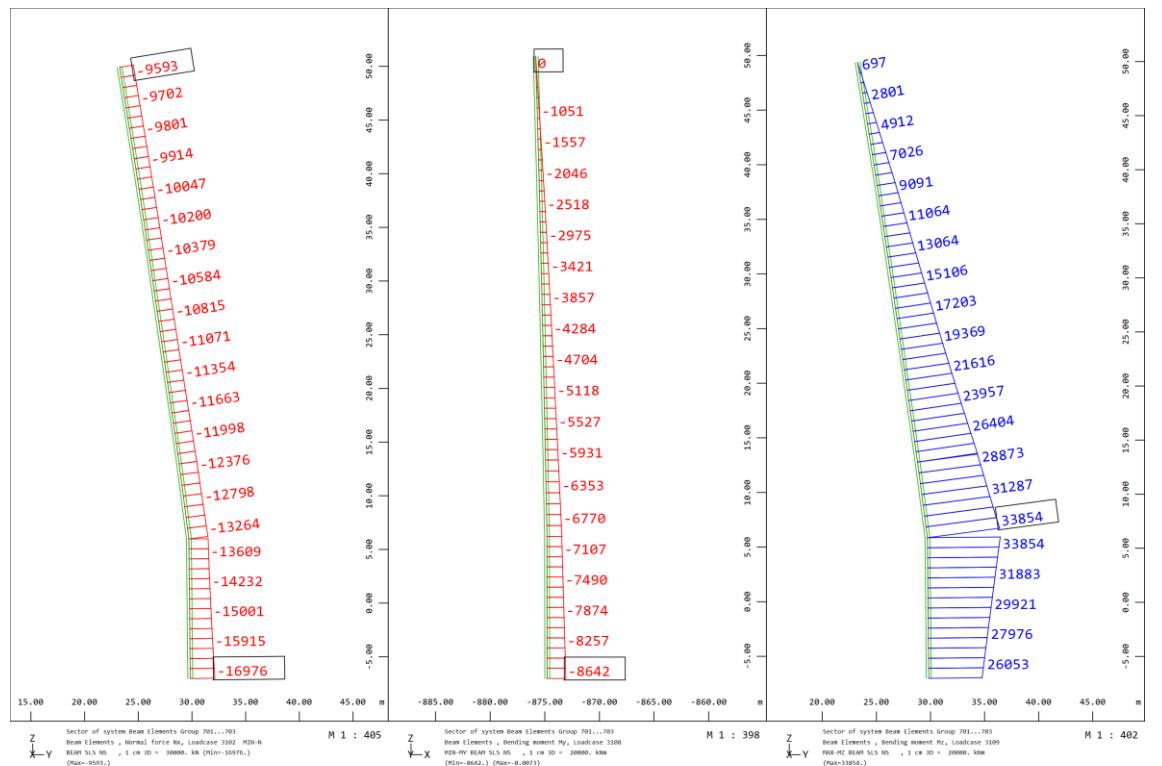
Ovojnica obremenitev po MSU Karak.komb.:



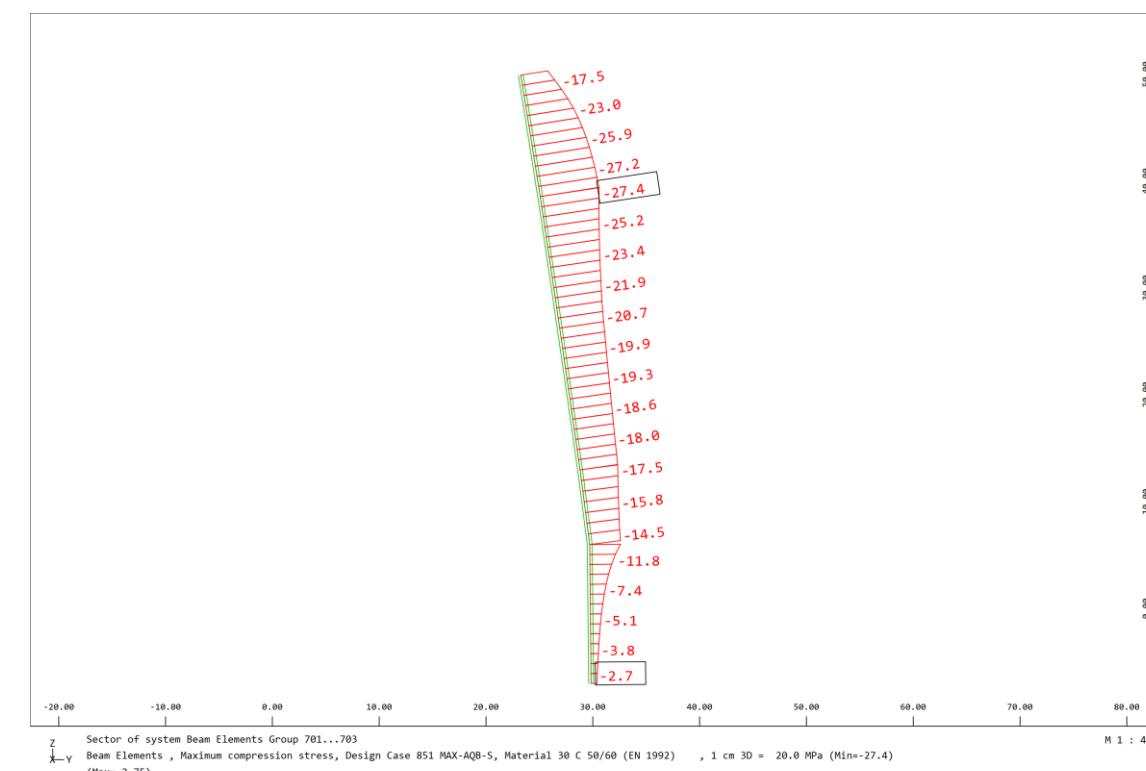
Ovojnica obremenitev po MSN:



Ovojnica obremenitev po MSU NS.komb.:



### 8.2 KONTROLA NAPETOSTI PO MSU

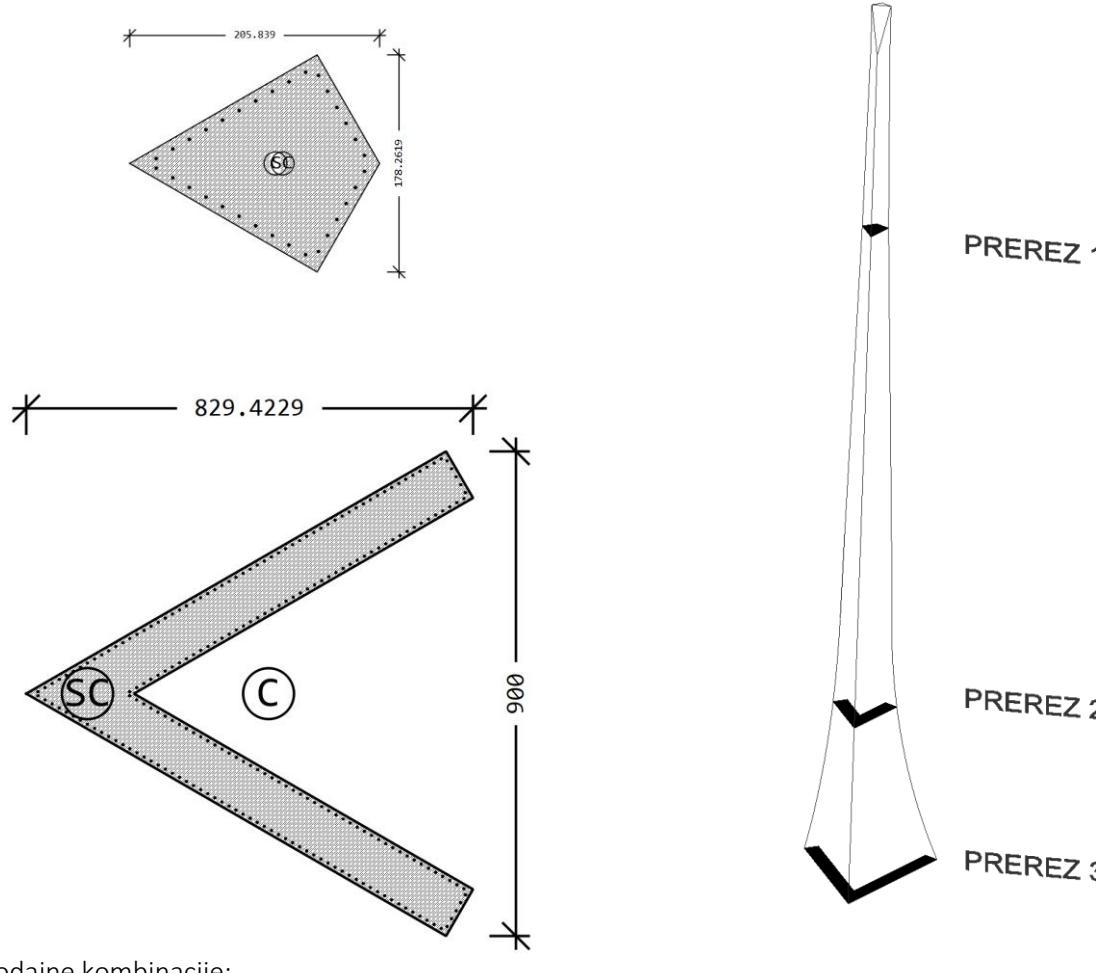


$$\sigma_{\max} = 27,4 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$$

## 8.3 KONTROLA VZDOLŽNE ARMATURE PO MSN IN MSU

Kontrola maksimalne armature v pilonu je bila izvedena s pomočjo programa Fagus v merodajnih prerezih.

Prerez 1:



Merodajne kombinacije:

Prerez 1			
MSN	N [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
MSU - NS	-10280	-2394	9521
	-9998	-2042	8436

Prerez 2			
MSN	N [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
MSU - NS	-13463	-8107	37479
	-13236	-6909	33854

Prerez 3			
MSN	N [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
MSU - NS	-17184	-10134	28936
	-16947	-8642	24785

Prerez 1:

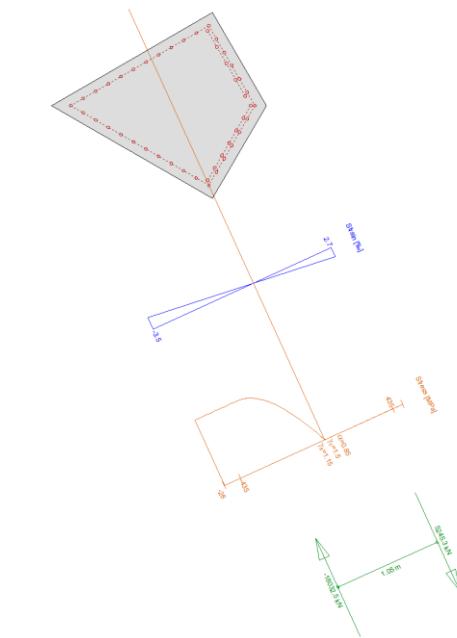
Kontrola po MSN:

Kombinacija:

$$N = -10280 \text{ kN}$$

$$M_y = -2394 \text{ kNm}$$

$$M_z = 9521 \text{ kNm}$$

**Ultimate strength analysis Cross section (Girder): PILON 1**

No.	AP	P	Bending and axial force		
			N [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
1	!ULS		-10280,0	-2394,0	-9521,0
					0,80

$$I = 0,80 < 1,0$$

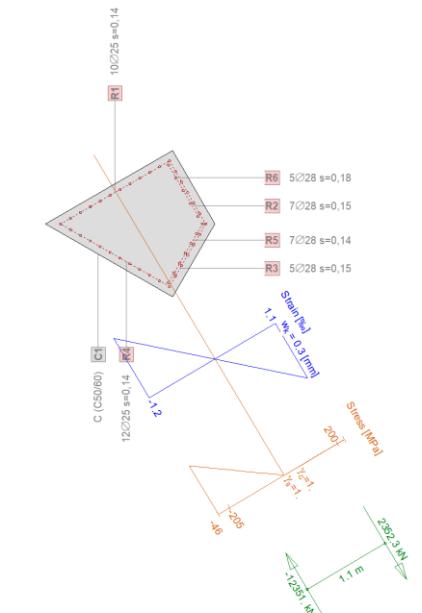
Kontrola po MSU – NS komb.:

Kombinacija:

$$N = -9998 \text{ kN}$$

$$M_y = -2042 \text{ kNm}$$

$$M_z = 8436 \text{ kNm}$$



$$W_{k,max} \leq 0,30 \text{ mm}$$

## Prerez 2:

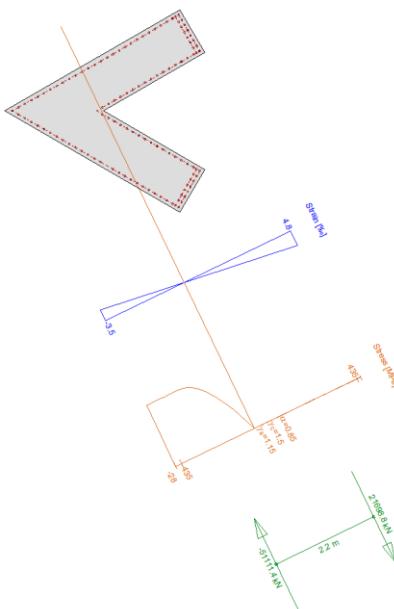
Kontrola po MSN:

Kombinacija:

$$N = -13463$$

$$M_y = -8107 \text{ kNm}$$

$$M_z = 37479 \text{ kNm}$$

**Ultimate strength analysis Cross section (Girder): PILON 2**

No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N)
			N [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	
1	! ULS		-13463,0	-8107,0	-37479,0	0,46

$$I = 0,46 < 1,0$$

## Prerez 3:

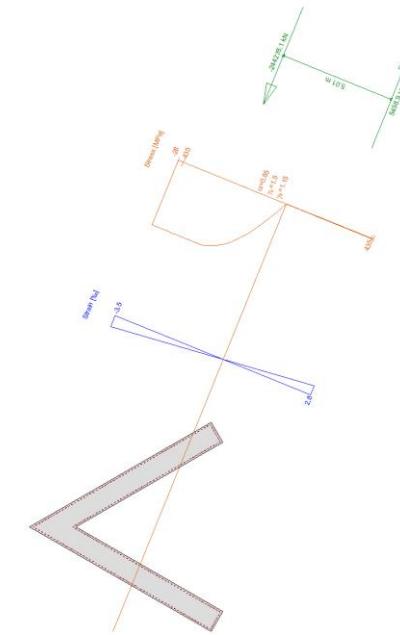
Kontrola po MSN:

Kombinacija:

$$N = -17184 \text{ kN}$$

$$M_y = -10134 \text{ kNm}$$

$$M_z = 28936 \text{ kNm}$$

**Ultimate strength analysis Cross section (Girder): PILON 3**

No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N)
			N [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	
1	! ULS		-17184,0	10134,0	-28936,0	0,07

$$I = 0,07 < 1,0$$

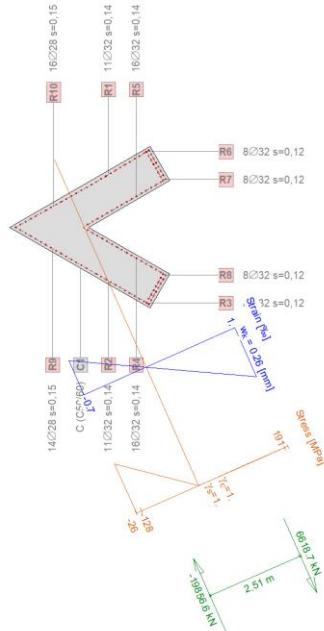
Kontrola po MSU – NS komb.:

Kombinacija:

$$N = -13236 \text{ kN}$$

$$M_y = -6909 \text{ kNm}$$

$$M_z = 33854 \text{ kNm}$$



Text	Value	Text	Value
<b>Basic principles</b>			
Cross section	EN 1992-1- 7.3		
h	4,2 m	Compression zone (uncracked)	2,47 m
d	3,37 m	h-d	0,83 m
Cover c	0,07 m	h <sub>eff</sub>	0,58 m
A <sub>eff</sub> Tension surface	5259,88 cm <sup>2</sup>	= Min[2,5 · (h-d);(h-x)/3; h/2]	
<b>Concrete</b>			
E <sub>c</sub>	37 kN/mm <sup>2</sup>	Additional parameters	
$\alpha_s (E_c/E_s)$	5,405	Duration of load k <sub>1</sub>	0,4
Creep coefficient φ	0,	Bond properties k <sub>1</sub>	0,8
f <sub>cm</sub>	4 MPa	Distribution of strain k <sub>2</sub>	0,5
f <sub>c,eff</sub>	4 MPa	k <sub>3</sub>	3,4
<b>Reinforcement</b>			
E <sub>s</sub>	200 kN/mm <sup>2</sup>	k <sub>4</sub>	0,425
A <sub>s</sub> (in tension surface)	168,89 cm <sup>2</sup>	Results	
Diameter Ø <sub>eq</sub>	32 mm	Moment	-34551,8 kNm
	8 mm · 8 cm (7,9)	Stress in reinforcement σ <sub>s</sub>	191 MPa
ρ <sub>eff</sub>	3,211 o/o		0,653 o/o
		Crack spacing s <sub>r,max</sub> (7,11)	0,4 m
		Crack width w <sub>r</sub> (7,8)	0,26 mm

$$w_{k,max} \leq 0,30 \text{ mm}$$

Kontrola po MSU – NS komb.:

Kombinacija:

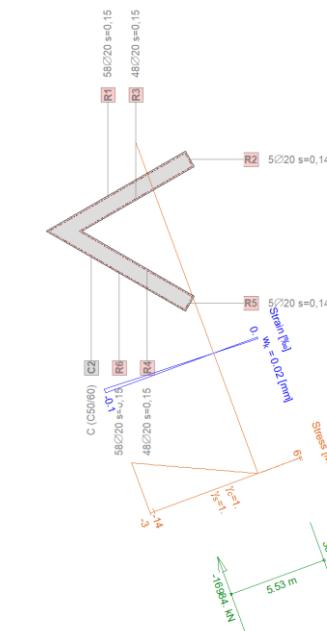
$$N = -16947 \text{ kN}$$

$$M_y = -8642 \text{ kNm}$$

$$M_z = 24785 \text{ kNm}$$

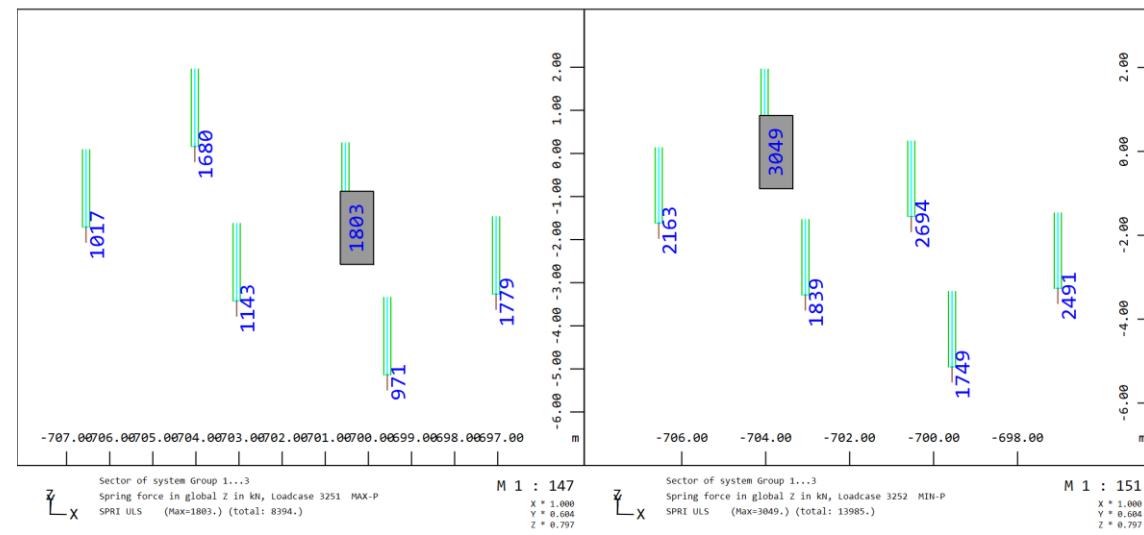
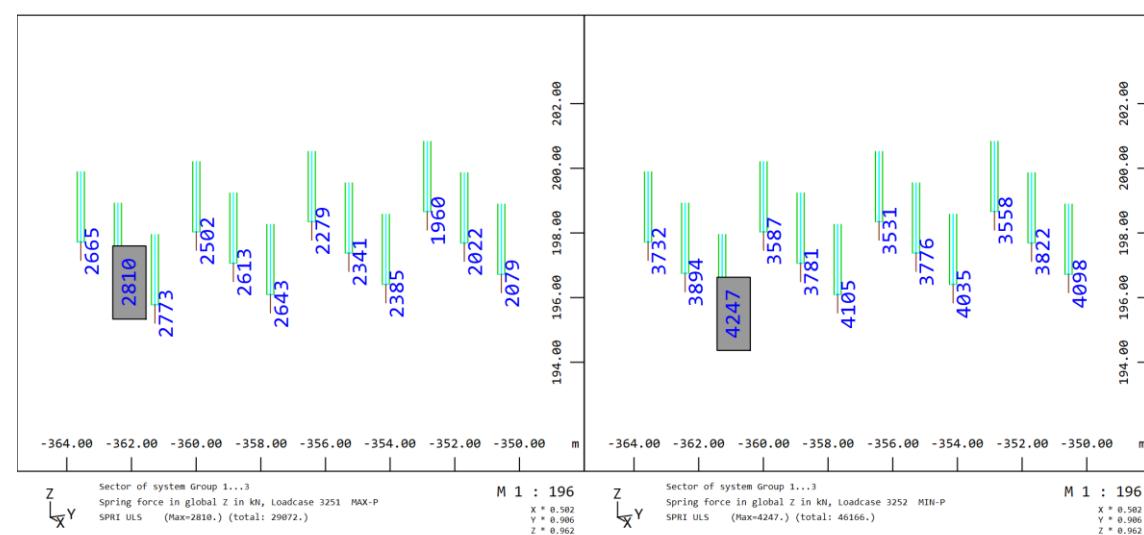
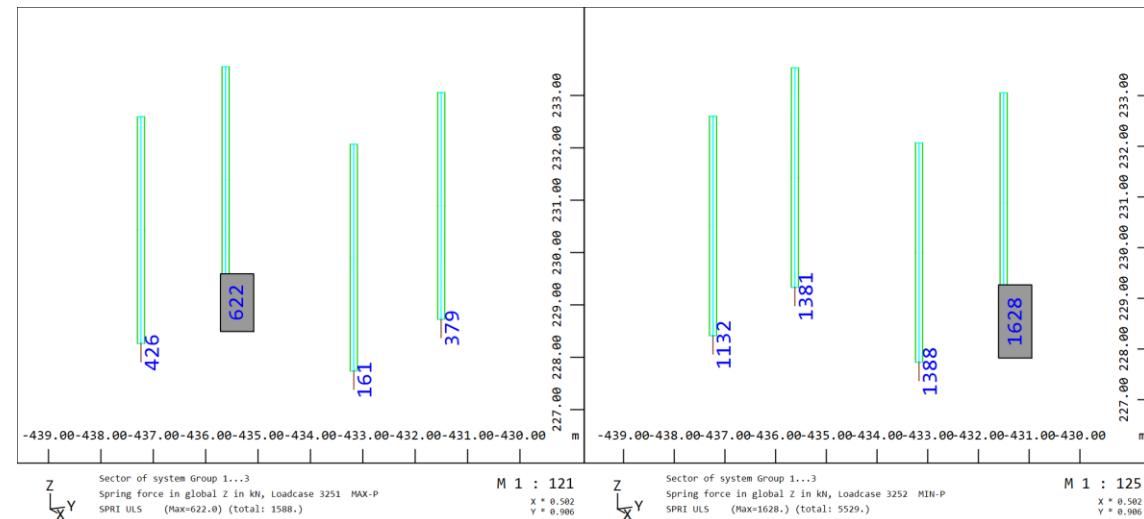
Text	Value	Text	Value
<b>Basic principles</b>			
Cross section	EN 1992-1- 7.3		
h	9,04 m	Compression zone (uncracked)	7,07 m
d	8,22 m	h-d	0,82 m
Cover c	0,1 m	h <sub>eff</sub>	0,66 m
A <sub>eff</sub> Tension surface	5800,02 cm <sup>2</sup>	= Min[2,5 · (h-d);(h-x)/3; h/2]	
<b>Concrete</b>			
E <sub>c</sub>	37 kN/mm <sup>2</sup>	Additional parameters	
$\alpha_s (E_c/E_s)$	5,405	Duration of load k <sub>1</sub>	0,4
Creep coefficient φ	0,	Bond properties k <sub>1</sub>	0,8
f <sub>cm</sub>	4 MPa	Distribution of strain k <sub>2</sub>	0,5
f <sub>c,eff</sub>	4 MPa	k <sub>3</sub>	3,4
<b>Reinforcement</b>			
E <sub>s</sub>	200 kN/mm <sup>2</sup>	k <sub>4</sub>	0,425
A <sub>s</sub> (in tension surface)	31,42 cm <sup>2</sup>	Results	
Diameter Ø <sub>eq</sub>	20 mm	Moment	-26248,4 kNm
	8 mm · 8 cm (7,9)	Stress in reinforcement σ <sub>s</sub>	6 MPa
ρ <sub>eff</sub>	0,542 o/o		0,017 o/o
		Crack spacing s <sub>r,max</sub> (7,11)	0,97 m
		Crack width w <sub>r</sub> (7,8)	0,02 mm

$$w_{k,max} \leq 0,30 \text{ mm}$$



## 9.0 KONTROLA PILOTOV

## 9.1 KONTROLA MAKSIMALNIH REAKCIJ

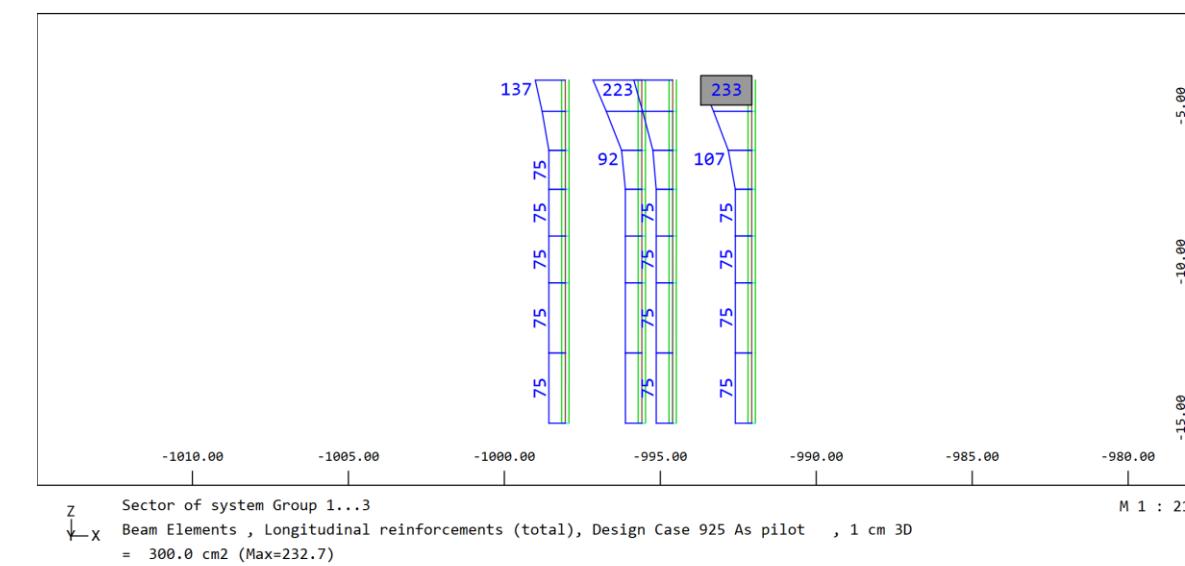
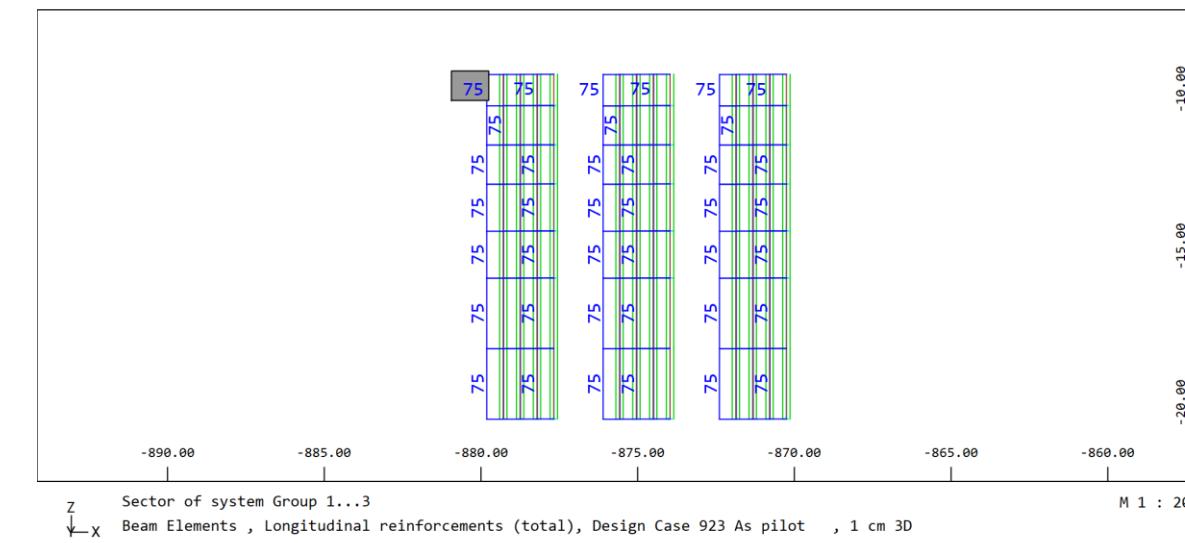
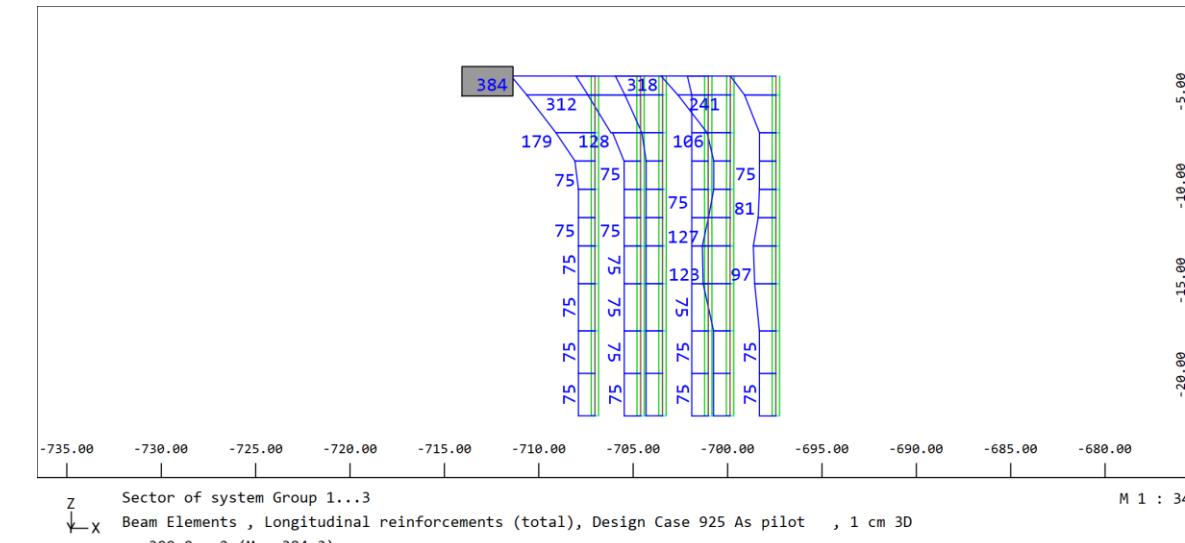


$$F_{Ed,max,LB} = 3049 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,max,pilon} = 4247 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,max,DB} = 1628 \text{ kN}$$

## 9.2 KONTROLA MAKSIMALNIH POTREBNIH ARMATUR



$$A_{s,\max,LB} = 384 \text{ cm}^2 (2 \times 32\phi 28)$$

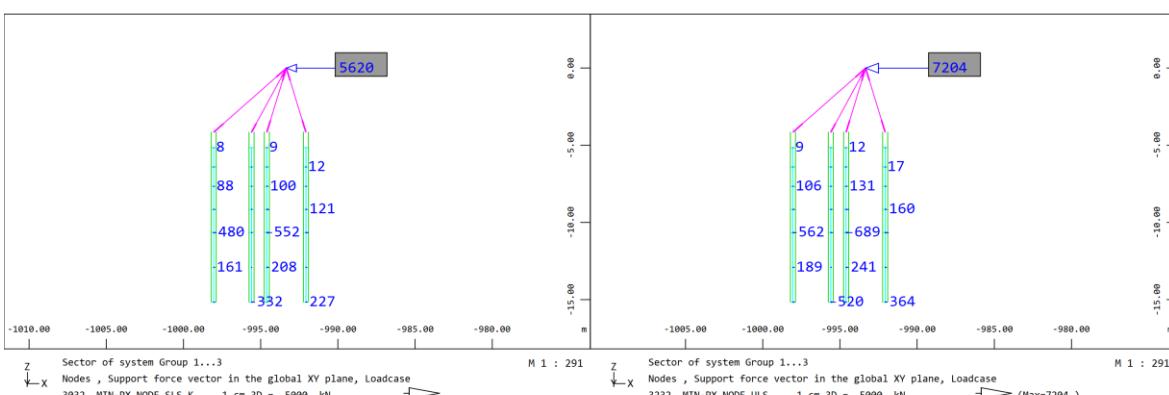
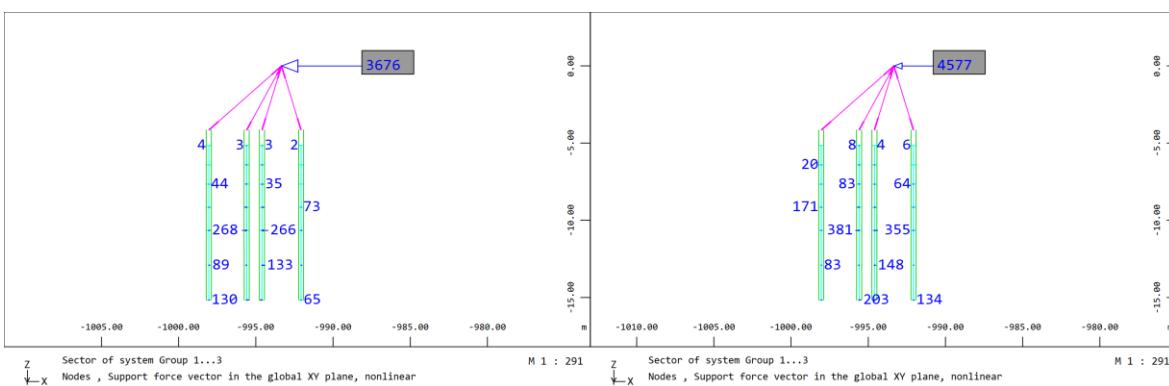
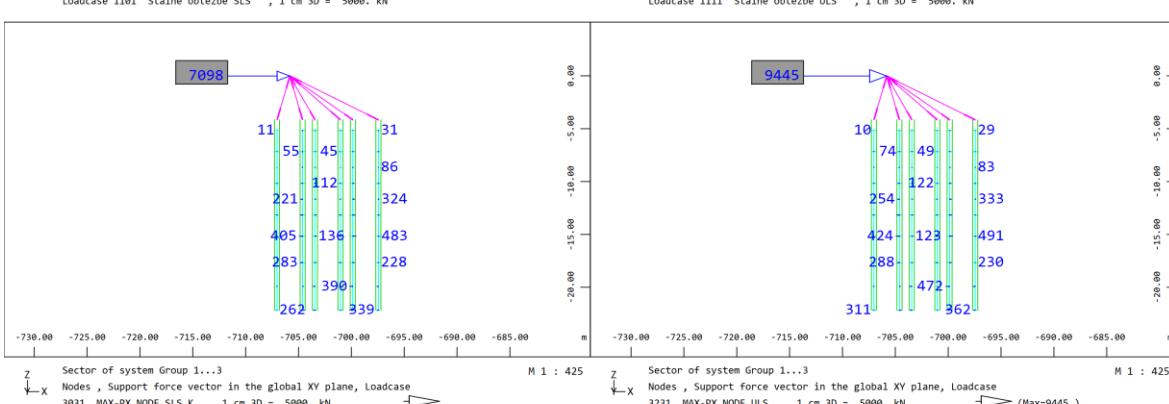
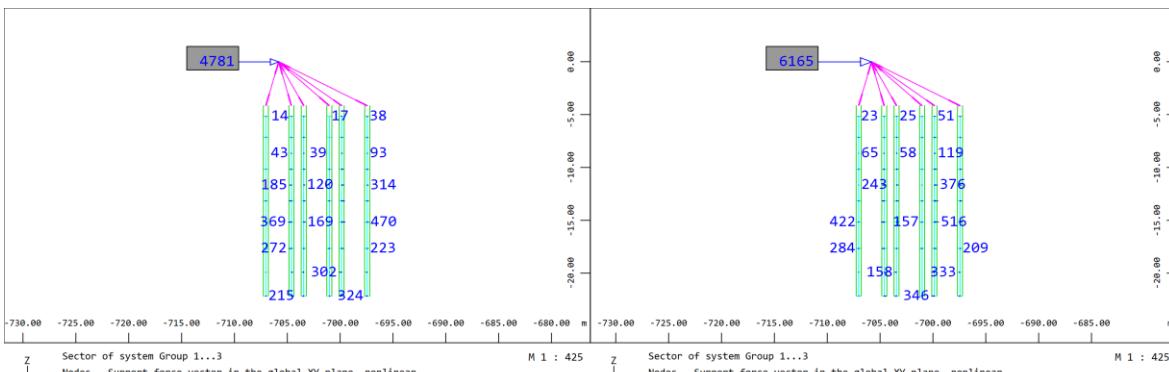
$$A_{s,max,pilon} = 75 \text{ cm}^2 (24\Phi20)$$

$$A_{s,\max,DB} = 233 \text{ cm}^2 (28\Phi28+14\Phi25)$$

## 10.0 KONTROLA GEOTEHNIČNIH SIDER

Spodaj so podane maksimalne reakcije v podporah, ki jih je potrebno prevzeti z geotehničnimi sidri.

*Levo obrežni / Desno obrežni opornik:  $F_{max,stalne\ SLS} / F_{max,stalne\ ULS} / F_{max,ovoj.\ SLS-K} / F_{max,ovoj.\ ULS}$*



Pri izračunu nosilnosti smo upoštevali kvaliteto materiala  $f_{p0,1k}/f_{pk} = 1600/1860 \text{ MPa}$  ter 4 pramenska geotehnična sidra ( $4 \times 0,62''$ ,  $150,0 \text{ mm}^2$ ,  $\Phi 15,7 \text{ mm}$ ). Ker konkretne karakteristike posameznih slojev še niso poznane, je v nadaljevanju izvedena kontrola na podlagi predpostavk.

- notranja nosilnost

$$F_{Rd} = \frac{F_{tk}}{1,15} = \frac{1860 \cdot 4 \cdot 1,5}{1,15} = 970 \text{ kN}$$

- zunanjega nosilnosti

- kontakt injekcijske masa – jekleni prameni

$$R_{a,m,1} = \tau_1 \cdot n \cdot d \cdot \pi \cdot l_v = 1105 \text{ kN}$$

- kontakt injekcijske masa – hribina

$$R_{a,m,2} = \tau \cdot \pi \cdot D \cdot l_v = 1077 \text{ kN}$$

$$R_{a,m} = \min (R_{a,m,1}; R_{a,m,2}) = \min (1105; 1077) = 1077 \text{ kN}$$

$$R_{a,d} = R_{a,m}/1,1 = 1077/1,1 = 979 \text{ kN} > F_{Rd} = 970 \text{ kN}$$

Izbrana sila zaklinjanja za 4-pramenska geotehnična sidra znaša ( $0,30P_{tk} \leq P_0 \leq 0,6P_{tk}$ ):

- sila zaklinjanja  $P_0=650 \text{ kN}$  ( $\approx 0,58 P_{tk}$ )

Zaradi preprečitve morebitnih pomikov opornikov, se število sider določi na podlagi maksimalnih obremenitev po MSN, izbrani sili zaklinjanja ter ob predvidenem naklonu sider  $25^\circ$ .

**Levo obrežni upornik:**

$$n_{sider} = \frac{9445 \text{ kN}}{\cos 25^\circ \cdot 650 \text{ kN}} = 14,6 \rightarrow \text{izberemo } 16 \text{ sider} (4 \times 0,62'', f_{p0,1k}/f_{pk} = 1600/1860 \text{ MPa})$$

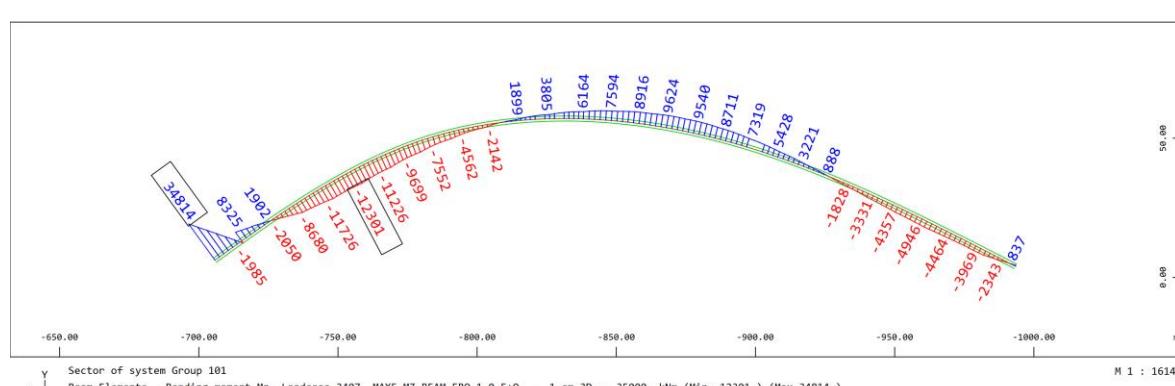
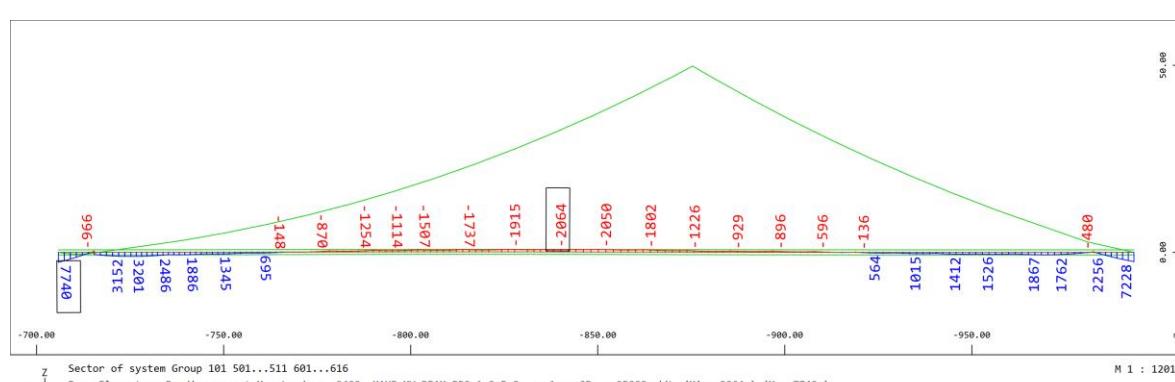
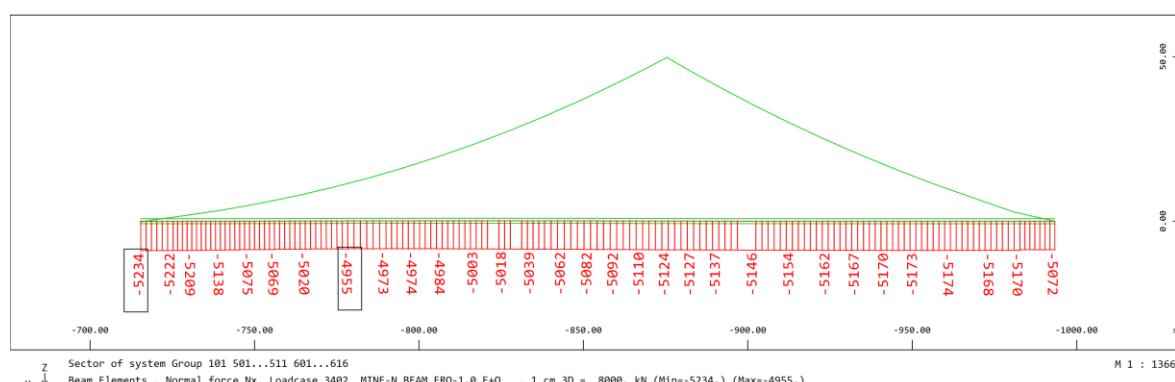
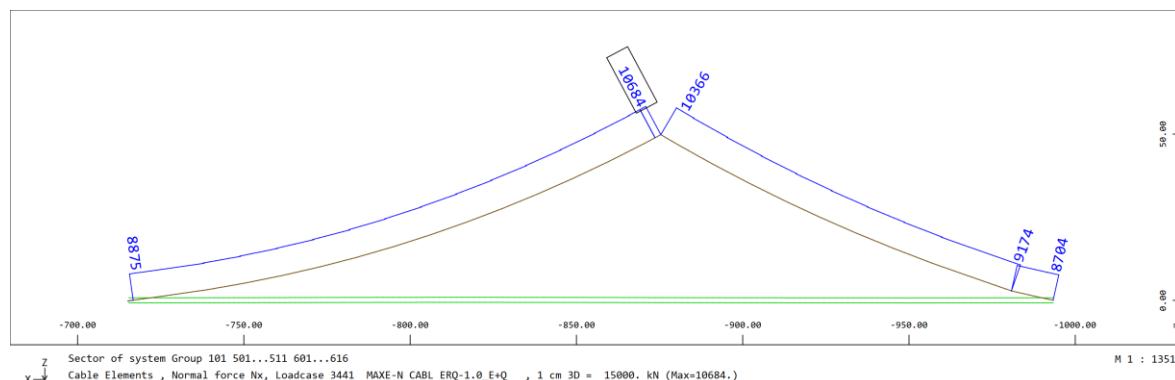
**Desno obrežni opornik:**

$$n_{sider} = \frac{7204 \text{ kN}}{\cos 25^\circ \cdot 650 \text{ kN}} = 11,2 \rightarrow \text{izberemo } 12 \text{ sider} (4 \times 0,62'', f_{p0,1k}/f_{pk} = 1600/1860 \text{ MPa})$$

## 11.0 DINAMIČNA ANALIZA KONSTRUKCIJE

Potresna obtežba ni merodajna za analizo prekladne konstrukcije, pilona, nateznih elementov ter podporne konstrukcije. Spodaj so prikazane obremenitve po MSN za potresno kombinacijo.

MSN – potresna kombinacija –  $N_{kabel}$ ,  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$



## 11.1 KONTROLA VIBRACIJ

V nadaljevanju je opravljena analiza vibracij. Brvi so zaradi svoje zaslove mnogokrat podvržene vibracijam, ki so povzročene s hojo ali tekom pešev. V okviru kontrole vibracij smo upoštevali tipične prometne situacije na brvi, ki so bile podane v okviru natečajne naloge, in sicer:

- situacija 1 odprtje mostu
- situacija 2 vsakodnevni promet

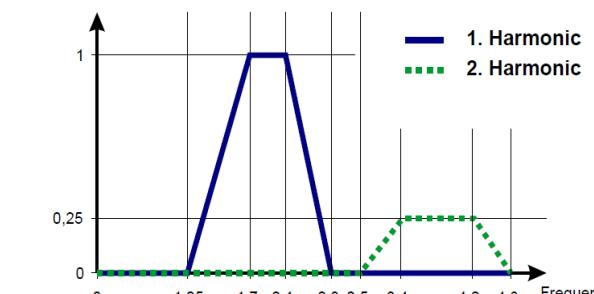
traffic class TC 4, zahtevan razred udobja CL3  
traffic class TC 2, zahtevan razred udobja CL2

Standard SIST EN 1990:2002, v sklopu aneksa A2 podaja nekatere smernice za analizo. Standard podaja, da je potrebno kriterije udobja za peš mostove preveriti v primeru, ko je osnovna nihajna oblika nižja od 5,0 Hz za vertikalne vibracije ter 2,5 Hz v primeru prečnih in torzijskih vibracij. V drugih priporedčilih je mogoče najti podobne smernice za analizo. Metoda podana v Tehničnem poročilu JRC, ki je bilo izdano v okviru raziskovalnega programa JRC-ECCS, podaja sledeče mejne vrednosti za kritična območja frekvenc nihanja, katera smo upoštevali tudi v tej analizi:

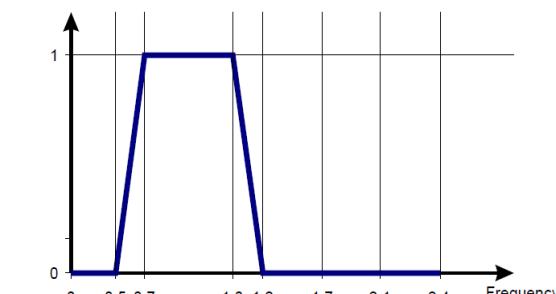
Vertikalne in vzdolžne vibracije	Prečne vibracije
1.25 Hz ≤ $f_i$ ≤ 2.3 (4,6 Hz*) *sek.harm.nih.	0.50 Hz ≤ $f_i$ ≤ 1.2 Hz

Redukcijski faktorji za pospeške v vertikalni, prečni in vzdolžni smeri:

Vertical and longitudinal



Lateral

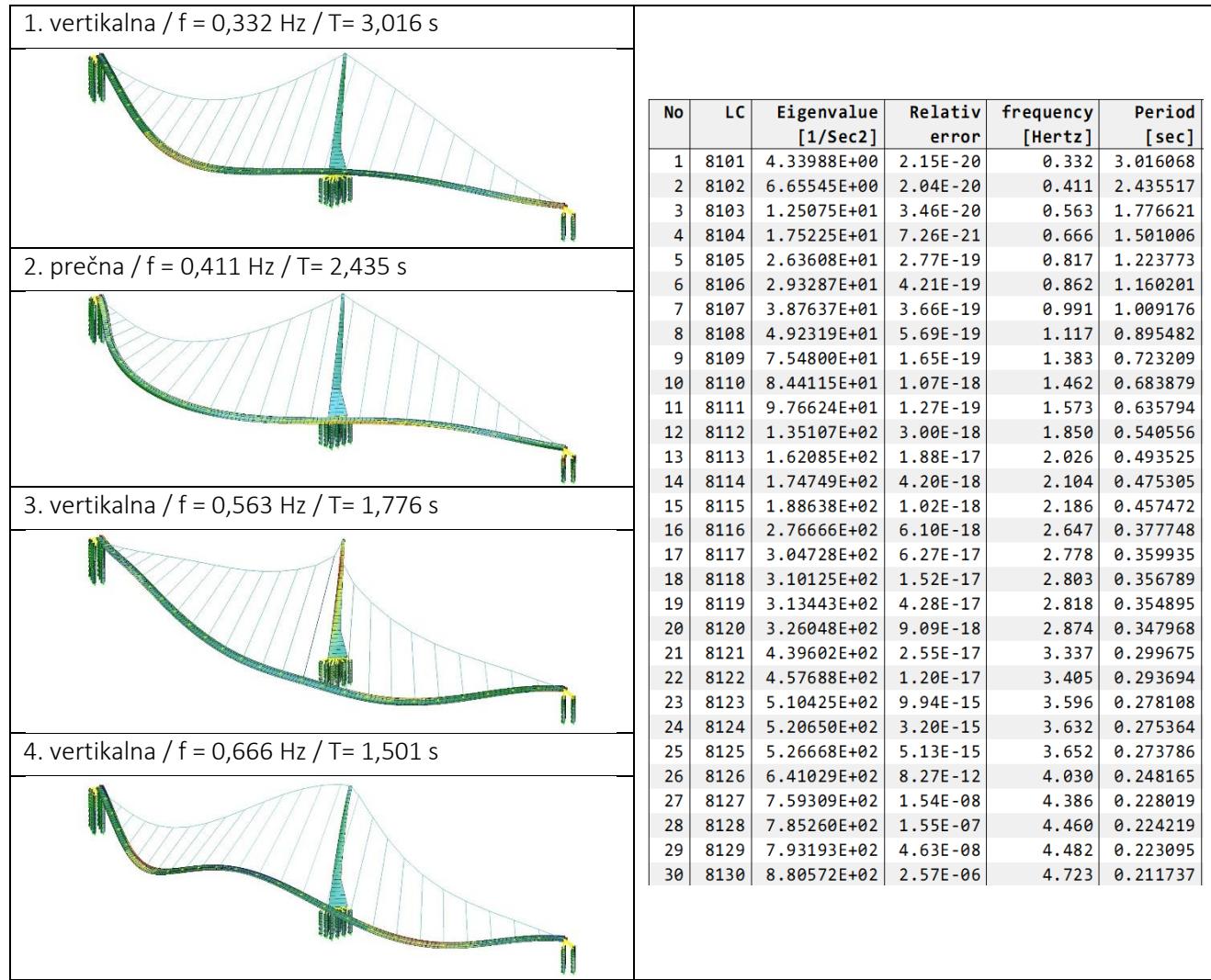


Glede na predvidene situacije, ki so bile predpisane, so v spodnji tabeli podane omejitve pospeškov, katerim je potrebno zadostiti, tako v vertikalni kot prečni smeri.

TC	Obtežba	Razred udobja	$a_{vert,limit} [m/s^2]$	$A_{preč,limit} [m/s^2]$
TC 2	$d = 0,2 \text{ P/m}^2$	CL2	0,50 - 1,00	0,10 – 0,30
TC 4	$d = 1,0 \text{ P/m}^2$	CL3	1,00 – 2,50	0,30 – 0,80

## 11.2 NIHAJNE OBLIKE IN FREKVENCE

V tabeli so podane frekvence nihanja. Na pripadajočih slikah so prikazane nekatere značilne nihajne oblike konstrukcije.



Na podlagi rezultatov modalne analize je ugotovljeno, da je konstrukcija bolj občutljiva na pojav vertikalnih vibracij, ki so iz vidika udobja manj problematične od prečnih, med tem ko so frekvence za prečne nihajne oblike izven problematičnih območij.

V nadaljevanju je izvedena kontrola maksimalnih vertikalnih pospeškov in doseženega razreda udobja ob upoštevanju predvidenih prometnih razredov in dodatnem upoštevanju pešcev pri izračunanih.

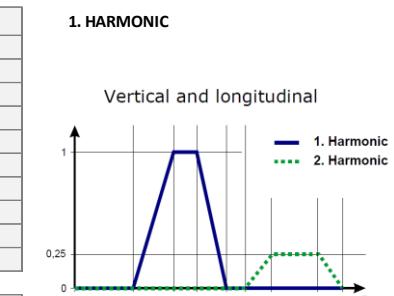
## Merodajen dokaz za TC4:

L [m]=	312,0
B [m]=	4,0
mi - modal mass [kg] =	56647
x [dumping] =	0,020
f [Hz] =	1,47
Traffic class=	TC4

$\psi$ =	0,482
d [P/m <sup>2</sup> ] =	1,0
a <sub>1</sub> =	-0,07
a <sub>2</sub> =	0,56
a <sub>3</sub> =	0,084
b <sub>1</sub> =	0,004
b <sub>2</sub> =	-0,045
b <sub>3</sub> =	-1,000
C=	3,70
kF=	7,00E-03
ka,d =	3,80

$\sigma_f^2$ =	8,736
$\sigma_a^2$ =	0,48
$\sigma_a$ =	0,69

$a_{max,d}$ =	1,26	m/s <sup>2</sup>	CL3-MINIMUM DEGREE OF COMFORT
---------------	------	------------------	-------------------------------



V primeru predpisane prometne situacije 1 (odprtje mostu) in upoštevanega prometnega razreda 4 (TC4), je izračunan maksimalni pospešek  $a_{max,d} = 1,26 \text{ m/s}^2$ , s čimer je zadoščeno razredu udobja CL3.

$$a_{max,d} = 1,26 \text{ m/s}^2 < 2,50 \text{ m/s}^2$$

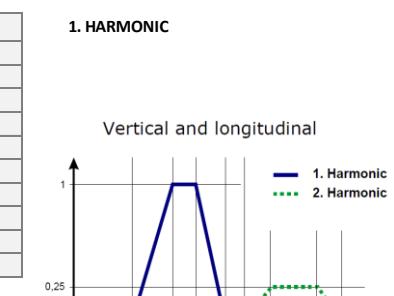
## Merodajen dokaz za TC2:

L [m]=	312,0
B [m]=	4,0
mi - modal mass [kg] =	52268
x [dumping] =	0,02
f [Hz] =	1,53
Traffic class=	TC2

$\psi$ =	0,620
d [P/m <sup>2</sup> ] =	0,2
a <sub>1</sub> =	-0,07
a <sub>2</sub> =	0,60
a <sub>3</sub> =	0,075
b <sub>1</sub> =	0,003
b <sub>2</sub> =	-0,040
b <sub>3</sub> =	-1,000
C=	2,95
kF=	1,20E-02
ka,d =	3,92

$\sigma_f^2$ =	2,995
$\sigma_a^2$ =	0,15
$\sigma_a$ =	0,39

$a_{max,d}$ =	0,94	m/s <sup>2</sup>	CL2-MEDIUM DEGREE OF COMFORT
---------------	------	------------------	------------------------------



V primeru predpisane prometne situacije 2 (vsakodnevni promet) in upoštevanega prometnega razreda 2 (TC2), je izračunan maksimalni pospešek  $a_{max,d} = 0,94 \text{ m/s}^2$ , s čimer je zadoščeno razredu udobja CL2.

$$a_{max,d} = 0,94 \text{ m/s}^2 < 1,00 \text{ m/s}^2$$

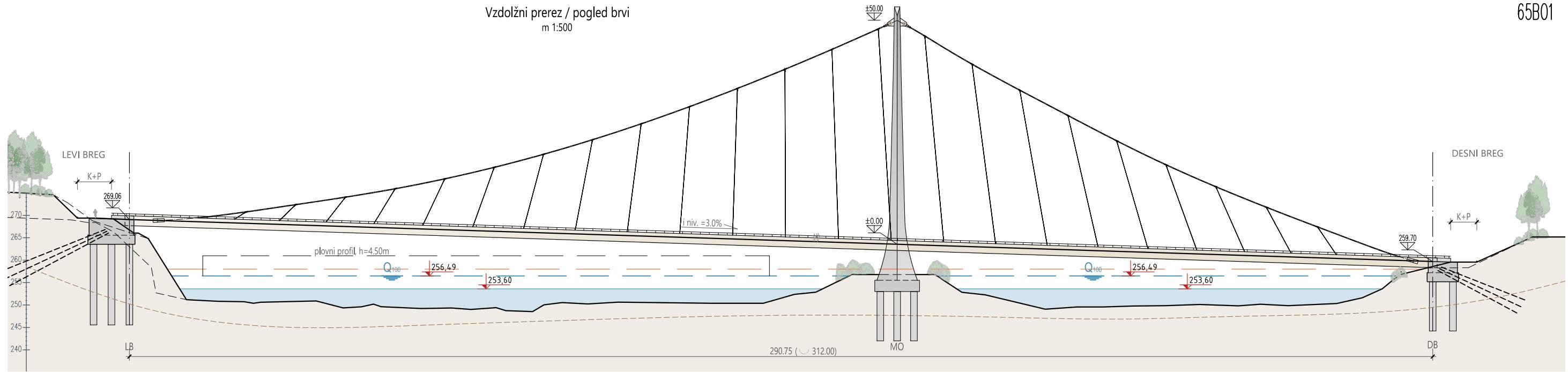
**PRILOGE:**

Osnovni načrti prikazani na A3 velikosti

Pomanjšani plakati

Vzdolžni prerez / pogled brvi  
m 1:500

65B01

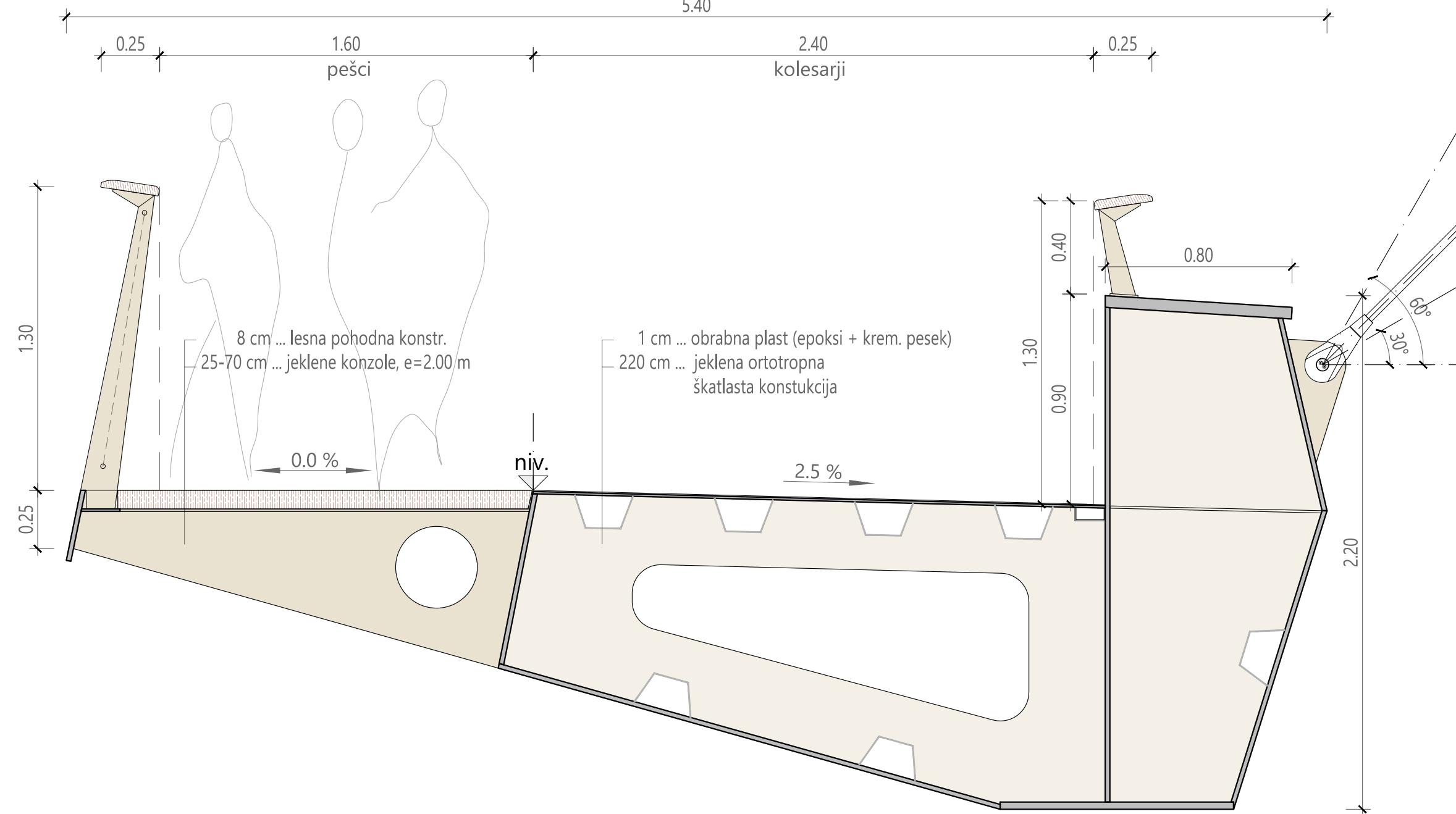


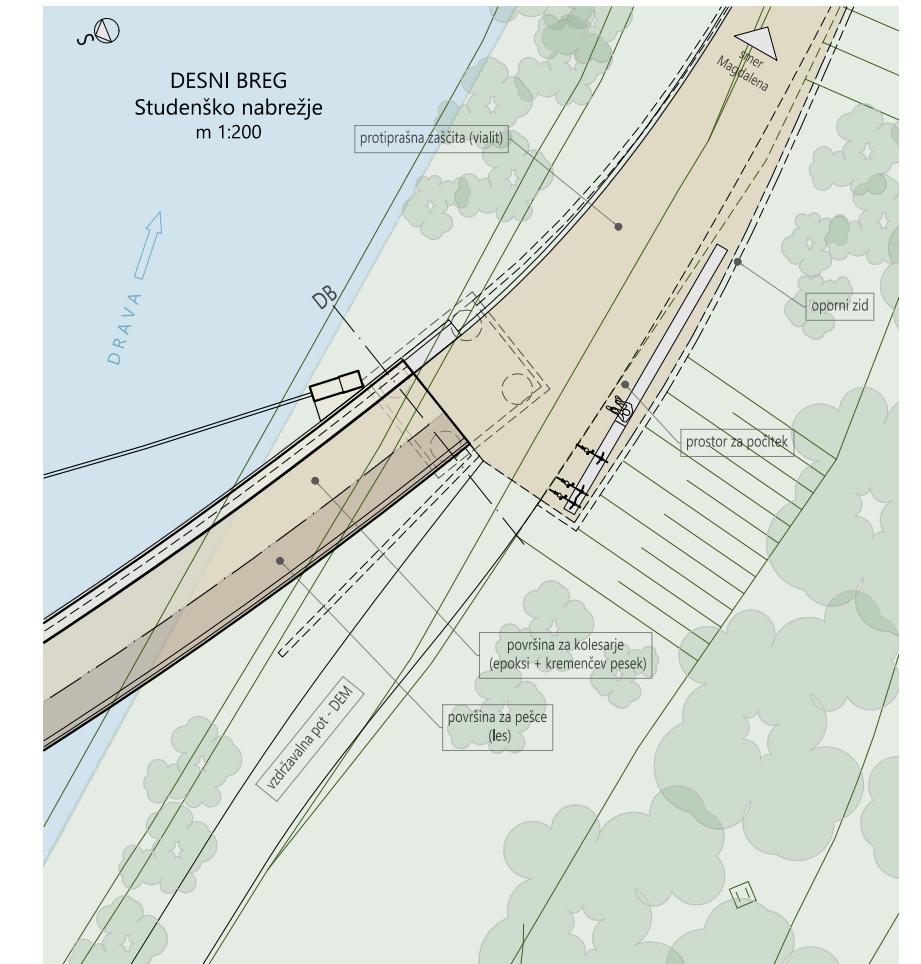
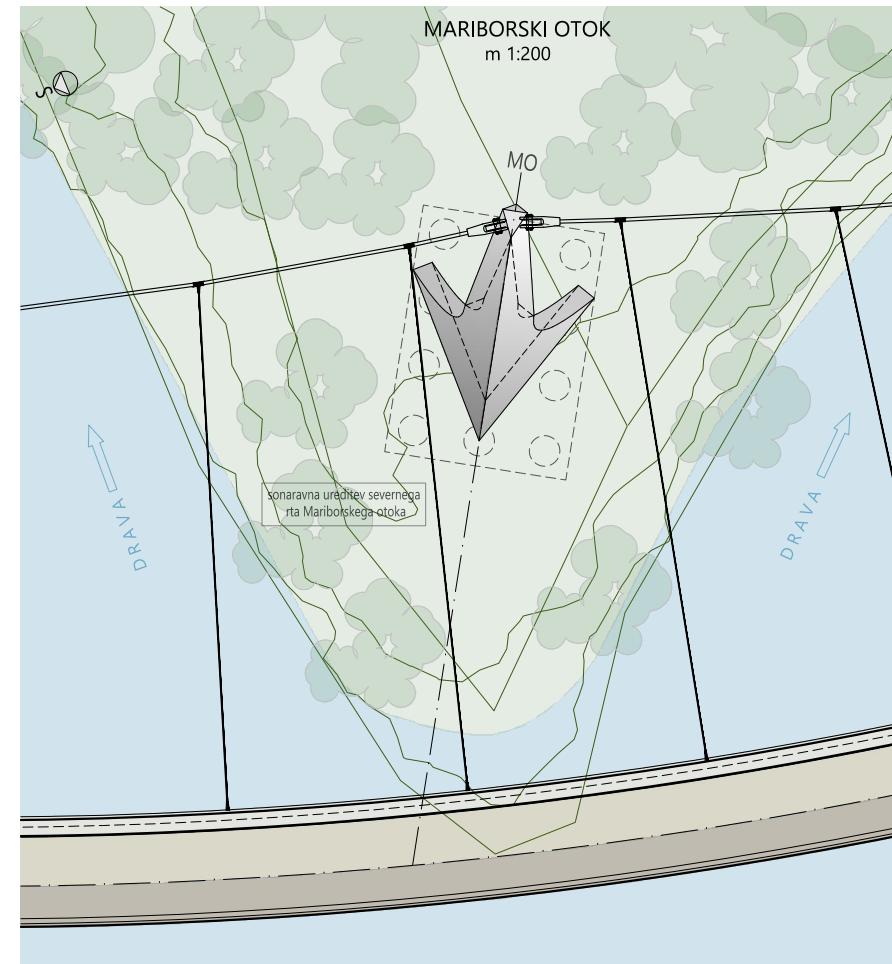
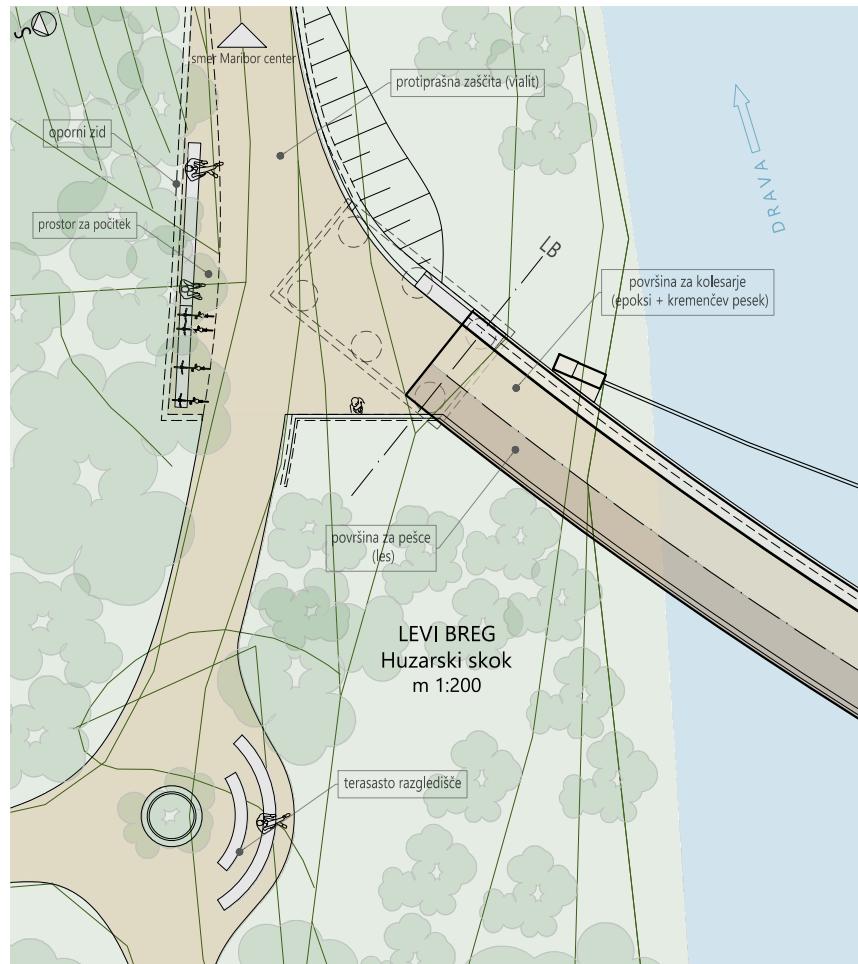
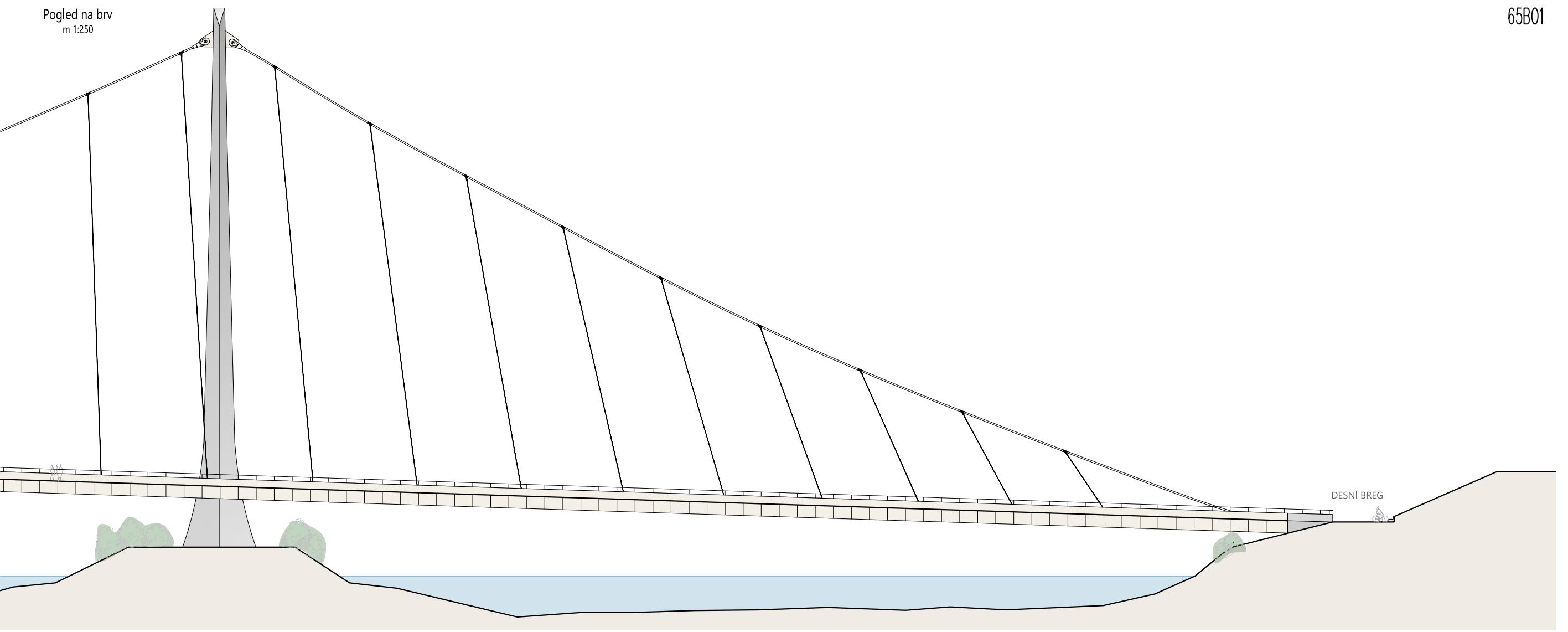
Tloris brvi z ureditvijo  
m 1:500



Karakteristični prečni prerez brvi  
m 1:20

65B01





65B01

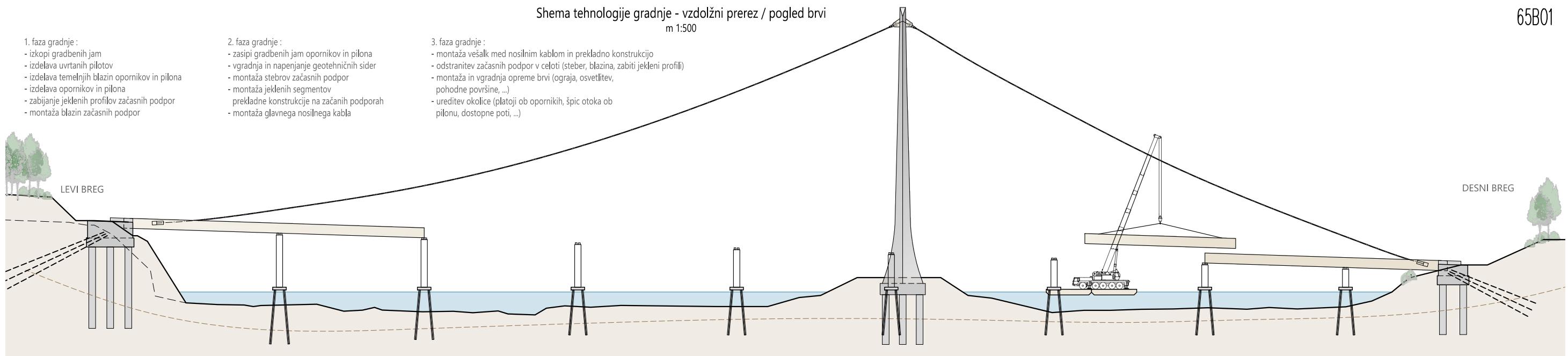
Shema tehnologije gradnje - vzdolžni prerez / pogled brvi

m 1:500

1. faza gradnje :
- izkopi gradbenih jam
  - izdelava uvrtnih pilotov
  - izdelava temeljnih blazin opornikov in pilona
  - izdelava opornikov in pilona
  - zabijanje jeklenih profilov začasnih podpor
  - montaža blazin začasnih podpor

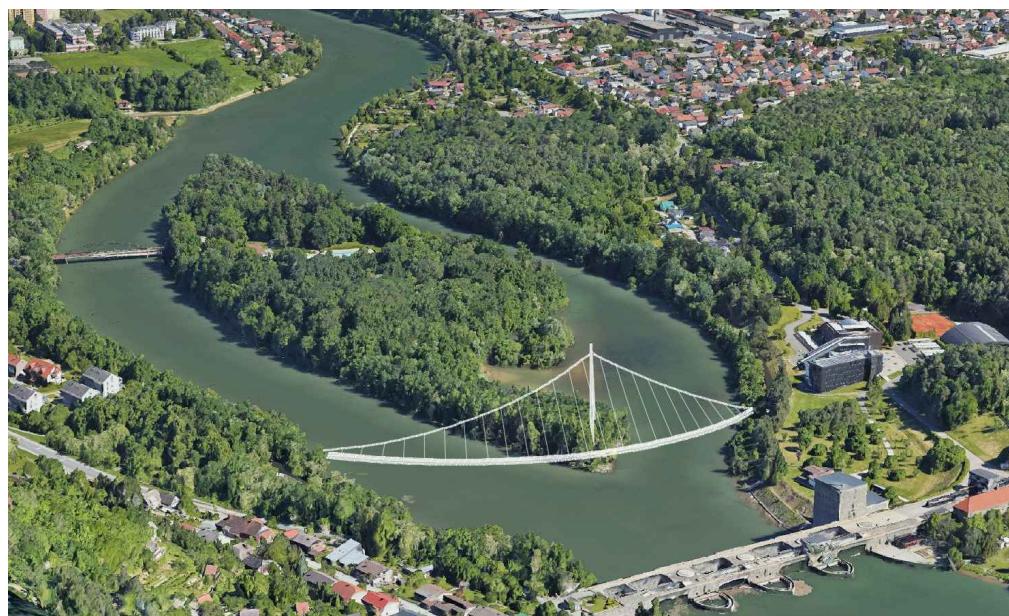
2. faza gradnje :
- zasipi gradbenih jam opornikov in pilona
  - vgradnja in njenjanje geotehničnih sider
  - montaža stebrov začasnih podpor
  - montaža jeklenih segmentov prekladne konstrukcije na začasnih podporah
  - montaža glavnega nosilnega kabla

3. faza gradnje :
- montaža vésalk med nosilnim kablom in prekladno konstrukcijo
  - odstranitev začasnih podpor v celoti (stebri, blazina, zabitji jekleni profili)
  - montaža in vgradnja opreme brvi (ograja, osvetlitev, pohodne površine, ...)
  - ureditve okolice (platoji ob opornikih, špic otoka ob pilonu, dostopne poti, ...)

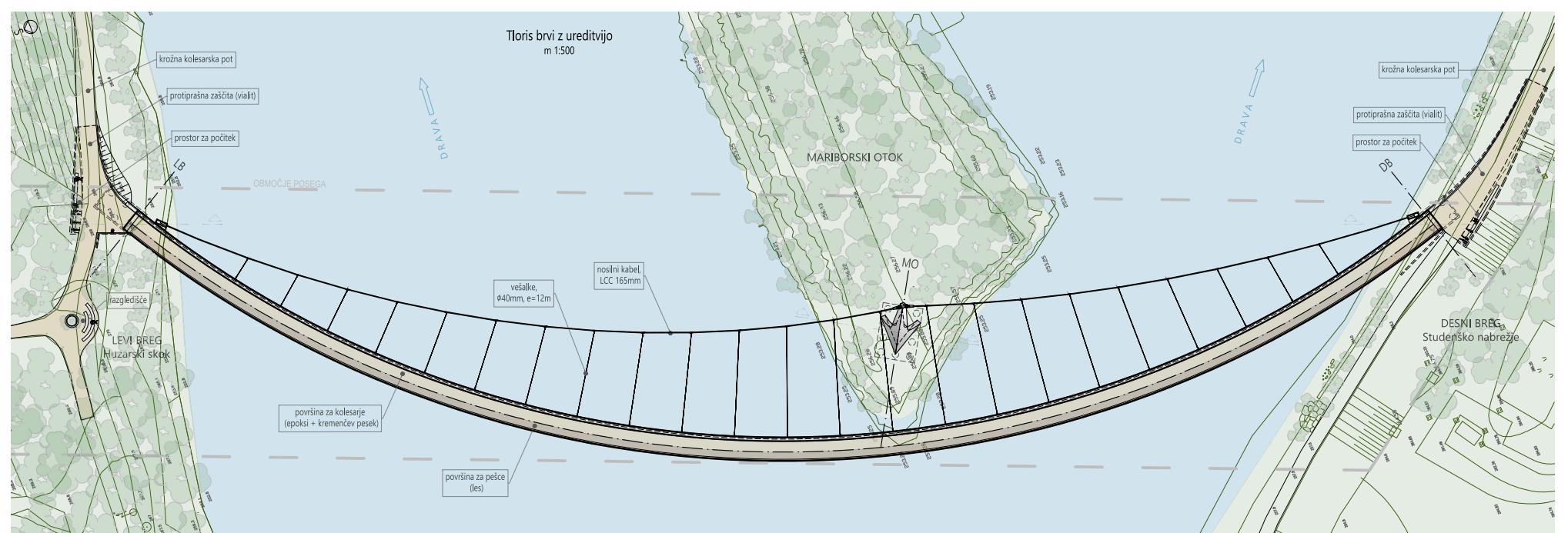
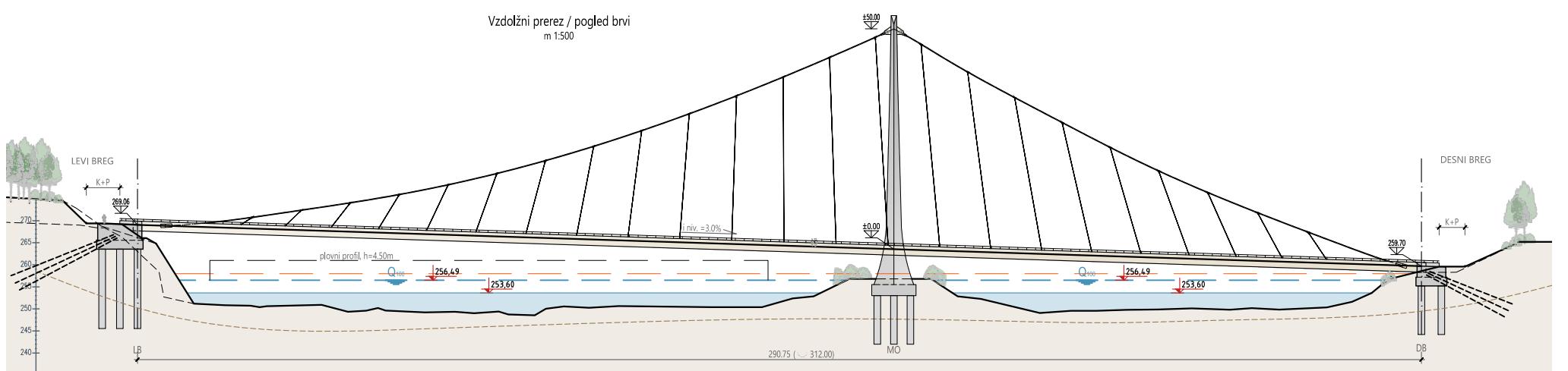
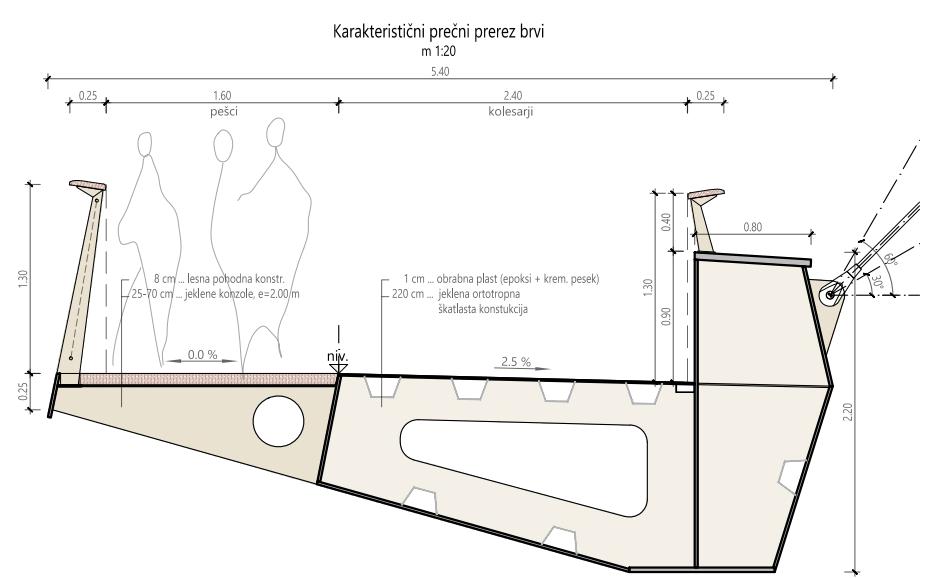




Prikaz 4



Umetitev v prostor

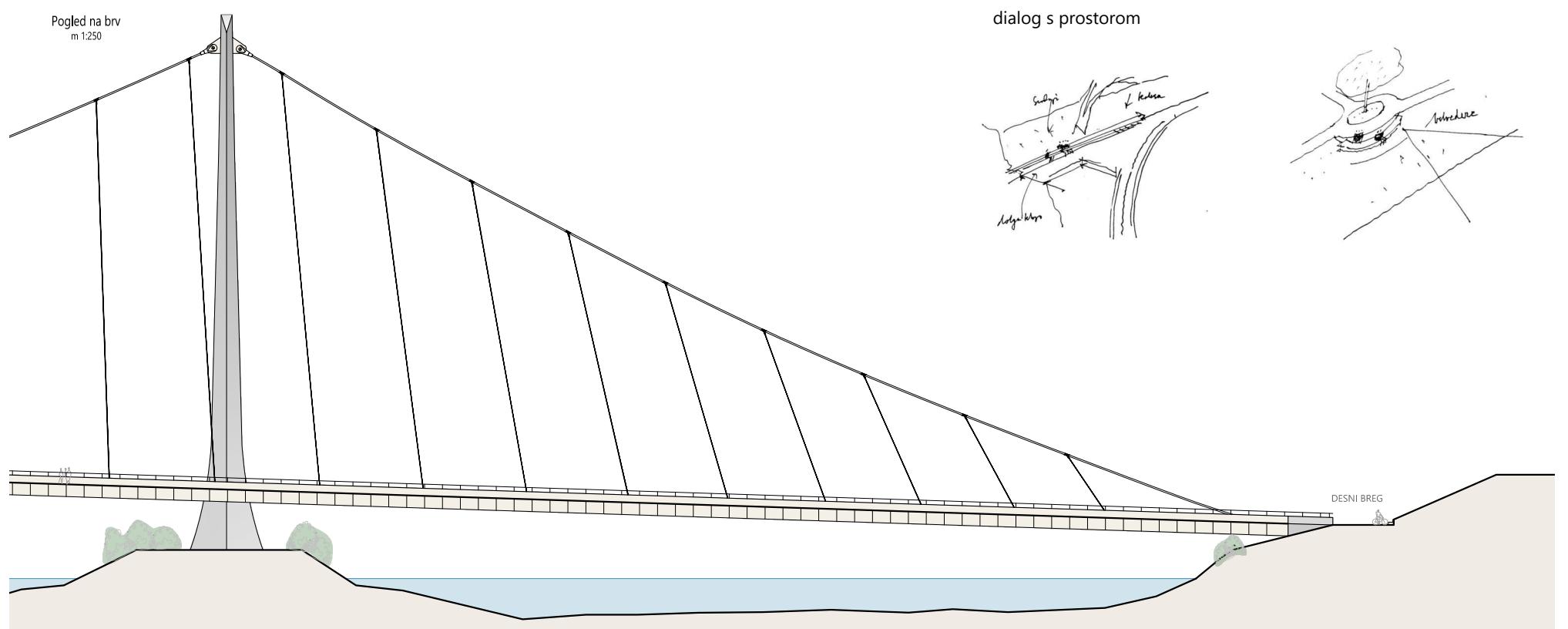
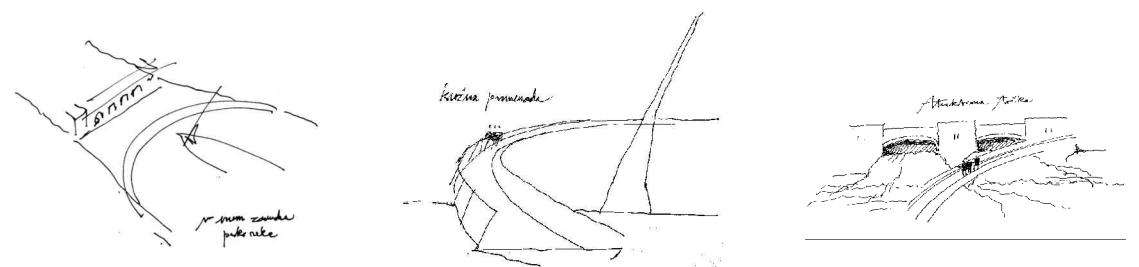




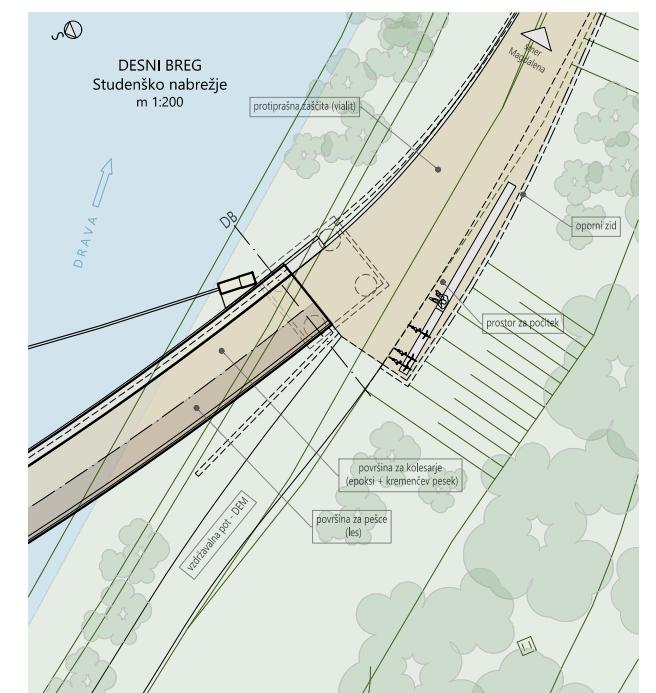
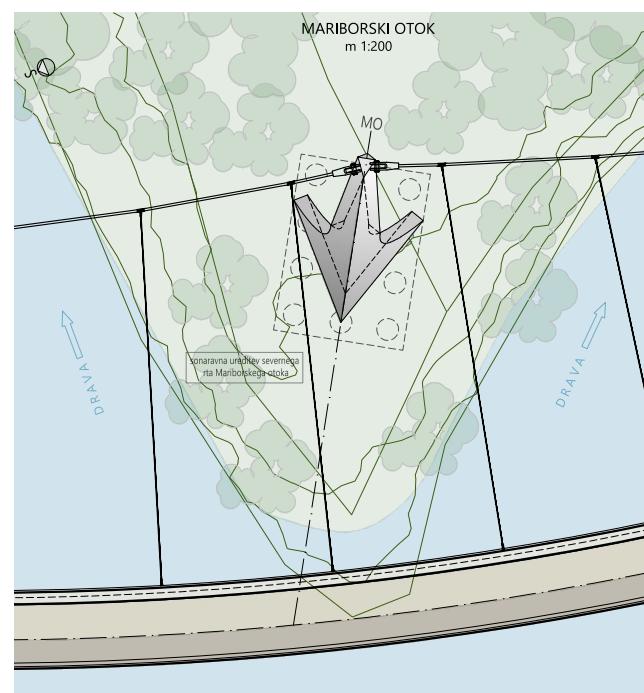
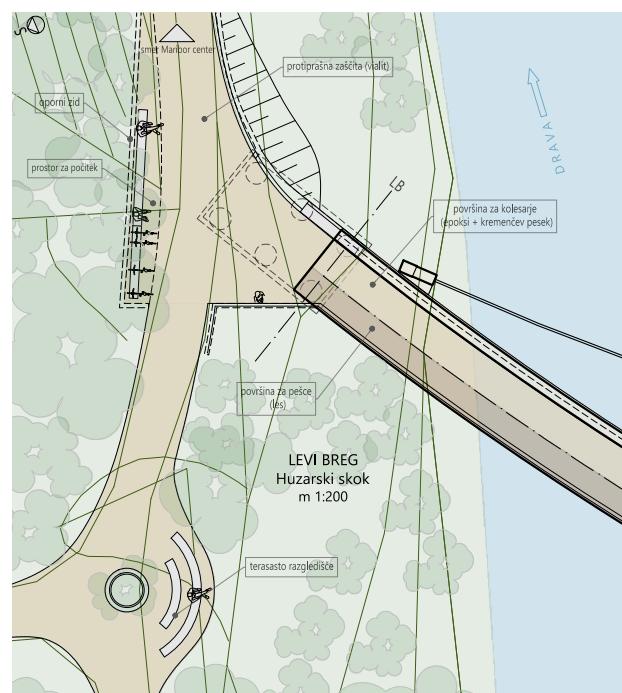
Prikaz 3

S krožnim urbanistično potezo hkrati naslovimo in rešimo več problemov:

- dobimo zvezno peš in kolesarsko krožno povezavo, tako v funkcionalnem kot pomenskem smislu,
- uredimo skladnost s predpisi o maksimalno dovoljenem vzponu (Pravilnik o kolesarskih površinah),
- s krivino zmanjšamo hitrost spuščanja kolesarjev in s tem povečamo varnost na mešani prometni površini,
- prostorsko zakrivljena konstrukcija s 3D delovanjem je bolj nosilna in ima predvsem boljše dinamično obnašanje kot raven linjska konstrukcija,
- objekt v krivini se harmonično prilagaja in spogleduje z mehkimi krivuljami naravnih dravskih brežin.



dialog s prostorom



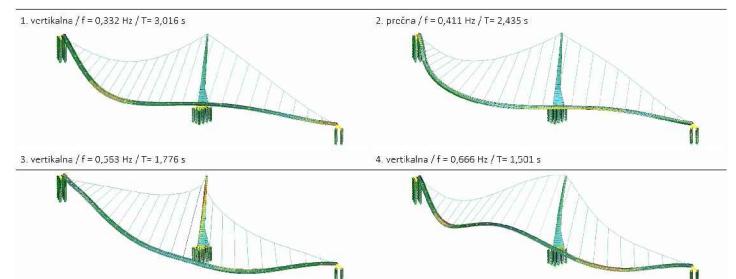
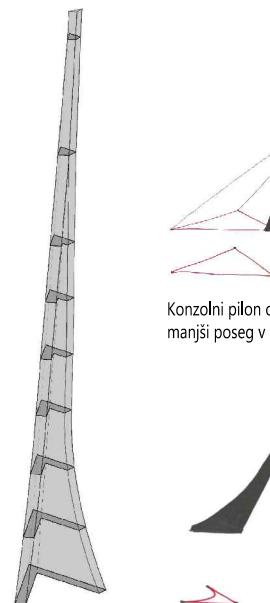


3D model konstrukcije

Konstrukcija Huzarske brvi po tipologiji spada med viseče konstrukcije z zakrivljeno oso in enim nosilnim kablom (mono-cable suspension bridge). Dolžina konstrukcije znaša 312 m mjereno po zakrivljeni osi (ravna linija znaša 290,75 m). S to dolžino bi prekošil trenutno najdaljši tak most na svetu.

Kako smo dosegli?

- z dodatnim bočnim delom smo povisili konstrukcijsko višino na 2,20 m in s tem togost pohodne grede,
- inovativno trikotno oblikovan pilon ima večjo togost, s čimer zmanjšuje tudi deformacije pohodne površine,
- integralno povezana opornika prenašata natezne sile s kombinacijo pilotov in trajnih geotehničnih sider,
- zakrivljena oblika je napram ravnem bolj ugodna tudi v smislu dinamike.



Dinamični odzivi konstrukcije

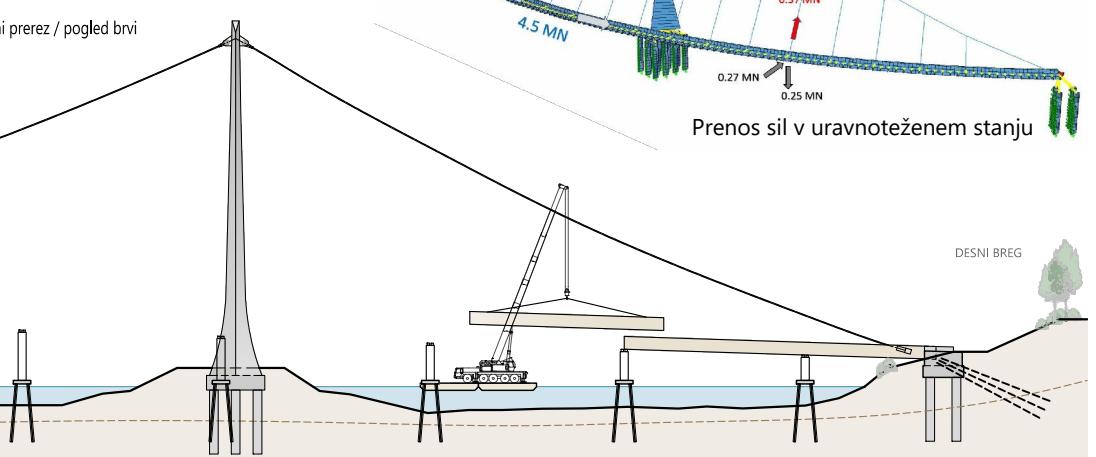
1. faza gradnje :
- izkopi gradbenih jam
  - izdelava uvrtnih pilotov
  - izdelava temeljnih blazin opornikov in pilona
  - izdelava opornikov in pilona
  - zabiljanje jeklenih profilov začasnih podpor
  - montaža blazin začasnih podpor

2. faza gradnje :
- zasip gradbenih jam opornikov in pilona
  - vgradnja in napenjanje geotehničnih sider
  - montaža stebrov začasnih podpor
  - montaža jeklenih segmentov
  - prekladne konstrukcije na začasnih podporah
  - montaža glavnega nosilnega kabla

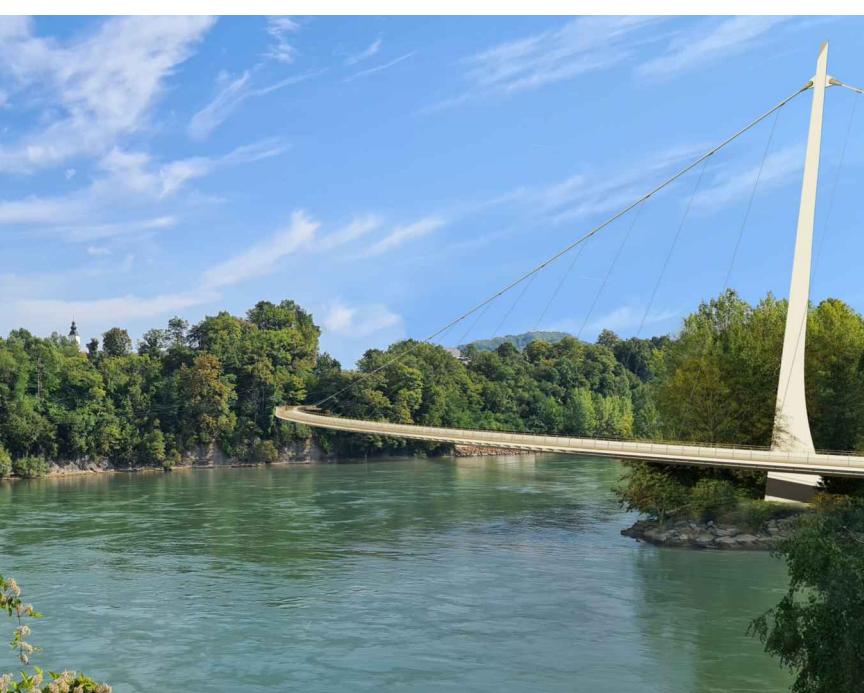
3. faza gradnje :
- montaža vešalk med nosilnim kablom in prekladno konstrukcijo
  - odstranitev začasnih podpor v celoti (stebri, blazine, zabit jekleni profili)
  - montaža in vgradnja opreme brvi (ograjna, osvetlitev, pohodne površine...)
  - ureditev okolice (platoji ob opornikih, špic otoka ob pilonu, dostopne poti...)
  - ureditev okolice (platoji ob opornikih, špic otoka ob pilonu, dostopne poti...)

Shema tehnologije gradnje - vzdolžni prerez / pogled brvi

m 1:500



Prenos sil v uravnoteženem stanju



Prikaz 1

Prikaz 2