

# Glavni projekt dogradnje i uređenja luke otvorene za javni promet Srebreno

---

**Drlje, Jure**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:123:063604>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Jure Drlje**

**Split, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Jure Drlje**

**Glavni projekt dogradnje i uređenja luke otvorene za javni promet**  
**Srebreno**

**Diplomski rad**

**Split, 2023.**

## **Glavni projekt dogradnje i uređenje luke otvorene za javni promet Srebreno**

### ***Sažetak:***

U ovom radu prikazan je Glavni projekt dogradnje i uređenja luke otvorene za javni promet Srebreno

Građevina je koncipirana kao šest dilatacija, koje se sastoje od pet gatova i jednog lukobranskog objekta. Konstruktivno građevina se sastoji od armirano-betonskih pilota na koje je oslonjena rasponska konstrukcija koja se sastoji od predgotovljenih elemenata i monolitizacije. Predmetnim diplomskim radom obrađene su tri dilatacije.

Projekt sadrži tehnički opis, plan kontrole i osiguranja kvalitete, proračun rasponske konstrukcije, proračun pilota i građevinske nacрте.

### ***Ključne riječi:***

Glavni projekt, piloti, predgotovljeni elementi, monolitizacija, numerički model, proračun

## **Main design of extension and arrangement of the port for public traffic Srebreno**

### ***Abstract:***

This paper presents the Main design for the extension and arrangement of the Srebreno port, which is open to public traffic

The building was designed as six dilations, consisting of five wharfs and one breakwater. Structurally, the building consists of reinforced concrete piles on which a span structure is supported, consisting of prefabricated elements and monolithization. Three dilations were processed in the subject thesis.

The project contains a technical description, a quality control and assurance plan, calculation of the span structure, calculation of piles and drawings.

### ***Keywords:***

Main design, piles, prefabricated elements, monolithization, numerical model, calculation



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJ: **SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**  
SMJER: **KONSTRUKCIJE**  
KANDIDAT: **Jure Drlje**  
JMBAG: **0083221879**  
KATEDRA: **Katedra za Betonske konstrukcije i mostove**  
PREDMET: **Betonske konstrukcije**

### **ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: **Glavni projekt dogradnje i uređenja luke otvorene za javni promet Srebreno**

Opis Zadatka: Na temelju danih podloga, potrebno je izraditi glavni projekt dogradnje i uređenja luke otvorene za javni promet Srebreno. Izrađeni projekt mora sadržavati:

- tehnički opis
- plan kontrole i osiguranja kvalitete
- proračune
- građevinske nacрте

U Splitu, ožujak 2023.

Voditelj diplomskog rada:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomske ispite

Prof. dr. sc. Alen Harapin

Izv. Prof. dr. sc. Ivan Balić

## **Zahvala**

*Zahvaljujem sinu Filipu, zaručnici Luciji i obitelji na podršci i motivaciji tokom izrade rada te mentoru na stručnoj pomoći i korisnim savjetima, također zahvalio bih kolegama Marku Bilanžiću i Nikoli Marčiću na korisnim savjetima.*



---

1.	TEHNIČKI OPIS .....	1
1.1.	UVOD.....	1
1.2.	OPIS POSTOJEĆEG STANJA .....	2
1.3.	OPIS TEHNIČKOG RJEŠENJA.....	2
1.4.	Armirano-betonski radovi .....	4
1.4.1.	Uvjeti za gradiva.....	4
1.5.	PROJEKTIRANI VIJEK UPORABE I UVJETI ODRŽAVANJA.....	5
1.5.1.	Projektirani vijek upotrebe .....	5
1.5.2.	Uvjeti održavanja.....	7
2.	PROGRAM KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE .....	11
2.1.	OPĆENITO .....	11
2.1.1.	Norme i propisi za osiguranje kvalitete.....	11
2.2.	BETONSKI I ARMIRANOBETONSKI RADOVI.....	16
2.2.1.	Općenito.....	16
2.2.2.	Kontrola kvalitete.....	18
2.2.3.	Materijali.....	19
2.2.4.	Sastav betonskih mješavina.....	23
2.2.5.	Isporuka svježeg betona .....	23
2.2.6.	Montažni armirano betonski elementi.....	26
2.3.	ARMIRANO BETONSKI BUŠENI PILOTI.....	27
2.3.1.	Općenito.....	27
2.3.2.	Materijali.....	27
2.3.3.	Usklađenost projekta sa stvarnim terenskim uvjetima.....	27
2.3.4.	Izrada .....	28
2.4.	SKELE I OPLATE .....	34

---



---

2.4.1.	Osnovni zahtjevi .....	34
2.4.2.	Materijal.....	34
2.5.	ARMATURA I UGRADNJA ARMATURE .....	35
2.5.1.	Općenito.....	35
2.5.2.	Savijanje, rezanje, prijevoz i skladištenje .....	35
2.6.	IZVOĐENJE BETONSKIH RADOVA.....	36
2.6.1.	Uvjeti kakvoće betona .....	36
2.6.2.	Isporuka, preuzimanje i gradilišni prijevoz svježeg betona.....	36
2.6.3.	Kontrola prije betoniranja .....	36
2.6.4.	Ugradnja i zbijanje.....	36
2.6.5.	Njegovanje i zaštita .....	37
2.6.6.	Geometrijske tolerancije.....	38
2.7.	OPREMA NA VEZOVIMA.....	41
2.7.1.	Općenito.....	41
2.7.2.	Inox prstenovi za privez.....	41
2.7.3.	Bitve (poleri).....	41
3.	ANALIZA OPTEREĆENJA.....	43
3.1.	UVOD.....	43
3.1.1.	Opis konstrukcije .....	43
3.1.1.	Primjenjeni materijali .....	44
3.2.	RAZMATRANA OPTEREĆENJA.....	45
3.2.1.	Stalno opterećenje .....	45
3.2.2.	Promjenjiva djelovanja .....	46
3.2.3.	Izvanredno djelovanje .....	49
4.	NUMERIČKI MODEL .....	62
4.1.	KOMBINACIJE OPTEREĆENJA .....	63

---





---

4.2.	REZULTATI PRORAČUNA.....	67
4.2.1.	Rasponska konstrukcija .....	67
4.2.2.	Piloti .....	73
5.	DIMENZIONIRANJE ELEMENATA RASPOSNKE KONSTRUKCIJE .....	91
5.1.	DILATACIJA B .....	91
5.1.1.	Dimenzioniranje na savijanje - GSN.....	91
5.1.2.	Dimenzioniranje na poprečnu silu – GSN.....	95
5.1.3.	Dimenzioniranje istaka uzdužnog nosača .....	97
5.1.4.	Proračun armature za sprezanje .....	100
5.1.5.	Kontrola pukotina i progiba – GSU .....	100
5.2.	DILATACIJA C .....	106
5.2.1.	Dimenzioniranje na savijanje - GSN.....	106
5.2.2.	Dimenzioniranje na poprečnu silu – GSN.....	110
5.2.3.	Dimenzioniranje istaka uzdužnog nosača .....	112
5.2.4.	Proračun armature za sprezanje .....	115
5.2.5.	Kontrola pukotina i progiba – GSU .....	115
5.3.	DILATACIJA D .....	121
5.3.1.	Dimenzioniranje na savijanje - GSN.....	121
5.3.2.	Dimenzioniranje na poprečnu silu – GSN.....	125
5.3.3.	Dimenzioniranje istaka uzdužnog nosača .....	127
5.3.4.	Proračun armature za sprezanje .....	130
5.3.5.	Kontrola pukotina i progiba – GSU .....	130
5.4.	Naglavnice pilota.....	136
5.4.1.	- Dilatacija B .....	136
6.	DIMENZIONIRANJE PILOTA .....	140
6.1.	DILATACIJA B .....	141

---



---

6.1.1.	Dimenzioniranje na djelovanje momenta savijanja i uzdužne sile .....	141
6.1.2.	Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	145
6.1.3.	Kontrola tlačnih naprezanja u betonu .....	146
6.2.	DILATACIJA C .....	147
6.2.1.	Dimenzioniranje na djelovanje momenta savijanja i uzdužne sile .....	147
6.2.2.	Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	150
6.2.3.	Kontrola tlačnih naprezanja u betonu .....	151
6.3.	DILATACIJA D .....	152
6.3.1.	Dimenzioniranje na djelovanje momenta savijanja i uzdužne sile .....	152
6.3.2.	Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	155
6.3.3.	Kontrola tlačnih naprezanja u betonu .....	156
6.4.	PRORAČUN NOSIVOSTI PILOTA .....	157
6.4.1.	Nosivost pilota po plaštu, proračun prema projektnom pristupu 2 (A1+M1+R2) .....	158
6.4.2.	Nosivost pilota po bazi .....	159
6.5.	KONTORLA POMAKA PILOTA – GSU .....	160
6.5.1.	Dilatacija B .....	160
6.5.2.	Dilatacija C .....	161
6.5.3.	Dilatacija D .....	162

# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1. UVOD

Predmetni diplomski rad predstavlja glavni građevinski projekt dogradnje i uređenja luke otvorene za javni promet Srebreno. Ovim diplomskim radom obrađene su tri dilatacije predmetne građevine i to dilatacije B, C i D. Ostale dilatacije (A, E1 i E2) nisu predmet ovog diplomskog rada ali se spominju u uvodu zbog uvida u cjelinu projekta.

Zahvatom se predviđa izgradnja sljedećih konstruktivnih cjelina:

- Dogradnja postojećeg lukobranskog objekta u približnoj duljini od 50 m
- Privezni gatovi ukupne duljine cca. 250 m.

Privezni gatovi u unutarnjem dijelu akvatorija se mogu podijeliti na:

- Pristupni gat: duljina: 57,60 m, širina: 3,0 m;
- Zapadni unutrašnji gat: duljina: 48,85 m, širina: 2,3 m;
- Istočni unutrašnji gat: duljina: 40,05 m, širina: 2,3 m;
- Vanjski gat: duljina: 101,62m, širina: 6,0 m.



Slika 1.1. Prikaz područja zahvata



Privezni gatovi u unutarnjem dijelu akvatorija koristiti će se za privez komunalnih plovila osim vanjske strane vanjskog gata koji je u funkciji priveza plovila nautičkog turizma.

## **1.2. OPIS POSTOJEĆEG STANJA**

Lokacija na kojoj se planira realizacija dogradnje i uređenja luke otvorene za javni promet nalazi se u sjevernom dijelu akvatorija Župskog zaljeva, približno 9 kilometara istočno od grada Dubrovnika.

Na lokaciji postoji kraći lukobran dužine približno 25 m, bez obrambenog kamenometa s vanjske strane, te sa vrlo visokim parapetnim zidom čija je gornja kota na +3,20 m. S unutarnje strane lukobrana nalazi se operativna obala za javni promet, približne dužine 15+85 m. Operativna obala je obložena kamenim obložnicama i poklopticama, te je opremljena stupovima za privez. Prema vizualnom pregledu nadmorskog dijela obale, može se zaključiti da je ista u relativno dobrom stanju.

Dalje prema sjeverozapadu, nalazi se istezalište i manja stupna dizalica za male brodove. Od pozicije istezališta pa sve do kontakta sa plažom, nalazi se pasarela za komunalni privez brodova, približne ukupne dužine 105 m. Kopneni dio privezne obale je opločen kamenim pločama, sve do ruba pristupne prometnice, a od ceste je odijeljen žardinjerama i klupama za sjedenje.

Na području obalnog pojasa od interesa danas nema izvedene infrastrukture za potrebe brodova.

Prometna povezanost predmetne lokacije ostvaruje se preko lokalne pristupne dvotračna prometnice sa okretištem na početku operativne obale za javni promet te organizirani paralelni parking duž zaobalnog traka ceste.

Akvatorij postojeće luke izložen je vjetrovalnim utjecajima iz južnih i istočnih smjerova, pri čemu valovi iz navedenih smjerova, primarno valovi juga i oštra, direktno prodiru u akvatorij. Lokacija je također izložena buri pri čemu se na malom privjetrištu (svega nekoliko stotina metara) razvijaju kratki i strmi valovi koji djeluju na privezane brodove.

## **1.3. OPIS TEHNIČKOG RJEŠENJA**

Na izgradnji dilatacija B, C i D izvodi se ukupno 21 armiranobetonski pilot promjera 1000/1070 mm (P23-P75). Piloti dilatacija B, C i D se izvode u jednom redu na promjenjivom međusobnom osnovnom razmaku (750, 730 i 700 cm). Buše se direktno u stijenu bušećom garniturom koja u temeljnoj stijeni ostavlja rupu promjera 1070 mm. Piloti na dogradnji lukobrana će se izvesti sa visinom uklještenja  $H_u=400$  cm, a postupak je slijedeći:

Nakon što se bušača kolona u punom profilu nasloni na stijenu ona se dodatno utiskuje 50 cm mjereno od najniže točke u kojoj se naslonila na stijenu.

Zatim se vrši bušenje do projektirane dubine, nakon čega se vrši spuštanje armaturnog koša pilota za koji su zavareni nosači za zaštitnu čeličnu cijev (izgubljenu oplatu) debljine stijenka 6 mm i nakon toga se postavlja

zaštitna čelična cijev do projektirane visine. Naposljetku se vrši betoniranje pilota betonom C35/45, a kako bi se spriječilo dizanje i gubitak betona sa vanjske strane oplata i osigurala projektirana visina uklještenja (visina uklještenja je visina od dna bušotine do prirubnice), izgubljena čelična oplata na svom donjem vanjskom dijelu ima zavarenu prirubnicu. Pretpostavljeno je da beton neće popuniti šupljinu između čelične cijevi i stijenke na dijelu pilota iznad prirubnice. Betoniranje pilota betonom C35/45 se završava minimalno 50 cm iznad projektirane završne kote, te se nakon djelomičnog očvršćivanja betona višak betona i čelične cijevi uklanja razbijanjem i rezanjem istih.

Tolerance za izradu pilota su 10 cm u x, y ravnini i +/-1 cm u vertikalnom smjeru, a dopušteno odstupanje pilota od vertikale iznosi 0,5% njegove visine. Zaštitni sloj unutar zaštitne čelične cijevi je minimalno 6 cm od najistaknutijeg dijela armature.

Nakon izrađenih pilota pristupa se izradi nadmorskog dijela konstrukcije.

Za dilatacije B, C i D prvo se montiraju predgotovljene armiranobetonske naglavnice, te se na njih postavljaju predgotovljeni armiranobetonski uzdužni nosači (UN). Pri montaži ovih elemenata izvođač je dužan razraditi i primjeniti tehnologiju privremenog pridržanja ovih elemenata do faze njihove monolitizacije, kako bi osigurao njihovu stabilnost u slučaju pojave valova koji bi mogli destabilizirati postavljene nosače dok još nisu monolitizirani sa preostalim dijelom konstrukcije.

Slijedi monolitizacija čvorova nad naglavnicama i uzdužnim nosačima betonom C35/45 na licu mjesta do kote +0,95 m. U monolitizaciji je potrebno ostaviti cijevi za provlačenje instalacija.

Dilatacije C i D se obostrano opremaju prstenovima za privez kako je predviđeno u grafičkom dijelu projekta.

Završna površina svih dilatacija gotova u unutarnjem dijelu akvatorija je četkano-brušeni beton.

## 1.4. Armirano-betonski radovi

### 1.4.1. Uvjeti za gradiva

Razredi izloženosti, razred tlačne čvrstoće betona i debljina zaštitnog sloja

Uvjeti okoliša: Stalno uronjeni elementi u lukama; Zidovi lukobrana i molova

Razred izloženosti: XS2; XS3 prema HRN EN 206

Najmanji potrebni razred tlačne čvrstoće betona: **C 35/45**

Minimalni zaštitni sloj:  $c_{\min} = 55 \text{ mm}$

Odabrano:

podmorski elementi:  $c_{\text{nom}} = 55 \text{ mm}$

grede i ploče:  $c_{\text{nom}} = 55 \text{ mm}$

nadmorski zid:  $c_{\text{nom}} = 55 \text{ mm}$

- **Beton**

Odabrani razred tlačne čvrstoće betona: **C 35/45**

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

Proračunska tlačna čvrstoća valjka:  $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 35/1,5 = 23,3 \text{ N/mm}^2$

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

Sekantni modul elastičnosti:  $E_{cm} = 34000 \text{ N/mm}^2$

- **Čelik za armiranje**

Naziv i oznaka čelika: **šipka HRN EN 10080 + HRN 1130-2 - B500B - Ø×L**

Karakteristična granica popuštanja:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2 (R_e)$

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$

Karakteristična vlačna čvrstoća:  $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2 (R_m)$

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

- **Vodonepropusnost i migracija klorida kod betona**

Beton za pojedine dijelove konstrukcije mora zadovoljavati uvjete iz slijedeće tablice:

Dio konstrukcije	Vodonepropusnost <sup>1</sup>	Migracija klorida <sup>2</sup>
Beton „in situ“	VDP3	$< 9 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$
Predgotovljeni elementi	VDP3	$< 6 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$

<sup>1</sup> Vodonepropusnost se mora mjeriti u skladu sa normom HRN EN 12390-8

<sup>2</sup> Migracija klorida se mora mjeriti u skladu sa normom NT BUILD 492

## 1.5. PROJEKTIRANI VIJEK UPORABE I UVJETI ODRŽAVANJA

### 1.5.1. Projektirani vijek upotrebe

Sukladno HRN EN 1990:2011 ovisno o vrsti konstrukcije razlikuju se pet razreda sa različitim proračunskim uporabnim vijekom prema slijedećoj tablici:

Kat.prorač. uporab.vijek	Naznačeni proračunski uporabni vijek [godine]	Primjeri
1	10	Privremene konstrukcije
2	10 do 25	Zamjenjivi dijelovi konstrukcije, npr. grede skela, ležajevi
3	15 do 30	Poljoprivredne i slične konstrukcije
4	50	Konstrukcije zgrada ili druge uobičajene konstrukcije
5	100	Konstrukcije monumentalnih zgrada, mostovi i druge inženjerske

Prema gore navedenoj tablici obalna građevina svrstana je u kategoriju sa proračunskim uporabnim vijekom od **50 godina**.

Za ostvarivanje propisane trajnosti betonskih konstrukcija prema Eurokodu uzeti su u razmatranje slijedeći čimbenici:

- Namjena konstrukcije
- Zahtijevana svojstva i ponašanje konstrukcije
- Očekivani uvjeti okoliša i njegov utjecaj
- Sastav, svojstva i ponašanje materijala
- Oblik konstruktivnih elemenata, razrada detalja i građevna izvedba
- Kvaliteta građenja i opseg nadzora
- Naročite mjere zaštite
- Održavanje tijekom predviđenog vijeka trajanja

Građevine su, kao i drugi tehnički sustavi, podložne prirodnom starenju i trošenju. Armiranobetonske konstrukcije predstavljaju jedan od najčešće izvedenih tipova konstrukcija u graditeljstvu. Projektiraju se i izvode na način da pod očekivanim utjecajima iz okoliša zadrže svoju sigurnost, uporabljivost i prihvatljiv izgled kroz određeni vremenski period bez zahtijevanih nepredviđenih visokih troškova za održavanje i popravke. Pored mehaničkih opterećenja kojima su tijekom eksploatacije izložene armiranobetonske građevine pojavljuju se i tzv. trajnosna opterećenja koja znatno mogu reducirati vijek trajanja konstrukcije. Propadanje konstrukcije s vremenom odnosno smanjenje njene trajnosti ovisi o okolišu u kojem se konstrukcija nalazi, o prisutnosti i transportu štetnih tvari kroz beton te o veličini, učestalosti i učincima različitih opterećenja koja djeluju na konstrukciju.

Luka se nalazi u maritimnoj okolini koja predstavlja iznimno nepovoljan i agresivan okoliš. Najčešći uzrok oštećenja i smanjenja trajnosti te najveće štete na armiranobetonskim konstrukcijama u maritimnim uvjetima događaju se zbog štetnog djelovanja klorida. Uslijed djelovanja klorida dolazi do propadanja armiranobetonskih konstrukcija zbog procesa korozije armature.

Neposredno nakon izgradnje armiranobetonske konstrukcije u maritimnoj okolini beton zbog svoje alkalnosti čini površinu armature pasivnom i na taj način je korozija armature spriječena. Smanjivanjem pH vrijednosti poremećene vode u betonu uslijed prodora klorida iz maritimne okoline dolazi do depasivizacije armaturnog čelika i do korozije armature. Produkti korozije zauzimaju veći volumen od čelika što uzrokuje vlačna naprezanja u betonu. Kada ta vlačna naprezanja dostignu vlačnu čvrstoću betona dolazi prvo do pojave smeđih mrlja od hrđe na površini betona i zatim pojave karakterističnih pukotina duž armaturnih šipki, naročito onih u kutovima konstruktivnih elemenata. Na tim mjestima dolazi do daljnjeg povećanog prodora klorida koji uzrokuju potpuno odvajanje i odlamanje betona. Glavne štete na armiranobetonskim konstrukcijama uslijed korozije armature jesu raspucavanje betona, gubitak prionjivosti između betona i armature te smanjenja profila armaturnih šipki. Na taj



način dolazi do gubitka nosivosti i sigurnosti armiranobetonskih konstrukcija u maritimnim uvjetima tijekom vremena.

Iz tih razloga kod projektiranja građevine poduzete su potrebne mjere da vijek trajanja objekta dostigne planiranu vrijednost. Pod vijekom trajanja armiranobetonskih konstrukcija podrazumijeva se vrijeme tijekom kojim konstrukcija ispunjava projektom predviđeno ponašanje ili svojstvo. Vijek trajanja konstrukcije definiran je na temelju načina dimenzioniranja, odabira detalja, sastava betona, proizvodnji betona i ugradnji, metodama izvođenja te monitoringu i održavanju konstrukcije.

### **Uporabni vijek projektirane građevine je 50 godina.**

Uzevši u obzir agresivnu okolinu u kojoj se konstrukcija nalazi neophodno je vršiti monitoring stanja armiranobetonske konstrukcije, te provoditi redovite preglede tijekom vremena kako bi se eventualnim pravovremenim reakcijama utjecalo na dostizanje projektiranog vijeka trajanja konstrukcije.

Glede navedenog, razlikuju se radovi na izgradnji građevine za vrijeme gradnje, za vrijeme rekonstrukcije, sanacije i sl., te radove u eksploataciji objekta, tj. radove na održavanju. Opisane radove dužne su obavljati radne organizacije (pravne osobe) registrirane za te djelatnosti. Održavanje građevine u cijelosti je potrebno provoditi tijekom njenog ukupnog životnog vijeka, za što je odgovoran vlasnik građevine.

## **1.5.2. Uvjeti održavanja**

### Tekući i redoviti pregledi

Tekući pregledi obavljaju se godišnje i spadaju u osnovne mjere za očuvanje tehničkih svojstava građevine. Kod tekućih pregleda provode se slijedeće aktivnosti:

- a) vizualni pregled konstruktivnih elemenata i opreme predmetne građevine;
- b) monitoring korozije armature pomoću izvoda iz konstruktivnih elemenata.

Učestalost redovitih pregleda u svrhu održavanja betonske konstrukcije provodi se minimalno jednom u 5 godina.

U sklopu redovitih pregleda obavezno se provode slijedeće aktivnosti:

- a) vizualni pregled, u kojeg je uključeno utvrđivanje položaja i veličine napuklina i pukotina te drugih oštećenja bitnih za očuvanje mehaničke otpornosti i stabilnosti građevine;
- b) utvrđivanja stanja i dimenzije zaštitnog sloja armature pomoću nerazornog uređaja tragača armature i to na svakom pojedinom betonskom konstruktivnom element;

c) utvrđivanje veličine progiba glavnih nosivih elemenata betonske konstrukcije za slučaj osnovnog djelovanja, ako se na temelju vizualnog pregleda opisanog u točki a) sumnja u ispunjavanje bitnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti;

d) utvrđivanje stupnja korozije armature u karakterističnim presjecima konstruktivnih elemenata.

Posebni detaljni pregledi provode se u slučaju izvanrednih okolnosti kao npr.:

a) izrazito loše stanje konstrukcije dobiveno na temelju provedenog redovitog pregleda;

b) kritični rezultati dobiveni tijekom monitoringa korozije armature i/ili nekog drugog tehničkog svojstva konstruktivnog elementa;

c) vidljivo oštećenje konstrukcije koje se dogodilo radi prirodne nepogode i sl.

Izveštaje o svim pregledima obavezan je čuvati investitor/korisnik/vlasnik.

Redovite i izvanredne preglede te monitoring korozije armature investitor/korisnik/vlasnik građevine mora povjeriti tvrtki specijaliziranoj za obavljanje predmetnih poslova. Navedena tvrtka dokazuje specijaliziranost na način da posjeduje akreditaciju za ispitivanje svježeg i očvrslog betona izdanu od strane Hrvatske akreditacijske agencije (HAA).

Investitor/korisnik/vlasnik objekta dužan je zaključiti ugovor o obavljanju pregleda i monitoringa korozije sa specijaliziranom tvrtkom prije završetka gradnje objekta. U protivnom, ako to ne učini, podložan je djelovanju građevinske inspekcije i njenim kaznenim mjerama.

#### Monitoring stanja konstrukcije

Položaj predmetne građevine u maritimnim uvjetima okoline uzrokuje ubrzano propadanje konstrukcije. Ovo se posebno odnosi na dijelove konstrukcija koje se nalaze iznad razine mora, a posebno u zoni plima-oseka, jer je za proces korozije armature bitna prisutnost kisika. Propadanje armiranobetonske konstrukcije tijekom vremena uslijed korozije armature utječe na smanjenje njihove nosivosti i sigurnosti. Sanacije takvih objekata su ekonomski vrlo skupe, a upitna je i kvaliteta izvedenih radova radi otežanih radnih uvjeta.

Iz navedenih razloga detektiranje i mjerenje stupnja korozije armature tijekom vremena na konstruktivnim elementima podmorskih građevina utječe na povećanje sigurnosti, trajnosti i ekonomičnosti armiranobetonskih konstrukcija podmorskih građevina. Monitoring korozije armature konstruktivnih elemenata je sastavni dio održavanja objekta, a što je jedan od bitnih parametara projektiranja vijeka trajnosti predmetne građevine od 50 godina.



Monitoring korozije armature može se provoditi na razne načine, a preporuča se galvanostatička impulsna metoda pomoću uređaja Galva Pulse, proizvođač Germann Instruments (Kopenhagen, Danska). Galvanostatička impulsna metoda je brza ne razorna polarizacijska metoda ispitivanja, koja se koristi za monitoring korozije armature i procjenu preostalog vijeka trajanja građevina. Uređaj i način ispitivanja prikazani su na prethodnim slikama.

Ovim ispitivanjem korozija armature se izražava preko brzine korozije, odnosno koliko čelika će biti otopljeno u  $\mu\text{m/godina}$ , te dodatno mjerenjem polučelijastog potencijala armature i električnog otpora betona.

Sustav se postavlja električnim spajanjem na armaturu (preko bakrene žice koja se spaja na armaturu te se izvlači na površinu betonskog elementa na način da ne šteti estetskom izgledu površine) i postavljanjem senzora na betonsku površinu preko vlažne spužve, kako bi se omogućio električni kontakt. Kratkotrajni anodni strujni impuls inducira se galvanostatički u armaturu iz brojače elektrode, koja je postavljena na površinu betona zajedno s referentnom elektrodom. Zaštitni prsten služi za ograničavanje područja mjerenja ispod centralne brojače elektrode. Primjenjuje se struja u rasponu od  $5\mu\text{A}$  do  $400\mu\text{A}$ , a tipično trajanje impulsa je 5 do 10 sekundi. Slaba anodna struja rezultira promjenom potencijala armature, koja se bilježi kao funkcija od vremena polarizacije. Armatura je polarizirana u smjeru anode u usporedbi sa svojim slobodnim korozijskim potencijalom.

S obzirom da mjerenje korozije armature i preko toga proračun preostalog vijeka trajanja konstrukcije ovisi djelomično i o vremenskim uvjetima monitoring korozije armature potrebno je raditi nekoliko puta godišnje (do 4 puta). Monitoring korozije armature potrebno je provoditi na svim konstruktivnim elementima obale. Na svakom elementu biti će po dva mjerna mjesta tj. ukupno 6 mjerna mjesta za monitoring korozije armature.

Nadzorni inženjer dužan je upisom u građevinski dnevnik potvrditi postavljanje izvoda u obliku bakrene žice spojene na armaturni koš na mjestu provođenja monitoringa korozije armature. Nadzorni inženjer će također upisom u građevinski dnevnik izvršiti potvrdu da su sve mjere dane u ovom programu održavanja ispunjene, a

uključivo i sklapanje ugovora investitora s tvrtkom specijaliziranom za monitoring korozije armature i preglede konstrukcija.

Izveštaj o provedenim vizualnim pregledima s rezultatima i interpretacijom rezultata monitoringa korozije armature te ocjenom stanja konstrukcije sastavljati će se jednom godišnje.

#### Održavanje konstrukcije

Monitoring korozije armature sastavni je dio programa održavanja objekata predmetne građevine.

Nakon završetka gradnje objekta sva dokumentacija (projektna, izvedbena i svi naknadni zahvati) biti će pohranjena kod investitora/korisnika/vlasnika i biti će dostupna tijekom redovitih i izvanrednih pregleda. Redoviti i izvanredni pregledi građevine spadaju u program održavanja.

Vlasnik objekta dužan je održavati građevinu na način da se sačuvaju bitna svojstva građevine kroz predviđeni uporabni vijek građevine tj. 50 godina.

Vlasnik objekta dužan je redovito provoditi sve mjere dane u ovom programu održavanja, a uključivo i provođenje redovitih i izvanrednih pregleda.

## 2. PROGRAM KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE

### 2.1. OPĆENITO

#### 2.1.1. Norme i propisi za osiguranje kvalitete

##### 2.1.1.1. Općenito

Kad je riječ o građevinskim materijalima i elementima konstrukcija oni su isti kao u ostalim granama graditeljstva, pa se mogu primjenjivati hrvatske norme (prema Zakonu o građevnim proizvodima N.N. br 76/13, 30/14 i 130/17 i 39/19, 118/20 osim ako je izričito navedeno da se trebaju primjenjivati neke druge norme ( standardi ) ili pravila struke ili ako materijali i postupci propisani ovim Tehničkim uvjetima odstupaju od HRN ili pak Nadzorni inženjer ( u daljnjem tekstu NI ) pismeno odobri uporabu alternativnih normi ( standarda ) ili pravila struke. S druge strane ne postoje hrvatske norme za pomorske konstrukcije. Stoga se primjenjuju opće hrvatske norme, ili one za slične konstrukcije.

##### 2.1.1.2. Alternativne norme

Mogu se primijeniti i ekvivalentne važeće norme koje se koriste van Republike Hrvatske (u daljnjem tekstu: RH), ali samo ukoliko se zadovolje slijedeći uvjeti:

- da su norme koje se predlažu najmanje jednako stroge kao one važeće u RH
- da je Izvoditelj već kod nuđenja izrazio želju da upotrijebi te alternativne norme,
- da NI odobri uporabu tih normi.

S obzirom da su i u svijetu rijetke norme isključivo za pomorske gradnje (iznimka je npr. Japanski tehnički standard za lučke gradnje), primjenjivati će se i neke, u struci često citirane, preporuke kao što su:

- Shore protection manual Izdan od US Coastal Engineering Center ( CERC );
- Empfehlungen der Arbeitsausschusses Uferinfrastrungen ( EAU ) izdan od njemačkog komitenta za obalne konstrukcije,
- Manual of the use of rock in coastal and shoreline engineering izdan od Construction Industry Research and Information Association UK ( CIRIA ).

##### 2.1.1.3. Norme za beton

HRN EN 206-1:2014 Beton – Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206-1:2013);

HRN 1128 :2007 Beton – Smjernice za primjenu norme HRN EN 206-1;

HRN EN 12350-1:2009 Ispitivanje svježeg betona–1. dio: Uzorkovanje (EN12350 – 1:2009);

HRN EN 12350-2:2009 Ispitivanje svježeg betona–2. dio: Ispitivanje slijeganjem (EN 12350 – 2:2009);

HRN EN 12350-3:2009 Ispitivanje svježeg betona–3. dio: VeBe ispitivanje (EN 12350 – 3:2009);

- HRN EN 12350-4:2009 Ispitivanje svježeg betona–4. dio: Stupanj zbijenosti (EN 12350 – 4:2009);
- HRN EN 12350-5:2009 Ispitivanje svježeg betona–5. dio: Ispitivanje rasprostiranjem (EN 12350 – 5:2009);
- HRN EN 12350-6:2009 Ispitivanje svježeg betona – 6. dio: Gustoća (EN 12350 – 6:2009);
- HRN EN 12350-7:2009 Ispitivanje svježeg betona–7. dio: Sadržaj pora – Tlačne metode (EN 12350–7:2009);
- HRN EN 12390-1:2012 Ispitivanje očvrsluloga betona–1. dio: Oblik, dimenzije i drugi zahtjevi za uzorke i kalupe (EN 12390 – 1:2012);
- HRN EN 12390-2:2009 Ispitivanje očvrsluloga betona–2. dio: Izrada i njega ispitnih uzoraka za ispitivanje čvrstoća (EN 12390 – 2:2009);
- HRN EN 12390-3:2009 Ispitivanje očvrsluloga betona–3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka (EN 12390 – 3:2009);
- HRN EN 12390-6:2010 Ispitivanje očvrsluloga betona–6. dio: Vlačna čvrstoća cijepanjem ispitnih uzoraka (EN 12390 – 6:2009);
- HRN EN 12390-7:2009 Ispitivanje očvrsluloga betona–7. dio: Gustoća očvrsluloga betona (EN 12390–7:2009);
- HRN EN 12390-8:2009 Ispitivanje očvrsluloga betona–8. dio: Dubina prodiranja vode pod tlakom (EN 12390 – 8:2009);
- HRN CEN/TS 12390-9:2006 Ispitivanje očvrsluloga betona–9. dio: otpornost na smrzavanje i odmrzavanje - Ljuštenje (CEN/TS 12390 – 9:2006);
- HRN ISO 2859-1:2012 Postupci uzorkovanja pri pregledima po obilježjima-1. dio Sheme uzorkovanja razvrstane prema prihvatljivim razinama kvalitete za „lot-by-lot“ pregled (ISO 2859 – 1:1999+Cor 1:2001+Amd 1:2011);
- HRN CEN/TR 15177:2006 Ispitivanje otpornosti betona na smrzavanje i odmrzavanje – Oštećenje unutarnje strukture (CEN/TR 15177:2006)
- HRN EN 480-11:2005 Dodaci betonu, mortu i mortu za injektiranje– Ispitne metode – 11. dio: Određivanje značajka zračnih pora u očvrslulom betonu (EN 480 – 11:2005);
- HRN EN 12504-1:2009 Ispitivanje betona u konstrukcijama–1. dio: Izvađeni ispitni uzorci – Uzimanje, pregled i ispitivanje tlačne čvrstoće (EN 12504 – 1:2009);
- HRN EN 12504-2:2012 Ispitivanje betona u konstrukcijama–2. dio: Nerazorno ispitivanje –Određivanje indeksa sklerometra (EN 12504 – 2:2012);
- HRN EN 12504-3:2005 Ispitivanje betona u konstrukcijama–3. dio: Određivanje sile čupanja (pull-out) (EN 12504 – 3:2005);

HRN EN 12504-4:2004 Ispitivanje betona–4. dio: Određivanje brzine ultrazvučnog impulsa(EN 12504-4:2004);

HRN EN 13791:2007 Ocjena in-situ tlačne čvrstoće u konstrukcijama i predgotovljenim betonskim dijelovima (EN 13791:2007);

#### 2.1.1.4. Norme za čelik za armiranje

HRN 1130-1:2008 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi čelik za armiranje – 1. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda A;

HRN 1130-2:2008 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi čelik za armiranje – 2. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda B;

HRN 1130-3:2008 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi čelik za armiranje – 3. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda C;

HRN 1130-4:2008 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi čelik za armiranje – 4. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih mreža;

HRN 1130-5:2008 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi čelik za armiranje – 5. dio: Tehnički uvjeti isporuke rešetkastih nosača;

HRN EN 10080:2012 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi čelik za armiranje – Općenito (EN 10080:2005);

HRN EN 10020:2008 Definicija i razredba vrsta čelika (EN 10020:2000);

HRN EN 10025:2006 Toplo valjani proizvodi od konstrukcijskih čelika- 1.dio: Opći tehnički uvjeti isporuke (EN 10025-1:2004);

HRN EN 10027-1:2007 Sustavi označivanja za čelike – 1. dio: Nazivi čelika (EN 10027-1:2005);

HRN EN 10027-2:2015 Sustavi označivanja čelika – 2. dio: Brojčani sustav (EN 10027-2:2015);

HRN EN 10079:2008 Definicija čeličnih proizvoda (EN 10079:2007);

HRN EN 10204:2007 Metalni proizvodi – Vrste dokumenata o ispitivanju (EN 10204:2004);

HRN EN ISO 17660-1:2008 Zavarivanje – Zavarivanje čelika za armiranje – 1. dio: Nosivi zavareni spojevi (ISO 17660-1:2006; EN ISO 17660-1:2006);

HRN EN ISO 17660-2:2008 Zavarivanje – Zavarivanje čelika za armiranje – 2. dio: Ne nosivi zavareni spojevi (ISO 17660-2:2006; EN ISO 17660-2:2006);

HRN EN ISO 4063:2012 Zavarivanje i srodni postupci – Nomenklatura postupaka i referentni brojevi (ISO 4063:2009; Ispravljena verzija 2010-03-01; EN ISO 4063:2010);

HRN EN ISO 377:2013 Čelik i čelični proizvodi – Položaj i priprema uzoraka i ispitnih uzoraka za mehanička ispitivanja (ISO 377:2013; EN ISO 377:2013)

HRN EN ISO 15630-1:2010 Čelik za armiranje i prednapinjanje betona – Metode ispitivanja – 1. dio: Armaturene šipke valjana žica i žica (ISO 15630-1:2010; EN ISO 15630-1:2010);

HRN EN ISO 15630-2:2010 Čelik za armiranje i prednapinjanje betona – Metode ispitivanja – 2. dio: Zavarene mreže (ISO 15630-2:2010; EN ISO 15630-2:2010)

#### 2.1.1.5. Norme za pilote

HRN EN 1536-2015 Izvedba posebnih geotehničkih radova -- Bušeni piloti (EN1536:2010+A1:2015).

#### 2.1.1.6. Ostale norme

CEM The Coastal Engineering Manual;

BSI British Standard Code of practice for Maritime structures;

EAU Empfehlungen der Arbeitsausschusses Ufereinfassungen;

CIRIA Construction Industry Research and Information Association UK;

HRN EN 1990:2011 Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija (EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010);

HRN EN 1991-1-4:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra (EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010);

HRN EN 1991-1-5:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – dio 1-5: Opća djelovanja – Toplinska djelovanja (EN 1991-1-5:2003+AC:2009);

HRN EN 1991-1-6:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – dio 1-6: Opća djelovanja – Djelovanja tijekom izvedbe (EN 1991-1-6:2005+AC:2008);

HRN EN 1991-1-7:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – dio 1-7: Opća djelovanja – Izvanredna djelovanja (EN 1991-1-7:2006+AC:2010);

HRN EN 1991-2:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – 2. dio: Prometna opterećenja mostova (EN 1991-2:2003+AC:2010);

HRN EN 1991-3:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – 3. dio: Djelovanja prouzročena kranovima i strojevima (EN 1991-3:2006);



HRN EN 1992-1-1:2013 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – dio 1-1: Opće pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2010);

HRN EN 1992-2:2013 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – 2. dio: Betonski mostovi – Proračun i pravila razrade detalja (EN 1992-2:2005+AC:2008);

HRN EN 1997-1:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004+AC:2009);

HRN EN 1998-1:2011 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004+AC:2009);

HRN EN 1998-5:2011 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 5. dio: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja (EN 1998-5:2004);

#### 2.1.1.7. Certifikati, proizvođačke specifikacije, dokazi o uporabljivosti, dokazi o sukladnosti i izvještaji o ispitivanju svojstva va materijala i elemenata

Materijali i elementi koji se ugrađuju bit će podložni pregledima i ispitivanjima prema općim uvjetima ugovora.

Za sve materijale i gotove elemente koji se ugrađuju na gradilište, Izvoditelj je dužan dostaviti odgovarajuće certifikate, proizvođačke specifikacije, dokaze o uporabljivosti ugrađenih građevnih proizvoda, dokaze o sukladnosti ugrađene opreme prema važećim zakonima, isprave o sukladnosti određenih dijelova građevine, bitnim zahtjevima za građevinu i od ovlaštenih tijela izdane dokaze kvalitete (rezultati ispitivanja, zapisi o provedenim procedurama kontrole kvalitete i dr.) za koje je obveza prikupljanja tijekom izvođenja građevinskih i drugih radova za sve izvedene dijelove građevine i za radove koji su u tijeku. Svu navedenu dokumentaciju Izvoditelj je dužan dostaviti na odobrenje NI-u dovoljno prije isporuke i planirane ugradnje na gradilištu da bi se izbjegla zakašnjenje u programu izgradnje. Certifikati i izvještaji o ispitivanju ne oslobađaju Izvoditelja od obveze da isporuči zadovoljavajuće materijale, ako se naknadnim ispitivanjem ustanovi da materijali nisu zadovoljili uvjete projekta.

Nadzorni inženjer dužan je, između ostalog, odrediti provedbu kontrolnih postupaka u pogledu ocjenjivanja sukladnosti, odnosno dokazivanja kvalitete određenih dijelova građevine putem ovlaštene osobe koja nije sudjelovala u provedbi postupka izdavanja isprava i dokaza, za sve izvedene dijelove građevine i za radove koji su u tijeku. te je dužan za tehnički pregled prirediti završno izvješće o izvedbi građevine.

#### 2.1.1.8. Kvaliteta materijala, proizvoda i izrade

Kvaliteta materijala, ugrađenih proizvoda i izrade mora biti u potpunosti u skladu sa projektom, normama i propisima i bit će u svakom trenutku i u svakom pogledu podložni pregledu i pismenom odobrenju NI-a. NI će

imati ovlaštenje da odbaci sve materijale i izradu koji po njegovom mišljenju ne budu u skladu sa gornjim zahtjevom.

Treba koristiti provjerene materijale, proizvode i opremu čija se kakvoća i usklađenost s normama i propisima dokazuje odgovarajućim ispravama o sukladnosti ( potvrđama i/ili izjavama o sukladnosti ). Treba osigurati dokaze o kvaliteti radova u skladu s normama i propisima. NI ima ovlaštenje odbaciti sve materijale, proizvode, opremu i izradu koji po njegovom mišljenju ne budu u skladu sa gornjim zahtjevima.

Tehnička svojstva građevnog proizvoda moraju biti takva da uz propisanu ugradnju sukladno namjeni građevine, uz propisano, odnosno projektnom odrađeno održavanje podnose sve utjecaje uobičajene uporabe i utjecaja okoline, tako da građevina u koju je ugrađen tijekom projektiranog roka uporabe ispunjava bitne zahtjeve za građevinu. Građevni proizvod može se staviti na tržište, distribuirati i rabiti samo ako je dokazana njegova uporabljivost te ako je označen i popraćen tehničkim uputama u skladu s Zakonom o građevnim proizvodima te propisima donesenim na temelju tog Zakona.

Da bi se osigurala stalna kakvoća sastavnim materijala za proizvodnju, potrebno je kontrolirati kakvoću materijala, osigurati odgovarajuću dokumentaciju o kakvoći upotrijebljenog materijala, a za sama ispitivanja materijala i proizvoda primjenjivati metode ocjenjivanja sukladnosti propisane hrvatskim normama i važećom zakonskom regulativom. U postupku ocjenjivanja sukladnosti građevnog proizvoda provode se radnje ispitivanja građevnog proizvoda i radnje nadzora proizvodnje građevnih proizvoda.

## **2.2. BETONSKI I ARMIRANOBETONSKI RADOVI**

### **2.2.1. Općenito**

Proizvodnja, ugradnja i kontrola kvalitete obavljati će se u skladu s Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20), HRN 1128:2007 "Beton - Smjernice za primjenu norme HRN EN 2016-1", HRN EN 206-1:2006 "Beton -1. dio: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i sukladnost", i HRN EN 13670:2010 "Izvedba betonskih konstrukcija", ovim tehničkim uvjetima, te odgovarajućim HRN normama.

U slučaju nesukladnosti građevnog proizvoda s tehničkim specifikacijama za taj proizvod i/ili projektom betonske konstrukcije, proizvođač građevnog proizvoda odnosno izvođač betonske konstrukcije mora odmah prekinuti proizvodnju odnosno izradu tog proizvoda i poduzeti mjere radi utvrđivanja i otklanjanja grešaka koje su nesukladnost uzrokovale.

Prije početka radova Izvođač mora dostaviti Nadzornom inženjeru na odobrenje rezultate početnih ispitivanja betona i Projekt tehnologije i izvođenja pojedinih radova koji će sadržavati sastave betona, pripremu (proizvodnju) betona, transport, ugradnju, njegu i kontrolu kvalitete betona .

Izvođač je dužan u dogovoru s Nadzornim Inženjerom za svaki betonski pogon postaviti stručnu i odgovornu osobu. Ta osoba je odgovorna za kvalitetu proizvedenog i ugrađenog betona.

U slučaju proizvodnje betona na gradilištu Izvođač betonskih radova mora izraditi Priručnik osiguranja kvalitete i kontrole proizvodnje, a odnosi se na osoblje koje upravlja, izvodi i verificira radove, opremu, postupke proizvodnje, sastojke i betona. Priručnikom trebaju biti definirane odgovornosti, nadležna tijela i odnosi osoblja koje upravlja, izvodi i verificira radove. Posebno se mora istaknuti organizacijska sloboda i autoritet osoblja za minimiziranje rizika od nesukladnog betona i za identificiranje i izvještavanje o svakom problemu kvalitete betona. Izvještaje o kontroli proizvodnje treba čuvati najmanje 3 godine, ako zakonske obveze ne traže duže razdoblje.

Izvođač je dužan dokumentirati kvalitetu radova, elemenata i objekta statistički obrađenim rezultatima izvršenih ispitivanja i na drugi način, te certifikatima izdanim prema tehničkim propisima i tehničkim uvjetima ovog projekta.

Geodetske kontrole i izmjere potrebne za izvođenje betonskih i armirano betonskih radova moraju biti izvedene točno i u svemu suglasno s izvedbenim nacrtima.

Oborinsku i procjednu vodu na temeljnim plohama betoniranja Izvođač je dužan ukloniti na način kako je to propisano tehničkim uvjetima za iskop upotrebom crpki dovoljnog kapacitete, odnosno kako to odredi Nadzorni inženjer.

Prema zahtjevima iz ovog Programa kontrole i osiguranja kvalitete beton se proizvodi kao Projektirani beton (beton sa specificiranim tehničkim svojstvima)

#### **Za sastav projektiranog betona odgovoran je proizvođač betona.**

Izvođač mora prema normi HRN EN 13670 prije početka ugradnje provjeriti je li beton u skladu sa zahtjevima iz projekta betonske konstrukcije, te je li tijekom transporta betona došlo do promjene njegovih svojstava koja bi bila od utjecaja na tehnička svojstva betonske konstrukcije.

Kontrolni postupak utvrđivanja svojstava svježeg betona provodi se na uzorcima koji se uzimaju neposredno prije ugradnje betona u betonsku konstrukciju u skladu sa zahtjevima norme HRN EN 13670 i projekta betonske konstrukcije, a najmanje pregledom svake otpremnice i vizualnom kontrolom konzistencije kod svake dopreme (svakog vozila) te kod opravdane sumnje ispitivanjem konzistencije istim postupkom kojim je ispitana u proizvodnji.

Kontrolni postupak utvrđivanja tlačne čvrstoće očvrsnulog betona provodi se na uzorcima koji se uzimaju neposredno prije ugradnje betona u betonsku konstrukciju u skladu sa zahtjevima projekta betonske konstrukcije, ali ne manje od jednog uzorka za istovrsne elemente betonske konstrukcije koji se bez prekida ugrađivanja betona izvedu unutar 24 sata od betona istih iskazanih svojstava i istog proizvođača.

Podaci o istovrsnim elementima betonske konstrukcije izvedenim od betona istih iskazanih svojstava i istog proizvođača evidentiraju se uz navođenje podataka iz otpremnice tog betona, a podaci o uzimanju uzoraka betona evidentiraju se uz obvezno navođenje oznake pojedinačnog elementa betonske konstrukcije i mjesta u elementu betonske konstrukcije na kojem se beton ugrađivao u trenutku uzimanja uzoraka.

Kontrolni postupak utvrđivanja tlačne čvrstoće očvrstnalog betona ocjenjivanjem rezultata ispitivanja uzoraka i dokazivanje karakteristične tlačne čvrstoće betona provodi se odgovarajućom primjenom kriterija iz Dodataka B norme HRN EN 206-1 »Ispitivanje identičnosti tlačne čvrstoće.

Za slučaj nepotvrđivanja zahtijevanog razreda tlačne čvrstoće betona treba na dijelu konstrukcije u koji je ugrađen beton nedokazanog razreda tlačne čvrstoće provesti naknadno ispitivanje tlačne čvrstoće betona u konstrukciji prema HRN EN 12504-1, HRN EN 12504-2 i HRN EN 12504-4 te ocjenu sukladnosti prema HRN EN 13791.

## **2.2.2. Kontrola kvalitete**

Propisane mjere kontrole kvalitete i nadzora osiguravaju da zahtijevana kvalitete bude i dosegnuta tijekom izvođenja.

### 2.2.2.1. Kontrola kvalitete materijala

Gotovi građevni proizvodi koji se ugrađuju moraju imati popratne certifikate suglasnosti i izjave suglasnosti proizvođača. Kontrola kvalitete podrazumijeva laboratorijska ispitivanja materijala, kao i ispitivanje izvedenih radova. Ispitivanje treba provoditi prema postupcima ispitivanja danim u normi HRN EN 206-1 (referencijski postupci ispitivanja), ili se mogu upotrijebiti drugi postupci ispitivanja ako su utvrđene veze ili pouzdani odnosi između rezultata tih postupaka ispitivanja i referencijskih postupaka.

### 2.2.2.2. Provjera sukladnosti

Provjera sukladnosti je dio vanjske provjere, a provodi se da bi se utvrdilo jesu li određena proizvodnja ili rad izvedeni prema ugovornim odredbama. Sustav potvrđivanja sukladnosti propisan je Pravilnikom o ocjenjivanju sukladnosti, ispravama o sukladnosti i označavanju građevinskih proizvoda (NN. br. 118/19).

U slijedećoj tablici dana je skupina radnji koje se provode u pojedinom sustavu ocjenjivanja sukladnosti.

isprava o sukladnosti	sustav ocjenjivanja sukladnosti	radnju provodi proizvođač			radnju provodi ovlaštena osoba			
		stalna unutarnja kontrola proizvodnje	ispitivanje uzoraka iz proizvodnje prema utvrđenom planu ispitivanja	početno ispitivanje tipa građevnog proizvoda	početno ispitivanje tipa građevnog proizvoda	početni nadzor proizvodnog pogona i početni nadzor unutarnje kontrole proizvodnje	stalni nadzor, procjena i ocjena unutarnje kontrole proizvodnje	ispitivanje slučajnih uzoraka uzetih iz proizvodnje iz propisanih skupina
<b>C</b>	1+	•	•		•	•	•	•
	1	•	•		•	•	•	•
<b>I</b>	2+	•	•	•	• <sup>a)</sup>	• <sup>a)</sup>	• <sup>a)</sup>	
	2	•		•	• <sup>a)</sup>			
	3	•			•			
	4	•		•				

**C** označava certifikat sukladnosti

**I** označava izjavu o sukladnosti

• označava radnju koju je obavezan provesti ili provoditi proizvođač odnosno ovlaštena osoba u pojedinom sustavu ocjenjivanja sukladnosti

<sup>a)</sup> ovlaštena osoba izdaje certifikat unutarnje kontrole proizvodnje

Kvaliteta upotrebljavanog građevinskog materijala i kvaliteta izvedenih radova mora biti popraćena odgovarajućim certifikatima i izjavama o sukladnosti. Slijedeća tablica prikazuje građevinske proizvode obuhvaćene TPBK-om s pripadajućim normama, specifikacijama i sustavom potvrđivanja sukladnosti.

Građevni proizvod	Beton	Armatura, čelik za armiranje i čelik za prednapinjanje	Cement	Agregat	Dodaci betonu	Voda	Predgotovljeni betonski proizvodi	Proizvod za zaštitu i popravak betonske konstrukcije
TPBK Prilog	A	B	C	D	E	F	G	K
Norma specifikacija	HRN EN 206-1	1. nHRN EN 10080-1 do 6 2. nHRN EN 10138-1 do 4	1. HRN EN 197-1 2. nHRN EN 197-1 pr A1 3. HRN EN 197-4 4. HRN EN 14216 5. HRN B.C1.015	1. HRN EN 12620 2. HRN EN 13055	1. HRN EN 934-2 do 6 2. HRN EN 450-1 3. HRN EN 13263-1 4. HRN EN 12620 5. HRN EN 12878 6. HRN U.M1.035	HRN EN 1008	HRN EN 13369	HRN EN 1504-1 do 10
Proizvodnja	1. Centralna betonara 2. Pogon za predgotovljene betonske elemente 3. Betonara na gradilištu	1. Centralna armiraonica 2. Armiraonica pogona za predgotovljene betonske elemente 3. Armiraonica na gradilištu 4. Tvornica čelika	1. Tvornica cementa 2. Distribucijski centar	1. Pogon za proizvodnju agregata (prirodnih, industrijski proizvedenih ili recikliranih)	1. Pogon za proizvodnju kemijskih dodataka 2. Temoelektreane 3. Tvornice ferolegura	Sve osim pitke vode	1. Tvornica predgotovljenih betonskih elemenata 2. Gradilište	
Sustav potvrđivanja	2+ (osim tlačne čvrstoće)	1+	1+	2+ u prijelaznom periodu od 2. godine je 1+	2+ (Kemijski dodaci betonu i Mineralni dodaci tip I) 1+ Mineralni dodaci tip II	-	2+ (za konstrukcijsku uporabu) 4 (za nekonstrukcijsku uporabu)	
Nacionalna specifičnost	DA	NE	NE	Prijelazni period	NE	NE	NE	NE

### 2.2.2.3. Nadzor nad izvođenjem

Nadzor nad izvođenjem radova obavlja Nadzorni inženjer. Zahtijevana razina kontrole izvođenja odgovara klasi 2.

### 2.2.3. Materijali

Na osnovu rezultata početnih ispitivanja sastojaka i svojstava betona odabrati će se isporučioći sastojaka. Odabrani cement, agregat i voda moraju zadovoljavati uvjete propisane u normi HRN EN 206-1 i tamo navedenim normama.

Za proizvodnju betona mogu se upotrebljavati samo sastojci betona koji imaju propisanu deklaraciju i certifikat o sukladnosti s odgovarajućim specifikacijama.

Vrste i učestalost nadzora/kontrole ispitivanja opreme i sastojaka betona provode se prema HRN EN 206-1.

#### 2.2.3.1. Cement

Za proizvodnju betona mogu se upotrebljavati samo cementi čija su osnovna svojstva uvjetovana propisima odgovarajućih standarda, prethodno dokazana. Prethodna ispitivanja i dokaze podobnosti cementa za betonske radove obavlja institucija ovlaštena za poslove provođenja dokaza sukladnosti kvalitete cementa. Prethodni dokaz kvalitete mora se pribaviti za svaku vrstu i razred cementa pri čemu se pod vrstom cementa podrazumijeva cement određene oznake i određenog proizvođača.

Na prijedlog Izvođača, odluku o vrsti cementa donosi Projektant ili Nadzorni inženjer na temelju prethodnih ispitivanja i certifikata ovlaštene ustanove. Ovim projektom zahtijeva se da cementi trebaju biti razreda tlačne čvrstoće 42,5N prema normi HRN EN 197-1.

#### 2.2.3.2. Voda

Ako se koristi voda iz javnog vodovoda može se upotrebljavati bez potrebe dokazivanja uporabljivosti. Ako se za pripremanje betona koristi voda koja nije pitka Izvođač mora prethodno dokazati uporabljivost te vode u skladu s normom HRN EN 1008:2002, najmanje jednom svaka tri mjeseca (postojanje soli, sadržaj organskih tvari).

Voda ne smije sadržavati nikakve sastojke koji bi mogli ugroziti kvalitetu ili izgled betona ili morta. Isto vrijedi za vodu za njegovanje svježeg betona.

Kontrola vode za pripremu betona provodi se u centralnoj betonari (tvornici betona), u betonari pogona za proizvodnju predgotovljenih betonskih proizvoda i u betonari na gradilištu prije prve upotrebe.

#### 2.2.3.3. Agregat

Tehnička svojstva agregata, ovisno o porijeklu, opće i posebne zahtjeve bitne za krajnju namjenu u betonu, moraju biti specificirana prema normi HRN EN 12620, normama na koje ta norma upućuje kao i odredbama TPBK.

Razred kvalitete i sva svojstva agregata određena su prema normi HRN EN 206-1 "Beton -1 dio Specifikacije, svojstva, proizvodnja i sukladnost" i drugim važećim HRN normama.

Potvrđivanje sukladnosti agregata provodi se prema odredbama dodatka za norme HRN EN 12620 i odredbama posebnog propisa (Pravilnik o ocjenjivanju sukladnosti, ispravama sukladnosti i označavanju građevinskih proizvoda).

Kontrola agregata prije proizvodnje betona provodi se u centralnoj betonari (tvornici betona), u betonari pogona za predgotovljene betonske proizvode i u betonari na gradilištu prema normi HRN EN 206-1.

#### 2.2.3.4. Dodaci betonu (kemijski i mineralni)

Kontrola kemijskog i mineralnog dodatka betonu provodi se u centralnoj betonari (tvornici betona), u betonari pogona za proizvodnju predgotovljenih betonskih proizvoda i u betonari na gradilištu prema normi HRN EN 206-1 (tablica na slijedećoj stranici). Preporučuje se uzimanje uzoraka i odlaganje za svaku isporuku.

#### **Kemijski dodaci betonu**

Opća prikladnost kemijskih dodataka utvrđuje se ispitivanjem prema HRN EN 934-2. Za konkretnu primjenu kemijskog dodatka izvođač mora pribaviti certifikat prije početka prethodnih ispitivanja.

Prethodna ispitivanja: Prikladnost kemijskih dodataka za konkretnu primjenu mora se utvrditi tijekom prethodnih ispitivanja betona.

Kontrolna ispitivanja: Izvođač je dužan predočiti certifikat za svaku pošiljku svih dodataka Nadzornom inženjeru, koji odobrava upotrebu dodatka za svaku vrstu i svaki cement posebno. Za svaku pošiljku kemijskog dodatka izvođač mora prije uporabe, u laboratoriju gradilišta provjeriti njegovu kompatibilnost s betonom.

#### **Mineralni dodaci betonu**

Za konkretnu primjenu mineralnih dodataka izvođač mora pribaviti certifikat prije početka prethodnih ispitivanja.

Prethodna ispitivanja: Prikladnost mineralnih dodataka za konkretnu primjenu mora se utvrditi tijekom prethodnih ispitivanja betona.

Kontrolna ispitivanja: Izvođač je dužan predočiti certifikat za svaku pošiljku svih mineralnih dodataka Nadzornom inženjeru, koji odobrava upotrebu dodatka za svaku vrstu i svaki cement posebno.

Materijal	Nadzor/ispitivanje	Svrha	Minimalna učestalost
Kemijski dodaci	Kontrola otpremnice i razine u posudi* prije pražnjenja	Provjera je li isporuka prema narudžbi i je li ispravno označena	Svaka isporuka
	Ispitivanje radi identifikacije prema HRN EN 934-2	Radi usporedbe s podacima proizvođača	U slučaju sumnje
Mineralni dodaci	Kontrola otpremnice * prije isporuke	Provjera je li isporuka prema narudžbi i iz pravog izvora	Svaka isporuka
	Ispitivanje gubitaka žarenjem letećeg pepela	Određivanje promjene sadržaja ugljika koje mogu utjecati na aerirani beton	Svaka isporuka namijenjena aeriranom betonu kada tu informaciju nije dao dobavljač
Mineralni dodaci u suspenziji	Kontrola otpremnice * prije isporuke	Provjera je li isporuka prema narudžbi i iz pravog izvora	Svaka isporuka
	Ispitivanje gustoće	Provjera ujednačenosti	Svaka isporuka i periodično tijekom proizvodnje betona
*Otpremnici treba biti priložena izjava o sukladnosti ili certifikat o sukladnosti prema odgovarajućoj normi ili propisanim uvjetima			

#### 2.2.3.5. Čelik za armiranje

Vrsta čelika za armiranje koja se upotrebljava mora biti sukladna Tehničkim propisima za građevinske konstrukcije (NN. br. 17/17, 75/20).

Čelik za armiranje mora imati isprave o sukladnosti u skladu s Pravilnikom o ocjenjivanju sukladnosti, ispravama o sukladnosti i označavanju građevnih proizvoda NN. br. 103/08, 147/09, 87/10, 129/11).

Za armirano betonske konstrukcije predviđen je slijedeći čelik za armiranje:



- **armaturne rebraste šipke B 500** razreda duktilnosti **B** ( $f_{yk} = 500$  MPa - karakteristična granica razvlačenja)
- **ploče - zavarene mreže B 500** razreda duktilnosti **A** ( $f_{yk} = 500$  MPa - karakteristična granica razvlačenja)
- **zidovi - zavarene mreže B 500** razreda duktilnosti **B** ( $f_{yk} = 500$  MPa - karakteristična granica razvlačenja)

Svojstva čelika potrebno je dokazati sukladno normi HRN EN 10020, nizovima normi HRN EN 1130 i normi HRN EN 10080. Nastavljanje armature zavarivanjem izvoditi sukladno normama HRN EN ISO 17660-1 i HRN EN ISO 17660-2.

#### **2.2.4. Sastav betonskih mješavina**

Proizvodnja betona smije početi na temelju recepture bazirane na temelju početnih ispitivanja materijala i betona kako je navedeno u ovom poglavlju (Tehnički uvjeti izvođenja radova i program kontrole kvalitete), s time da receptura bude odobrena od Nadzornog inženjera.

#### **2.2.5. Isporuka svježeg betona**

##### 2.2.5.1. Informacije korisnika betona proizvođaču

Korisnik će usuglasiti s proizvođačem:

- datum isporuke,
- vrijeme,
- količinu.

Korisnik će informirati proizvođača o:

- posebnom transportu na gradilište,
- posebnim postupcima ugradnje,
- ograničenjima vozila isporuke, npr. tipa (agitirajuća ili neagitirajuća oprema), veličine, visine ili bruto težine.

##### 2.2.5.2. Informacije proizvođača betona korisniku

Kada naručuje beton, korisnik će zahtijevati informacije o sastavu mješavine betona radi primjene pravilne ugradnje i zaštite svježeg betona i utvrđivanja razvoja čvrstoće betona. Te informacije mora na zahtjev korisnika dati proizvođač prije isporuke betona, već prema tome kako odgovara korisniku.

Kad je posrijedi tvornički proizvedeni beton, informacije, kad se zatraže, mogu također biti dane i referencama proizvođačeva kataloga sastava mješavina betona, u kojima su iskazane pojedinosti o klasama čvrstoće, klasama konzistencije, težina mješavine i drugi mjerodavni podaci.

Proizvođač treba informirati korisnika o zdravstvenom riziku koji se može pojaviti tijekom rukovanja betonom.

### 2.2.5.3. Otpremnica za gotov (tvornički proizveden) beton

Pri isporuci betona proizvođač mora dostaviti korisniku otpremnicu za svaku transportnim sredstvom isporučenu količinu betona, na kojoj su otisnute, utisnute ili upisane najmanje sljedeće informacije:

- ime tvornice betona,
- serijski broj otpremnice,
- datum i vrijeme utovara, tj. vrijeme prvog kontakta cementa i vode,
- broj vozila,
- ime kupca,
- ime i lokacija gradilišta,
- detalji ili reference uvjeta, npr. kodni broj, redni broj,
- količina betona u m<sup>3</sup>,
- deklaracija sukladnosti s referentnim uvjetima kvalitete i EN 206-1,
- ime ili znak certifikacijskog tijela ako je relevantno,
- vrijeme kad beton stiže na gradilište,
- vrijeme početka istovara,
- vrijeme završetka istovara.

### 2.2.5.4. Konzistencija pri isporuci

Općenito je svako dodavanje vode ili kemijskih dodataka pri isporuci zabranjeno. U posebnim slučajevima voda ili kemijski dodaci mogu biti dodani kad je to pod odgovornošću proizvođača i primjenjuje se za dobivanje uvjetovane vrijednosti konzistencije, osiguravajući da uvjetovane granične vrijednosti nisu prekoračene i da je dodatak kemijskog dodatka uključen u projekt betona. Količina svakog dodatka vode ili kemijskog dodatka dodana u vozilo (mikser) mora biti upisana u otpremni dokument u svim slučajevima.

### 2.2.5.5. Kontrola sukladnosti i kriteriji sukladnosti

Kontrola sukladnosti sastoji se od aktivnosti i odluka koje treba poduzeti u skladu s pravilima sukladnosti prilagođenim unaprijed radi provjere sukladnosti betona s propisanim uvjetima. Kontrola sukladnosti je integralni dio kontrole proizvodnje.

Svojstva betona kojima se kontrolira sukladnost jesu ona koja se mjere odgovarajućim ispitivanjima prema normiranim postupcima. Stvarne vrijednosti svojstava betona u konstrukcijama mogu se razlikovati od tih utvrđenih ispitivanjima, npr. ovisno o dimenzijama konstrukcije, ugradnji, zbijanju, njegovanju i klimatskim uvjetima.

Plan uzorkovanja i ispitivanja te kriteriji sukladnosti trebaju zadovoljavati postupke navedene u ovom poglavlju.

Mjesto uzimanja uzoraka za ispitivanje sukladnosti treba odabrati tako da se mjerodavna svojstva betona i sastav betona značajnije ne mijenjaju od mjesta uzorkovanja do mjesta isporuke.

Kada su ispitivanja kontrole proizvodnje ista kao i ispitivanja uvjetovana za kontrolu sukladnosti, treba ih uzeti u obzir pri vrednovanju sukladnosti. Proizvođač može koristiti i druge rezultate ispitivanja isporučenog betona u prihvaćanju sukladnosti.

Sukladnost ili nesukladnost prosuđuje se prema kriterijima sukladnosti. Nesukladnost može voditi daljnjim akcijama na mjestu proizvodnje i na gradilištu.

#### 2.2.5.6. Kontrola proizvodnje

Proizvođač je odgovoran za besprijekorno upravljanje proizvodnjom betona. Sav beton mora biti predmet kontrole proizvodnje. Kontrola proizvodnje obuhvaća sve mjere nužne za održavanje svojstava betona u sukladnosti s uvjetovanim svojstvima. To uključuje:

- izbor materijala,
- projektiranje betona,
- proizvodnju betona,
- preglede i ispitivanja,
- uporabu rezultata ispitivanja sastavnih materijala, svježeg i očvrslog betona i opreme,
- kontrolu sukladnosti.

Kontrola proizvodnje mora se odvijati prema načelima serije normi HRN EN ISO 9000.

Sustav kontrole proizvodnje treba sadržavati odgovarajuće dokumentirani postupak i upute. Taj postupak i upute treba po potrebi utvrditi uzimajući u obzir potrebe kontrole iskazane u tablicama 22, 23 i 24 EN 206. Namjeravanu učestalost ispitivanja i nadzora treba dokumentirati. Rezultate ispitivanja i kontrola treba evidentirati izvještajima.

Svi mjerodavni podaci o kontroli proizvodnje trebaju biti zapisani (sadržani u izvještajima). Izvještaje o kontroli proizvodnje treba čuvati najmanje 3 godina, ako zakonske obveze ne traže duže razdoblje.

#### 2.2.5.7. Vrednovanje i potvrđivanje sukladnosti

Proizvođač je odgovoran za ocjenu sukladnosti betona s uvjetovanim svojstvima te mora provoditi i sljedeće:

početno ispitivanje kad je traženo

- kontrolu proizvodnje
- kontrolu sukladnosti

Proizvođačevu kontrolu proizvodnje treba za sve betone klase iznad C16/20 vrednovati i pregledavati ovlašteno nadzorno tijelo i zatim ovjeriti ovlašteno certifikacijsko tijelo.

Proizvođač je odgovoran za održavanje sustava kontrole proizvodnje.

## **2.2.6. Montažni armirano betonski elementi**

### 2.2.6.1. Općenito

Montažni AB elementi će se općenito proizvoditi u skladu sa odredbama općih tehničkih uvjeta koji vrijede za beton ugrađen na licu mjesta. Elementi koji su projektirani kao izrađeni na licu mjesta mogu se izvesti kao montažni jedino uz odobrenje NI-a.

### 2.2.6.2. Izrada

Oplatni vibratori i vibracioni stolovi će se uporabiti tek nakon pokusnog vibriranja i uz odobrenje NI-a.

Radi postizanja veće preciznosti kod montaže te boljeg izgleda lica vidljivog betona preporuča se uporaba metalne oplata.

Ukoliko se elementi izrađuju u serijama na način da stranica gotovog elementa služi kao oplata slijedećem elementu, trebaju se poduzeti mjere da se izbjegne lijepljenje betona za postojeći element. U slučaju primjene ovakvog načina izrade elemenata, plan rada na ugradnji betona treba biti podešen tako da se uskladi sa odredbama tehničkih uvjeta koje se odnose na dizanje elemenata.

### 2.2.6.3. Njega

Njega betona montažnih elemenata može se provoditi osim na način propisan za betone ugrađene na licu mjesta i zaparivanjem. U slučaju zaparivanja Izvoditelj (ili proizvođač elemenata) treba prethodnim ispitivanjima dokazati prirast čvrstoće betona tijekom zaparivanja. Također treba dokazati da zaparivanje nema štetni utjecaj na koeficijent difuzije klorida betona.

### 2.2.6.4. Obilježavanje

Svi izbetonirani montažni konstruktivni elementi moraju se obilježiti, na mjestima koji neće biti vidljivi u konačnom položaju, referentnim brojem, datumom ugradnje betona te ako je potrebno i naznakom orijentacije i položaja u konstrukciji.

### 2.2.6.5. Skladištenje, transport i montaža

Montažni armiranobetonski elementi moraju biti tako uskladišteni, transportirani i građeni da se spriječi njihovo prekomjerno naprezanje i oštećenje. Položaj kuka za dizanje, ako nije izričito određen projektom, odabrat će se uz suglasnost NI-a.

Užad, kuke i drugi elementi sistema za dizanje moraju se proračunati na mogućnost dvostrukog povećanja težine betonskog elementa koji se diže.

## **2.3. ARMIRANO BETONSKI BUŠENI PILOTI**

### **2.3.1. Općenito**

AB bušeni piloti će se općenito izvoditi u skladu sa odredbama općih tehničkih uvjeta koji vrijede za beton ugrađen na licu mjesta. Svi AB bušeni piloti su vertikalni sa stalnom čeličnom košuljicom.

Bušeni piloti moraju biti izvedeni i svaki pilot mora imati preciznu evidenciju o svim radnim fazama i kontrolama kvalitete i integriteta.

Bušeni piloti moraju biti izvedeni od strane specijalizirane firme sa dokumentiranim iskustvom na tim poslovima.

Radove treba izvesti prema HRN EN 1536:2015 za bušene pilote.

Nadzorni inženjer mora kontrolirati izradu svakog pilota i svojim potpisom ovjeriti svu dokumentaciju svakog izvedenog pilota u skladu sa projektnim zahtjevima.

Predviđena je izrada pilota slijedećeg promjera (promjer stupa pilota/promjer bušenja):

- 1000/1070 mm

Piloti će se bušiti kroz dva obračunska sloja. Prvi (gornji) sloj je nasip/marinski sediment/glina, a drugi sloj je matična stijena građena od vapnenca ili lapora.

### **2.3.2. Materijali**

Stalna čelična košuljica pilota i naglavnice pilota mora biti proizvedena u skladu sa normama HRN EN 10219 i HRN EN 10210 sa slijedećim dimenzijama piloti promjera 1000/1070 mm – čelična košuljica min. debljine stjenke  $d = 6$  mm.

Specificirane debljine stjenke čeličnih košuljica su minimalne vrijednosti i mogu biti povećane ukoliko je to nužno za kvalitetu izvedbe sve prema prethodnom odobrenju nadzornog inženjera.

Svi piloti (i naglavnice) se izrađuju od betona C35/45 u svemu prema specifikacijama iz projekta.

Armatura pilota i naglavnica pilota u svemu prema specifikacijama iz projekta.

### **2.3.3. Uskladenost projekta sa stvarnim terenskim uvjetima**

Kote dna bušotina za pilote su pretpostavljene na osnovu elaborata o istražnim radovima. Potrebno je kontrolnim bušenjem koje će se provoditi s jezgrovanjem izvršiti bušenje u stijensku masu:

- Na mjestima pilota – 10 m mjereno od pojave stijenske mase

Prije početka bušenja pilota potrebno je napraviti potvrdu usklađenosti projekta sa stvarnim stanjem na terenu, odnosno potrebno je potvrditi vjerodostojnost istražnih radova. Izvođač radova mora napraviti dodatne kontrolne bušotine prema rasporedu iz izvedbenog projekta. Svrha ovih radova je da se dopune provedeni istražni radovi i napravi provjera odabranih postavki o stijenskoj masi. Tijekom istražnog bušenja u stijensku masu potrebno je uzeti uzorke stijene za laboratorijsko određivanje jednoosne tlačne čvrstoće.

Ako se kontrolnim bušotinama potvrde projektne pretpostavke, odnosno potvrdi da je stijenska masa onih karakteristika kako je odabrano u ovom projektu tada će se i temeljenje će se izvesti u skladu sa glavnim projektom. Ako se potvrdi da postoje znatna odstupanja, potrebno je napraviti dopunu glavnog i izvedbenog projekta. Zbog toga se izvještaj o kontrolnim geotehničkim istražnim radovima treba dostaviti projektantima ovog projekta na uvid.

Potpunu mobilizaciju i dopremanje opreme za bušenje pilota na gradilište izvođač treba napraviti tek kada se izvedu kontrolne bušotine i kada se od projektanta ili od nadzornog inženjera dobije potvrda da je stvarno stanje na terenu u skladu sa projektnim pretpostavkama. Projektant će potvrdu izdati kroz projektni nadzor.

Osnovno je pravilo izvođenja, bušenje pilota do projektiranih kota dna pilota, kako bi se postigle projektirane dubine (visine) uklještenja. Geodetske kote dna pilota su određene projektom prema određenoj koti pojave stijenske mase u geotehničkom izvješću. Obaveza je geotehničkog nadzora da tijekom bušenja svakog pojedinog pilota uzme podatak o dubini na kojem se pojavljuje matična stijena. Zatim treba provjeriti da li će pilot imati projektiranu dubinu bušenja (visinu uklještenja) ako se izbuši do projektiranih kota dna pilota. Ako se stijena npr. pojavi niže nego je to pretpostavljeno u projektu onda bi dubina bušenja po projektu bila kraća i visina uklještenja pilota bi bila manja. Obaveza je geotehničkog nadzora da lokalno produbi takav pilot dok se ne postigne potrebna dubina bušenja odnosno dubina uklještenja. Za takav slučaj se povećava ukupna visina – duljina stupa pilota, pa treba konzultirati projektanta. Konzultacije treba napraviti kroz projektni nadzor odmah nakon bušenja kontrolnih bušotina.

#### **2.3.4. Izrada**

##### 2.3.4.1. Dubina bušenja i dubina uklještenja

Dubina bušenja zapravo predstavlja ukupnu dubinu bušenja u stijensku masu koja se sastoji od prodiranja bušaće kolone u stijenu i prodiranja bušaćeg pribora u stijenu. S bušaćom kolonom treba proći kroz naslage morskih sedimenata. Nakon što bušaća kolona prodre do stijenske mase i nasloni se na nju može se zapisati kota pojave stijenske mase u apsolutnim visinama m n.m. Ako je dno u nagibu, kolonu treba ubušiti u stijensku masu 50 cm mjereći od najdonje točke kontakta kolone i stijenske mase.. Od ove točke dodira treba kolonu ubušiti u stijensku masu 50 cm (preporuča se kolonu ubušiti u stijensku masu 50 cm kako bi se spriječio prodor sedimenata u bušotinu). Moguće je da stijenska masa bude lokalno tvrda i kompaktna za navedeni postupak, u tom slučaju treba bušiti kombinirano sa kolonom i priborom do dubine 50 cm u stijenu. Nakon što se ubuši kolona u stijensku masu u dubinu 50 cm, od dna kolone se buši sa bušaćim priborom do projektirane dubine bušenja. Dakle ukupna dubina bušenja u stijensku masu se sastoji od bušenja kolonom od 50 cm i bušenja priborom. Ova ukupna dubina bušenja u stijensku masu je projektom zadana u iznosu 525 cm.

Dubina uklještenja je dubina (visina) na kojoj je pilot uklješten u stijensku masu odnosno visina od dna bušotine do prirubnice na izgubljenoj oplati (čelična cijev). Kako bi se spriječilo istjecanje betona iz bušotine (zbog tlaka betona u stupu) na čeličnu cijev će se zavariti dodatak u obliku kružnog vijenca (tzv. prirubnica).

Visina uklještenja je projektirana kao fiksna veličina jer ovisi o visini prirubnice na čeličnoj cijevi-izgubljenoj oplati. Čelična cijev-izgubljena oplata će se postaviti na zavarene nosače na armaturnom košu. Najprije će se u bušotinu umetnuti armaturni koš koji će se osloniti na dno bušotine, zatim će se spustiti čelična cijev-izgubljena oplata koja će sjesti na držače zavarene na armaturnom košu. Projektom je označena visina koja predstavlja visinu dna cijevi iznad dna bušotine. Ta visina je fiksna visina za dotični pilot i ne ovisi o varijacijama dubine bušenja. U normalnim okolnostima (ono što je projektom predviđeno) prirubnica treba biti na minimalnoj dubini od 75 cm ispod dna bušotice kolone nakon što se postavi čelična cijev-izgubljena oplata kako bi se osiguralo što sigurnije zatvaranje prostora između cijevi i stijenke bušotine u stijeni. Pri vrhu stijenke bušotine (čšašica) može doći do odlamanja stijene pa je bolje da je prirubnica niže gdje se može očekivati bušotina stabilnog oblika. Također, ako se greškom izvede bušotina manje dubine (tolerira se 15 cm) prirubnica se približava vrhu stijene, pa postoji opasnost da prirubnica ne zatvori zazor između stijenke bušotine i čelične cijevi jer je pri vrhu bušotina većeg promjera (vanjski promjer bušotice kolone). Armatura pilota treba biti konstantnog presjeka na cijeloj visini uklještenja pilota u stijenu bez redukcija na dužini uklještenja.

#### 2.3.4.2. Promjena kota dna pilota

Praktično je moгуće da stijena lokalno bude i niže. Takav slučaj će se riješiti dodatnim produbljivanjem pojedinog pilota dok se ne postigne tražena dubina bušenja. Manje korekcije će se rješavati kroz projektantski nadzor, a veće korekcije kroz izmjene i dopune projekta. Treba promatrati pilote u sklopu jednog poprečnog okvira pripadne dilatacije kako bi se donijela najbolja odluka o eventualnim promjenama dubine temeljenja pilota.

Isto tako promjenama dubine stijene na niže se povećava ukupna duljina pilota pa treba konzultirati i projektanta konstrukcije (statičara) i ponoviti statički proračun sa duljim pilotom. Konzultacije s projektantom konstrukcije nisu potrebne ako se slobodna visina stupa poveća do 10% (slobodna duljina stupa je duljina stupa iznad stijene-ono što nije uklješteno u stijenu i izvedeno je u sedimentima ili vodi, to je visina od prirubnice do vrha stupa na kontaktu s naglavnicom).

Dodatni razlog produbljenja (i produljenja) može biti prolazak kroz kavernoznu zonu i propadanje pribora (u tom slučaju pilot promatramo zasebno). Ove kavernozne zone treba isključiti iz nosivosti i visinu uklještenja formirati u čvrstoj i kompaktnoj stijeni. Praktično dubina bušenja se povećava za iznos svih intervala kavernoznih zona ili za iznos intervala (visinski u metrima) propadanja bušotice pribora. Ako se iz ovih razloga poveća ukupna dubina bušenja u stijeni za isti iznos će se povećati i slobodna duljina pilota (slobodna duljina se računa od prirubnice do naglavne konstrukcije. Ukoliko se slobodna visina stupa pilota poveća više od 10% potrebno je kontaktirati projektanta konstrukcije zbog dodatne statičke provjere. Za slučaj povećanja dubine bušenja sve fiksne dimenzije

pilota u tlu ostaju nepromijenjene (visina uklještenja, visina cijevi i dubina utiskivanja kolone). To znači da će se uklještenje postići na većoj dubini nego što je predviđeno (što je povoljnije s osnove temeljenja) i da će prirubnica biti niže u odnosu na dno bušaće kolone što rezultira većom slobodnom dužinom pilota (prividno većom jer će vremenom doći do zapunjenja prostora iznad prirubnice morskim sedimentima).

Moguće je da lokalno stijenska masa bude i više nego je to projektom predviđeno. Bez obzira na kojoj dubini se nalazi pojava stijenske mase pilot je potrebno izbušiti 525cm u stijensku masu. Ukoliko je dubina pojave stijenske mase između susjednih pilota jednog poprečnog okvira pripadne dilatacije drugačija nego je predviđeno projektom potrebno je prije nastavka radova na izvedbi pilota tražiti očitovanje projektanta. Promjene je moguće raditi odmah nakon što se izvedu dodatne kontrolne bušotine. Geotehnički nadzor u dogovoru s projektantom konstrukcije ili projektantom geotehničkog projekta treba definirati nove kote dna pilota. Treba nacrtati novi geotehnički profil tla i konstrukcije u poprečnom i uzdužnom smjeru.

#### 2.3.4.3. Izrada geotehničkog profila tijekom izrade

Obaveza je geotehničkog nadzora tijekom bušenja i vršenja specijalističkog geotehničkog nadzora sukcesivno izrađivati geotehničke profile po uzdužnim osima. Na profilima treba ucrtati stvarne slojeve tla sa stvarnim kotama dna izvedenih pilota. Svi prikupljeni podaci će biti podloga za projekt izvedenog stanja. Obaveza je geotehničkog nadzora i geološka determinacija izbušenog tla i stijene do kote dna bušenja pilota.

#### 2.3.4.4. Pridržanje pilota nakon betoniranja

Nakon betoniranja pilot treba biti pridržan sve dok ne očvrstne beton i to najmanje 12 sati od završetka betoniranja.

Završne napomene: bušeni piloti moraju biti izvedeni od strane specijalizirane firme s dokumentiranim iskustvom na tim poslovima, radove treba izvesti prema HRN EN 1536:2015 za bušene pilote.

#### 2.3.4.5. Betoniranje

Ugradnju betona treba izvesti "kontraktor" postupkom (lijevak i cijev čije dno mora biti stalno uronjeno u svježi beton; radi sprečavanja miješanja svježeg betona s morskom vodom, prije početnog lijevanja betona u cijev treba staviti plastičnu loptu čiji promjer je jednak unutarnjem promjeru cijevi; zatim ugrađivati beton neprekidno do oko 20 cm iznad projektirane razine glave-gornjeg kraja pilota; lopta koja ispliva na površinu betona može se ponovno koristiti nakon što se očisti od ostataka betona i prljavštine); nakon stvrdnjavanja betona treba otući slabiji dio betona koji je bio u doticaju s morskom vodom; armaturu koja viri iz betona treba dobro očistiti od ostataka betona i prljavštine žičanom četkom.

Pilot mora biti betoniran u kontinuitetu betonom odgovarajuće minimalne čvrstoće i armiran odgovarajućom armaturom prema projektu i odredbama ovog dokumenta.



Zabranjeno je svako prekidanje betoniranja pilota.

Da bi se spriječila moguća pojava slabije zone pilota na vrhu pilota betoniranje se mora nastaviti u čeličnoj košuljici minimalno 0,50 m iznad visine projektiranog vrha pilota.

Dodatni dio pilota s čeličnom košuljicom iznad razine projektiranog vrha pilota mora biti uklonjen odmah čim to bude moguće bez oštećivanja armature pilota i stalnog dijela pilota.

Nastavak radova na izradi naglavnice pilota je moguć samo nakon stvrdnjavanja betona pilota. Vrh betona gotovog pilota mora biti 50 mm + / - 25 mm iznad razine donjeg dijela naglavnice. Čelična košuljica naglavnice pilota mora imati visinski nadomjestak koji će osigurati betoniranje naglavnice u suhom. Nadomjestak će biti uklonjen po stvrdnjavanju naglavnice pilota bez oštećivanja betona i armature. Prije uklanjanja nadomjeska mora proći minimalno 7 dana od dana ugradnje betona.

#### 2.3.4.6. Tolerancija izrade

Maksimalna odstupanja centra vrha gotovog pilota 1000/1070 mm je +/- 100 mm od projektiranog položaja.

Dozvoljeno odstupanje od vertikale je max 0,5 %.

Razina finalizirane naglavnice pilota mora biti u rasponu +/-5 mm prema projektiranom položaju.

Daljnje postupke i eventualne sanacije za pilot koji odstupa od zadanih toleranci NI treba usuglasiti s projektantom.

#### 2.3.4.7. Obilježavanje

Svi izbetonirani piloti moraju se obilježiti, na mjestima koji neće biti vidljivi u konačnom položaju, referentnim brojem, datumom ugradnje betona te ako je potrebno i naznakom orijentacije i položaja u konstrukciji.

#### 2.3.4.8. Kontrola izvedbe

Kontrola kvalitete izvedbe, betona i integriteta svih izvedenih pilota mora biti u skladu s odredbama projekta i važećim normama.

Kontrola integriteta svih izvedenih pilota mora biti izvedena odgovarajućom ultrazvučnom ili echo-test impact metodom. Ova kontrola se ne može izvoditi prije nego prođe minimalno sedam (7) dana od izvedbe odgovarajućeg pilota. Sve kontrole se moraju izvesti prije izvedbe naglavnice pilota i postave nadmorske obalne konstrukcije.

Kontrole kvalitete i integriteta mora izvoditi ovlašteni specijalist i pripremiti službeni izvještaj sve prema odgovarajućim normama i ISO standardima. Sve provedene kontrole moraju se detaljno dokumentirati za svaki pilot koji se mora obilježiti, na mjestima koji neće biti vidljivi u konačnom položaju, referentnim brojem, datumom izvedbe te ako je potrebno i naznakom orijentacije i položaja u konstrukciji.



Eventualne mjere sanacije za pilot kojemu nije dokazan integritet treba usuglasiti s projektantom.

### 2.3.4.9. Kontrola kvalitete i ispitivanje pilota

#### Ispitivanje integriteta pilota

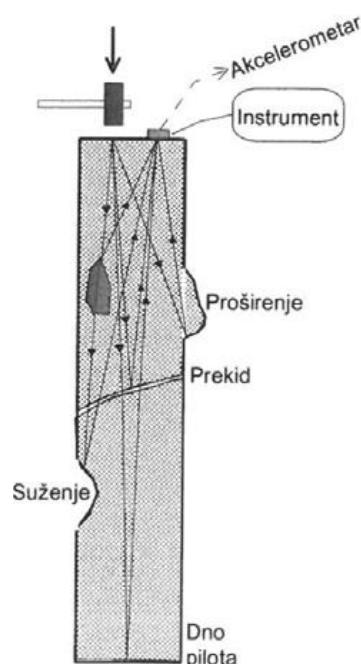
Predviđena je provedba ispitivanja test pilota (PIT test) na svim izvedenim pilotima. Ispitivanja cjelovitosti obavljaju se nakon što je glava pilota uređena na projektiranu kotu. Provedenim se ispitivanjima dokazuje da su piloti izvedeni u kontinuitetu bez prekida betoniranja te da ne postoje zone slabije kvalitete ili smanjenog promjera u odnosu na projektirane dimenzije pilota. O svim provedenim ispitivanjima treba tijekom izvedbe ažurno dostavljati preliminarnu podatke. Detaljnu obradu i interpretaciju rezultata treba ispostaviti po završenom ispitivanju u obliku završnog izvještaja. U slučaju da se ustanove oštećenja i prekidi betoniranja značajnih dimenzija potrebno je obavijestiti projektanta te zatražiti upute za daljnje postupanje.

Ukupno je predviđeno ispitivanje:

- 53 PIT ispitivanja pilota promjera  $d=1000$  mm

PIT metoda ispitivanja integriteta pilota temelji se na refleksiji elastičnog vala diskontinuiteta, odnosno granica materijala različitih elastičnih svojstava. Te granice su kod pilota u prvom redu kontakti dno pilota i temeljne stijene, prekid u samom pilotu, te suženja i proširenja njegova presjeka, a mogu biti granice promjene kvalitete betona ili inkluzije okolnih materijala. Samo mjerenje se provodi na način da se na površini pilota na beton postavi osjetilo oscilacija (akcelerator). Udarcem čekića pored njega izaziva se početni elastični impuls odnosno uzdužni (longitudinalni) val koji putuje kroz pilot te se odbija od

diskontinuiteta i vraća nazad na osjetilo oscilacija. Princip rada shematski je prikazan na slici.



## 2.4. SKELE I OPLATE

### 2.4.1. Osnovni zahtjevi

Skele i oplate, uključujući njihove potpore i temelje, treba projektirati i konstruirati tako da su:

otporne na svako djelovanje kojem su izložene tijekom izvedbe, dovoljno čvrste da osiguraju zadovoljenje tolerancija uvjetovanih za konstrukciju i spriječe oštećivanje konstrukcije.

Oblik, funkcioniranje, izgled i trajnost stalnih radova ne smiju biti ugroženi ni oštećeni svojstvima skela i oplate te njihovim uklanjanjem.

Skele i oplate moraju zadovoljavati mjerodavne hrvatske i europske norme kao što je EN 1065.

### 2.4.2. Materijal

#### 2.4.2.1. Općenito

Može se upotrijebiti svaki materijal koji će ispuniti uvjete konstrukcije ovih tehničkih uvjeta. Moraju zadovoljavati odgovarajuće norme za proizvod ako postoje. U obzir treba uzeti svojstva posebnih materijala.

#### 2.4.2.2. Oplatna ulja

Oplatna ulja treba odabrati i primijeniti na način da ne štete betonu, armaturi ili oplati i da ne djeluju štetno na okolinu. Nije li namjerno specificirano, oplatna ulja ne smiju štetno utjecati na valjanost površine, njezinu boju ili na posebne površinske premaze.

Oplatna ulja treba primjenjivati u skladu s uputama proizvođača ili isporučitelja.

#### 2.4.2.3. Oplate

Oplata treba osigurati betonu traženi oblik dok ne očvrstne. Oplata i spojnice između elemenata trebaju biti dovoljno nepropusni da spriječe gubitak finog morta. Oplatu koja apsorbira značajniju količinu vode iz betona ili omogućava evaporaciju treba odgovarajuće vlažiti da se spriječi gubitak vode iz betona, osim ako nije za to posebno i kontrolirano namijenjena. Unutarnja površina oplate mora biti čista. Ako se koristi za vidni beton, njezina obrada mora osigurati takvu površinu betona.

#### 2.4.2.4. Površinska obrada

Posebnu površinsku obradu betona, ako se traži, treba utvrditi projektnim specifikacijama. Za prihvaćanje zadane kvalitete površinske obrade mogu biti uvjetovani pokusni betonski paneli.

Vrsta i kvaliteta površinske obrade ovise o tipu oplate, betonu (agregatu, cementu, kemijskim i mineralnim dodacima), izvedbi i zaštiti tijekom izvedbe.

#### 2.4.2.5. Oplatni ulošci i nosači

Privremeni držači oplata, šipke, cijevi i slični predmeti koji će se ubetonirati u sklop koji se izvodi i ugrađeni elementi kao npr. ploče, ankeri i distanceri trebaju:

- biti čvrsto fiksirani tako da očuvaju projektirani položaj tijekom betoniranja,
- ne uzrokovati neprihvatljive utjecaje na konstrukciju,
- ne reagirati štetno s betonom, armaturom ili prednapetim čelikom,
- ne uzrokovati neprihvatljivi površinski izgled betona,
- ne štetiti funkcionalnosti i trajnosti konstrukcijskog elementa.

Svaki ugrađeni dio treba imati dovoljnu čvrstoću i krutost da zadrži oblik tijekom betoniranja. Ne smije sadržavati tvari koje mogu štetno djelovati na njih same, beton ili armaturu.

Udubljenja ili otvore za privremene radove treba zapuniti i završno obraditi materijalom kakvoće slične okolnom betonu, osim ako ne ostaju otvoreni ili im je drugi način obrade specificiran.

## **2.5. ARMATURA I UGRADNJA ARMATURE**

### **2.5.1. Općenito**

Armatura izrađena od čelika za armiranje prema odredbama ugrađuje se u armiranu betonsku konstrukciju prema projektu betonske konstrukcije, normi HRN EN 13670:2010, normama na koje ta upućuje.

Izvođač mora prema normi HRN EN 13670:2010 prije početka ugradnje provjeriti je li armatura u skladu sa zahtjevima iz projekta betonske konstrukcije, te je li tijekom rukovanja i skladištenja armature došlo do njezinog oštećivanja, deformacije ili druge promjene koja bi bila od utjecaja na tehnička svojstva betonske konstrukcije.

Nadzorni inženjer neposredno prije početka betoniranja mora:

- provjeriti postoji li isprava o sukladnosti za čelik za armiranje, odnosno za armaturu i jesu li iskazana svojstva sukladna zahtjevima iz projekta betonske konstrukcije.

- provjeriti je li armatura izrađena, postavljena i povezana u skladu s projektom betonske konstrukcije te u skladu s Prilozima »B« te dokumentirati nalaze svih provedenih provjera zapisom u građevinski dnevnik.

### **2.5.2. Savijanje, rezanje, prijevoz i skladištenje**

Čelik za armiranje betona treba rezati i savijati prema projektnim specifikacijama. Pri tome:

- savijanje treba izvoditi jednolikom brzinom,
- savijanje čelika pri temperaturi ispod  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ako je dopušteno projektnim specifikacijama, treba izvoditi uz poduzimanje odgovarajućih posebnih mjera osiguranja,

- savijanje armature grijanjem smije se izvoditi samo uz posebno odobrenje u projektnim specifikacijama. Promjer trna za savijanje šipki treba biti prilagođen stvarnom tipu armature.

## **2.6. IZVOĐENJE BETONSKIH RADOVA**

### **2.6.1. Uvjeti kakvoće betona**

Beton mora biti proizveden prema uvjetima iz HRN EN 206-1.

### **2.6.2. Isporuka, preuzimanje i gradilišni prijevoz svježeg betona**

Nadzor i kontrolu kakvoće treba provesti na mjestu ugradnje i to najmanje u opsegu definiranom ovim tehničkim uvjetima. Među ostalim treba provjeriti otpremni dokument i parafom potvrditi izvršeni nadzor.

### **2.6.3. Kontrola prije betoniranja**

Treba pripremiti planove betoniranja i nadzora kao i sve ostale mjere predviđene ovim Tehničkim uvjetima i projektom, a ako ne postoji projekt, a prema složenosti izvedbe je neophodan potrebno ga je Izraditi.

Treba po potrebi izvesti početno ispitivanje betoniranja pokusnom ugradnjom i to prije izvedbe dokumentirati. Sve pripreme radnje treba provjeriti i dokumentirati prema ovim uvjetima prije no što ugradnja betona počne. Konstrukcijske spojnice moraju biti čiste i navlažene. Oplatu treba očistiti od prljavštine, leda, snijega ili vode. Ako se beton ugrađuje izravno na tlo, svježi beton treba zaštititi od miješanja s tlom i gubitka vode. Konstrukcijske elemente treba podložnim betonom od najmanje 3-5 cm odvojiti od temeljnog tla ili za odgovarajuću vrijednost povećati donji zaštitni sloj betona.

Temeljno tlo, stijena, oplata ili konstrukcijski dijelovi u dodiru s pozicijom koja se betonira trebaju imati temperaturu koja neće uzrokovati smrzavanje betona prije no što dostigne dovoljnu otpornost na smrzavanje. Ugradnja betona na smrznuto tlo nije dopuštena ako za takve slučajeve nisu predviđene posebne mjere.

Predviđa li se temperatura okoline ispod 0°C u vrijeme ugradnje betona ili u razdoblju njegovanja, treba planirati mjere zaštite betona od oštećenja smrzavanjem.

Površinska temperatura betona spojnice prije betoniranja idućeg sloja treba biti iznad 0°C. Ako se predviđa visoka temperatura okoline u vrijeme betoniranja ili u razdoblju njegovanja, treba planirati mjere zaštite betona od tih negativnih djelovanja.

### **2.6.4. Ugradnja i zbijanje**

Beton treba ugraditi i zbiti tako da se sva armatura i uloženi elementi dobro obuhvate betonom i osigura zaštitni sloj betona unutar propisanih tolerancija te beton dobije traženu čvrstoću i trajnost. Posebnu pažnju treba posvetiti ugradnji i zbijanju betona na mjestima promjene presjeka, suženja presjeka, uz otvore, na mjestima zgusnute armature i prekida betoniranja.

Vibriranje, osim ako nije drugačije uvjetovano projektom, treba u pravilu izvoditi uronjenim vibratorima. Beton treba uložiti što bliže konačnom položaju u konstrukcijskom elementu: Vibriranjem se beton ne smije namjerno navlačiti kroz oplatu i armaturu.

Normalna debljina sloja ne bi smjela biti veća od visine uronjenog vibratora. Vibriranje treba izvoditi sustavnim vertikalnim uranjanjem vibratora tako da se površina donjeg sloja revibrira. Kod debljih slojeva je revibriranje površinskog sloja preporučljivo i radi izbjegavanja plastičnog slijeganja betona ispod gornjih sipki armature.

Vibriranje površinskim vibratorima treba izvoditi sustavno dok se iz betona oslobađa zarobljeni zrak. Prekomjerno površinsko vibriranje koje slabi kvalitetu površinskog sloja betona treba izbjeći. Kad se primjenjuje samo površinsko vibriranje, debljina sloja nakon vibriranja obično ne treba prelaziti 100 mm, osim ako nije prethodno eksperimentalno dokazano drugačije. Korisno je dodatno vibriranje površina uz podupore.

Brzina ugradnje i zbijanja betona treba biti dovoljno velika da se izbjegnu hladne spojnice i dovoljno niska da se izbjegnu pretjerana slijeganja ili preopterećenje oplata i skela. Hladna spojnica se može stvarati tijekom betoniranja, ako beton ugrađenog sloja veže prije ugradnje i zbijanja narednog. Dodatni zahtjevi na postupak i brzinu ugradnje betona mogu biti potrebni kod posebnih zahtjeva za površinsku obradu. Segregaciju betona treba pri ugradnji i zbijanju svesti na najmanju mjeru. Beton treba tijekom ugradnje i zbijanja zaštititi od insolacije, jakog vjetrova, smrzavanja, vode, kiše i snijega.

Naknadno dodavanje vode, cementa, površinskih otvrdivača ili sličnih materijala nije dopušteno.

### **2.6.5. Njegovanje i zaštita**

Beton u ranom razdoblju treba zaštititi:

- da se skupljanje svede na najmanju mjeru,
- da se postigne potrebna površinska čvrstoća,
- da se osigura dovoljna trajnost površinskog sloja,
- od smrzavanja,
- od štetnih vibracija, udara ili drugih oštećivanja.

Pogodni su sljedeći postupci njegovanja primijenjeni odvojeno ili uzastopno:

- držanje betona u oplati,
- pokrivanje površine betona paronepropusnim folijama, posebno učvršćenim i osiguranim na spojevima i na krajevima,
- pokrivanjem vlažnim materijalima i njihovom zaštitom od sušenja,
- držanjem površine betona vidljivo vlažnom prikladnim vlaženjem,
- primjenom zaštitnog premaza utvrđene uporabivosti (potvrđene certifikatom ili tehničkim dopuštenjem).

Postupci njegovanja trebaju osigurati nisku evaporaciju vlage iz površinskog sloja betona ili držati površinu stalno vlažnom.

Trajanje primijenjenog njegovanja treba biti funkcija razvoja svojstava betona u površinskom sloju ovisno o omjeru:

- čvrstoće i zrelosti betona,
- oslobođene topline i ukupne topline oslobođene u adijabatskim uvjetima.

Primjena zaštitnih premaza nije dopuštena na konstrukcijskim spojnica, na površinama koje će se naknadno obrađivati ili na površinama na kojima treba osigurati vezu s drugim materijalima, osim ako se prethodno potpuno ne uklone prije te sljedeće operacije ili ako dokazano ne djeluju štetno na tu sljedeću operaciju. Ako projektnim specifikacijama nije naglašeno dopušteno, zaštitni premazi se ne smiju koristiti ni na površinama s uvjetovanim posebnim izgledom površine.

Površinska temperatura betona ne smije pasti ispod 0°C dok površina betona ne dosegne čvrstoću dovoljnu za otpornost na smrzavanje (obično iznad 5 N/mm<sup>2</sup>). Najviša temperatura betona ne smije prijeći 65°C.

Mogući negativni utjecaji visokih temperatura betona tijekom njegovanja uključuju:

- značajno smanjenje čvrstoće,
- značajno povećanje poroznosti,
- odloženo formiranje etringita,
- povećanje razlike temperature betoniranog i prethodnog elementa.

#### 2.6.6. Geometrijske tolerancije

Izvedene dimenzije konstrukcija trebaju biti unutar najvećih dopuštenih odstupanja radi izbjegavanja štetnih utjecaja na:

- mehaničku otpornost i stabilnost u privremenom i kasnijem uporabnom stanju,
- ponašanje tijekom uporabe građevine,
- kompatibilnost postavljanja i izvedbe konstrukcije i njezinih nekonstrukcijskih dijelova.

Nenamjerna mala odstupanja od referentnih vrijednosti koje nemaju značajniji utjecaj na ponašanje izvedene konstrukcije mogu se zanemariti.

Dane tolerancije, nominirane kao normalne tolerancije, odgovaraju projektnim pretpostavkama, ENV 1992 i traženoj razini sigurnosti. Zahtjevi ovog poglavlja odnose se na ukupnu konstrukciju. Kod pojedinih dijelova svaka među kontrola tih dijelova mora poštivati uvjete konačne kontrole izvedene konstrukcije. Ako je određeno geometrijsko odstupanje pokriveno različitim zahtjevima (pred uvjetovano), primjenjuje se stroži uvjet.

Dimenzije poprečnog presjeka, zaštitni sloj betona i položaj armature ne smiju odstupati od zadanih vrijednosti više no što je prikazano u slijedećoj tablici.

N°	Tip odstupanja	Opis	Dopušteno odstupanje
----	----------------	------	----------------------



<b>a</b>	<b>Dimenzije poprečnog presjeka</b>		+ 10 mm
<b>b</b>	<b>Položaj obične armature u poprečnom presjeku</b>  	Za sve h vrijednosti je:  $\Delta(\text{minus})$ a pozitivno za $h < 150 \text{ mm}$ $h = 400 \text{ mm}$ $h > 2500 \text{ mm}$  uz linearnu interpolaciju međuvrijednosti	- 10 mm  + 10 mm + 15 mm + 20 mm
<p> <math>c_{\min}</math> = traženi najmanji zaštitni sloj betona; <math>c_n</math> = nominalni zaštitni sloj = <math>c +  \Delta(\text{minus}) </math>  <math>c</math> = stvarni zaštitni sloj; <math>\Delta</math> = dopušteno odstupanje od <math>c_n</math>; <math>h</math> = visina poprečnog presjeka                      Uvjet: <math>c + \Delta(\text{plus}) &gt; c_n -  \Delta(\text{minus}) </math>                      Dopušteno pozitivno odstupanje zaštitnog sloja temelja i elemenata u temeljima može se povećati za 15 mm. Dano negativno odstupanje ne može.                 </p>			
<b>c</b>	<b>Preklopni spoj</b>	l preklopna duljina	- 0,06 l
<b>d</b>	<b>Okomitost poprečnog presjeka</b>	a – duljina dimenzije poprečnog presjeka	ne više od 0,04a ili 10 mm
<b>e</b>	<b>Ravnost</b>  Oplaćena ili zaglađena površina  Ne oplaćene površine :  globalno  lokalno	$L = 2,0 \text{ m}$  $L = 0,2 \text{ m}$  $L = 2,0 \text{ m}$  $L = 0,2 \text{ m}$	9 mm  4 mm  15 mm  6 mm
<b>f</b>	<b>Zakošenost poprečnog presjeka</b>	ne veće od $h/25$ ili $b/25$ ali ne više od 30 mm	
<b>g</b>	<b>Ravnost bridova</b>	za dužine	



---

		$\geq 1$ m	8 mm
		$> 1$ m	8 mm/m ali ne više od 20 mm
<b>h</b>	<b>Otvori u ulošcima</b>	$\Delta_1; \Delta_2; \Delta_3;$	$\pm 25$ mm

## 2.7. OPREMA NA VEZOVIMA

### 2.7.1. Općenito

Pod opremom na vezovima podrazumijevaju se bitve (poleri), prstenovi za privez.

### 2.7.2. Inox prstenovi za privez

Prstenovi za privez broda su od nehrđajućeg čelika (inox) kvalitete AISI 316. Detalj ugradnje biti će prikazan u izvedbenom projektu.

### 2.7.3. Bitve (poleri)

Odabrani privezni elementi bitve (poleri) za predmetnu građevinu su:

- bitve (poleri) tipa T-poler - za sigurno opterećenje 300 kN, sa odgovarajućim sidrima, vijcima i sidrenom pločom;

#### 2.7.3.1. Opći zahtjevi

Bitve (poleri) moraju biti sa T-glavom za sile definirane u prijašnjem poglavlju.

Bitva (poler) znači kompletan sastav bitve (polera) sa svojim spojnim priborom i svim ostalim dijelovima u svezi sa projektom, certifikatima, proizvodnjom, isporukom i konačnom ugradnjom kako bi se ostvarile specificirane karakteristike. Spojni pribor podrazumijevaju pričvrtni vijci, matice i podlošci, i ostalo potrebno kako bi se sile priveza sigurno prenijele na betonsku podlogu.

Svaka bitva, uključujući i spojni pribor sa betonskom podlogom, mora imati kapacitet za sigurni prijenos sile jednog priveza na betonsku podlogu unutar radnog djelokruga definiranog kako slijedi:

- a) U vodoravnoj ravnini u bilo kojem smjeru unutar  $+ / - 90^\circ$  iz smjera okomito na obalu.
- b) U vertikalnoj ravnini u bilo kojem smjeru od  $0^\circ$  do  $60^\circ$  od horizontale.

Bitve se moraju nabaviti od priznatih specijaliziranih proizvođača s najmanje 10 godina dokazanog iskustva u tom području, te s ekvivalentnim ISO certifikatom kvalitete.

Proizvođač mora osigurati projektnu dokumentaciju i certifikate iz nezavisnih međunarodnih certifikacijskih kuća poput Lloyds, Det Norske Veritas, ili slično. Projektna dokumentacija i certifikati nedvosmisleno će jamčiti da su bitva (poler) i njezin spojni pribor u stanju prenijeti navedenu silu priveza do betonske konstrukcije.

#### 2.7.3.2. Materijali i završna obrada

Primjenjivat će se sljedeći minimalni zahtjevi koji su pak podložni svim strožim zahtjevima temeljem projekta proizvođača:



- Bitve moraju biti izrađene od lijevanog željeza prema BS EN EN1561-GJL-200 ili od lijevanog SG željeza (nodularnog) prema BS EN EN1563-GJS-400;
- Vijci moraju biti prema DIN 17100 St 52-3, ili BS 7419 stupanj 8,8, ili slično;
- Injektiranje pod bitvama mora biti neskupljajuća masa za injektiranje s minimalnom čvrstoćom od 45N/mm<sup>2</sup> kočke starosti 28 dana;
- Ispuna bitve mora biti neskupljajuća injekciona smjesa ili beton s minimalnom čvrstoćom od 45N/mm<sup>2</sup> kočke starosti 28 dana.

Bitva, osim vijka i matice, te osim donje strane dna bitve mora se pjeskarenjem očistiti prema Sa 2,5, praćeno radioničkim nanošenjem premaznog sustava koji minimalno udovoljava sljedećem:

- 2 premaza (temeljni premaz + međupremaz), dvokomponentne, poliamidne epoksidne boje kao što je HEMPADUR 45141, ukupno DFT 300 mikrona.
- 1 premaz dvokomponentnog, akril-poliuretanskog premaza kao što je HEMPADUR TOPCOAT 55210, ukupno 50 mikrona DFT. Boju će, prema proizvođačevoj kartici boja, odabrati Nadzorni inženjer.

Ukupni sustav bojenja bit će odabran od istog proizvođača te će primjena morati u svakom smislu biti u skladu sa preporukama proizvođača.

#### 2.7.3.3. Ugradnja

Vijci moraju biti ubetonirani korištenjem predloška sigurno fiksiranog za vrijeme betoniranja, tako da bitve budu točno smještene po pravcu i na razini kao što je prikazano, unutar tolerancije od + / - 10mm.

Bilo koja oštećenje boje mora biti popravljeno do odobrenja Nadzornog inženjera. Podloške se moraju koristiti ispod glava vijaka kako bi se izbjegla oštećenja boje.

Upuštenja za vijke moraju biti ispunjena mješavinom bitumena i pijeska nakon završnog zatezanja matica.

#### 2.7.3.4. Ispitivanje i dokumentacija

Certifikat materijala je obavezan za svaku bitvu i pripadajuće joj vijke kao i za površinsko tretiranje bitvi.

### 3. ANALIZA OPTEREĆENJA

#### 3.1. UVOD

##### 3.1.1. Opis konstrukcije

Gatovi u unutarnjem dijelu akvatorija izvode se na armiranobetonskim pilotima s pripadajućom rasponskom konstrukcijom dimenzija kako slijedi:

- Pristupni gat: duljina: 57,60 m, širina: 3,0 m, visina +0,95 m - Dilatacija B
- Zapadni unutrašnji gat: duljina: 48,85 m, širina: 2,3 m, visina +0,95 m - Dilatacija C
- Istočni unutrašnji gat: duljina: 40,05 m, širina: 2,3 m, visina +0,95 m - Dilatacija D

Na izgradnji dilatacija B,C i D izvodi se ukupno 21 armiranobetonski pilot promjera 1000/1070 mm. Piloti se izvode u jednom redu na promjenjivom međusobnom osnom razmaku (750, 730 i 700 cm). Buše se direktno u stijenu bušećom garniturom koja u temeljnoj stijeni ostavlja rupu promjera 1070 mm.

Nakon izrađenih pilota pristupa se izradi nadmorskog dijela konstrukcije.

Prvo se montiraju predgotovljene armiranobetonske naglavnice, te se na njih postavljaju predgotovljeni armiranobetonski uzdužni nosači (UN). Pri montaži ovih elemenata izvođač je dužan razraditi i primijeniti tehnologiju privremenog pridržanja ovih elemenata do faze njihove monolitizacije, kako bi osigurao njihovu stabilnost u slučaju pojave valova koji bi mogli destabilizirati postavljene nosače dok još nisu monolitizirani sa preostalim dijelom konstrukcije. Slijedi monolitizacija čvorova nad naglavnicama i uzdužnim nosačima betonom C35/45 na licu mjesta do kote +0,95 m.

### 3.1.1. Primjenjeni materijali

#### Beton

- Odabrani razred tlačne čvrstoće betona: **C 35/45**

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

Proračunska tlačna čvrstoća valjka:  $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 35/1,5 = 23,3 \text{ N/mm}^2$

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

Sekantni modul elastičnosti:  $E_{cm} = 34000 \text{ N/mm}^2$

#### Čelik za armiranje

- Naziv i oznaka čelika: **šipka HRN EN 10080 + HRN 1130-2 - B500B – Ø×L**

Karakteristična granica popuštanja:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2 (R_e)$

Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$

Karakteristična vlačna čvrstoća:  $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2 (R_m)$

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

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

### 3.2. RAZMATRANA OPTEREĆENJA

#### Djelovanja na konstrukciju

- Stalna opterećenja (G)
  - vlastita težina
  - dodatna stalna opterećenja
- Promjenjiva opterećenja (Q)
  - opterećenje teretnim vozilima i pješacima
  - potezanje broda
  - skupljanje betona
  - temperaturno opterećenje
- Izvanredna djelovanja (A)
  - potres

#### 3.2.1. Stalno opterećenje

##### Vlastita težina

Vlastitu težinu računalni program automatski računa preko zadane geometrije konstrukcije i prostorne težine materijala. Za prostornu težinu armiranog betona uzeto je

$$\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3.$$

Proračun reznih sila i pomaka od vlastite težine izvršen je uzimajući u obzir faznost gradnje. U modelu su promatrana dva statička sustava:

Prvi sustav sastoji se od predgotovljenih uzdužnih i poprečnih nosača koji su pridržani kao proste grede, odnosno zglobno i ekscentrično su povezani s pilotima čime je modeliran slučaj kada su nosači slobodno postavljeni na naglavnice pilota. Ovakav sustav preuzima vlastitu težinu pilota, težinu predgotovljenih nosača, težinu svježeg betona iznad predgotovljenih nosača, težinu predgotovljenih ploča te težinu svježeg betona iznad predgotovljenih ploča i naglavnica pilota.

Drugi sustav sastoji se od svih konstrukcijskih elemenata i predstavlja slučaj kada je ostvarena monolitizacija predgotovljenih nosača s naknadno izbetoniranim dijelovima rasponske konstrukcije. Pretpostavljeno je da

naglavnice pilota više ne preuzimaju opterećenja te je rasponska konstrukcija iznad pilota monolitno povezana. Na uronjene dijelove konstrukcije uzeto je u obzir djelovanje uzgona.

### Dodatna stalna opterećenja

Težina nekonstruktivnih elemenata zadana je kao ostalo stalno opterećenje:  $\Delta g = 1 \text{ kN/m}^2$

## 3.2.2. Promjenjiva djelovanja

### Temperaturno djelovanje

Temperaturni utjecaj na konstrukciju obale uzet je u obzir preko jednolike promjene temperature (ujednačena promjena duž čitavog presjeka), te nejednolike promjene temperature (nejednoliko zagrijavanje ili hlađenje dijelova konstrukcije).

#### a) Jednolika temperatura

Pretpostavljena temperatura pri montaži konstrukcije  $T = 15^\circ\text{C}$

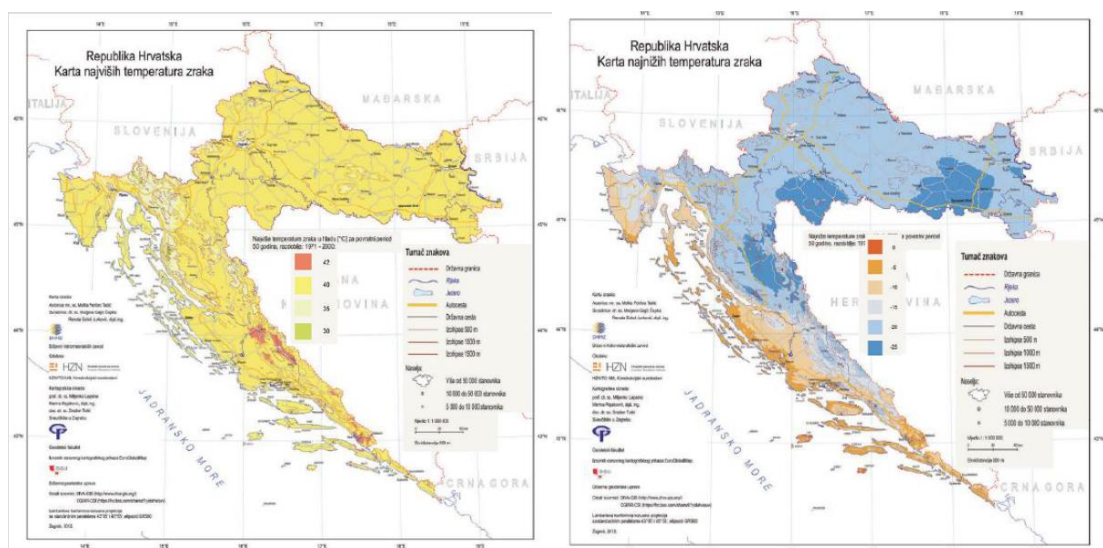
Promatrani objekt nalazi se na području Srebrena u priobalnom području:

Najviša temperatura u hladu:  $T_{\max} = 40^\circ\text{C}$

Najniža temperatura u hladu:  $T_{\min} = -10^\circ\text{C}$

Maksimalna pozitivna temperaturna promjena:  $T_{\max} = 40^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C}$

Maksimalna negativna temperaturna promjena:  $T_{\min} = -10^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = -25^\circ\text{C}$



Slika 3.1 Karta najviših i najnižih temperatura u Republici Hrvatskoj

Za proračun je usvojena jednolika temperatura od  $\Delta T_j = \pm 25^\circ\text{C}$  i koeficijent temperaturnog rastezanja  $\Delta T = 0,00001$ .



**b) Linearna temperaturna promjena**

Djelovanje linearne temperaturne promjene zadano je samo na zaštitni ekran. Temperatura je linearno varirana po visini ekrana. Promatrana su dva slučaja:

**(i) Linearna pozitivna temperaturna promjena (gornji rub topliji)**

$$\Delta T_{L, \text{pos}} = +15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_t = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

**(ii) Linearna negativna temperaturna promjena (donji rub topliji)**

$$\Delta T_{L, \text{neg}} = -8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_t = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

**Skupljane**

Konstrukcija se sastoji od predgotovljenih elemenata i monolitizacije na licu mjesta. Predgotovljeni elementi se izvoze na platou te transportiraju do gradilišta. Skupljanje predgotovljenih elemenata u trenutku njihove ugradnje je većim dijelom završeno, stoga je pri proračunu skupljanja konstrukcije potrebno isključiti površinu predgotovljenih elemenata. Odnos površina predgotovljenih elemenata i monolitizacije nije isti u polju i na ležaju, stoga će se skupljanje u polju i na ležaju razlikovati.

**Proračun skupljanja u polju**

$$\varepsilon = 0,00024$$

$$\varepsilon_{pl} = \frac{A_{pl}}{A_{pl} + A_{nos}} \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon_{pl} = \frac{0,72}{0,72 + 1,765} \cdot 0,00024 = 6,65 \cdot 10^{-5}$$

Utjecaj skupljanja je uzet kao jednoliko djelovanje temperature  $-7^{\circ}\text{C}$

(koeficijent temperaturnog rastezanja  $\alpha_T = 0,00001$ ).

**Proračun skupljanja na ležaju**

$$\varepsilon = 0,00024$$

$$\varepsilon_{pl} = \frac{A_{pl}}{A_{pl} + A_{nos}} \cdot \varepsilon$$



$$\varepsilon_{pl} = \frac{0,72}{0,72 + 0,54} \cdot 0,00024 = 1,37 \cdot 10^{-4}$$

Utjecaj skupljanja je uzet kao jednoliko djelovanje temperature  $-14^{\circ}\text{C}$   
(koeficijent temperaturnog rastezanja  $\alpha T = 0,00001$ ).

### **Korisno opterećenje**

Konstrukcija je provjeravana na opterećenja uslijed navale pješaka:

- Jednoliko kontinuirano opterećenje po cijeloj tlocrtnoj površini iznosa:  
 $q = 5,0 \text{ kN/m}^2$ .

### **Opterećenje od priveza broda**

-redovno  $10 \text{ kN/m}$

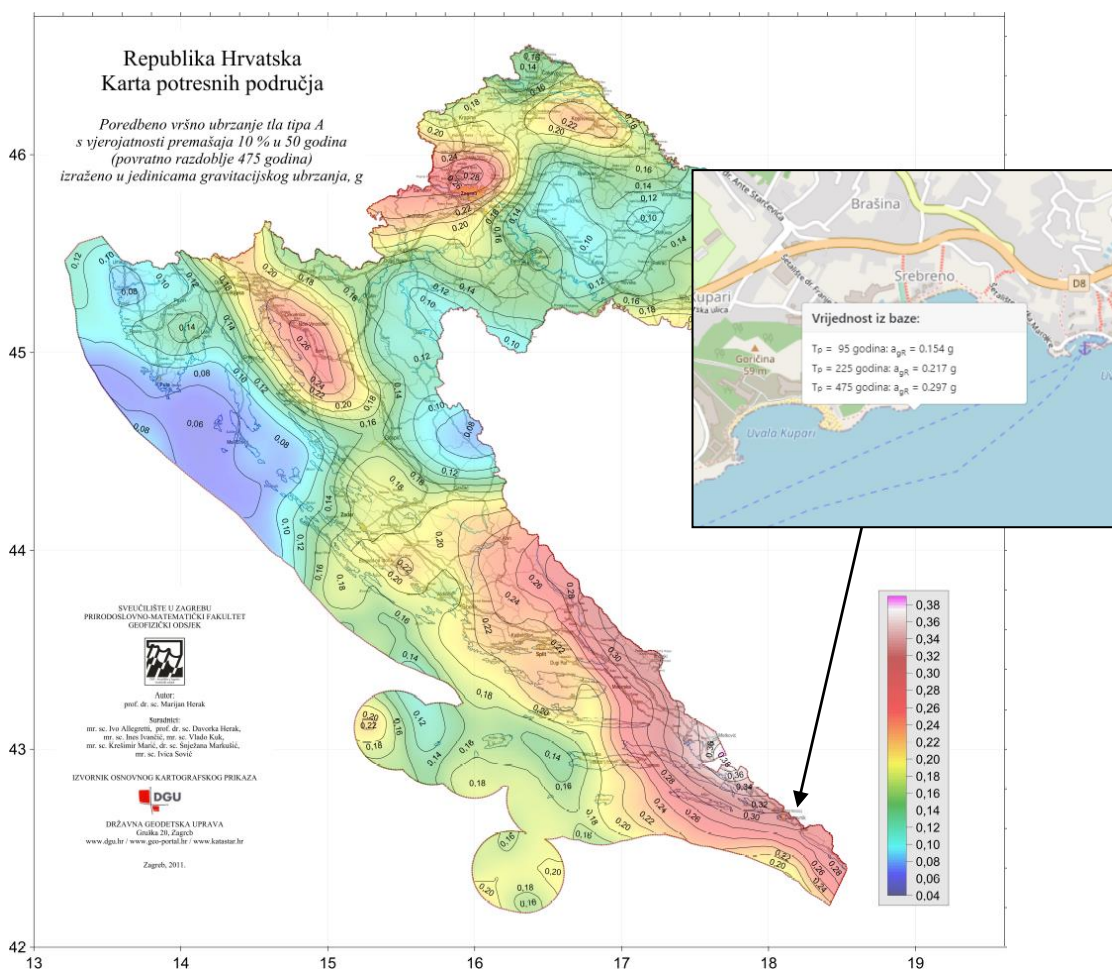
-izvanredno  $15 \text{ kN/m}$

### 3.2.3. Izvanredno djelovanje

#### Sile od djelovanja potresa i likvefakcija

Opterećenje potresom određeno je prema: EC1, Dio 2-6: Djelovanja potresa i EC8. Proračun na seizmičko opterećenje obavlja se kotisteći prostorni model u računalnom programu Scia Engineer 21.. Potresne sile određene su višemodalnom analizom sa SSR metom izračuna.

Objekt je na seizmički aktivnoj lokaciji, s vršnim ubrzanjem tla očitanom prema karti potresnih područja RH za predmetnu lokaciju. Prema važećoj seizmičkoj karti građevina je smještena u zoni s projektnim ubrzanjem tla  $a_g = 0,297g$ :



Slika 3.2 Seizmička karta Republike Hrvatske

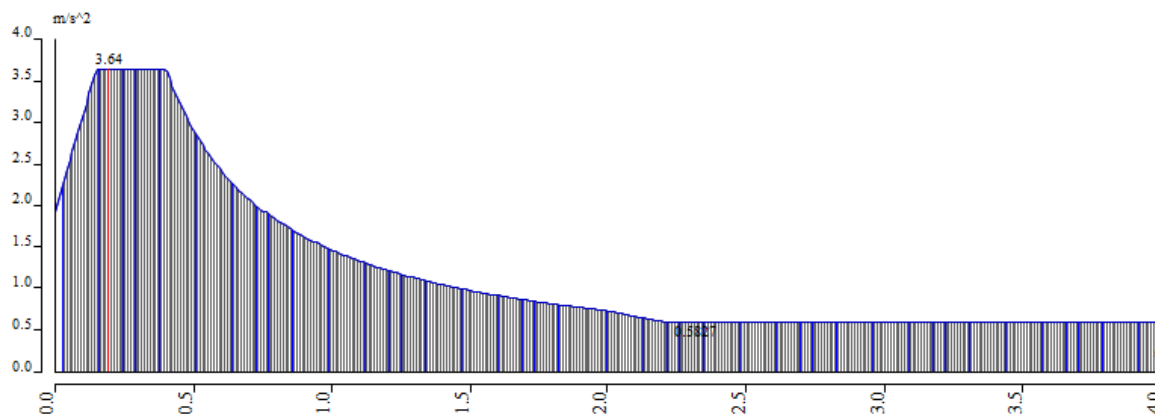
Ground type	$S$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Slika 3.3 Parametar tla ovisno o klasi tla

Budući da se konstrukcija nalazi na stjenovitom tlu što odgovara klasi tla A, uzimamo da je parametar koji prikazuje utjecaj tla na povećanje seizmičkih sila na građevinu  $S=1$ .

STRUCTURAL TYPE	DCM	DCH
Frame system, dual system, coupled wall system	$3,0\alpha_w/\alpha_1$	$4,5\alpha_w/\alpha_1$
Uncoupled wall system	3,0	$4,0\alpha_w/\alpha_1$
Torsionally flexible system	2,0	3,0
Inverted pendulum system	1,5	2,0

Slika 3.4 Vrijednosti faktora ponašanja ovisno o tipu konstrukcije



Slika 3.5 Proračunski spektar odaziva

- Faktor važnosti  $\gamma=1,0$  (prosječne važnosti)
  - Faktor ponašanja  $q = 2,0$
- $S = 1,0$        $T_B = 0,15$  s       $T_C = 0,4$  s       $T_D = 2,0$  s, (klasa tla A)

- Računsko ubrzanje tla  $a_g = 0,297 \text{ g}$

Na osnovu prethodno prikazanih paramtera provedena je višemodalna analiza, sudjelujuće mase (vlastita težina i dodatno stalno opterećenj) su automatski generirane računalnim programom. Rezultatiti su dobiveni kao vlastiti vektori sa pripadajućim periodima i aktiviranim masama.

### Dilatacija B

#### Calculation protocol

##### Solution of Free vibration

Number of 2D elements	0
Number of 1D elements	81
Number of mesh nodes	82
Number of equations	492
Combination of mass groups	MC1 CM4
Modification group	None
Number of frequencies	40
Method	Lanczos
Bending theory	Mindlin
Type of analysis model	Standard
Start of calculation	06.08.2023 11:45
End of calculation	06.08.2023 11:45

##### Sum of masses

Mass type	X [kg]	Y [kg]	Z [kg]
1 Moving mass	477442,17	477442,17	473122,79
1 Total mass	477442,17	477442,17	477442,17

##### Relative modal masses

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{x1}/W_{total}$	$W_{y1}/W_{total}$	$W_{z1}/W_{total}$	$W_{x1,2}/W_{total,2}$	$W_{y1,2}/W_{total,2}$	$W_{z1,2}/W_{total,2}$
1	9.19174	0,58	1,46	0,0000	0,7225	0,0000	0,1447	0,0000	0,0963
2	13.7473	0,46	2,19	0,0000	0,0903	0,0000	0,0183	0,0000	0,6938
3	17.9707	0,35	2,86	0,8262	0,0000	0,0000	0,0000	0,0103	0,0000
4	25.6121	0,25	4,08	0,0000	0,0103	0,0000	0,0021	0,0000	0,0301
5	54.821	0,11	8,73	0,0000	0,0002	0,0000	0,0001	0,0000	0,0010
6	100.304	0,06	15,96	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	153.912	0,04	24,50	0,0002	0,0000	0,0111	0,0000	0,0391	0,0000
8	158.68	0,04	25,25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	163.725	0,04	26,06	0,0007	0,0000	0,0017	0,0000	0,0134	0,0000
10	183.837	0,03	29,26	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11	187.347	0,03	29,82	0,0000	0,0000	0,3326	0,0000	0,0000	0,0000
12	193.406	0,03	30,78	0,0000	0,0000	0,0031	0,0000	0,4495	0,0000
13	194.438	0,03	30,95	0,0000	0,0000	0,4687	0,0000	0,0047	0,0000
14	196.719	0,03	31,31	0,0000	0,0000	0,0034	0,0000	0,1487	0,0000
15	208.239	0,03	33,14	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0036	0,0000
16	215.858	0,03	34,35	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0204	0,0000
17	224.994	0,03	35,81	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18	239.165	0,03	38,06	0,0000	0,0000	0,0208	0,0000	0,0409	0,0000
19	266.158	0,02	42,36	0,0000	0,0000	0,0419	0,0000	0,1059	0,0000
20	284.336	0,02	45,25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
21	323.652	0,02	51,51	0,0000	0,0000	0,0016	0,0000	0,0006	0,0000
22	358.511	0,02	57,06	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0025	0,0000
23	360.22	0,02	57,33	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000
24	398.474	0,02	63,42	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,0002	0,0000
25	439.709	0,01	69,98	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0000
26	473.698	0,01	75,39	0,0001	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
27	478.376	0,01	76,14	0,0000	0,0583	0,0000	0,2527	0,0000	0,0000
28	484.194	0,01	77,06	0,0436	0,0000	0,0000	0,0000	0,0077	0,0000
29	485.721	0,01	77,30	0,0000	0,0002	0,0000	0,0009	0,0000	0,0147
30	487.843	0,01	77,64	0,0000	0,0083	0,0000	0,0333	0,0000	0,0147
31	492.436	0,01	78,37	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
32	492.641	0,01	78,41	0,0000	0,0216	0,0000	0,0805	0,0000	0,0510
33	499.001	0,01	79,42	0,0051	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017	0,0000
34	503.332	0,01	80,11	0,0000	0,0005	0,0000	0,0016	0,0000	0,0000
35	506.696	0,01	80,64	0,0169	0,0000	0,0000	0,0000	0,0048	0,0000
36	509.769	0,01	81,13	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
37	514.021	0,01	81,81	0,0036	0,0000	0,0000	0,0000	0,0028	0,0000
38	517.889	0,01	82,42	0,0000	0,0050	0,0000	0,0141	0,0000	0,0010
39	526.154	0,01	83,74	0,0000	0,0067	0,0000	0,0178	0,0000	0,0052
40	531.299	0,01	84,56	0,0103	0,0000	0,0000	0,0000	0,0031	0,0000
				0,9078	0,9238	0,8866	0,5661	0,8621	0,9078

##### Seismicity

Number of 2D elements	0
Number of 1D elements	81
Number of mesh nodes	82
Mass in analysis	Participating mass only
Signed results	x potres x
Load case	
Combination of mass groups	CM4

## Dilatacija C

### Calculation protocol

#### Solution of Free vibration

Number of 2D elements	0
Number of 1D elements	71
Number of mesh nodes	72
Number of equations	432
Combination of mass groups	MC1 CM1
Modification group	None
Number of frequencies	40
Method	Lanczos
Bending theory	Mindlin
Type of analysis model	Standard
Start of calculation	06.08.2023 11:47
End of calculation	06.08.2023 11:47

#### Sum of masses

Mass type	X [kg]	Y [kg]	Z [kg]
1 Moving mass	342991,80	342991,80	339212,35
1 Total mass	342991,80	342991,80	342991,80

#### Relative modal masses

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{x1}/W_{total}$	$W_{y1}/W_{total}$	$W_{z1}/W_{total}$	$N_{x1,1}/W_{total,1}$	$W_{y1,1}/W_{total,1}$	$W_{z1,1}/W_{total,1}$
1	9.50964	0,66	1,51	0,0000	0,5565	0,0000	0,1375	0,0000	0,2166
2	16.379	0,38	2,61	0,0000	0,2218	0,0000	0,0561	0,0000	0,5341
3	21.2558	0,30	3,38	0,7900	0,0000	0,0000	0,0000	0,0191	0,0000
4	26.5581	0,24	4,23	0,0000	0,0081	0,0000	0,0021	0,0000	0,0322
5	57.2031	0,11	9,10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002
6	104.308	0,06	16,60	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	158.05	0,04	25,15	0,0003	0,0000	0,0130	0,0000	0,0425	0,0000
8	165.797	0,04	26,39	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	170.36	0,04	27,11	0,0007	0,0000	0,0121	0,0000	0,0391	0,0000
10	205.121	0,03	32,65	0,0000	0,0000	0,4575	0,0000	0,1736	0,0000
11	208.843	0,03	33,24	0,0000	0,0000	0,0103	0,0000	0,0886	0,0000
12	210.262	0,03	33,46	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000
13	221.221	0,03	35,21	0,0000	0,0000	0,0447	0,0000	0,0083	0,0000
14	227.513	0,03	36,21	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	242.15	0,03	38,54	0,0000	0,0000	0,2224	0,0000	0,2416	0,0000
16	250.045	0,03	39,80	0,0000	0,0000	0,0681	0,0000	0,0012	0,0000
17	255.609	0,02	40,68	0,0000	0,0000	0,0027	0,0000	0,1143	0,0000
18	290.377	0,02	46,21	0,0000	0,0000	0,0287	0,0000	0,0607	0,0000
19	343.466	0,02	54,66	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0042	0,0000
20	388.131	0,02	61,77	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0002	0,0000
21	407.669	0,02	64,88	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22	435.117	0,01	69,25	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017	0,0000
23	461.556	0,01	73,46	0,0000	0,0716	0,0000	0,2848	0,0000	0,0569
24	467.671	0,01	74,43	0,0364	0,0000	0,0001	0,0000	0,0149	0,0000
25	470.392	0,01	74,87	0,0000	0,0113	0,0000	0,0422	0,0000	0,0073
26	471.497	0,01	75,04	0,0000	0,0033	0,0000	0,0114	0,0000	0,0067
27	478.814	0,01	76,21	0,0186	0,0000	0,0001	0,0000	0,0088	0,0000
28	478.986	0,01	76,23	0,0000	0,0023	0,0000	0,0073	0,0000	0,0003
29	479.466	0,01	76,31	0,0157	0,0000	0,0000	0,0000	0,0028	0,0000
30	481.354	0,01	76,61	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
31	489.428	0,01	77,89	0,0000	0,0006	0,0000	0,0022	0,0000	0,0012
32	493.839	0,01	78,60	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0004
33	495.244	0,01	78,82	0,0166	0,0000	0,0003	0,0000	0,0032	0,0000
34	526.09	0,01	83,73	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0045	0,0000
35	577.477	0,01	91,91	0,0000	0,0301	0,0000	0,0366	0,0000	0,0247
36	592.306	0,01	94,27	0,0000	0,0087	0,0000	0,0099	0,0000	0,0242
37	596.226	0,01	94,89	0,0030	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000
38	602.719	0,01	95,93	0,0090	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	0,0000
39	606.377	0,01	96,51	0,0000	0,0021	0,0000	0,0021	0,0000	0,0098
40	612.941	0,01	97,55	0,0212	0,0000	0,0000	0,0000	0,0037	0,0000
				0,9128	0,9165	0,8617	0,5922	0,8352	0,9146

#### Seismicity

Number of 2D elements	0
Number of 1D elements	71
Number of mesh nodes	72
Mass in analysis	Participating mass only
Signed results	x potres x
Load case	
Combination of mass groups	CM1



## Dilatacija D

### Calculation protocol

#### Solution of Free vibration

Number of 2D elements	0
Number of 1D elements	61
Number of mesh nodes	62
Number of equations	372
Combination of mass groups	MCI CM1
Modification group	None
Number of frequencies	50
Method	Lanczos
Bending theory	Mindlin
Type of analysis model	Standard
Start of calculation	06.08.2023 11:39
End of calculation	06.08.2023 11:39

#### Sum of masses

Mass type	X [kg]	Y [kg]	Z [kg]
1 Moving mass	302619,97	302619,97	299380,44
1 Total mass	302619,97	302619,97	302619,97

#### Relative modal masses

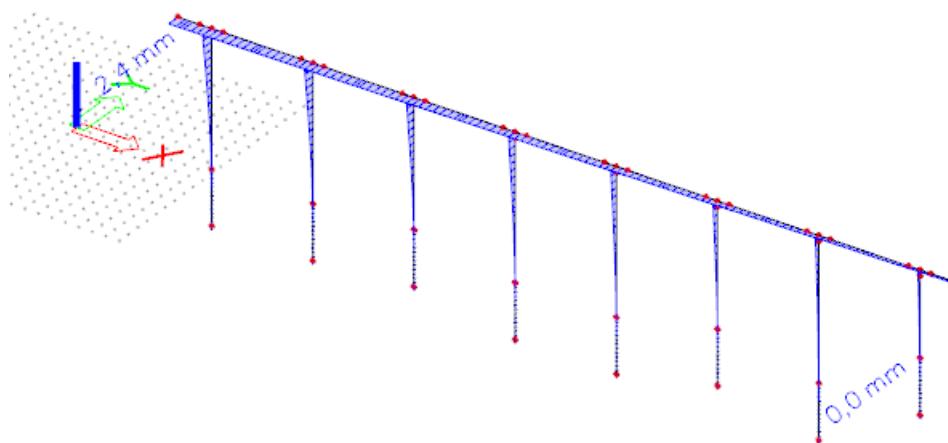
Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{x1}/W_{y1tot}$	$W_{y1}/W_{y1tot}$	$W_{z1}/W_{z1tot}$	$N_{z1,N}/W_{z1tot,N}$	$W_{y1,N}/W_{y1tot,N}$	$W_{z1,N}/W_{z1tot,N}$
1	6,84873	0,92	1,09	0,0000	0,5502	0,0000	0,1561	0,0000	0,1991
2	11,795	0,53	1,88	0,0000	0,2135	0,0000	0,0627	0,0000	0,5550
3	15,4113	0,41	2,45	0,7677	0,0000	0,0000	0,0000	0,0423	0,0000
4	31,3913	0,20	5,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0021
5	78,7229	0,08	12,53	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	148,177	0,04	23,58	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	152,148	0,04	24,22	0,0003	0,0000	0,0275	0,0000	0,0753	0,0000
8	167,434	0,04	26,65	0,0004	0,0000	0,0185	0,0000	0,0527	0,0000
9	192,126	0,03	30,58	0,0000	0,0000	0,3391	0,0000	0,2166	0,0000
10	207,065	0,03	32,96	0,0000	0,0000	0,1404	0,0000	0,0190	0,0000
11	219,423	0,03	34,92	0,0000	0,0000	0,1791	0,0000	0,0349	0,0000
12	228,034	0,03	36,29	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
13	231,348	0,03	36,82	0,0001	0,0000	0,0497	0,0000	0,1987	0,0000
14	237,518	0,03	37,80	0,0001	0,0000	0,0685	0,0000	0,0238	0,0000
15	247,809	0,03	39,44	0,0000	0,0000	0,0008	0,0000	0,0004	0,0000
16	272,861	0,02	43,43	0,0001	0,0000	0,0172	0,0000	0,0493	0,0000
17	283,199	0,02	45,07	0,0000	0,0422	0,0000	0,2022	0,0000	0,0767
18	288,443	0,02	45,91	0,0339	0,0000	0,0001	0,0000	0,0386	0,0000
19	302,793	0,02	48,19	0,0000	0,0241	0,0000	0,0850	0,0000	0,0127
20	304,953	0,02	48,53	0,0284	0,0000	0,0000	0,0000	0,0178	0,0000
21	372,704	0,02	59,32	0,0010	0,0000	0,0005	0,0000	0,0002	0,0000
22	428,827	0,01	68,25	0,0038	0,0000	0,0000	0,0000	0,0069	0,0000
23	442,294	0,01	70,39	0,0000	0,0329	0,0000	0,0781	0,0000	0,0003
24	449,412	0,01	71,53	0,0212	0,0000	0,0000	0,0000	0,0074	0,0000
25	467,663	0,01	74,43	0,0000	0,0242	0,0000	0,0415	0,0000	0,0086
26	472,678	0,01	75,23	0,0218	0,0000	0,0001	0,0000	0,0043	0,0000
27	479,676	0,01	76,34	0,0087	0,0000	0,0000	0,0000	0,0048	0,0000
28	491,928	0,01	78,29	0,0000	0,0242	0,0000	0,0307	0,0000	0,0595
29	495,681	0,01	78,89	0,0002	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000
30	505,566	0,01	80,46	0,0242	0,0000	0,0000	0,0000	0,0074	0,0000
31	508,091	0,01	80,87	0,0000	0,0039	0,0000	0,0059	0,0000	0,0019
32	509,203	0,01	81,04	0,0000	0,0040	0,0000	0,0032	0,0000	0,0035
33	520,859	0,01	82,90	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006
34	525,567	0,01	83,65	0,0095	0,0000	0,0001	0,0000	0,0020	0,0000
35	563,798	0,01	89,73	0,0033	0,0000	0,0000	0,0000	0,0049	0,0000
36	646,303	0,01	102,86	0,0000	0,0051	0,0000	0,0223	0,0000	0,0017
37	687,07	0,01	109,35	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
38	770,446	0,01	122,62	0,0129	0,0000	0,0008	0,0000	0,0083	0,0000
39	771,756	0,01	122,83	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,0028
40	773,853	0,01	123,16	0,0084	0,0000	0,0000	0,0000	0,0081	0,0000
41	775,674	0,01	123,45	0,0000	0,0216	0,0000	0,1419	0,0000	0,0300
42	782,98	0,01	124,62	0,0030	0,0000	0,0034	0,0000	0,0201	0,0000
43	809,74	0,01	128,87	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
44	833,647	0,01	132,68	0,0000	0,0029	0,0000	0,0080	0,0000	0,0005
45	833,686	0,01	132,69	0,0001	0,0000	0,0053	0,0000	0,0023	0,0000
46	861,59	0,01	137,13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0045	0,0000
47	913,01	0,01	145,31	0,0000	0,0008	0,0000	0,0017	0,0000	0,0009
48	932,18	0,01	148,36	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0000	0,0011
49	946,965	0,01	150,71	0,0000	0,0000	0,0223	0,0000	0,0373	0,0000
50	966,987	0,01	153,90	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0010	0,0000
				0,9488	0,9498	0,8742	0,8402	0,8889	0,9573

#### Seismicity

Number of 2D elements	0
Number of 1D elements	61
Number of mesh nodes	62
Mass in analysis	Participating mass only
Signed results	x
Load case	potres x
Combination of mass groups	CM1
Bending theory	Mindlin
Type of analysis model	Standard
Start of calculation	06.08.2023 11:39
End of calculation	06.08.2023 11:39

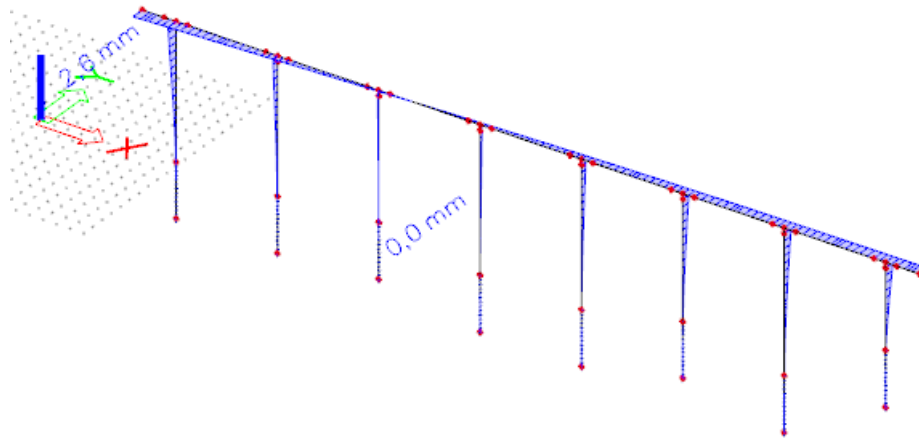
Proračun je proveden za 40 vlastitih oblika za dilatacije B i C, odnosno za 50 vlastitih oblika za dilataciju D. Prema EC-8, zadovoljen je uvjet da suma svih upotrebljenih vlastitih oblika u proračunu moraju aktivirati najmanje 90% ukupne mase, kao i svi vlastiti oblici sa minimalno 5% aktivirane mase.

U daljnjem tekstu prikazana su prva tri vlastita oblika dilatacija B, C i D iz kojih je vidljivo pobuda konstrukcije u glavnim smjerovima.

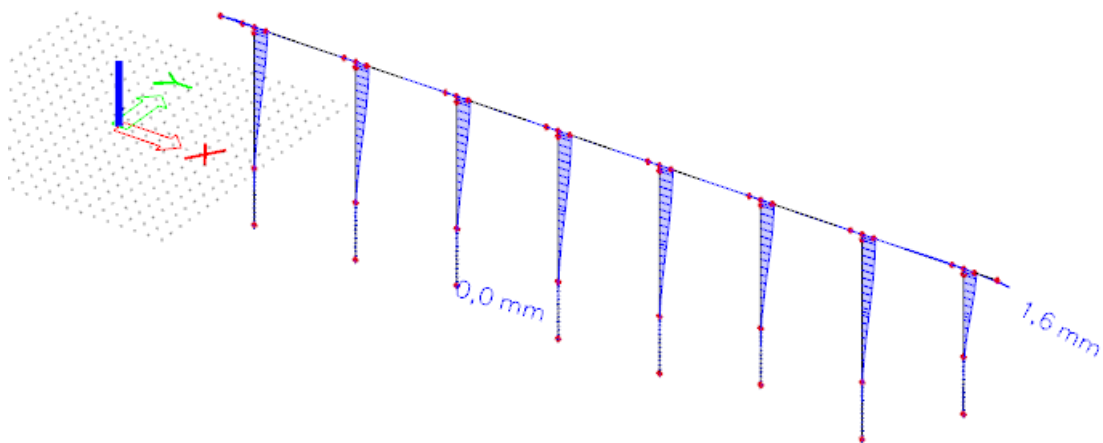


Slika 3.6 Vlastiti oblik 1.- Dilatacija B

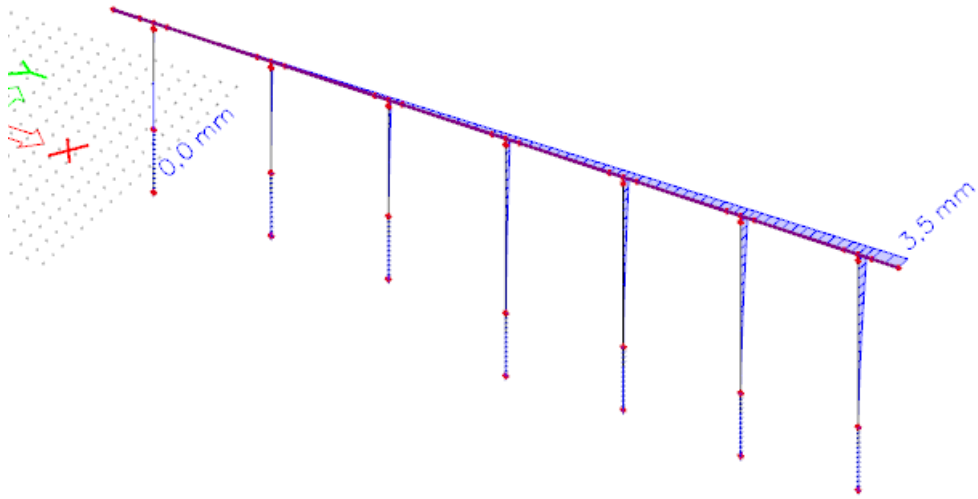




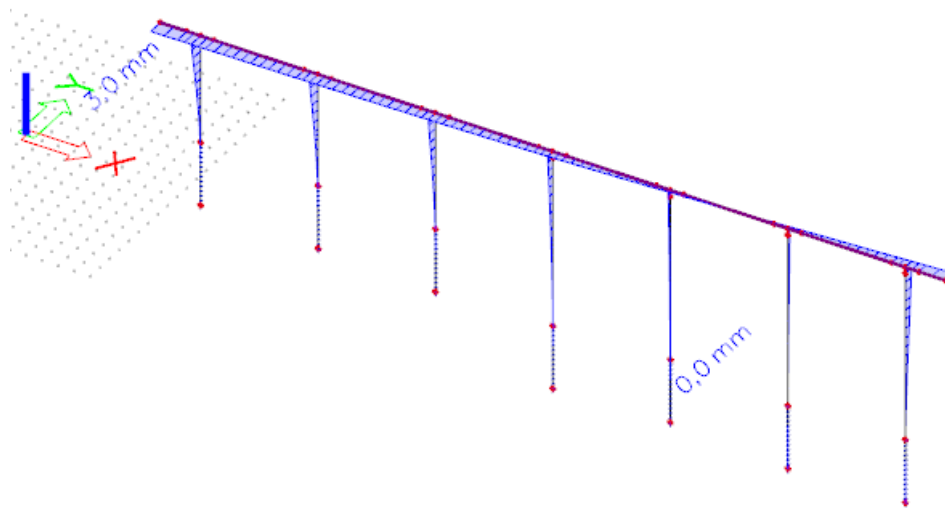
Slika 3.7 Vlastiti oblik 2.- Dilatacija B



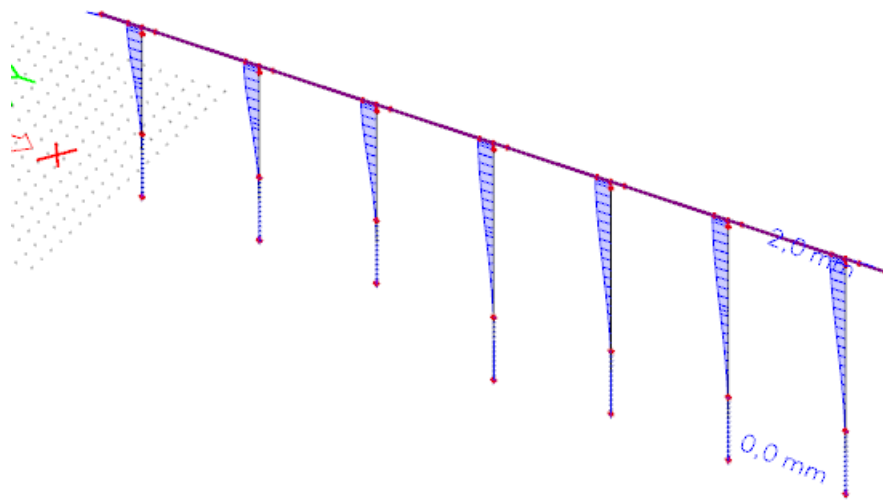
Slika 3.8 Vlastiti oblik 3.- Dilatacija B



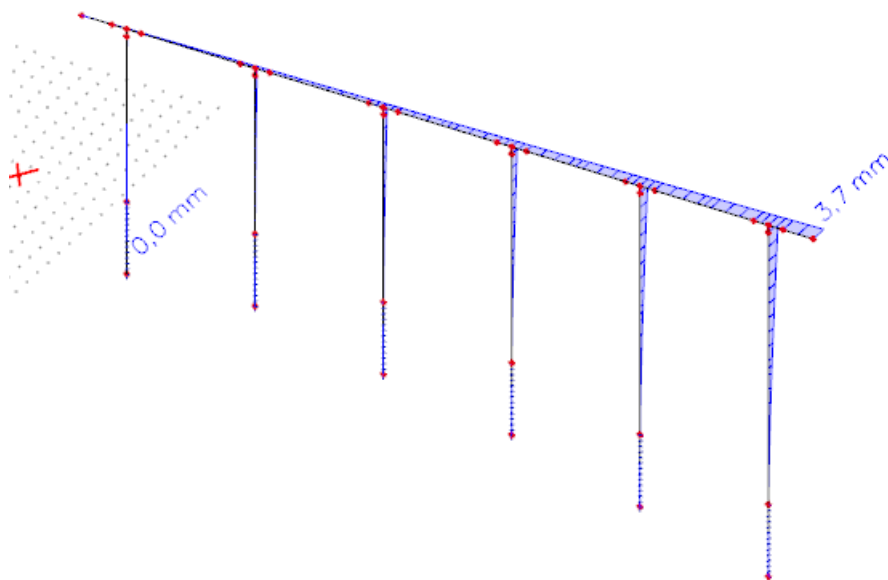
Slika 3.9 Vlastiti oblik 1.- Dilatacija C



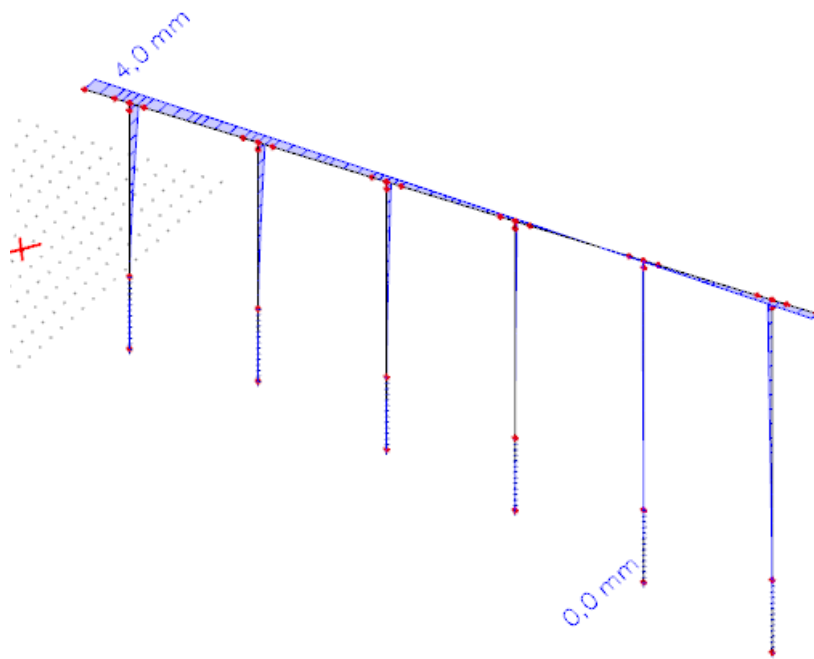
Slika 3.10 Vlastiti oblik 2.- Dilatacija C



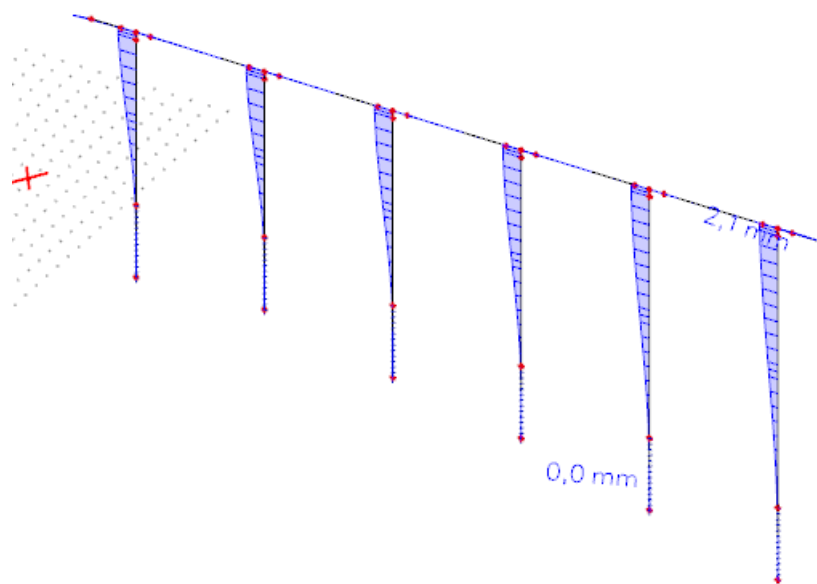
Slika 3.11 Vlastiti oblik 3.- Dilatacija C



Slika 3.12 Vlastiti oblik 1.- Dilatacija D

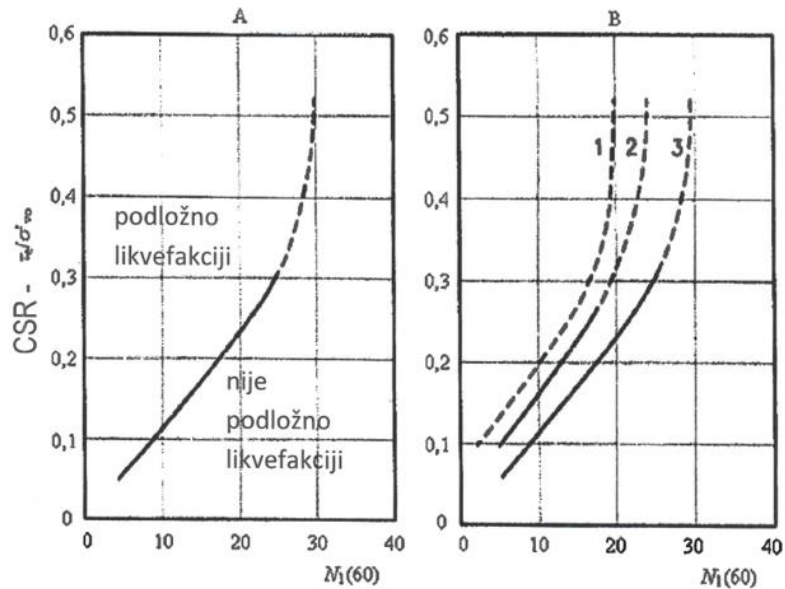


Slika 3.13 Vlastiti oblik 2.- Dilatacija D



Slika 3.14 Vlastiti oblik 3.- Dilatacija D

## Likvefakcija HRN EN 1998-5:2011 dodatak B


**Legenda:**
 $\tau_h / \sigma'_{vo}$  – omjer cikličkog naprezanja

A – čisti pijesci

B – praškasti pijesci

krivulja 1: 35 % sitnih zrna

krivulja 2: 15 % sitnih zrna

krivulja 3: &lt; 5 % sitnih zrna

**Table B.1 — Values of factor CM**

$M_s$	CM
5,5	2,86
6,0	2,20
6,5	1,69
7,0	1,30
8,0	0,67

Za magnitude različite od 7.5, vrijednosti ordinata (CSR) je potrebno podijeliti s korekcijskim faktorom (CM) iz gornje tablice

Odnos omjera naprezanja koje prouzrokuje likvefakciju i vrijednosti  $N_1(60)$  za čiste i praškaste pijeske za potrese magnitude 7.5

$$CSR = \frac{\tau_h}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

$$r_d = \exp(\alpha + \beta M)$$



$$(N_1)_{60} = \frac{ER_L}{60} \cdot C_B \cdot C_S \cdot \lambda \cdot C_N \cdot N$$

$ER_L$  – koeficijent energije korištene opreme

$\lambda$  – korekcijski faktor zbog gubitka energije radi dužine potisne šipke u pijesku

$C_B$  – korekcija na standardni promjer bušotine ( $C_B = 1$  za promjer bušotine od 65 do 115 mm)

$C_S$  – korekcija detalja uzorkivača ( $C_S = 1$  za uzorkivač s košuljicom;  $C_S = 1.2$  za uzorkivač bez košuljice)

$C_N$  – korekcijski faktor zbog efektivnog pritiska nadsloja ( $\sigma'_v$ ) na mjestu ispitivanja

Država	Čekić	Otpuštanje	ER <sub>L</sub> (%)	ER <sub>L</sub> / 60
Sjeverna i Južna Amerika	Donut	2 okreta konopa	45	0,75
	Sigurnosni	2 okreta konopa	55	0,92
	Automatski	čitav ciklus	55 do 83	0,92 do 1,38
Japan	Donut	2 okreta konopa	65	1,08
	Donut	automatski	78	1,3
Kina	Donut	2 okreta konopa	50	0,83
	Automatski	Čitav ciklus	60	1,0
V. Britanija	Sigurnosni	2 okreta konopa	50	0,83
	Automatski	Čitav ciklus	60	1,0
Italija	Donut	Čitav ciklus	65	1,08

Tablica 1: Vrijednosti koeficijenta energije ER<sub>L</sub> za uobičajenu opremu koja se koristi u raznim državama i korekcijski faktori koji se primjenjuju za usklađivanje s ER<sub>L</sub> = 60%

Dužina potisne šipke ispod nakovnja (m)	Korekcijski faktor, $\lambda$
>10	1,0
6 - 10	0,95
4 - 6	0,85
3 - 4	0,75

Tablica 2: Korekcijski faktori za pijesak zbog dužine potisnih šipki

Vrsta pijeska	Indeks gustoće I <sub>D</sub> [%]	C <sub>N</sub>
Normalno konsolidirani	40 do 60	$\frac{2}{1 + \sigma'_v}$
	60 do 80	$\frac{3}{2 + \sigma'_v}$
Prekonsolidirani		$\frac{1,7}{0,7 + \sigma'_v}$

( $\sigma'_v$ , u kPa x 10<sup>-2</sup>)

Tablica 3: Korekcijski faktori C<sub>N</sub> zbog efektivnog pritiska nadsloja u pijesku

Dubina (m.n.m.)	z(m)	SPT (broj udaraca)	$(N_1)_{60}$	$\sigma'$ (kPa)	u (kPa)	$\sigma$ (kPa)	$\alpha$	$\beta$	rd	CSR	CSR/CM
8.5	0.5			6.50	85.255	91.76	-0.5484	0.06	0.944	0.275	0.410
9	1			13.00	90.27	103.27	-0.5924	0.07	0.940	0.155	0.231
9.5	1.5			19.50	95.285	114.79	-0.6372	0.07	0.935	0.115	0.171
10	2			26.00	100.3	126.30	-0.6826	0.08	0.930	0.094	0.141
10.5	2.5			32.50	105.315	137.82	-0.7287	0.08	0.925	0.082	0.123
11	3	3	4.07	39.00	110.33	149.33	-0.7752	0.09	0.920	0.074	0.111
11.5	3.5			45.50	115.345	160.85	-0.8222	0.09	0.915	0.069	0.102
12	4	5	6.43	52.00	120.36	172.36	-0.8696	0.10	0.910	0.064	0.096
12.5	4.5	3	3.76	58.50	125.375	183.88	-0.9172	0.10	0.905	0.061	0.091
13	5			65.00	130.39	195.39	-0.9649	0.11	0.899	0.058	0.087
13.5	5.5			71.50	135.405	206.91	-1.0128	0.11	0.894	0.056	0.084
14	6			78.00	140.42	218.42	-1.0607	0.12	0.888	0.054	0.081
14.5	6.5			84.50	145.435	229.94	-1.1084	0.12	0.883	0.053	0.079
15	7	6	6.68	91.00	150.45	241.45	-1.1560	0.13	0.877	0.051	0.077
15.5	7.5			97.50	155.465	252.97	-1.2033	0.13	0.872	0.050	0.075
16	8			104.00	160.48	264.48	-1.2503	0.14	0.866	0.049	0.073
16.5	8.5			110.50	165.495	276.00	-1.2969	0.14	0.860	0.048	0.072
17	9			117.00	170.51	287.51	-1.3429	0.15	0.855	0.047	0.071
17.5	9.5	30	30.05	123.50	175.525	299.03	-1.3883	0.15	0.849	0.047	0.070
18	10			130.00	180.54	310.54	-1.4331	0.16	0.843	0.046	0.069
18.5	10.5			136.50	185.555	322.06	-1.4770	0.16	0.837	0.046	0.068
19	11			143.00	190.57	333.57	-1.5202	0.17	0.832	0.045	0.068
19.5	11.5			149.50	195.585	345.09	-1.5624	0.17	0.826	0.045	0.067
20	12			156.00	200.6	356.60	-1.6036	0.18	0.820	0.044	0.066
20.5	12.5			162.50	205.615	368.12	-1.6437	0.18	0.815	0.044	0.066
21	13			169.00	210.63	379.63	-1.6827	0.18	0.809	0.044	0.065

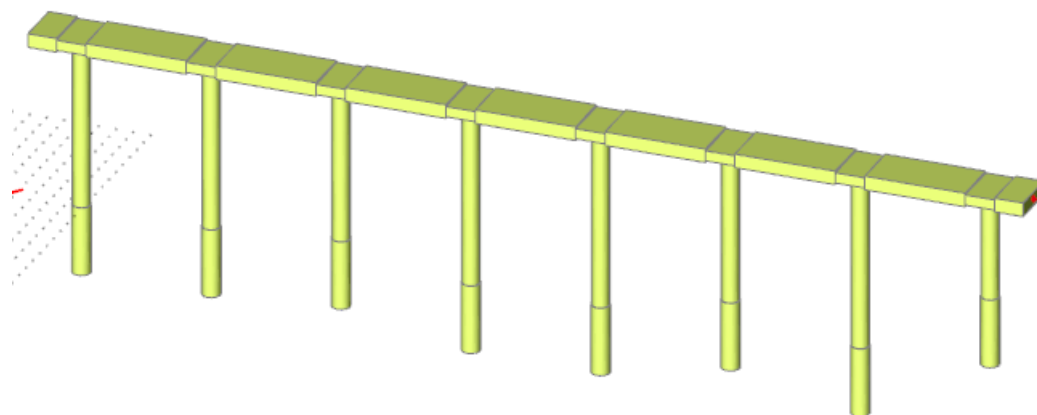
ZONA LIKVEFAKCIJE

Kinematičko opterećenje od sloja u kojem se desio efekt likvefakcije zadano je na pilote u lateralnom smjeru u iznosu od 10kPa.

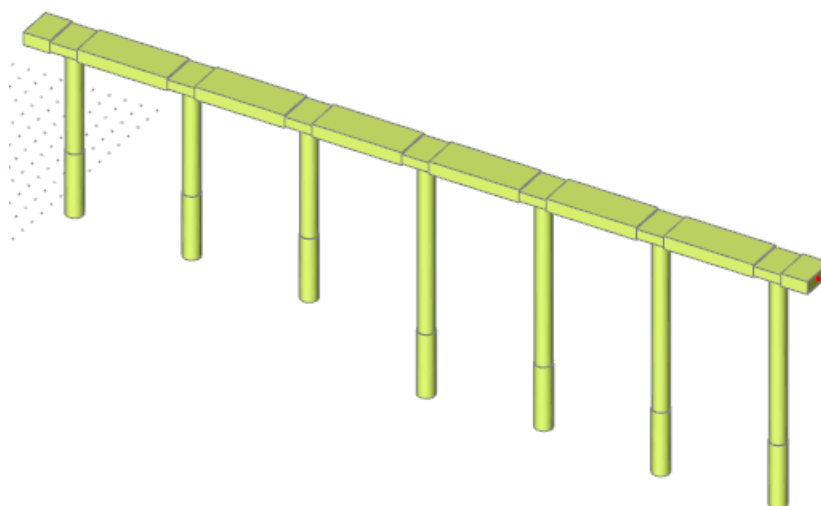
#### 4. NUMERIČKI MODEL

Proračun je izvršen metodom konačnih elemenata u računalnom programu "Scia 21.1". Korišten je prostorni model sastavljen od štapnih elemenata (piloti i rasponska konstrukcija). Napravljena su dva zasebna modela za svaku dilataciju.

Model je opterećen stalnim opterećenjem (vlastita težina i dodatno stalno opterećenje), skupljanjem, jedonlikim temperaturnim opterećenjem, linearnim temperaturnim opterećenjem, opterećenjem od poteza broda te seizmičkim opterećenjem s tim da je kod potresnog opterećenja u X smjeru dodano 30% opterećenja iz Y smjera, isto vrijedi za Y smjer.

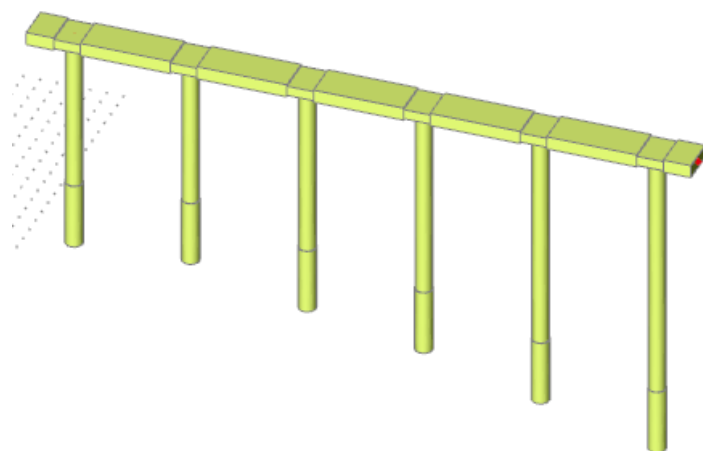


Slika 4.1 Prikaz modela konstrukcije – Dilatacija B



Slika 4.2 Prikaz modela konstrukcije – Dilatacija C





Slika 4.3 Prikaz modela konstrukcije – Dilatacija D

#### 4.1. KOMBINACIJE OPTEREĆENJA

Parcijalni koeficijenti sigurnosti i kombinacije opterećenja određeni su prema BS-6349- 2:2010.

Djelovanja i pripadni slučajevi opterećenja:

Djelovanje		Grupa	Parcijalni koef. sig.		Keof. kombinacije		
			$\gamma_U$	$\gamma_F$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
			Nepovoljna	Povoljna	Rijetka	Česta	Kvazistalna
1.	Vlastita težina + uzgon	E1	1,35	1,0	1,0	1,0	1,0
2.	Ostalo stalno	E2	1,35	1,0	1,0	1,0	1,0
3.	Skupljanje	C <sub>s</sub>	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0
4.	Temperatura	T	1,3	0,0	0,6	0,6	0,5
5.	Prometno opt.	LU	1,35	0,0	0,75	0,3	0,0
6.	Redovno opt. od brodova	M <sub>a</sub>	1,4	0,0	0,6	0,2	0,0
7.	Izvanredno opt. od brodova	M <sub>i</sub>	1,4	0,0	0,6	0,2	0,0
8.	Potres	E <sub>d</sub>	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Pri proračunu kombinacija opterećenja, svi slučajevi opterećenja unutar pojedine grupe međusobno se isključuju (ne mogu se pojaviti istovremeno).

### Granično stanje nosivosti

1. Karakteristična kombinacija:

$$E_d = E_d \left( \sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

2. Izvanredna kombinacija:

$$E_d = E_d \left( \sum_j G_{k,j} + A_d + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

3. Seizmička kombinacija:

$$E_d = E_d \left( \sum_j G_{k,j} + E_d + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

### Grupe kombinacija za granično stanje nosivosti:

1. Karakteristična kombinacija:

$$(E1 + E2) + C_s + T + Q + M_a$$

2. Izvanredna kombinacija:

$$(E1 + E2) + C_s + T + M_i$$

3. Seizmička kombinacija:

$$(E1 + E2) + C_s + T + E_d$$

Grupa kombinacija	Vodeće opterećenje	Stalna opterećenja	Skupljanje	Temperatura	Prometno	Redovno opt. od brodova	Izvanredno opt. od brodova	Redovno opt. od valova	Izvanredno opt. od valova	Potres
		E1. E2	C <sub>s</sub>	T	Q	M <sub>a</sub>	M <sub>i</sub>	W <sub>a</sub>	W <sub>i</sub>	E
Redovna k.	T	1,35	1,00	1,30	1,35 0,2	1,40 0,2		1,40 0,2		
	Q	1,35	1,00	1,30 0,2	1,35	1,40 0,2		1,40 0,2		
	M <sub>a</sub>	1,35	1,00	1,30 0,2	1,35 0,2	1,40		1,40 0,2		
Izvanredna k.	M <sub>i</sub>	1,00	1,00	0,50			1,00			
Seizmička k.	E	1,00	1,00	0,50						1,00

### Granično stanje uporabljivosti

Za granično stanje uporabljivosti provjeravana je širina pukotina pri čestoj kombinaciji opterećenja.

Česta kombinacija:

$$E_d = E_d \left( \sum_j G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

$$(E1 + E2) + C_s + T + Q + M_a$$

Grupa kombinacija	Vodeće opterećenje	Stalna opterećenja	Skupljanje	Temperatura	Prometno	Redovno opt. od brodova	Redovno opt. od valova
		E1 + E2	C <sub>s</sub>	T	Q	M <sub>a</sub>	W <sub>a</sub>
Česta k.	T	1,00	1,00	0,60			
	Q	1,00	1,00	0,50	0,2		
	M <sub>a</sub>	1,00	1,00	0,50		0,2	

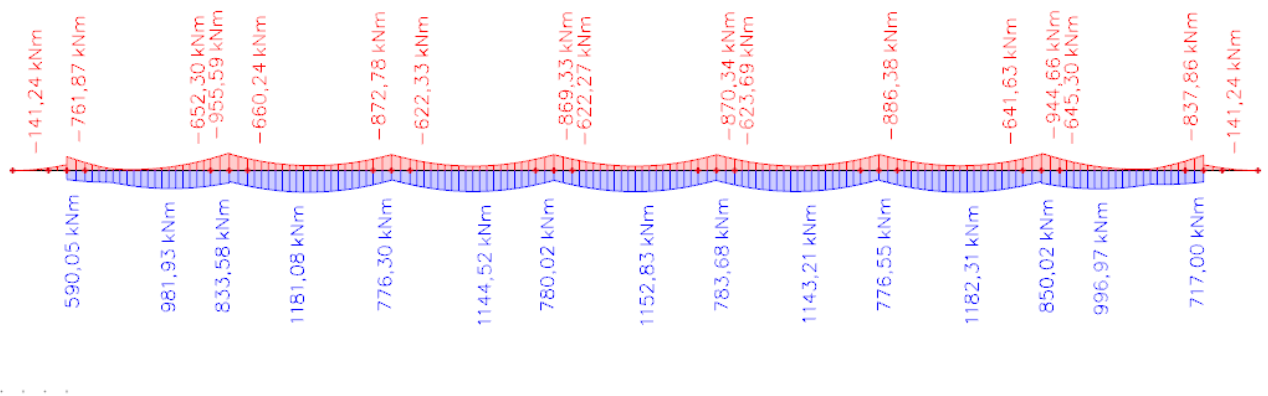
## 4.2. REZULTATI PRORAČUNA

Radi smanjenja obima diplomskog rada prikazan je samo dio rezultata proračuna (anvelope utjecaja za pojedine grupe opterećenja i pojedini dijelovi građevine), odnosno rezultati potrebni za dimenzioniranje odgovarajućih elemenata.

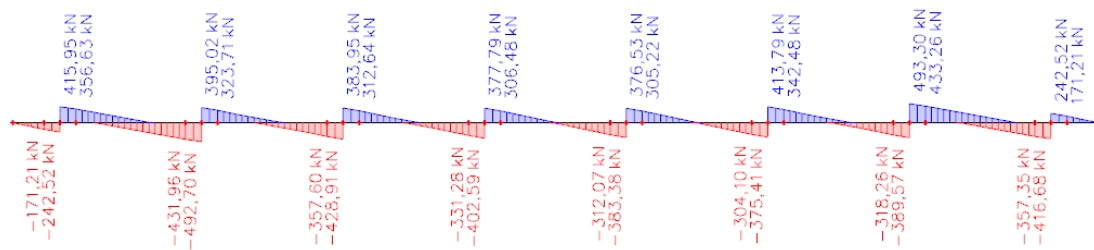
### 4.2.1. Rasponska konstrukcija

#### 4.2.1.1. Dilatacija B

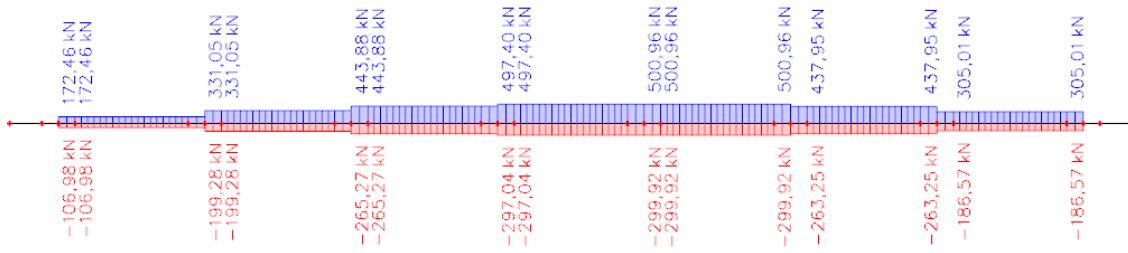
Anvelopa karakteristične, izvanredne i česte kombinacije opterećenja.



Slika 4.4 Moment  $M_y$  (kNm)

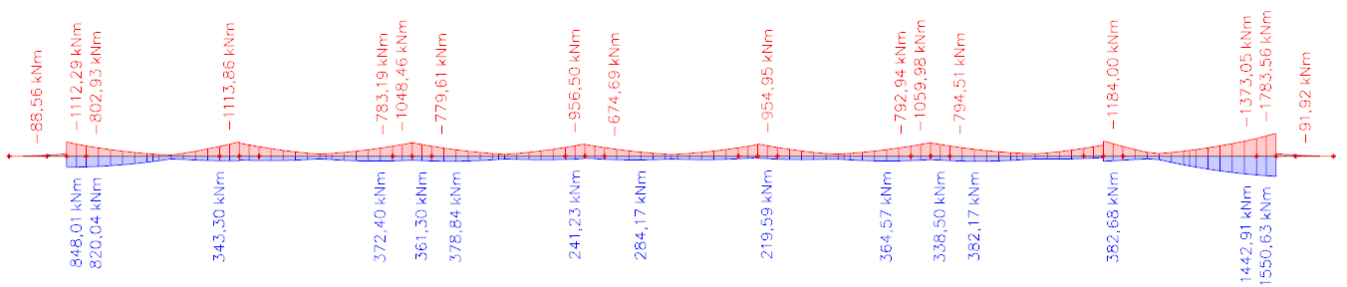


Slika 4.5 Poprečna sila  $V_z$  (kN)

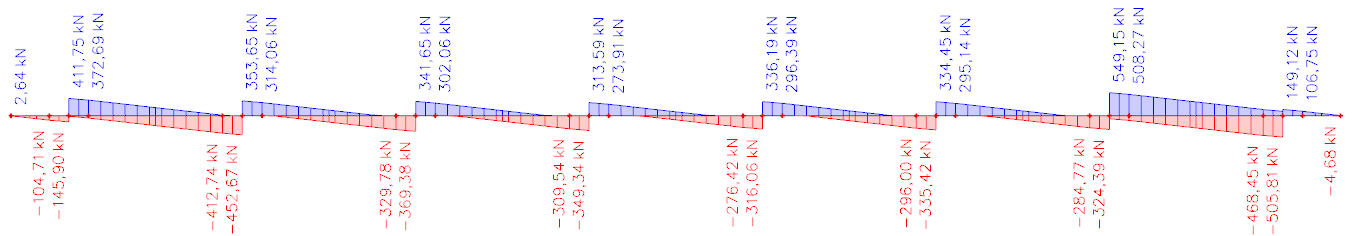


Slika 4.6 Uzdužna sila N (kN)

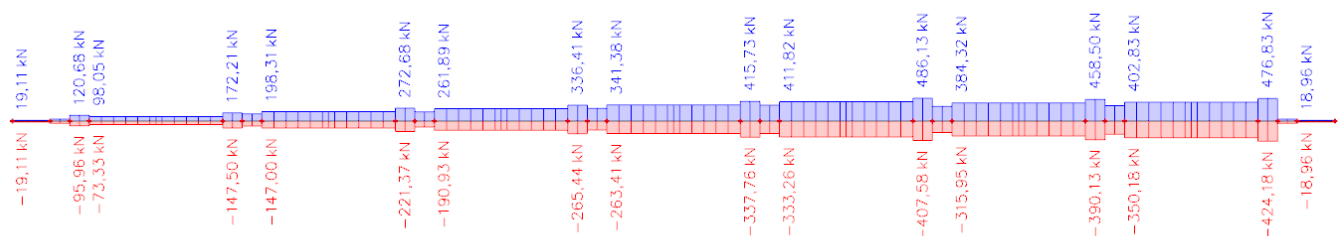
## Anvelopa potresne kombinacije opterećenja



Slika 4.7 Moment My (kNm)



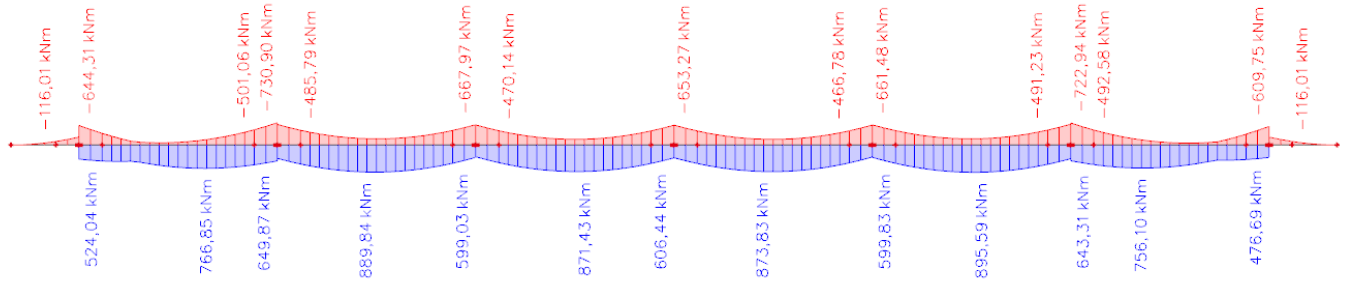
Slika 4.8 Poprečna sila Vz (kN)



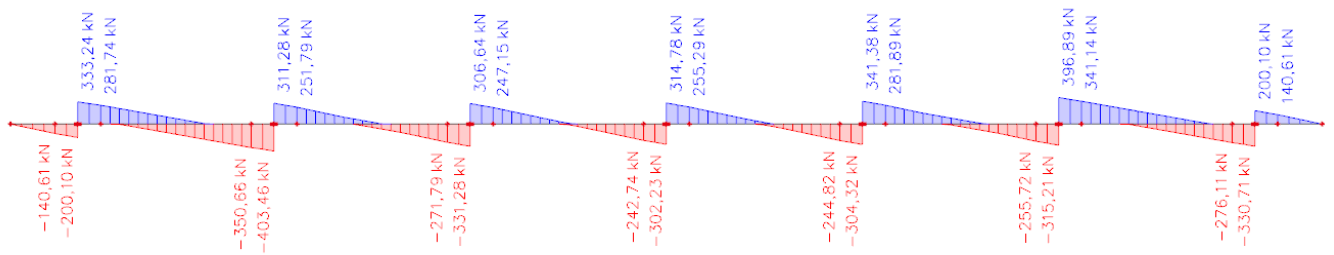
Slika 4.9 Uzdužna sila N (kN)

### 4.2.1.2. Dilatacija C

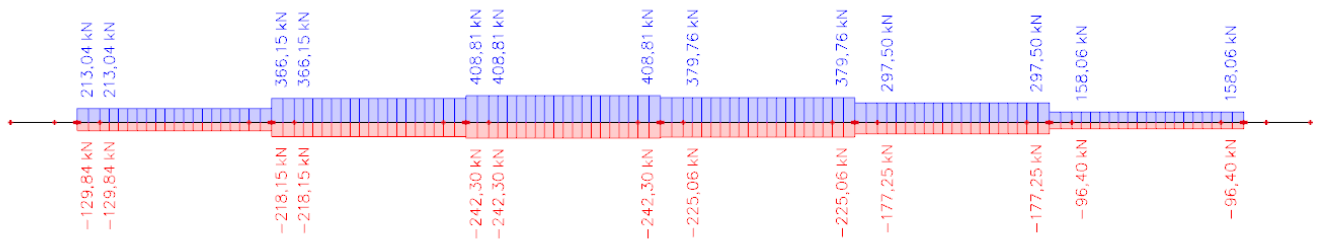
Anvelopa karakteristične, izvanredne i česte kombinacije opterećenja.



Slika 4.10 Moment  $M_y$  (kNm)

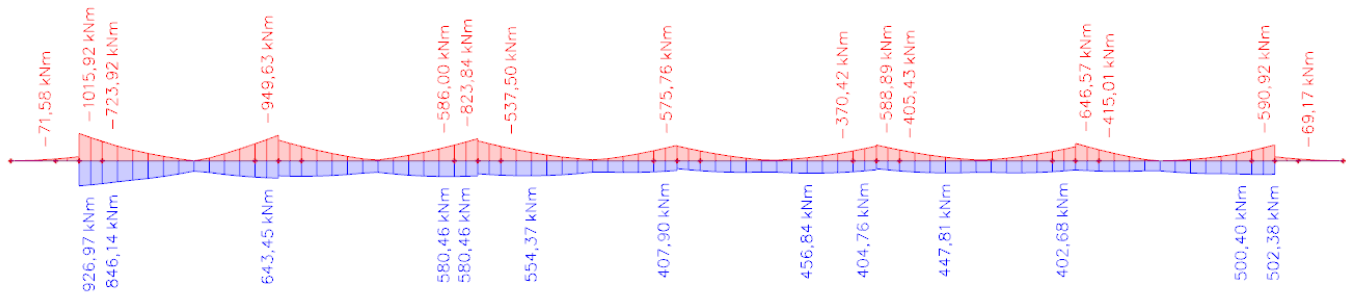
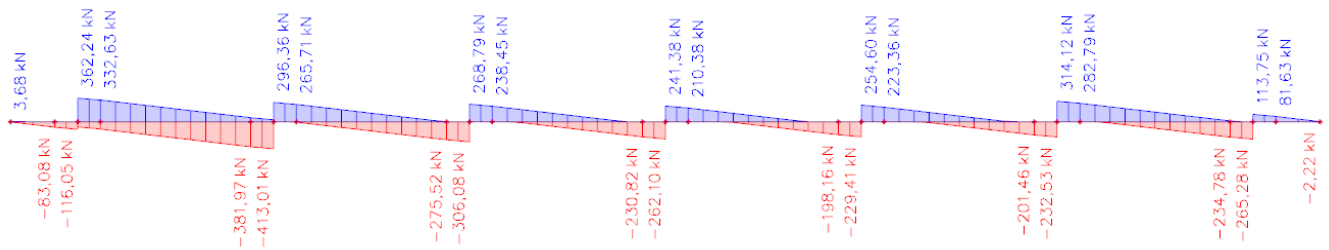
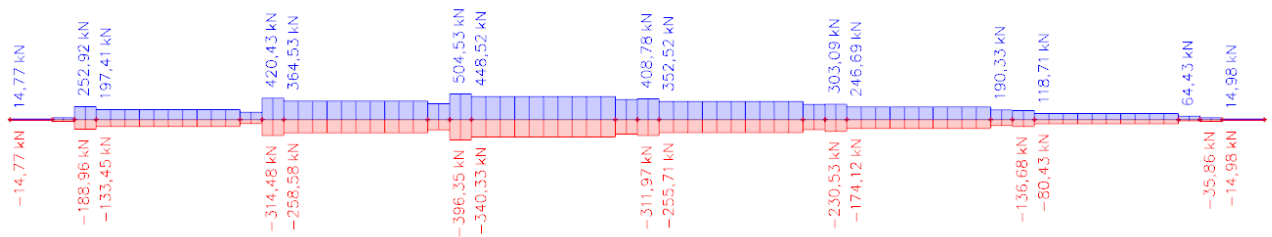


Slika 4.11 Poprečna sila  $V_z$  (kN)



Slika 4.12 Uzdužna sila  $N$  (kN)

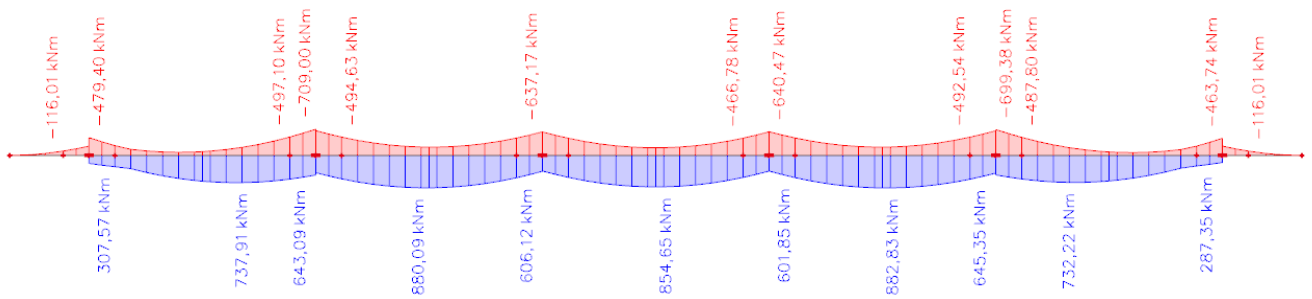
## Anvelopa potresne kombinacije opterećenja


 Slika 4.13 Moment  $M_y$  (kNm)

 Slika 4.14 Poprečna sila  $V_z$  (kN)

 Slika 4.15 Uzdužna sila  $N$  (kN)

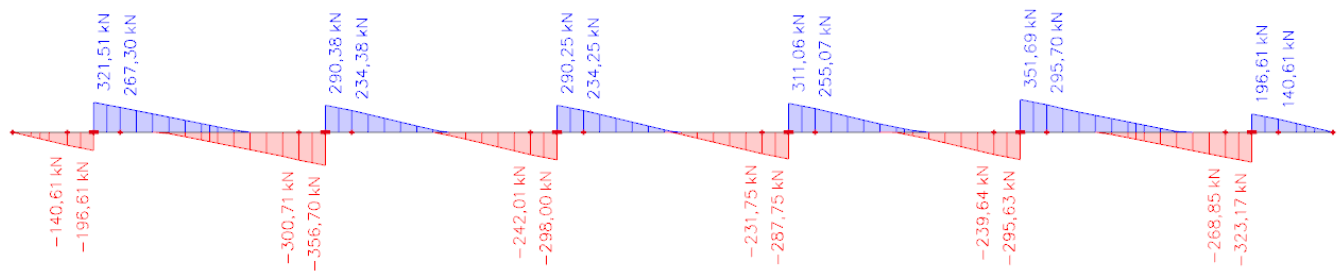


### 4.2.1.3. Dilatacija D

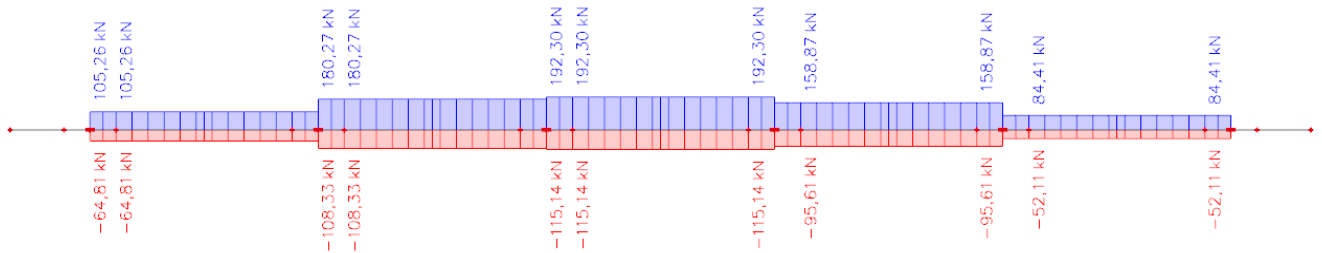
Anvelopa karakteristične, izvanredne i česte kombinacije opterećenja.



Slika 4.16 Moment  $M_y$  (kNm)

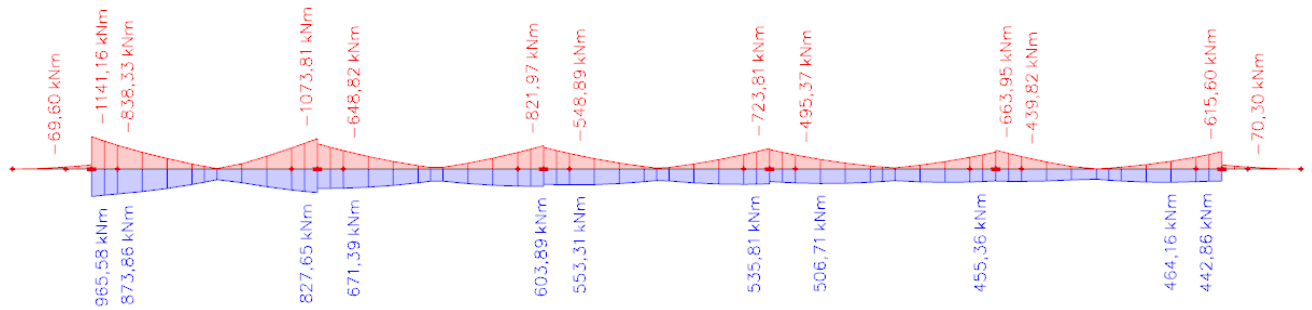
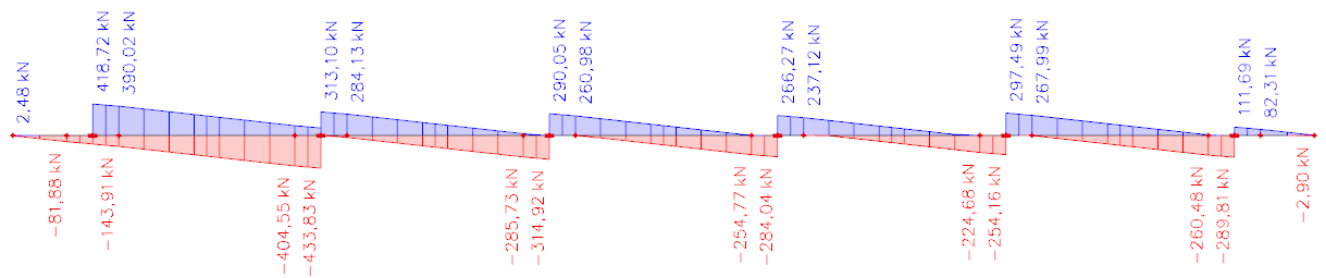
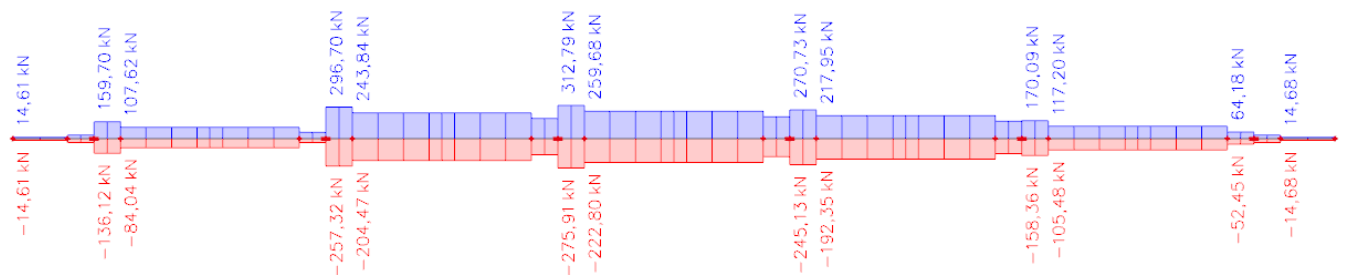


Slika 4.17 Poprečna sila  $V_z$  (kN)



Slika 4.18 Uzdužna sila  $N$  (kN)

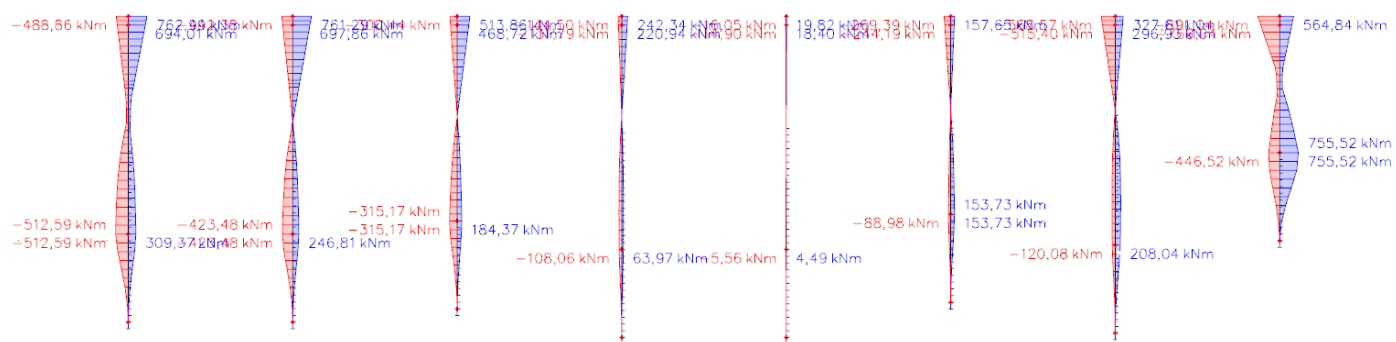
## Anvelopa potresne kombinacije opterećenja


 Slika 4.19 Moment  $M_y$  (kNm)

 Slika 4.20 Poprečna sila  $V_z$  (kN)

 Slika 4.21 Uzdužna sila  $N$  (kN)

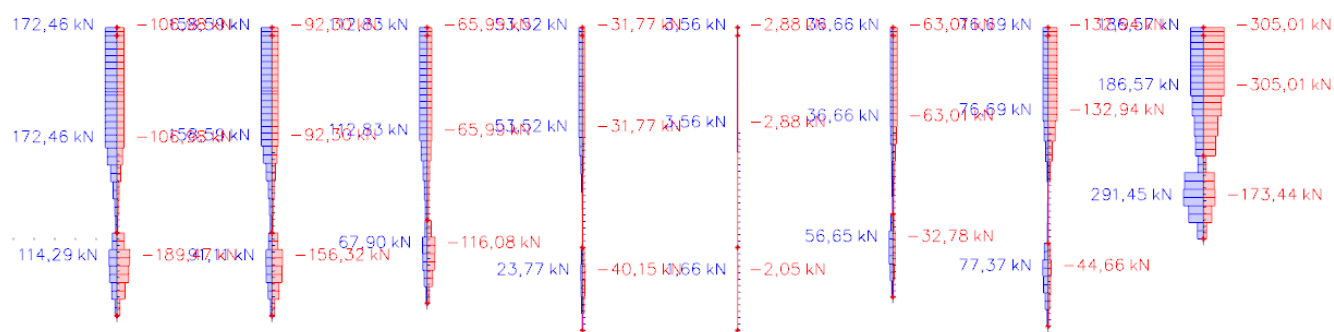
## 4.2.2. Piloti

### 4.2.2.1. Dilatacija B

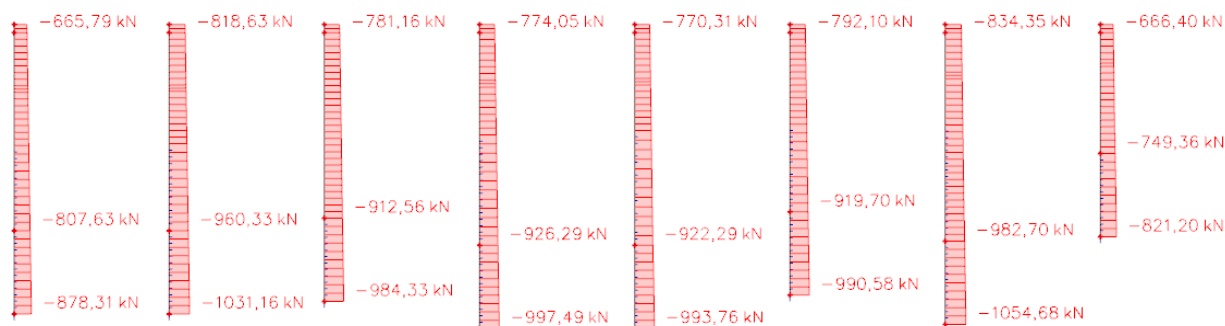
Anvelopa karakteristične, izvanredne i stalne kombinacije opterećenja



Slika 4.22 Moment  $M_y$  (kNm)

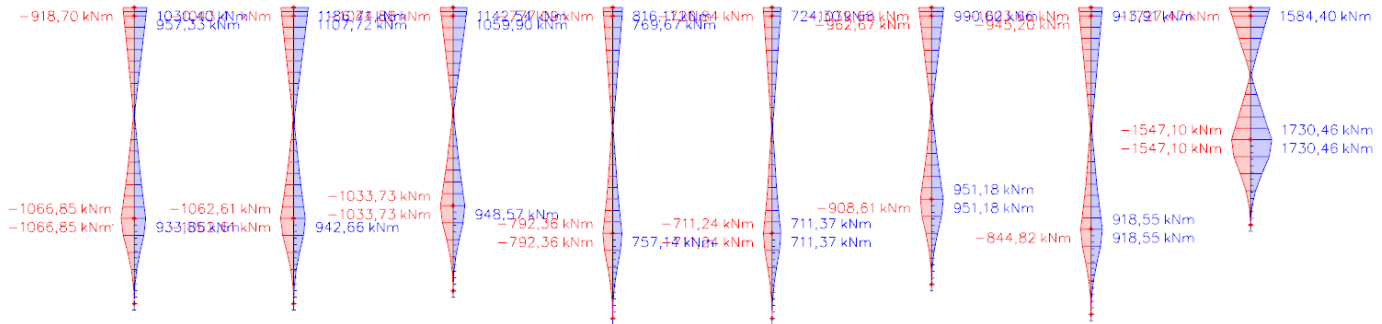
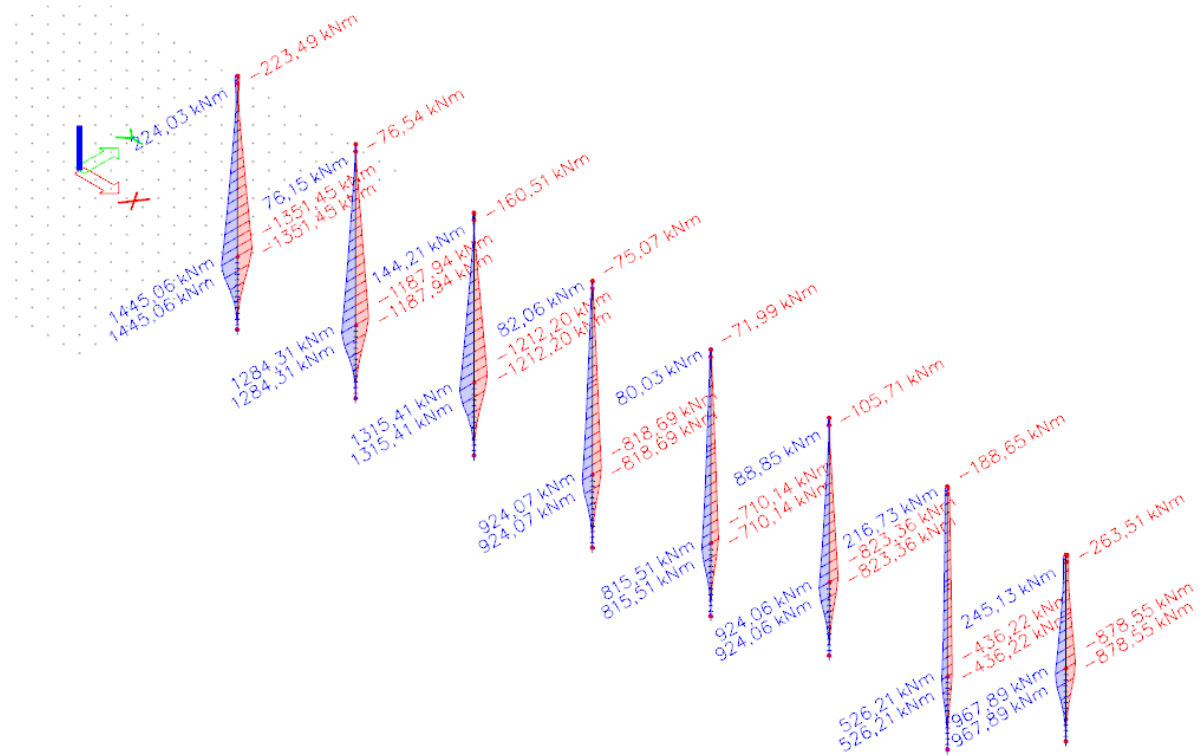


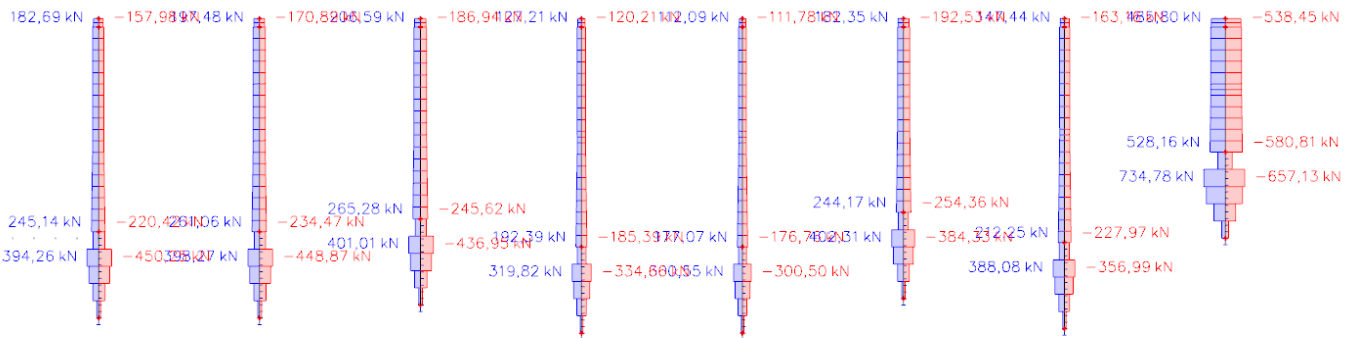
Slika 4.23 Poprečna sila  $V_z$  (kN)



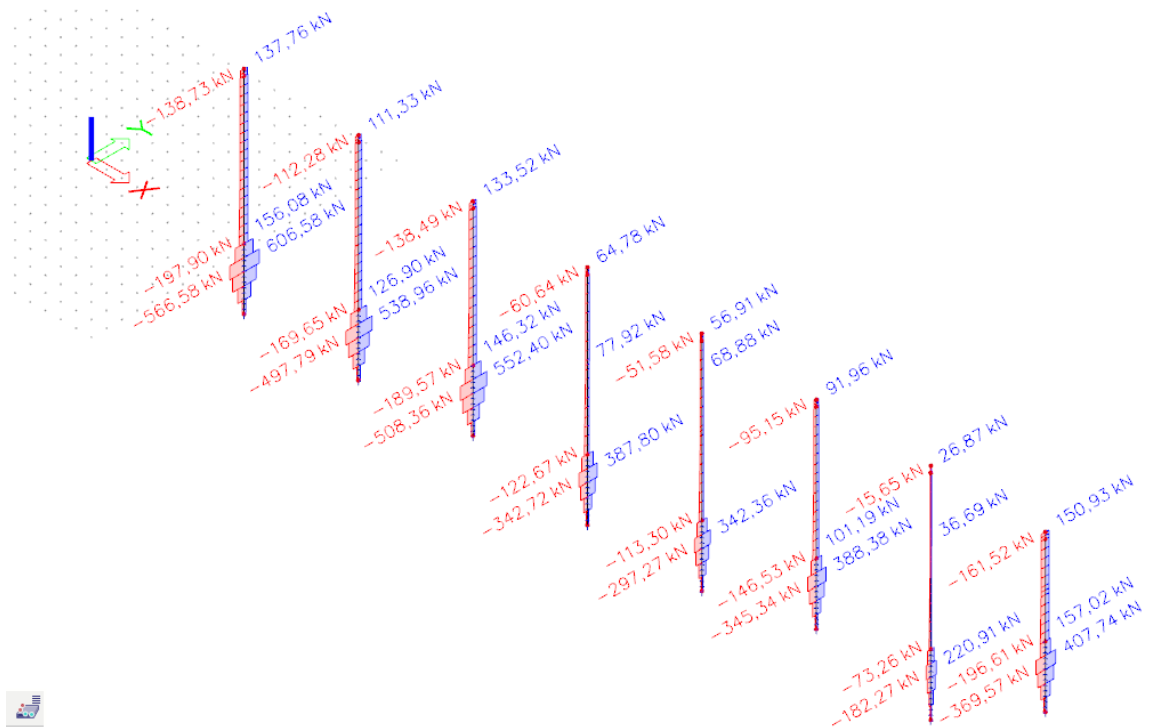
Slika 4.24 Uzdužna sila  $N$  (kN)

## Anvelopa potresne kombinacije opterećenja

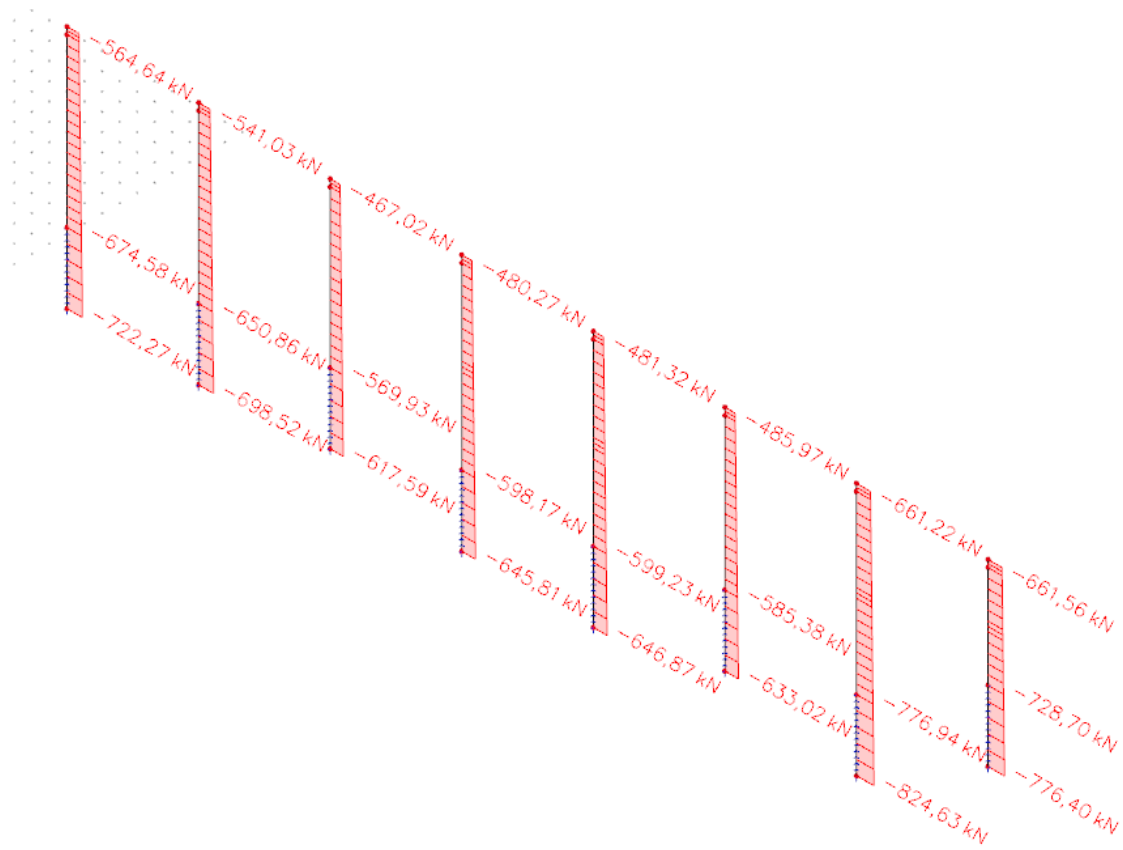

 Slika 4.25 Moment  $M_y$  (kNm)

 Slika 4.26 Moment  $M_z$  (kNm)



Slika 4.27 Poprečna sila Vz (kN)



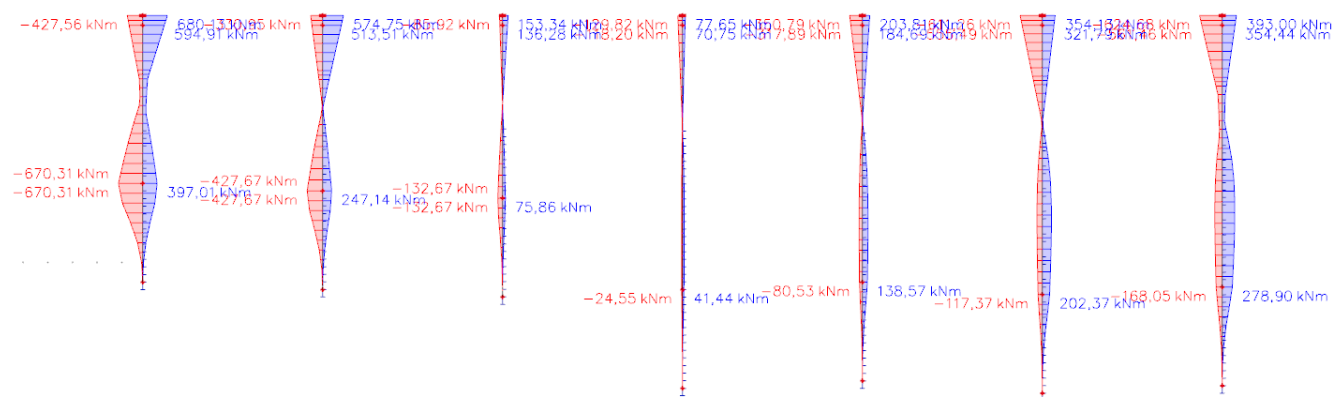
Slika 4.28 Poprečna sila Vy (kN)



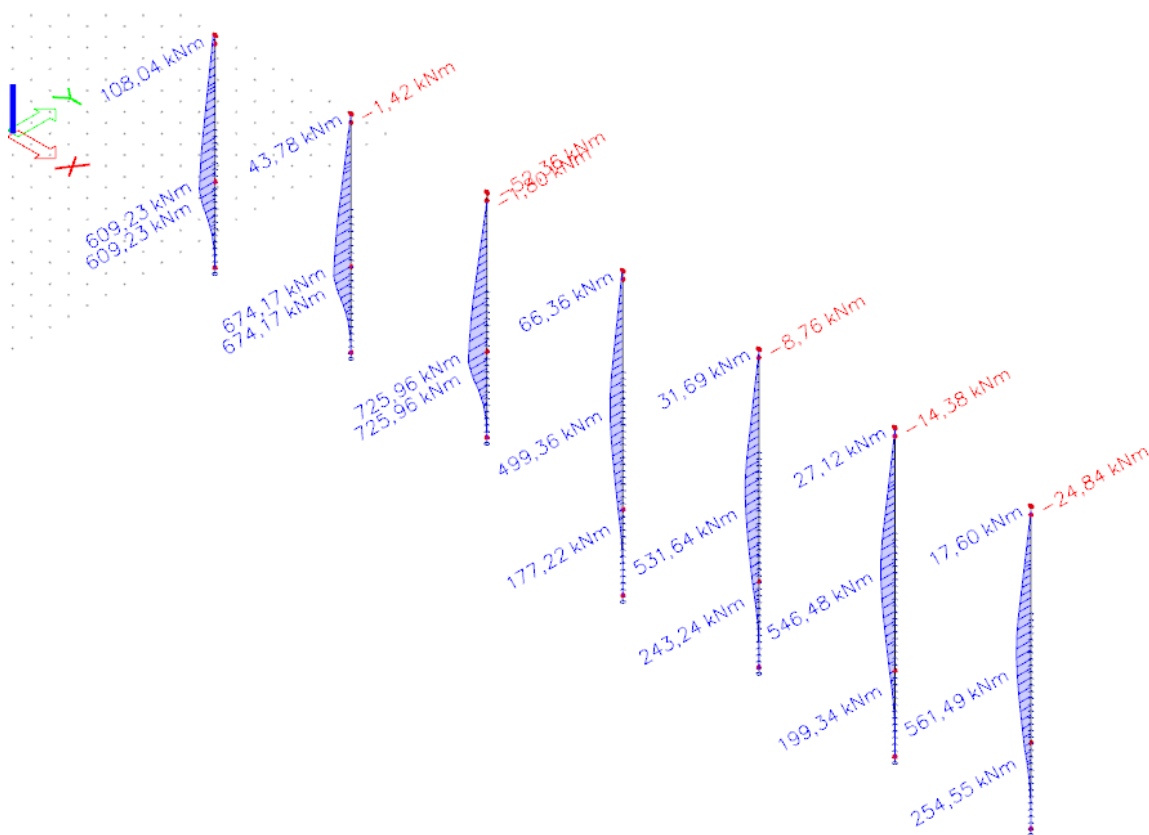
Slika 4.29 Uzdužna sila N (kN)

### 4.2.2.2. Dilatacija C

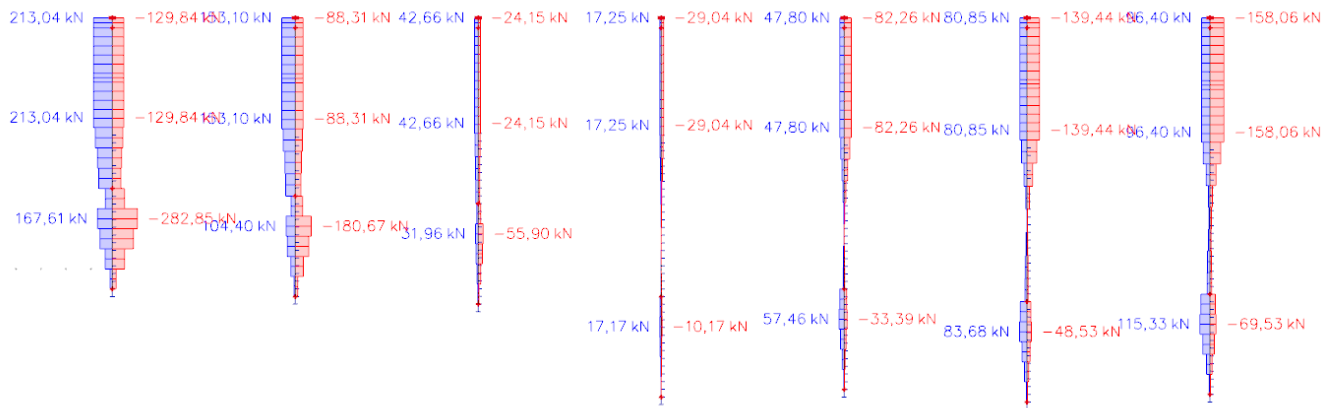
Anvelopa karakteristične, izvanredne i česte kombinacije opterećenja.



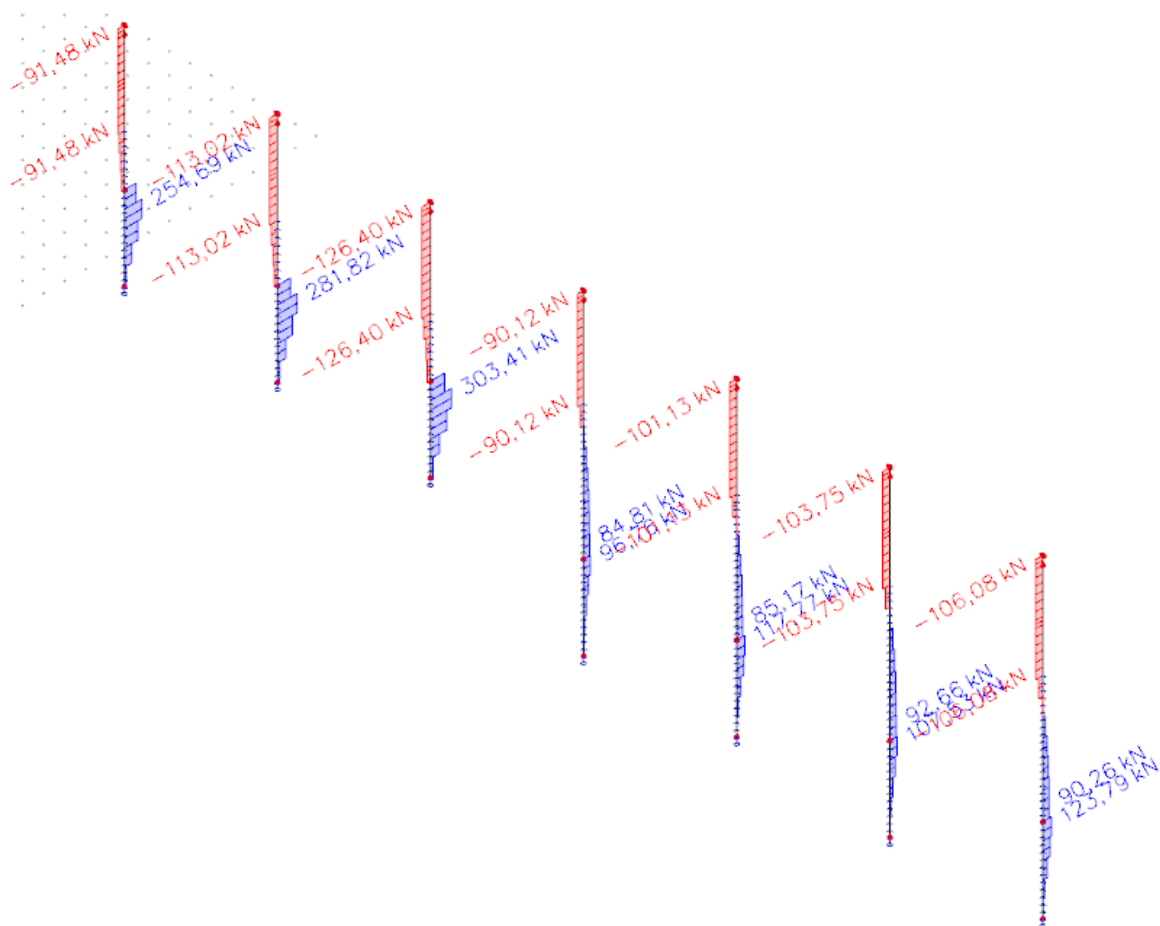
Slika 4.30 Moment  $M_y$  (kNm)



Slika 4.31 Moment  $M_z$  (kNm)

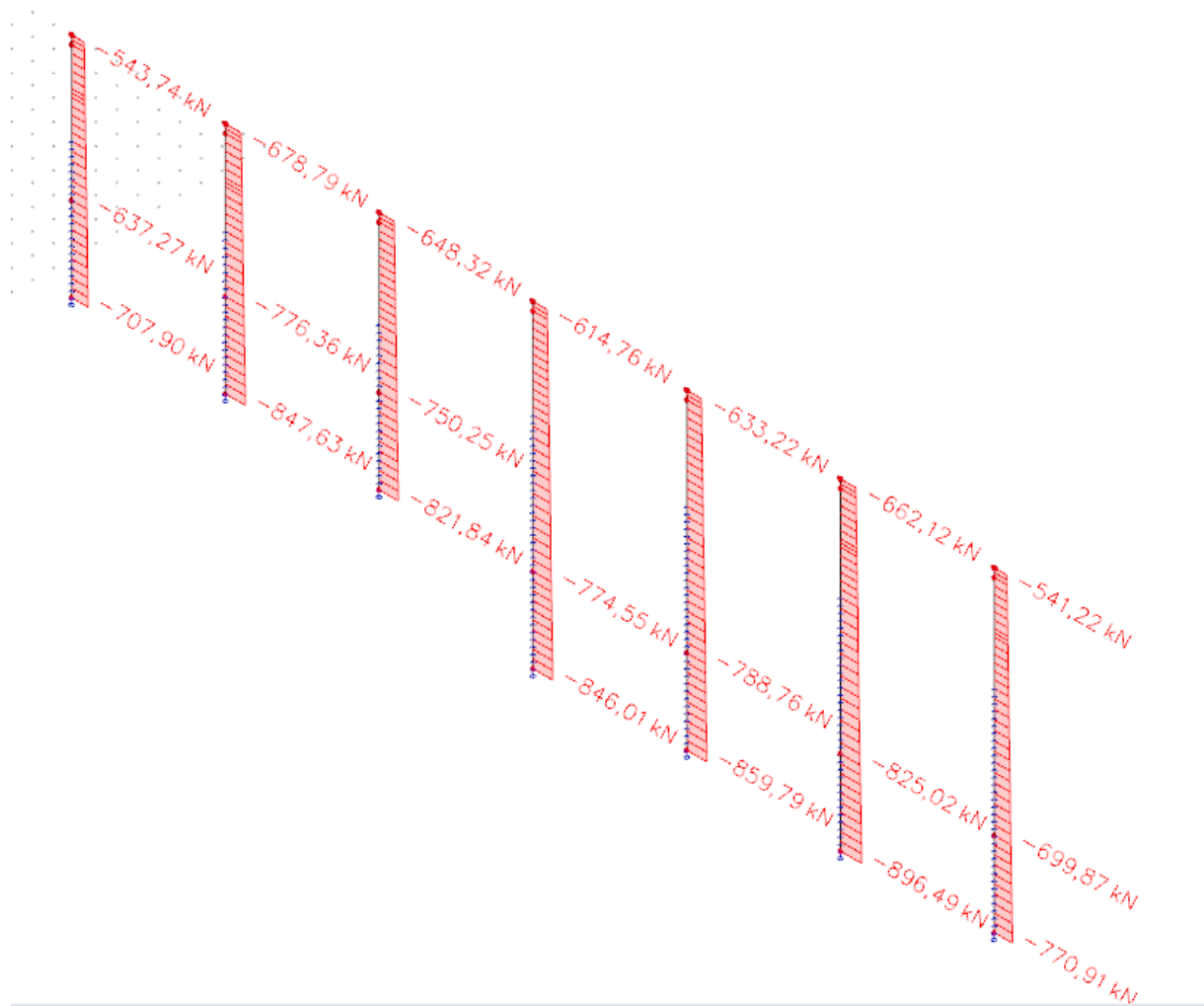


Slika 4.32 Poprečna sila Vz (kN)



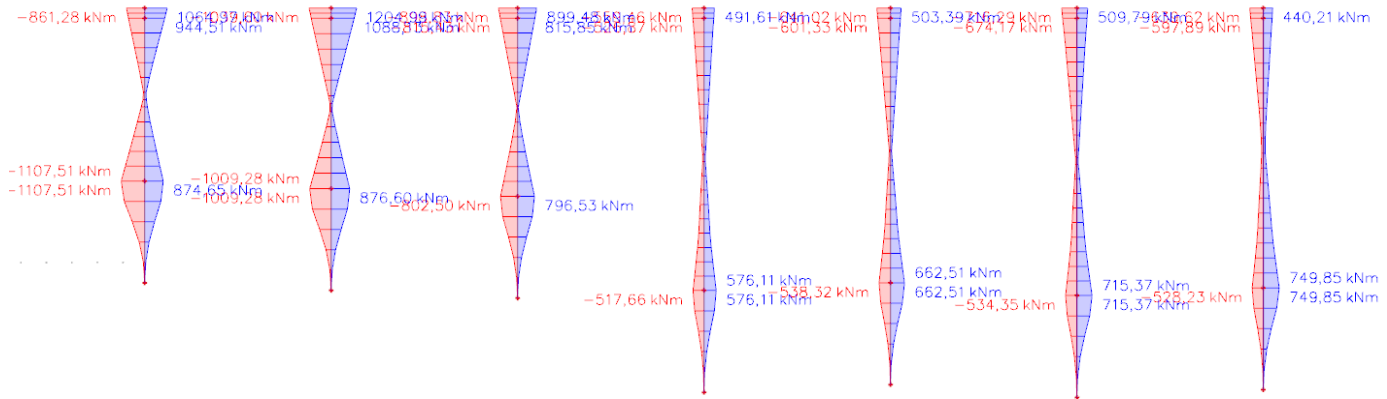
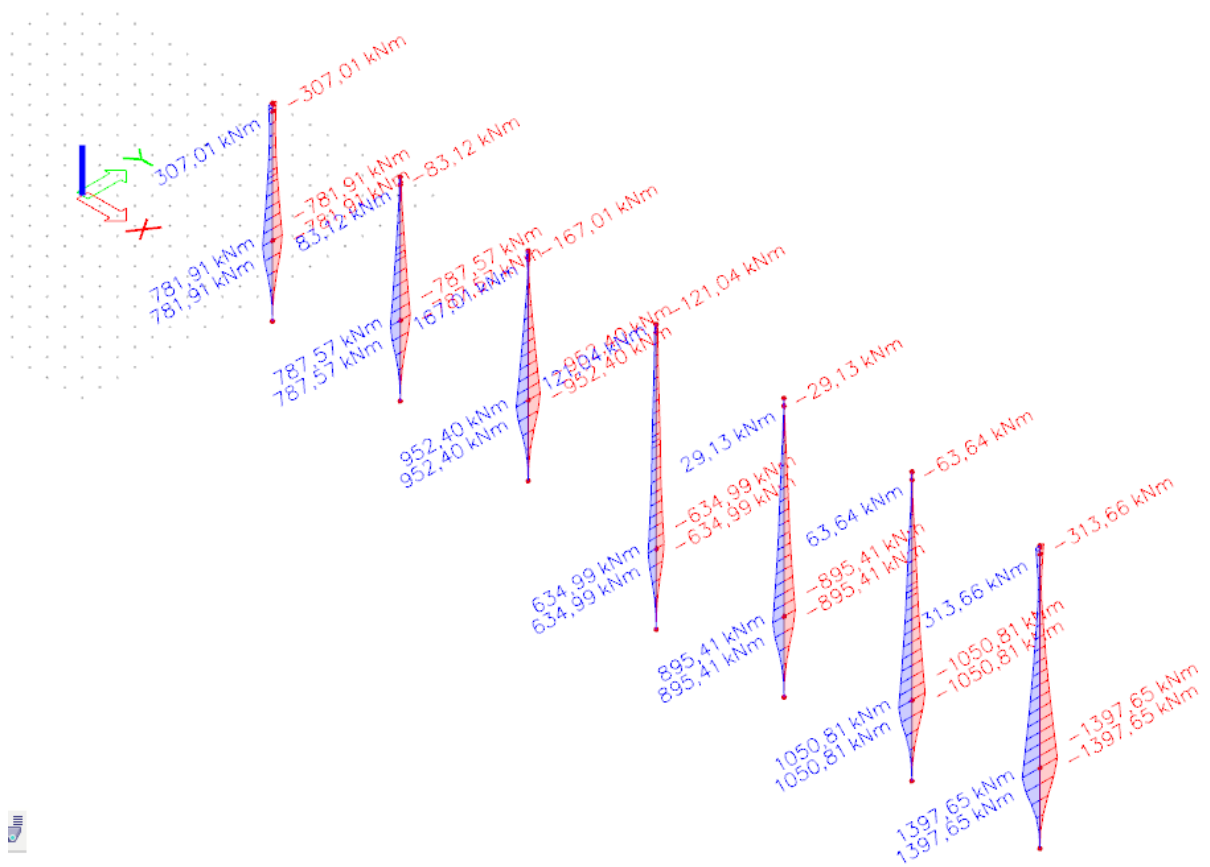
Slika 4.33 Poprečna sila Vy (kN)

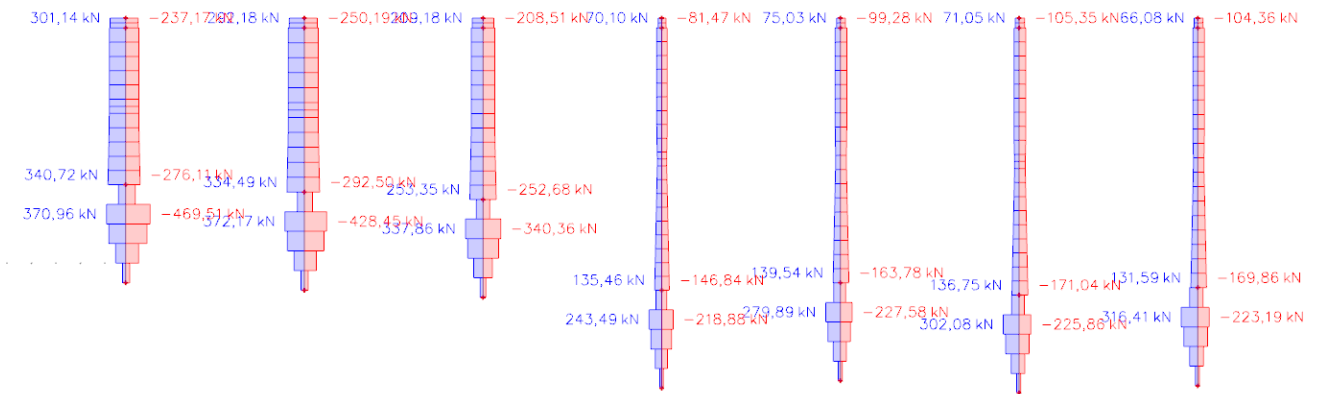




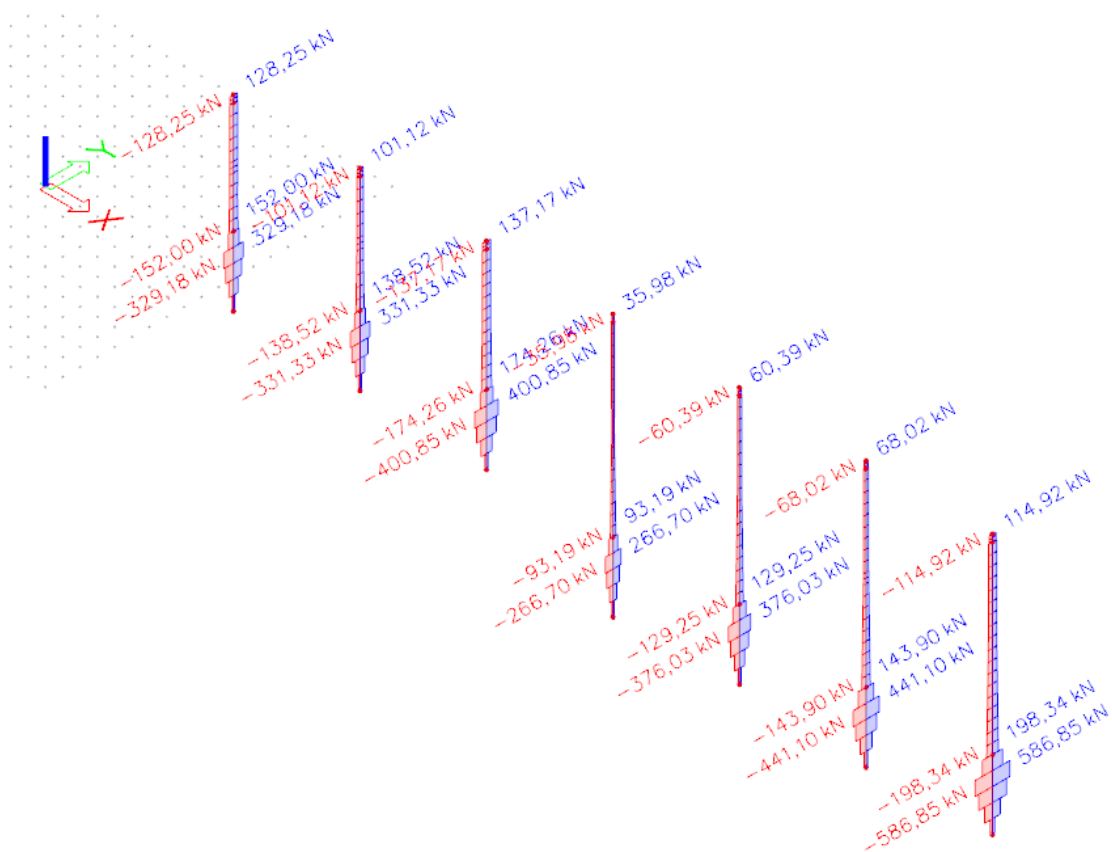
Slika 4.34 Uzdužna sila N (kN)

## Anvelopa potresne kombinacije opterećenja

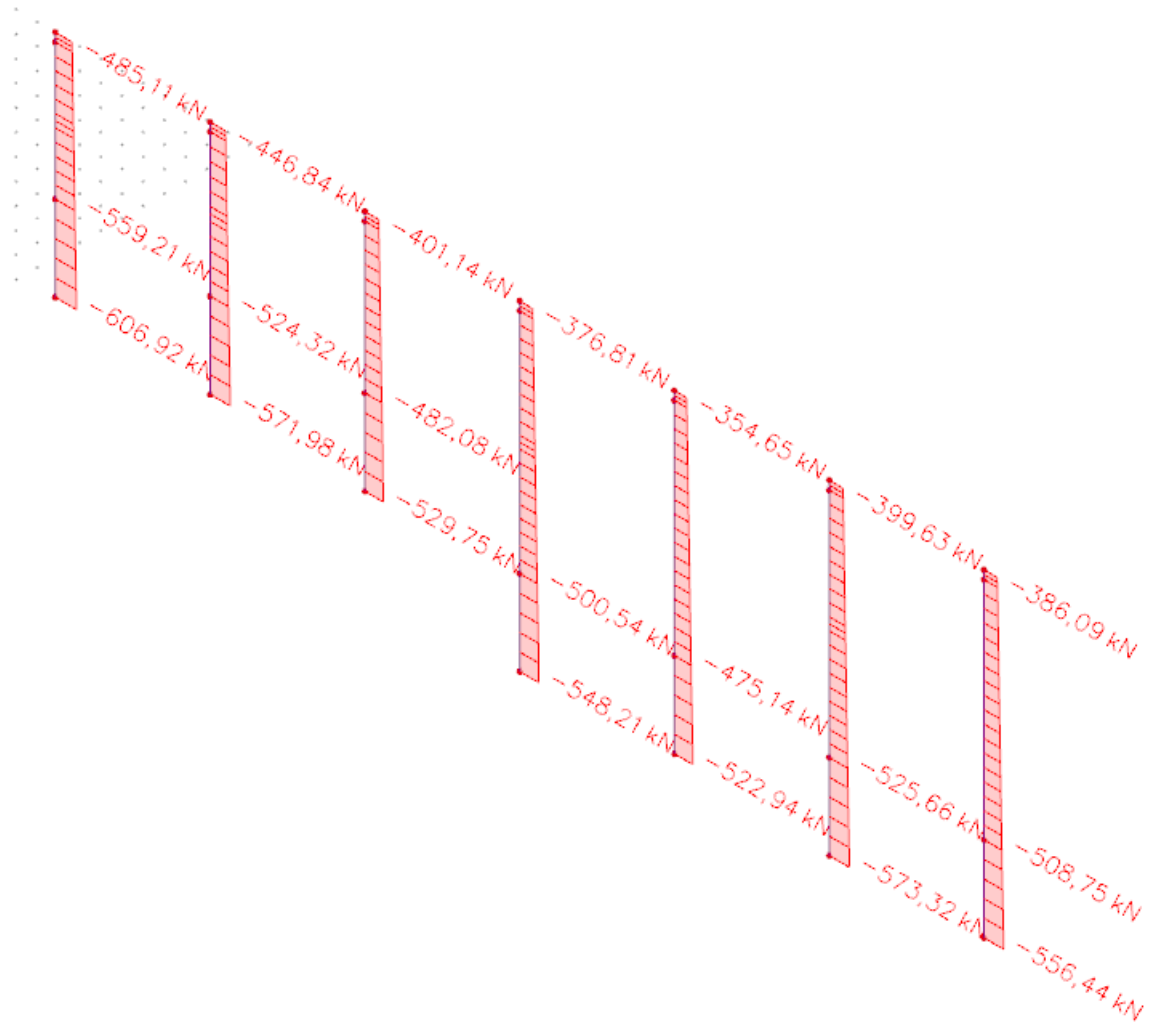

 Slika 4.35 Moment  $M_y$  (kNm)

 Slika 4.36 Moment  $M_z$  (kNm)



Slika 4.37 Poprečna sila Vz (kN)



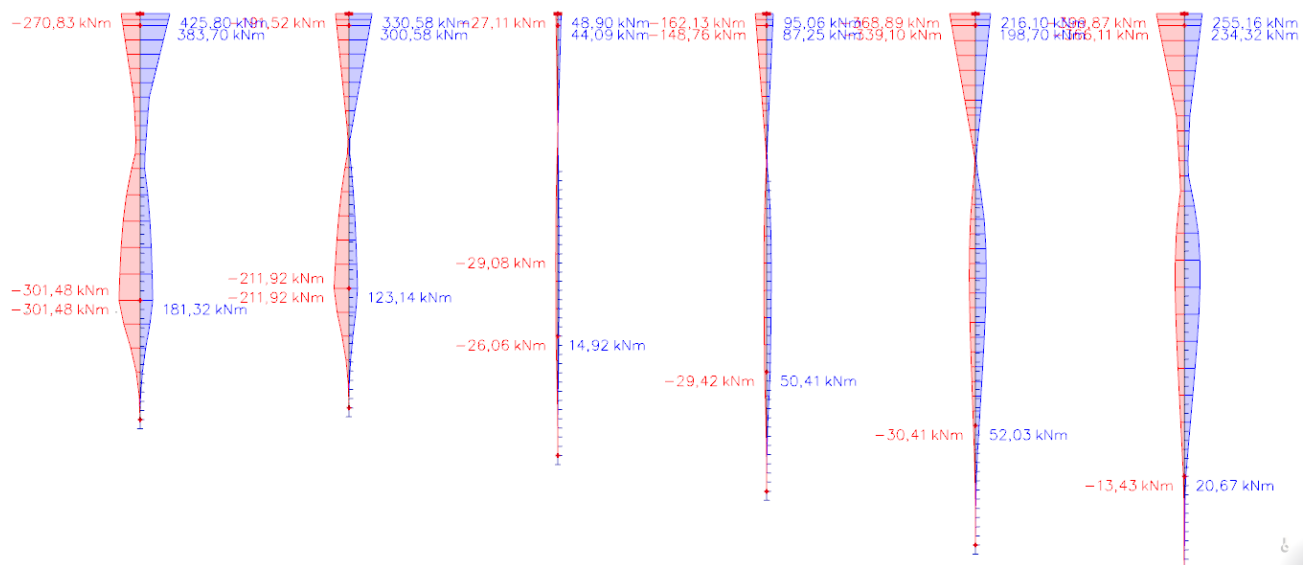
Slika 4.38 Poprečna sila Vy (kN)



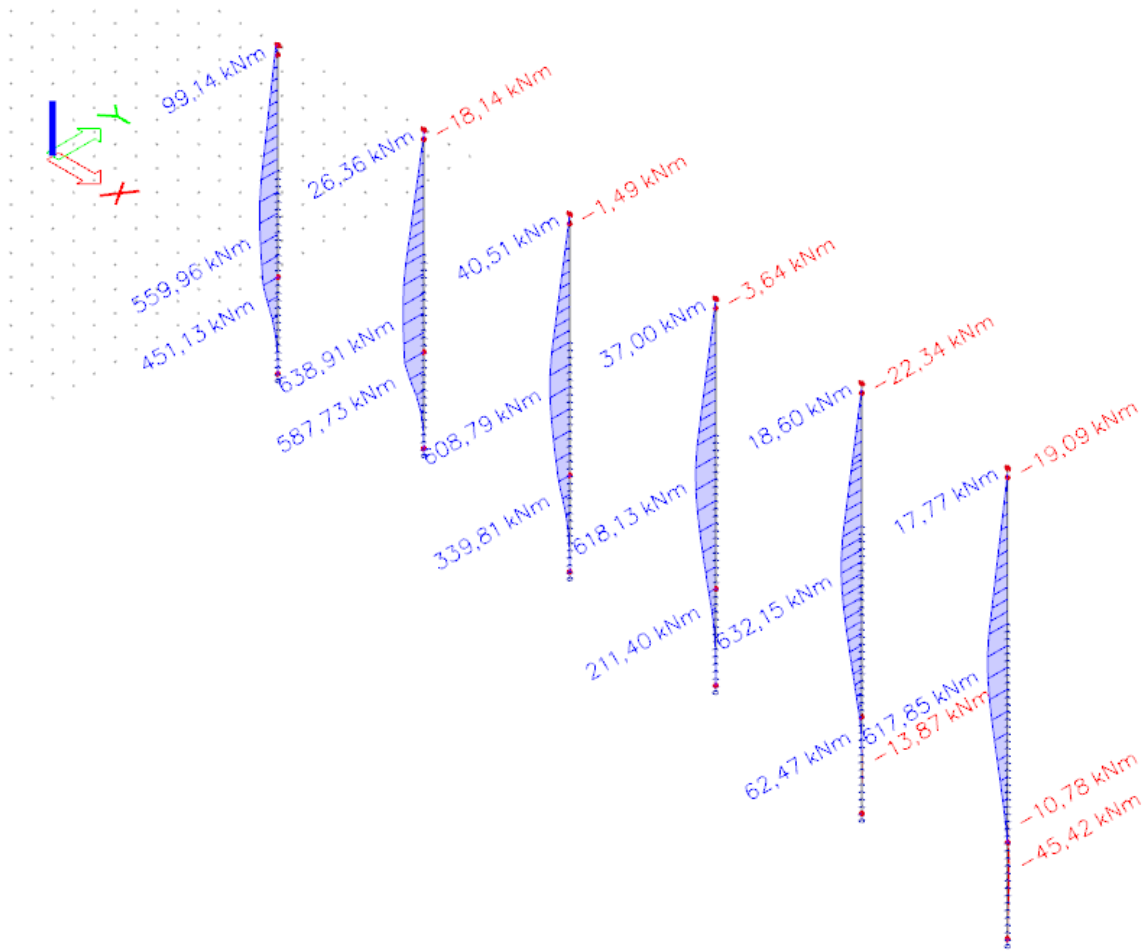
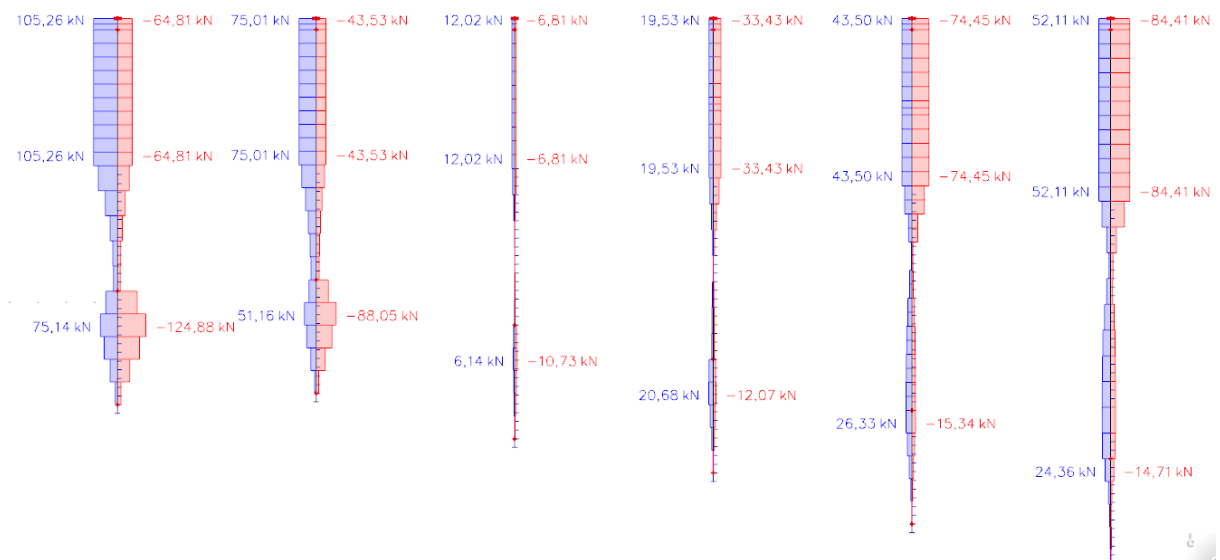
Slika 4.39 Uzdužna sila  $N$  (kN)

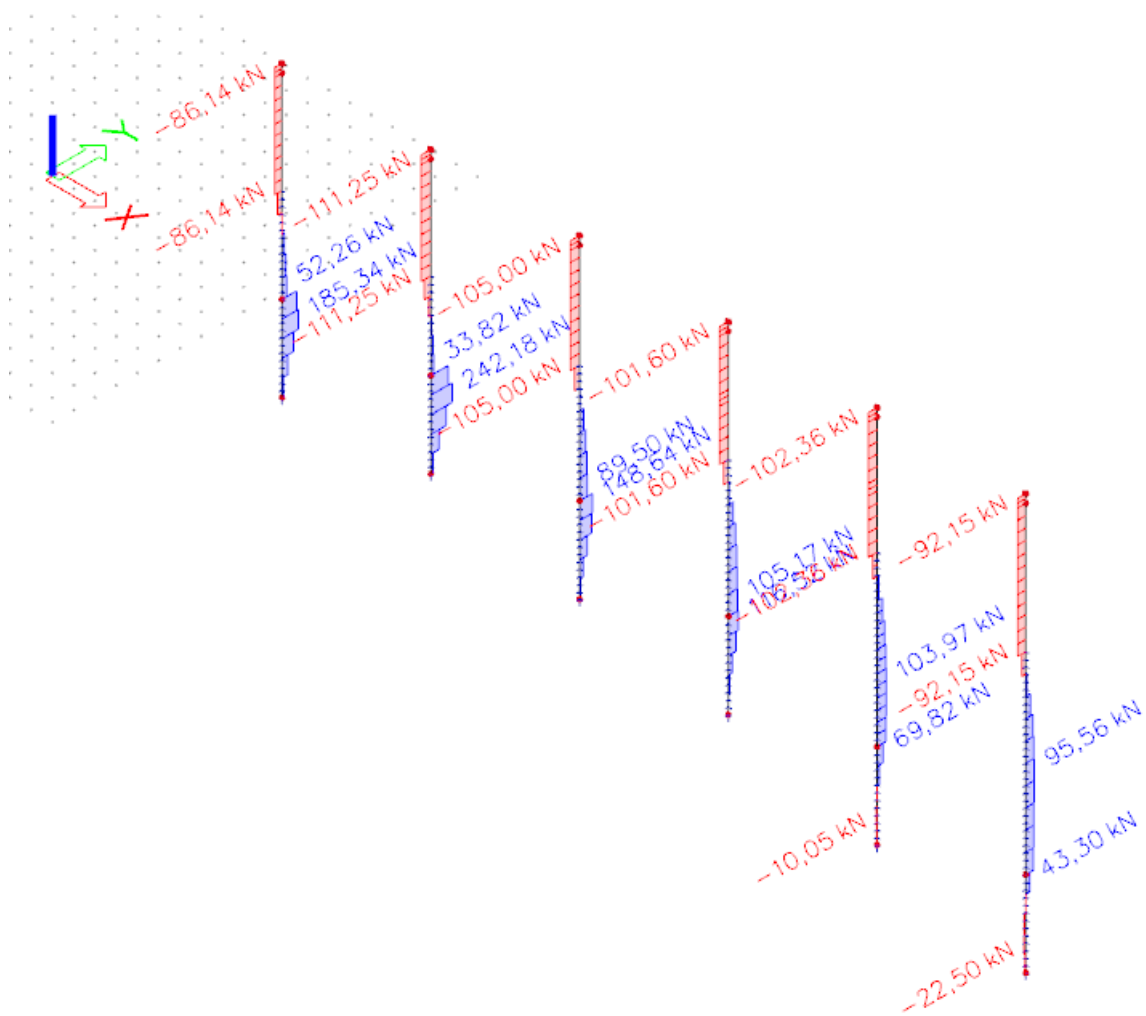
### 4.2.2.3. Dilatacija D

Anvelopa karakteristične, izvanredne i stalne kombinacije opterećenja

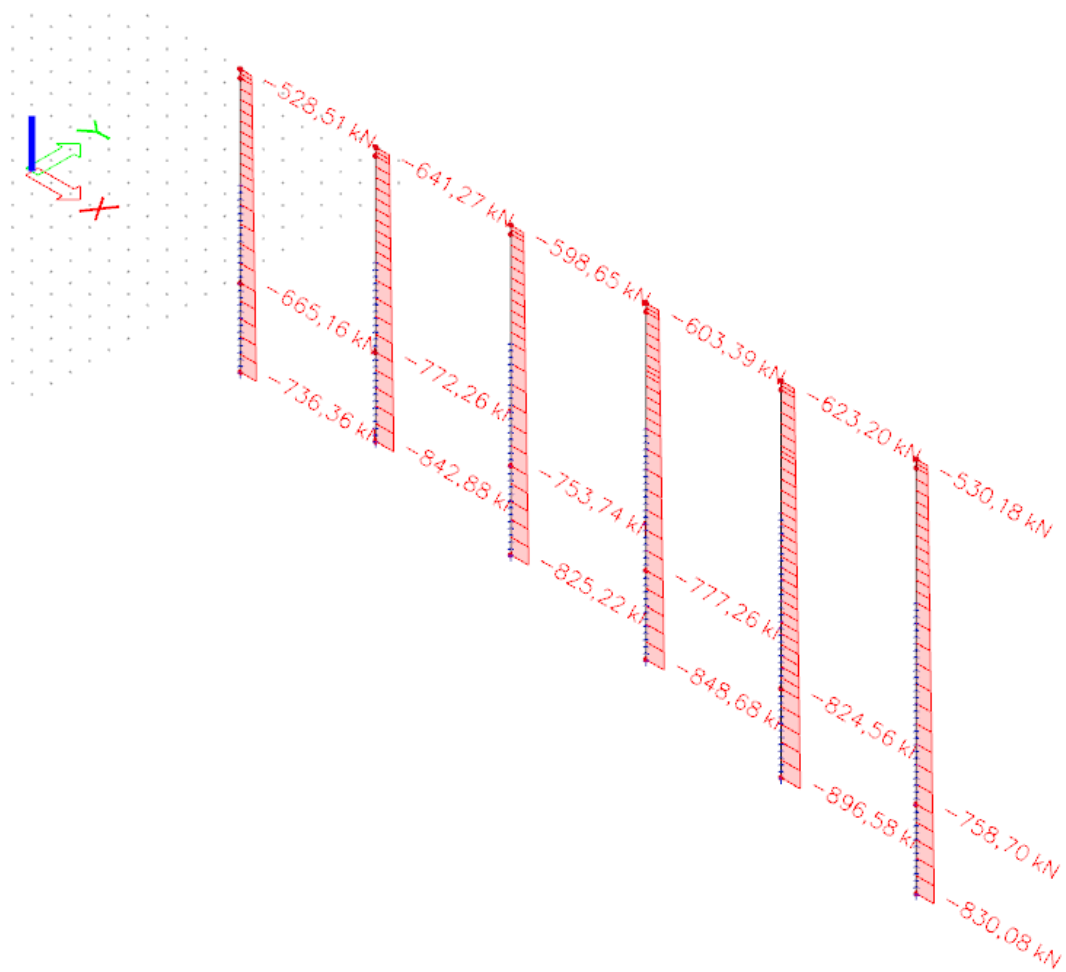


Slika 4.40 Moment  $M_y$  (kNm)


 Slika 4.41 Moment  $M_z$  (kNm)

 Slika 4.42 Poprečna sila  $V_z$  (kN)



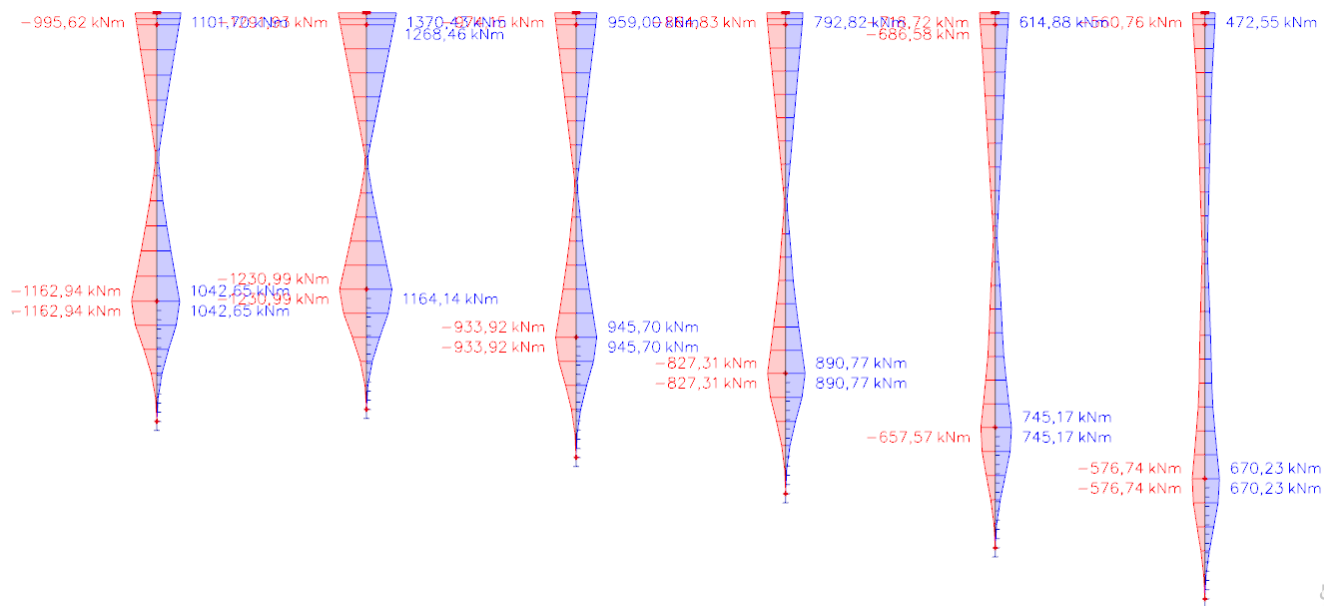
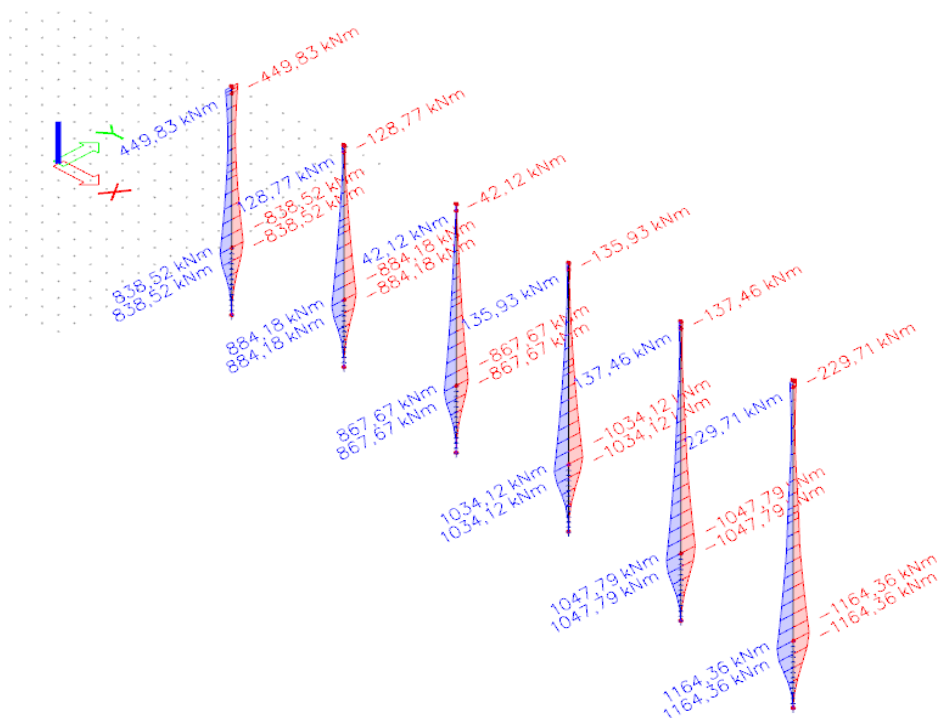
Slika 4.43 Poprečna sila  $V_y$  (kN)

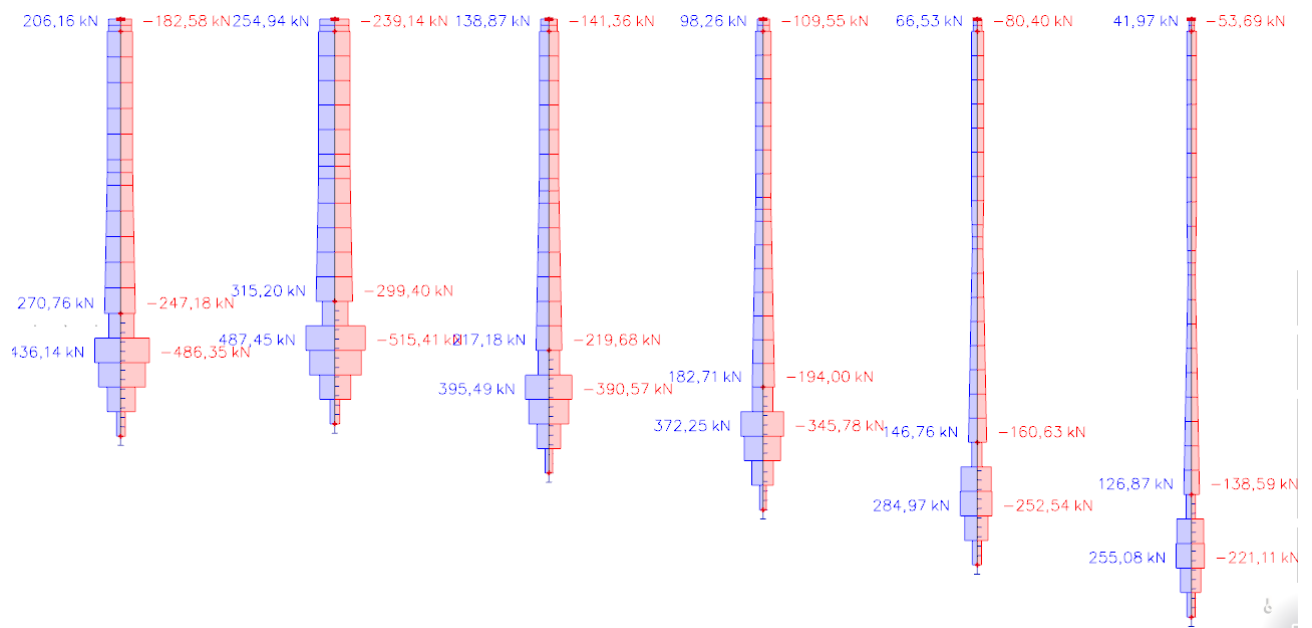


Slika 4.44 Uzdužna sila  $N$  (kN)

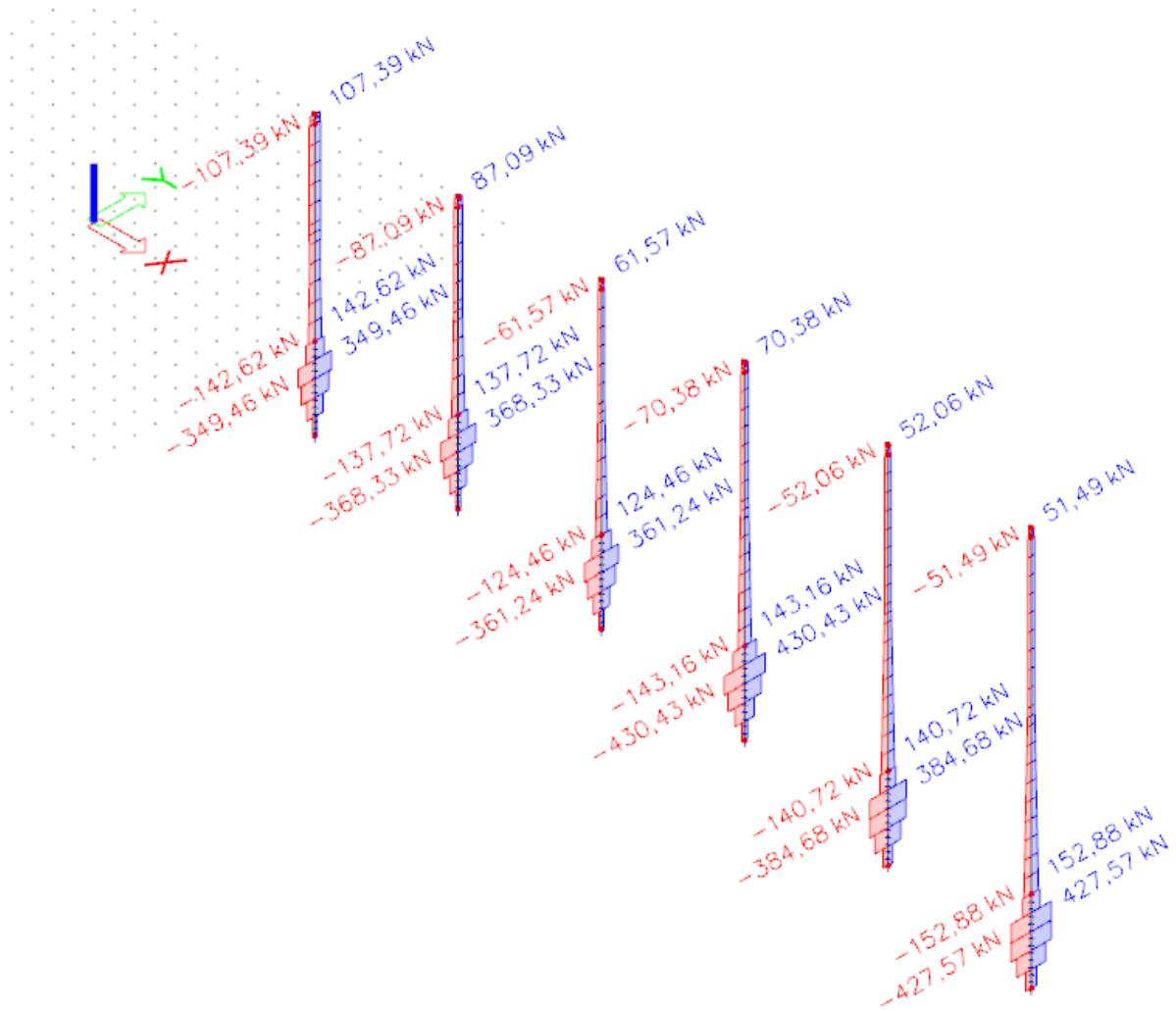


## Anvelopa potresne kombinacije opterećenja

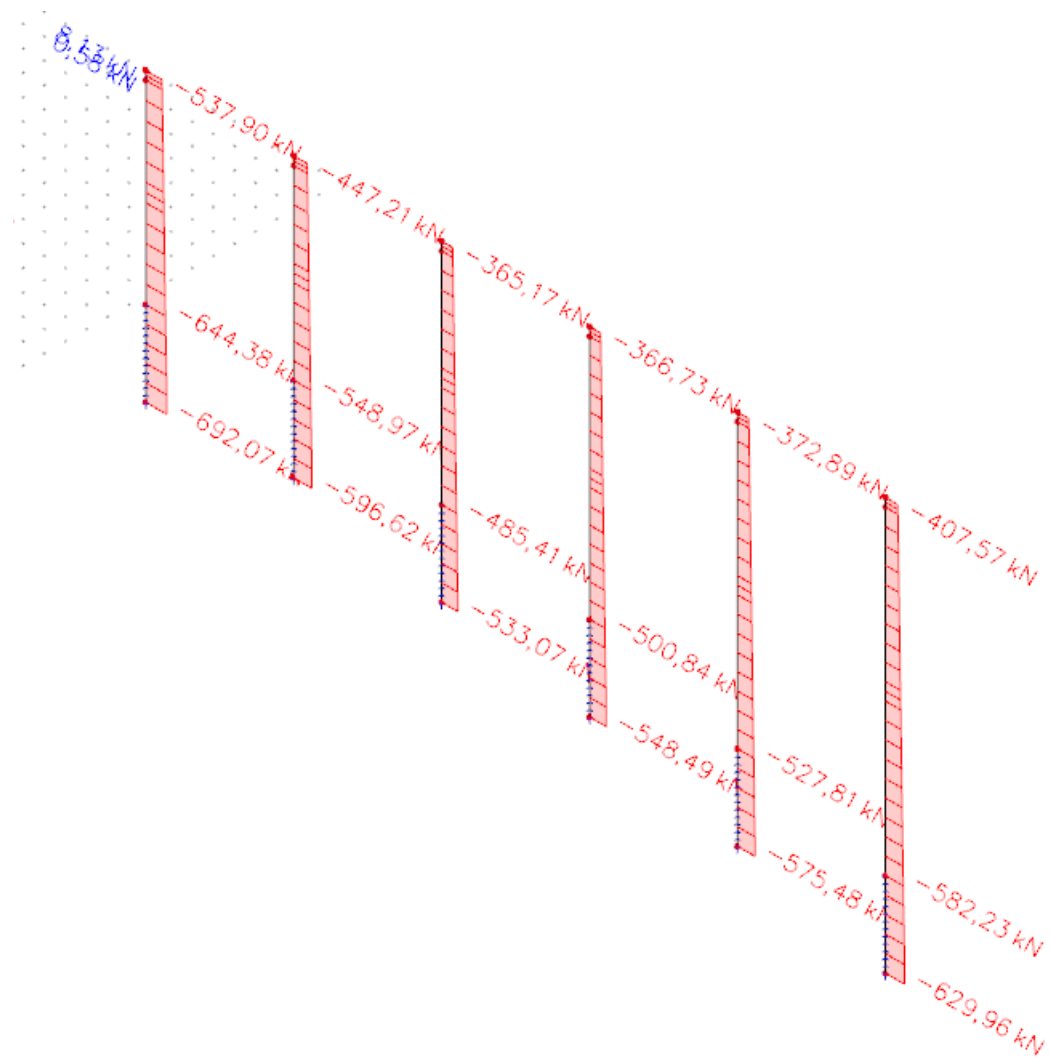

 Slika 4.45 Moment  $M_y$  (kNm)

 Slika 4.46 Moment  $M_z$  (kNm)



Slika 4.47 Poprečna sila Vz (kN)



Slika 4.87 Poprečna sila  $V_y$  (kN)

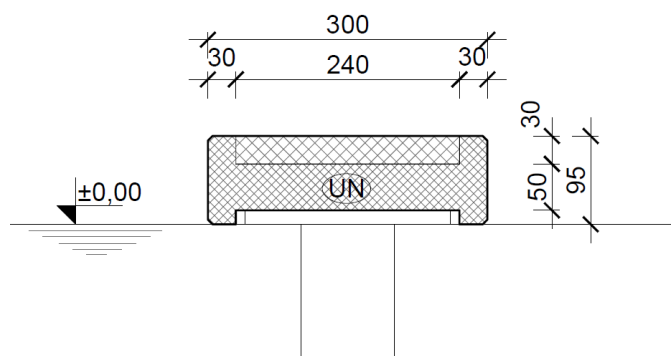


Slika 4.44 Uzdužna sila  $N$  (kN)

## 5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA RASPOSNKE KONSTRUKCIJE

### 5.1. DILATACIJA B

#### 5.1.1. Dimenzioniranje na savijanje - GSN



Slika 5.1 Poprečni presjek uzdužnog nosača – dilatacija B

#### Faza 0 – sustav prostih greda:

U ovoj fazi uzdužni nosači imaju funkciju " izgubljene oplata" i preuzimaju vlastitu težinu svježeg betona, opladne ploče za vrijeme gradnje i promjenjivo opterećenje od radnika i opreme u iznosu od  $1 \text{ kN/m}^2$ .



Vlastita težina nosača:

$$g_1 = A_n \cdot \gamma_b = 1,765 \cdot 25 = 44,13 \text{ kN/m'}$$

Opterećenje od monolitizacije:

$$g_p = A_p \cdot \gamma_b = 0,72 \cdot 25 = 18 \text{ kN/m'}$$

Promjenjivo opterećenje od radnika i opreme:

$$q = q \cdot \check{s}_n = 1 \cdot 3 = 3 \text{ kN/m'}$$

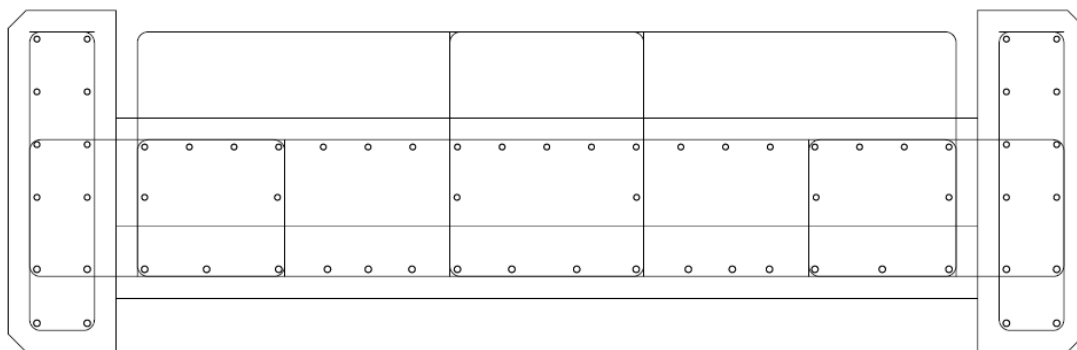
Ukupno opterećenje:

$$p = 1,35 \cdot (44,13 + 18) + 1,5 \cdot 3 = 88,38 \text{ kN/m'}$$



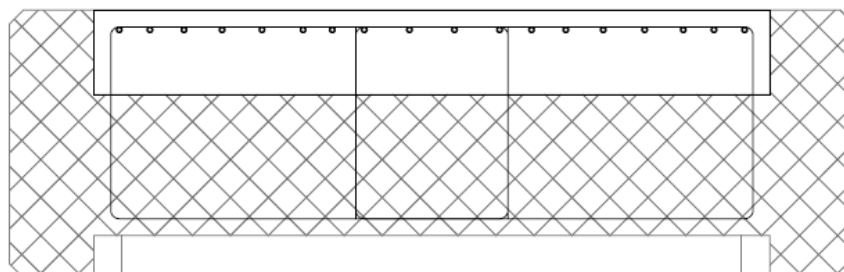
Polje	<b>b</b>	300,00	cm				
	<b>h</b>	80,00	cm	<b>C 35/45</b>			
C 35/45	<b>d<sub>1</sub> (d<sub>2</sub>)</b>	6,00	cm	<b>f<sub>cd</sub></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>	
$f_{cd}=35/1.5=23.33$ MPa	<b>d</b>	74,00	cm	<b>f<sub>yd</sub></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>	
B 500B	<b>M<sub>Ed</sub></b>	1550,63	kNm	<b>Jednostruko armiranje</b>			
$f_{yd}=500/1.15=434.8$ MPa	<b>N<sub>Ed</sub></b>	-476,83	kN	<b>ω</b>	4,409	%	
$M_{Ed}= 1505,63$ kNm	<b>ε<sub>s1</sub></b>	10,0	‰	<b>ρ</b>	0,247	%	
$N_{Ed}= -476,83$ kN	<b>ε<sub>c2</sub></b>	1,1	‰	<b>ξ</b>	0,099		<b>x = 7,30</b> cm
	<b>M<sub>sds</sub></b>	1386,12	kNm	<b>ζ</b>	0,965		
	<b>M<sub>Rd,lim</sub></b>	6174,67	kNm	<b>A<sub>s1</sub></b>	55,30	cm <sup>2</sup>	
	<b>μ<sub>sd</sub></b>	0,036		<b>A<sub>s2</sub></b>	0,00	cm <sup>2</sup>	
				<b>A<sub>s,min</sub></b>	24,00	cm <sup>2</sup>	
	<b>A<sub>s1</sub> = 55,30 cm<sup>2</sup></b>						

$A_s = \text{Faza 0} + \text{Faza 1} = 55,30 + 20,51 = 75,81 \text{ cm}^2 \rightarrow$  odabrana armatura **20Φ22** (76 cm<sup>2</sup>)



Slika 5.2 Skica armature nosča - polje

Ležaj	<b>b</b>	300,00	cm					
C 35/45	<b>h</b>	80,00	cm	<b>C 35/45</b>				
$f_{cd}=35/1.5=23.33$ MPa	<b>d<sub>1</sub> (d<sub>2</sub>)</b>	5,50	cm	<b>f<sub>cd</sub></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>		
B 500B	<b>d</b>	74,50	cm	<b>f<sub>yd</sub></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>		
$f_{yd}=500/1.15=434.8$ MPa	<b>M<sub>Ed</sub></b>	1783,56	kNm	<b>Jednostruko armiranje</b>				
$M_{Ed}= 1783,56$ kNm	<b>N<sub>Ed</sub></b>	-476,83	kN	<b>ω</b>	5,165	%		
$N_{Ed}= -476,83$ kN	<b>ε<sub>s1</sub></b>	10,0	‰	<b>ρ</b>	0,282	%		
	<b>ε<sub>c2</sub></b>	1,2	‰	<b>ξ</b>	0,107		<b>x =</b>	8,00 cm
	<b>M<sub>sds</sub></b>	1619,05	kNm	<b>ζ</b>	0,962			
	<b>M<sub>Rd,lim</sub></b>	6174,67	kNm	<b>A<sub>s1</sub></b>	62,93	cm <sup>2</sup>		
	<b>μ<sub>sd</sub></b>	0,042		<b>A<sub>s2</sub></b>	0,00	cm <sup>2</sup>		
				<b>A<sub>s,min</sub></b>	24,00	cm <sup>2</sup>		
	<b>A<sub>s1</sub> = 62,93 cm<sup>2</sup> → odabarno 18Φ22 (68,4cm<sup>2</sup>)</b>							



Slika 5.3 Skica armature nosča - ležaj



## 5.1.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu – GSN

C 35/45

 $V_{Ed} = 549,15 \text{ kN}$ 
 $N_{Ed} = -476,83 \text{ kN}$ 

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{800}} = 1.6 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.6$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.2$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 20\phi 22 + 18\phi 22 = 76 + 68,4 = 144,4 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{138,8}{80 \cdot 300} = 0.06$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.6 \cdot (100 \cdot 0.006 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.02 \right] \cdot 800 \cdot 3000$$

$$V_{Rd,c} = 1343312,26 \text{ N} = 1343,3 \text{ kN}$$

 $V_{Rd,c}$  mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.6^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.420$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.2$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[ 0.420 + 0.15 \cdot 0.2 \right] \cdot 3000 \cdot 800$$

$$V_{Rd,c} \geq 1080000 \text{ N} = 1080 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 549,15 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 3000 \cdot 800 \cdot 23.3 = 14427360 \text{ N} = 14427.4 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Ed, \max} / V_{Rd, \max} = 549,15 / 14427,4 \approx 0,04 \Rightarrow V_{Ed} = 0,04 V_{Rd, \max}$$

$$s_{\max} = \min \{0,75 \cdot d; 30,0 \text{ cm}\} =$$

$$\min \{0,75 \cdot 80 = 60; 30,0\} \Rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0,001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw, \min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 30 \cdot 300}{8} = 1,13 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø12/30** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

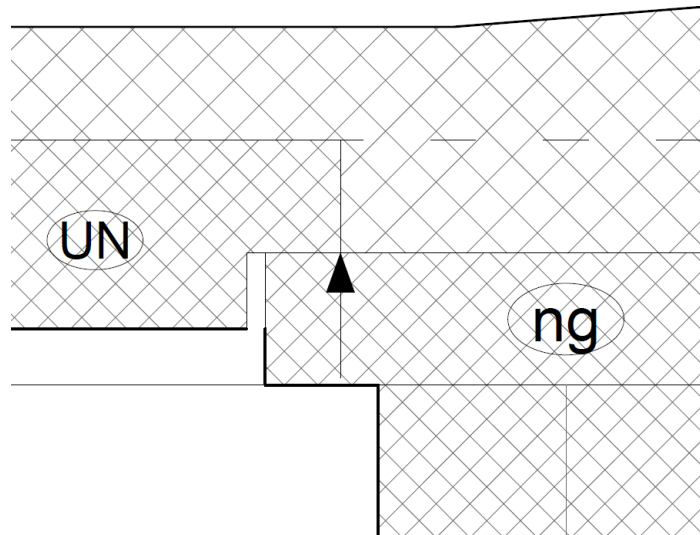
$$V_{Rd} = V_{Rd, s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg \theta$$

$$V_{Rd, s} = \frac{1,13}{30} \cdot (0,9 \cdot 80) \cdot 43,48 \cdot 8 = 943,34 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø12/20** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

### 5.1.3. Dimenzioniranje istaka uzdužnog nosača



Slika 5.4 Reakcija uslijed oslanjanja uzdužnog nosača na naglavnicu

#### 5.1.3.1. Dimenzioniranje na moment savijanja

Vlastita težina nosača:

$$g_1 = A_n \cdot \gamma_b \cdot L = 1,765 \cdot 25 \cdot 7,5 = 330,93 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 165,47 \text{ kN}$$

Opterećenje od monolitizacije:

$$g_p = A_p \cdot \gamma_b \cdot L = 0,72 \cdot 25 \cdot 7,5 = 135 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 67,5 \text{ kN}$$

Promjenjivo opterećenje od radnika i opreme:

$$q = q \cdot \xi_n \cdot L = 1 \cdot 3 \cdot 7,5 = 22,5 \text{ kN}$$

$$q/2 = 11,25 \text{ kN}$$

Ukupno opterećenje:

$$M_{Ed} = [1,35 \cdot (165,47 + 67,5) + 1,5 \cdot 11,25] \cdot 0,25$$

$$M_{Ed} = 82,93 \text{ kNm}$$

C 35/45	<b>b</b>	240,00	cm	<b>C 35/45</b>		
$f_{cd}=35/1.5=23.33$ MPa	<b>h</b>	30,00	cm	<b><math>f_{cd}</math></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>
B 500B	<b><math>d_1</math> (<math>d_2</math>)</b>	5,50	cm	<b><math>f_{yd}</math></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>
$f_{yd}=500/1.15=434.8$ MPa	<b>d</b>	24,50	cm	<b>Jednostruko armiranje</b>		
$M_{Ed}=82,94$ kNm	<b><math>M_{Ed}</math></b>	82,94	kNm	<b><math>\omega</math></b>	3,007	%
	<b><math>N_{Ed}</math></b>	0,00	kN	<b><math>\rho</math></b>	0,136	%
	<b><math>\epsilon_{s1}</math></b>	10,0	‰	<b><math>\xi</math></b>	0,080	<b>x = 1,97 cm</b>
	<b><math>\epsilon_{c2}</math></b>	0,9	‰	<b><math>\zeta</math></b>	0,972	
	<b><math>M_{sds}</math></b>	82,94	kNm	<b><math>A_{s1}</math></b>	8,01	cm <sup>2</sup>
	<b><math>M_{Rd,lim}</math></b>	534,22	kNm	<b><math>A_{s2}</math></b>	0,00	cm <sup>2</sup>
	<b><math>\mu_{sd}</math></b>	0,025		<b><math>A_{s,min}</math></b>	7,20	cm <sup>2</sup>
	<b><math>A_{s1}=8,01</math> cm<sup>2</sup> → odabarno <b>6Φ16</b> (12,06cm<sup>2</sup>)</b>					

### 5.1.3.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot (165,47 + 67,5) + 1,5 \cdot 11,25 = 331,76 \text{ kN}$$

C 35/45	$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$
$V_{Ed} = 331,76$ kN	$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{300}} = 1.81 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.81$
$N_{Ed} = 0$ kN	$k_1 = 0.15$
	$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$
	$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$
	$\sum A_s = 6\phi 12 + 6\phi 12 = 12,06 + 12,06 = 24,12 \text{ cm}^2$
	$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{24,12}{240 \cdot 30} = 0.004$
	$V_{Rd,c} = [0.12 \cdot 1.81 \cdot (100 \cdot 0.004 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.] \cdot 300 \cdot 2400$
	$V_{Rd,c} = 376907,7 \text{ N} = 376,9 \text{ kN}$
	$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.81^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.504$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.$$

$$V_{Rd,c} \geq [0.420 + 0.15 \cdot 0] \cdot 2400 \cdot 300$$

$$V_{Rd,c} \geq 362880 \text{ N} = 362,9 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 331,76 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 2400 \cdot 300 \cdot 23.3 = 4328208 \text{ N} = 4328,02 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,max} = 331,76 / 4328,02 \approx 0.04 \Rightarrow V_{Ed} = 0.08 V_{Rd,max}$$

$$s_{\max} = \min \{ 0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm} \} =$$

$$\min \{ 0.75 \cdot 30 = 22,5; 30.0 \} \Rightarrow s_{\max} = 22,5 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 20 \cdot 240}{6} = 0,8 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø12/20** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{1,13}{30} \cdot (0.9 \cdot 30) \cdot 43.48 \cdot 6 = 397,97 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø12/20** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

### 5.1.4. Proračun armature za sprezanje

$$I_y = 0,1467 \text{ m}^4$$

$$S = A_{pl} \cdot y_{pl} = 0,72 \cdot 0,27 = 0,1944 \text{ m}^3$$

$$V_{sd,max} = 476,83 \text{ kN}$$

$$Q_{sd} = \frac{V_{sd,max} \cdot S}{I_u} = \frac{476,83 \cdot 0,1944}{0,1467} = 631,87 \text{ kN/m}$$

$$f_{yw,d} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B500B \Rightarrow f_{yw,d} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

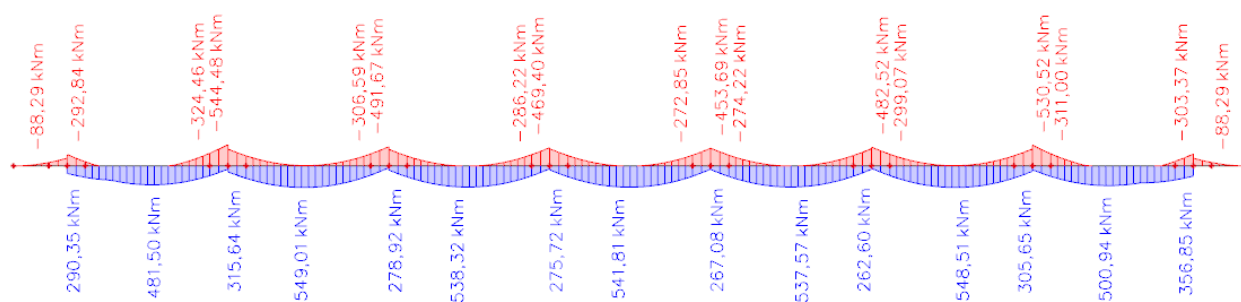
$$A_{s,req} = \frac{Q_{sd}}{f_{yw,d}} = \frac{631,87}{43,48} = 14,53 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: 15 vilica  $\varnothing 12 / 1\text{m}'$

### 5.1.5. Kontrola pukotina i progiba – GSU

#### 5.1.5.1. Kontrola pukotina

Mjerodavni momenti dobiveni su iz kombinacija za granično stanje uporabljivosti:



Slika 5.5 Momenti  $M_y$  (kNm) – GSU

$$M_k = 416,16 \text{ kNm}$$

Računska širina pukotine, prema EC2, može se prognozirati pomoću izraza:

$$W_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$



Vrijednost ( $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ ) određuje se prema izrazu:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

gdje je:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{54901}{(0,9 \cdot 74) \cdot 144,4} = 5,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{34} = 5,88$$

$k_t$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja (0,4 za dugotrajno opterećenje)

$f_{ct,eff}$  - efektivna vlačna čvrstoća ( $f_{ct,eff} = 3,2 \text{ Mpa}$ )

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{144,4}{300 \cdot 15} = 0,032$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\Phi}{\rho_{p,eff}}$$

Gdje je:

$c$  – zaštitni sloj armature

$k_1 = 0,8$  – rebrasta armatura

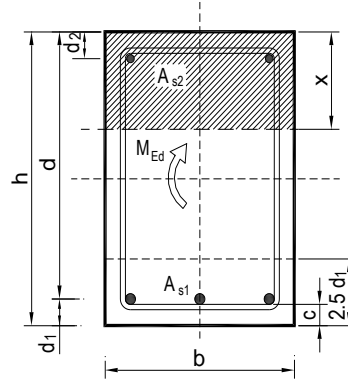
$k_2 = 0,5$  – savijanje

$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$

$\Phi$  – promjer najdeblje šipke

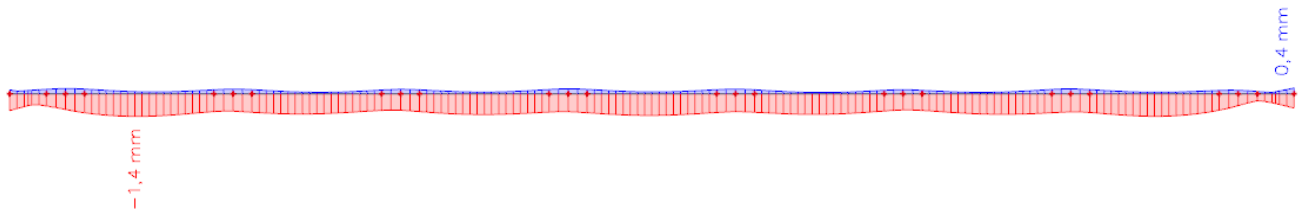
$b =$	300,0 cm	$d =$	74,0 cm	$h =$	80,0 cm
$f_{ck} =$	35,0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	3,21 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	76,00 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	68,40 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	6,0 cm
$E_s =$	200,00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	34,00 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	5,88
$M_{Ed} =$	549,0 kNm	$k_1 =$	0,40		
$\sigma_s =$	103,86 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	12,81 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0169		
$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$	0,000101 <	$0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000312		
$\emptyset =$	22,0 mm	$c =$	5,50 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$s_{r,max} =$	408,45 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$	0,127 mm	<	$w_g$		



**- Pukotine zadovoljavaju!**



## 5.1.5.2. Kontrola progiba



Slika 5.6 Prikaz progiba Uz (mm) – GSU

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{750}{250} = 3 \text{ cm}$$

 Beton: C 35/45;  $f_{ck}=40.0 \text{ MPa}$ 

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 43 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22 \cdot \left[ \frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3} = 22 \cdot \left[ \frac{43}{10} \right]^{0,3} \approx 34000 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot (35)^{\frac{2}{3}} = 3,2 \text{ MPa}$$

 Čelik: B500B;  $E_s=200 \text{ GPa}$ 

$$\alpha_{el} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{34} = 5,88$$

$$\delta_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

Red	Tip opterećenja	Dijagram momenata savijanja	Koeficijent $k$ iz izraza (5.131)
7			$k = \frac{5}{48} (1 - 0,1\beta)$ $\beta = \frac{ M_A + M_B }{ M_F }$

$$\beta = \frac{|M_A + M_B|}{|M_F|} = \frac{|0 + 197,37|}{500,34} = 0,4$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot \beta) = 0,104 \cdot (1 - 0,1 \cdot 0,4) = 0,1$$

$$A_{s1} = 20\Phi 22 = 76 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = 18\Phi 22 = 68,4 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_I &= \frac{bh^3}{12} + \alpha_{el} \cdot \left[ A_{s1} \cdot \left( \frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left( \frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right] \\ &= \frac{300 \cdot 80^3}{12} + 5,88 \cdot \left[ 76 \cdot \left( \frac{80}{2} - 6 \right)^2 + 68,4 \cdot \left( \frac{80}{2} - 6 \right)^2 \right] \\ &= 13781527,23 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 500,34 \text{ kNm} = 50034 \text{ kNcm}$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 35,0 \text{ GPa} = 3500 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{50034}{3500 \cdot 13781527,23} = 0,00000103 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{s1}}{b} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{5,88 \cdot 76}{300} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 300 \cdot 80}{5,88 \cdot 76}} \right) = 13,95 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{II} &= \frac{bx^3}{12} + bx \cdot \left( \frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{el} \cdot [A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (d - x)^2] \\ &= \frac{300 \cdot 13,95^3}{12} + 300 \cdot 13,95 \cdot \left( \frac{13,95}{2} \right)^2 + 5,88 \cdot [76 \cdot (74 - 13,95)^2 + 68,4 \cdot (74 - 13,95)^2] \\ &= 3333226,24 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\left( d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_{s1}} = \frac{50034}{\left( 74 - \frac{13,95}{3} \right) \cdot 76} = 9,49 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 94,9 \text{ MPa}$$



$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_{s1}}{E_s} = \frac{94,9}{200000} = 0,0005$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d \cdot y_{IIg}} = \frac{0,0005}{74 \cdot 13,95} = 0,000008 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{Z \cdot A_s}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,32 \cdot \frac{300 \cdot 80^2}{6} = 102400 \text{ kNcm} = 1024 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{102400}{\left(74 - \frac{13,95}{3}\right) \cdot 144,4} = 10,23 \text{ MPa}$$

$M_{cr} > M_{Ed} \rightarrow$  uzimamo da je koeficijent raspodjele  $\zeta=0$ , jer je nosač u elastičnom stanju.

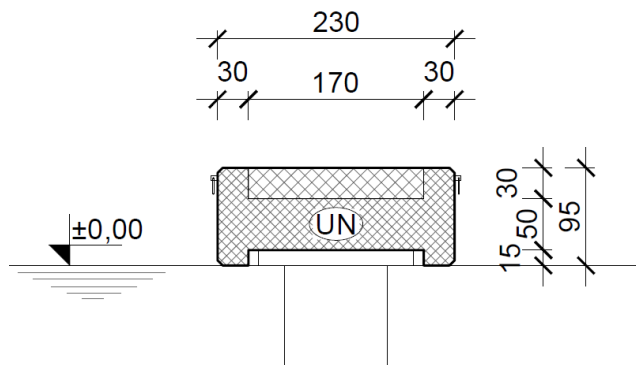
$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} + (1 - \zeta) \frac{1}{r_I} = 0 \cdot \frac{1}{0,000008} + (1 - 0) \frac{1}{0,00000103} = 0,00000103 \frac{1}{cm}$$

$$\delta_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,1 \cdot 750^2 \cdot 0,00000103 = 0,058 \text{ cm} < \delta_{lim} = 3 \text{ cm}$$

**- Progibi zadovoljavaju!**

## 5.2. DILATACIJA C

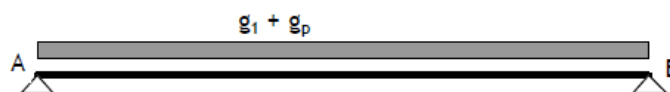
### 5.2.1. Dimenzioniranje na savijanje - GSN



Slika 5.7 Poprečni presjek uzdužnog nosača – dilatacija C

#### Faza 0 – sustav prostih greda:

U ovoj fazi uzdužni nosači imaju funkciju " izgubljene oplata" i preuzimaju vlastitu težinu svježeg betona, opladne ploče za vrijeme gradnje i promjenjivo opterećenje od radnika i opreme u iznosu od  $1 \text{ kN/m}^2$ .



Vlastita težina nosača:

$$g_1 = A_n \cdot \gamma_b = 1,3 \cdot 25 = 32,5 \text{ kN/m'}$$

Opterećenje od monolitizacije:

$$g_p = A_p \cdot \gamma_b = 0,51 \cdot 25 = 12,75 \text{ kN/m'}$$

Promjenjivo opterećenje od radnika i opreme:

$$q = q \cdot \check{s}_n = 1 \cdot 2,3 = 2,3 \text{ kN/m'}$$

Ukupno opterećenje:

$$p = 1,35 \cdot (32,5 + 12,75) + 1,5 \cdot 2,3 = 64,54 \text{ kN/m'}$$

$$M_{Ed} = \frac{p \cdot L^2}{8} = \frac{64,54 \cdot 7,3^2}{8} = 429,92 \text{ kNm}$$

Polje	<b>b</b>	60,00	cm				
	<b>h</b>	80,00	cm	<b>C 35/45</b>			
C 35/45	<b>d<sub>1</sub> (d<sub>2</sub>)</b>	6,00	cm	<b>f<sub>cd</sub></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>	
f <sub>cd</sub> =35/1.5=23.33 MPa	<b>d</b>	74,00	cm	<b>f<sub>yd</sub></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>	
B 500B	<b>M<sub>Ed</sub></b>	429,92	kNm	<b>Jednostruko armiranje</b>			
f <sub>yd</sub> =500/1.15=434.8 MPa	<b>N<sub>Ed</sub></b>	0,00	kN	<b>ω</b>	6,957	%	
M <sub>Ed</sub> = 155,63 kNm	<b>ε<sub>s1</sub></b>	10,0	‰	<b>ρ</b>	0,315	%	
N <sub>Ed</sub> = 476,83 kN	<b>ε<sub>c2</sub></b>	1,4	‰	<b>ξ</b>	0,127	<b>x =</b>	9,37 cm
	<b>M<sub>sds</sub></b>	429,92	kNm	<b>ζ</b>	0,954		
	<b>M<sub>Rd,lim</sub></b>	1218,41	kNm	<b>A<sub>s1</sub></b>	14,00	cm <sup>2</sup>	
	<b>μ<sub>sd</sub></b>	0,056		<b>A<sub>s2</sub></b>	0,00	cm <sup>2</sup>	
				<b>A<sub>s,min</sub></b>	4,80	cm <sup>2</sup>	
	<b>A<sub>s1</sub> = 14,0 cm<sup>2</sup></b>						

### Faza 1 – kontinuirani nosač:

Nakon monolitizacije dobijamo konačni poprečni presjek koji preuzima puno korisno opterećenje.

$$M_{Ed,p} = 926,97 \text{ kNm}$$

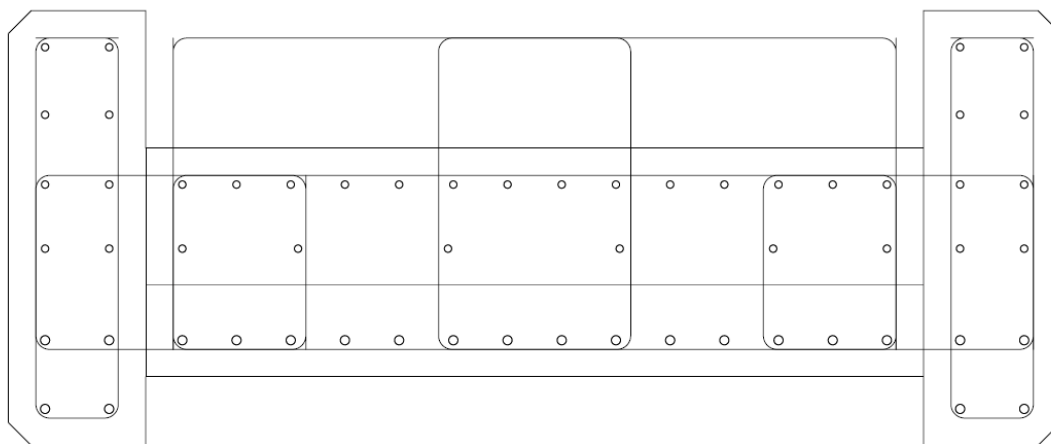
$$M_{Ed,l} = 1015,92 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 413,01 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 408,78 \text{ kN}$$

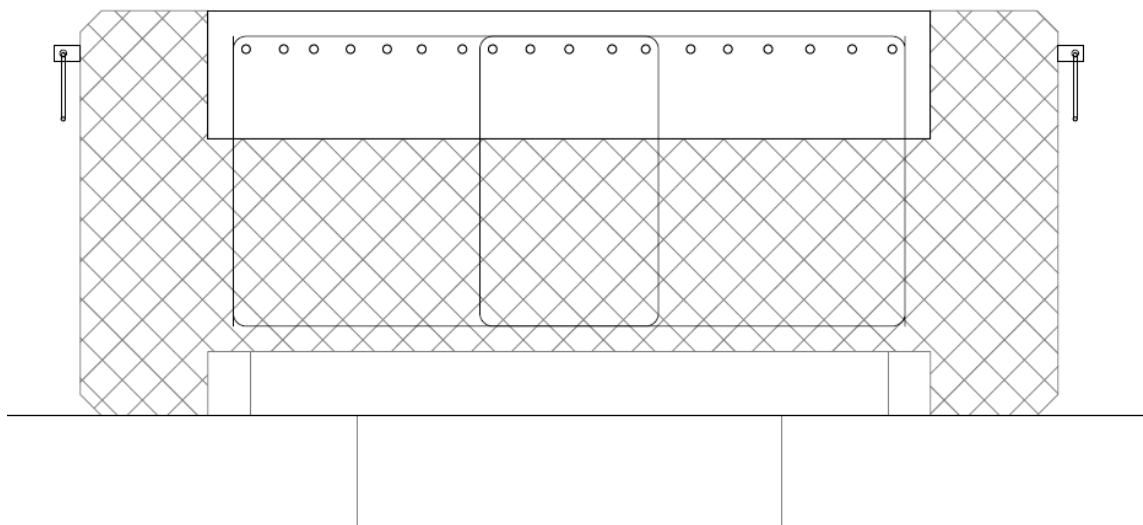
Polje	<b>b</b>	230,00	cm				
	<b>h</b>	80,00	cm	<b>C 35/45</b>			
C 35/45	<b>d<sub>1</sub> (d<sub>2</sub>)</b>	6,00	cm	<b>f<sub>cd</sub></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>	
$f_{cd}=35/1.5=23.33$ MPa	<b>d</b>	74,00	cm	<b>f<sub>yd</sub></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>	
B 500B	<b>M<sub>Ed</sub></b>	926,97	kNm	<b>Jednostruko armiranje</b>			
$f_{yd}=500/1.15=434.8$ MPa	<b>N<sub>Ed</sub></b>	408,78	kN	<b>ω</b>	4,409	%	
$M_{Ed}= 1015,92$ kNm	<b>ε<sub>s1</sub></b>	10,0	‰	<b>ρ</b>	0,146	%	
$N_{Ed}= 408,78$ kN	<b>ε<sub>c2</sub></b>	1,1	‰	<b>ξ</b>	0,099		<b>x = 7,30</b> cm
	<b>M<sub>sds</sub></b>	1065,96	kNm	<b>ζ</b>	0,965		
	<b>M<sub>Rd,lim</sub></b>	4670,58	kNm	<b>A<sub>s1</sub></b>	24,92	cm <sup>2</sup>	
	<b>μ<sub>sd</sub></b>	0,036		<b>A<sub>s2</sub></b>	0,00	cm <sup>2</sup>	
				<b>A<sub>s,min</sub></b>	18,40	cm <sup>2</sup>	
	<b>A<sub>s1</sub> = 24,92 cm<sup>2</sup></b>						

$A_s = \text{Faza 0} + \text{Faza 1} = 24,92 + 14 = 48,92 \text{ cm}^2 \rightarrow$  odabrana armatura **18Φ20** (56,52 cm<sup>2</sup>)



Slika 5.8 Skica armature nosča - polje

Ležaj	<b>b</b>	230,00	cm				
	<b>h</b>	80,00	cm	<b>C 35/45</b>			
C 35/45	<b>d<sub>1</sub> (d<sub>2</sub>)</b>	5,50	cm	<b>f<sub>cd</sub></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>	
f <sub>cd</sub> =35/1.5=23.33 MPa	<b>d</b>	74,50	cm	<b>f<sub>yd</sub></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>	
B 500B	<b>M<sub>Ed</sub></b>	1015,92	kNm	<b>Jednostruko armiranje</b>			
f <sub>yd</sub> =500/1.15=434.8 MPa	<b>N<sub>Ed</sub></b>	408,78	kN	<b>ω</b>	4,783	%	
M <sub>Ed</sub> = 1015,92 kNm	<b>ε<sub>s1</sub></b>	10,0	‰	<b>ρ</b>	0,161	%	
N <sub>Ed</sub> = 408,78 kN	<b>ε<sub>c2</sub></b>	1,1	‰	<b>ξ</b>	0,103	<b>x =</b>	7,67 cm
	<b>M<sub>sds</sub></b>	1156,95	kNm	<b>ζ</b>	0,964		
	<b>M<sub>Rd,lim</sub></b>	4733,91	kNm	<b>A<sub>s1</sub></b>	27,66	cm <sup>2</sup>	
	<b>μ<sub>sd</sub></b>	0,039		<b>A<sub>s2</sub></b>	0,00	cm <sup>2</sup>	
				<b>A<sub>s,min</sub></b>	18,40	cm <sup>2</sup>	
	<b>A<sub>s1</sub> = 27,66 cm<sup>2</sup> → odabarno 18Φ16 (36 cm<sup>2</sup>)</b>						



Slika 5.9 Skica armature nosča – ležaj

## 5.2.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu – GSN

C 35/45

 $V_{Ed} = 413,01 \text{ kN}$ 
 $N_{Ed} = 408,78 \text{ kN}$ 

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{800}} = 1.6 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.6$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.22$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 18\phi 20 + 18\phi 18 = 56,52 + 36 = 92,52 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{92,52}{80 \cdot 230} = 0.005$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.6 \cdot (100 \cdot 0.005 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.22 \right] \cdot 800 \cdot 2300$$

$$V_{Rd,c} = 977922,16 \text{ N} = 977,92 \text{ kN}$$

 $V_{Rd,c}$  mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.6^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.420$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.22$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[ 0.420 + 0.15 \cdot 0.22 \right] \cdot 2300 \cdot 800$$

$$V_{Rd,c} \geq 833520 \text{ N} = 833,52 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 413,01 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 2300 \cdot 800 \cdot 23.3 = 11060976 \text{ N} = 11060,98 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$



$$V_{Ed, \max} / V_{Rd, \max} = 413,01 / 11060,98 \approx 0.04 \Rightarrow V_{Ed} = 0.04 V_{Rd, \max}$$

$$s_{\max} = \min \{0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm}\} =$$

$$\min \{0.75 \cdot 80 = 60; 30.0\} \Rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw, \min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 230}{8} = 0,86 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø12/30** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

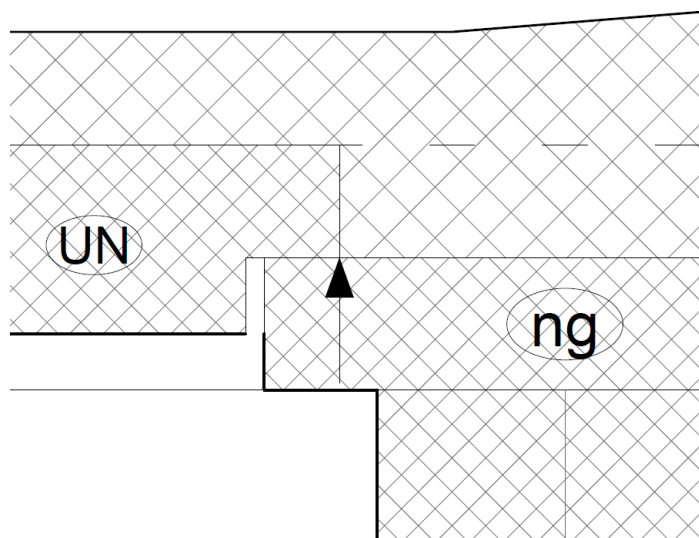
$$V_{Rd} = V_{Rd, s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg \theta$$

$$V_{Rd, s} = \frac{1,13}{30} \cdot (0.9 \cdot 80) \cdot 43.48 \cdot 8 = 943,34 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø12/20** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

### 5.2.3. Dimenzioniranje istaka uzdužnog nosača



Slika 5.10 Reakcija uslijed oslanjanja uzdužnog nosača na naglavnicu

#### 5.2.3.1. Dimenzioniranje na moment savijanja

Vlastita težina nosača:

$$g_1 = A_n \cdot \gamma_b \cdot L = 1,3 \cdot 25 \cdot 7,3 = 237,25 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 118,63 \text{ kN}$$

Opterećenje od monolitizacije:

$$g_p = A_p \cdot \gamma_b \cdot L = 0,51 \cdot 25 \cdot 7,3 = 93,08 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 46,54 \text{ kN}$$

Promjenjivo opterećenje od radnika i opreme:

$$q = q \cdot \check{s}_n \cdot L = 1 \cdot 2,3 \cdot 7,3 = 16,8 \text{ kN}$$

$$q/2 = 8,4 \text{ kN}$$

Ukupno opterećenje:

$$M_{Ed} = [1,35 \cdot (118,63 + 46,54) + 1,5 \cdot 8,4] \cdot 0,25$$

$$M_{Ed} = 58,89 \text{ kNm}$$

C 35/45	<b>b</b>	170,00	cm	<b>C 35/45</b>		
$f_{cd}=35/1.5=23.33$ MPa	<b>h</b>	30,00	cm	<b><math>f_{cd}</math></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>
B 500B	<b><math>d_1</math> (<math>d_2</math>)</b>	6,00	cm	<b><math>f_{yd}</math></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>
$f_{yd}=500/1.15=434.8$ MPa	<b>d</b>	24,00	cm	<b>Jednostruko armiranje</b>		
$M_{Ed}=155,63$ kNm	<b><math>M_{Ed}</math></b>	58,89	kNm	<b><math>\omega</math></b>	3,007	%
$N_{Ed}=476,83$ kN	<b><math>N_{Ed}</math></b>	0,00	kN	<b><math>\rho</math></b>	0,142	%
	<b><math>\epsilon_{s1}</math></b>	10,0	‰	<b><math>\xi</math></b>	0,080	<b>x = 1,93 cm</b>
	<b><math>\epsilon_{c2}</math></b>	0,9	‰	<b><math>\zeta</math></b>	0,972	
	<b><math>M_{sds}</math></b>	58,89	kNm	<b><math>A_{s1}</math></b>	5,81	cm <sup>2</sup>
	<b><math>M_{Rd,lim}</math></b>	363,12	kNm	<b><math>A_{s2}</math></b>	0,00	cm <sup>2</sup>
	<b><math>\mu_{sd}</math></b>	0,026		<b><math>A_{s,min}</math></b>	5,10	cm <sup>2</sup>
	<b><math>A_{s1}=5,81</math> cm<sup>2</sup> → odabarno <b>6Φ16</b> (12,06cm<sup>2</sup>)</b>					

### 5.2.3.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot (118,63 + 46,54) + 1,5 \cdot 8,4 = 235,58 \text{ kN}$$

C 35/45	$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$
$V_{Ed} = 235,58$ kN	$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{300}} = 1.81 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.81$
	$k_1 = 0.15$
	$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$
	$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$
	$\sum A_s = 6\phi 12 + 6\phi 12 = 12,06 + 12,06 = 24,12 \text{ cm}^2$
	$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{24,12}{170 \cdot 30} = 0.005$
	$V_{Rd,c} = [0.12 \cdot 1.81 \cdot (100 \cdot 0.005 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0] \cdot 300 \cdot 1700$
	$V_{Rd,c} = 287591,47 \text{ N} = 287,59 \text{ kN}$
	$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.81^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.504$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.$$

$$V_{Rd,c} \geq [0.420 + 0.15 \cdot 0] \cdot 1700 \cdot 300$$

$$V_{Rd,c} \geq 214200 \text{ N} = 214,2 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 235,58 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 1700 \cdot 300 \cdot 23.3 = 3065814 \text{ N} = 3065,8 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,max} = 235,58 / 3065,8 \approx 0.08 \Rightarrow V_{Ed} = 0.08 V_{Rd,max}$$

$$s_{\max} = \min \{0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm}\} =$$

$$\min \{0.75 \cdot 30 = 22,5; 30.0\} \Rightarrow s_{\max} = 22,5 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 20 \cdot 170}{6} = 0,57 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø12/20** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \text{ B 500B} \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{1,13}{20} \cdot (0.9 \cdot 30) \cdot 43.48 \cdot 6 = 397,97 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø12/20** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

## 5.2.4. Proračun armature za sprezanje

$$I_y = 0,1467 \text{ m}^4$$

$$S = A_{pl} \cdot y_{pl} = 0,51 \cdot 0,277 = 0,14127 \text{ m}^3$$

$$V_{sd,max} = 413,01 \text{ kN}$$

$$Q_{sd} = \frac{V_{sd,max} \cdot S}{I_u} = \frac{413,01 \cdot 0,14127}{0,1166} = 50,39 \text{ kN/m}$$

$$f_{yw,d} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B500B \Rightarrow f_{yw,d} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

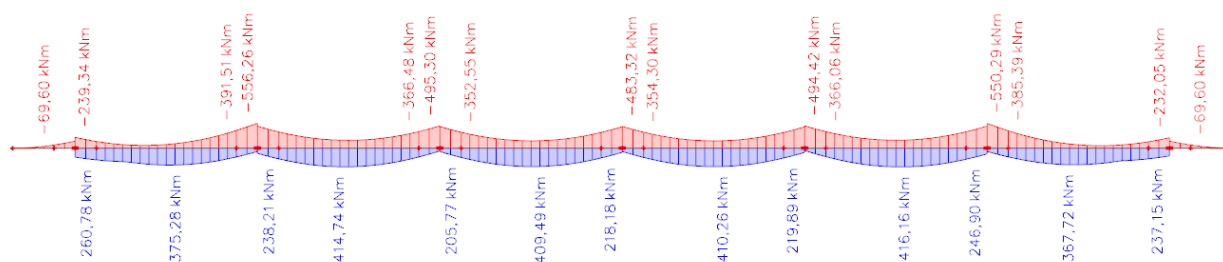
$$A_{s,req} = \frac{Q_{sd}}{f_{yw,d}} = \frac{50,39}{43,48} = 11,51 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: 15 vilica  $\phi 12 / 1\text{m}'$

## 5.2.5. Kontrola pukotina i progiba – GSU

### 5.2.5.1. Kontrola pukotina

Mjerodavni momenti dobiveni su iz komebinacija za granično stanje uporabljivosti:



Slika 5.11 Momenti  $M_y$  (kNm) – GSU

$$M_k = 556,3 \text{ kNm}$$

Računska širina pukotine, prema EC2, može se prognozirati pomoću izraza:

$$W_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

Vrijednost  $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$  određuje se prema izrazu:



$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

gdje je:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{54901}{(0,9 \cdot 74) \cdot 144,4} = 5,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{34} = 5,88$$

$k_t$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja (0,4 za dugotrajno opterećenje)

$f_{ct,eff}$  - efektivna vlačna čvrstoća ( $f_{ct,eff} = 3,2 \text{ Mpa}$ )

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{144,4}{300 \cdot 15} = 0,032$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\theta}{\rho_{p,eff}}$$

Gdje je:

$c$  – zaštitni sloj armature

$k_1 = 0,8$  – rebrasta armatura

$k_2 = 0,5$  – savijanje

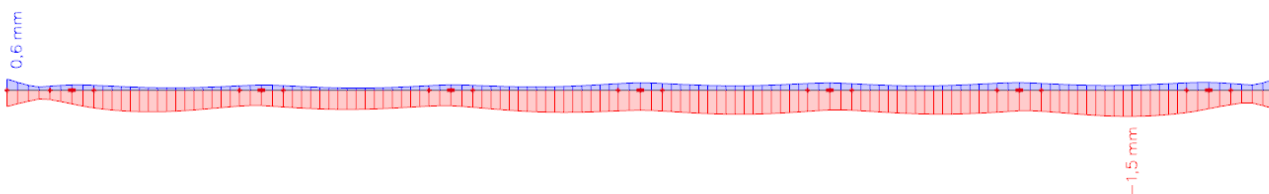
$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$

$\Phi$  – promjer najdeblje šipke



### 5.2.5.2. Kontrola progiba



Slika 5.12 Prikaz progiba Uz (mm) – GSU

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{730}{250} = 2,92 \text{ cm}$$

Beton: C 35/45;  $f_{ck}=40.0 \text{ MPa}$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 43 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22 \cdot \left[ \frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3} = 22 \cdot \left[ \frac{43}{10} \right]^{0,3} \approx 34000 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot (35)^{\frac{2}{3}} = 3,2 \text{ MPa}$$

Čelik: B500B;  $E_s=200 \text{ GPa}$

$$\alpha_{el} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{34} = 5,88$$

$$\delta_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

Red	Tip opterećenja	Dijagram momenata savijanja	Koeficijent $k$ iz izraza (5.131)
7			$k = \frac{5}{48} (1 - 0,1\beta)$ $\beta = \frac{ M_A + M_B }{ M_F }$

$$\beta = \frac{|M_A + M_B|}{|M_F|} = \frac{|239,4 + 556,26|}{|416,6|} = 2,12$$





$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot \beta) = 0,104 \cdot (1 - 0,1 \cdot 2,12) = 0,08$$

$$A_{s1} = 20\Phi 22 = 62,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = 18\Phi 22 = 36 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_I &= \frac{bh^3}{12} + \alpha_{el} \cdot \left[ A_{s1} \cdot \left( \frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left( \frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right] \\ &= \frac{230 \cdot 80^3}{12} + 5,88 \cdot \left[ 62,8 \cdot \left( \frac{80}{2} - 6 \right)^2 + 36 \cdot \left( \frac{80}{2} - 6 \right)^2 \right] \\ &= 10484904,6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 416,6 \text{ kNm} = 41660 \text{ kNcm}$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 35,0 \text{ GPa} = 3500 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{41660}{3500 \cdot 10484904,6} = 0,00000113 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{s1}}{b} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{5,88 \cdot 62,8}{230} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 230 \cdot 80}{5,88 \cdot 62,8}} \right) = 14,42 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{II} &= \frac{bx^3}{12} + bx \cdot \left( \frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{el} \cdot [A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (d - x)^2] \\ &= \frac{230 \cdot 14,42^3}{12} + 230 \cdot 14,42 \cdot \left( \frac{14,42}{2} \right)^2 + 5,88 \cdot [62,8 \cdot (74 - 14,42)^2 + 36 \cdot (74 - 14,42)^2] \\ &= 3362770,92 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\left( d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_{s1}} = \frac{41660}{\left( 74 - \frac{14,42}{3} \right) \cdot 62,8} = 9,59 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 95,9 \text{ MPa}$$



$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_{s1}}{E_s} = \frac{95,9}{200000} = 0,0005$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d \cdot y_{IIg}} = \frac{0,0005}{74 \cdot 14,42} = 0,0000005 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{Z \cdot A_s}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,32 \cdot \frac{230 \cdot 80^2}{6} = 78506 \text{ kNcm} = 785,06 \text{ kNm}$$

$M_{cr} > M_{Ed} \rightarrow$  uzimamo da je koeficijent raspodjele  $\zeta=0$ , jer je nosač u elastičnom stanju.

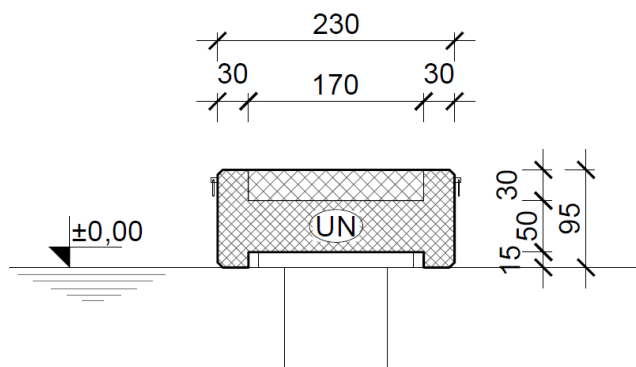
$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} + (1 - \zeta) \frac{1}{r_I} = 0 \cdot \frac{1}{0,0000005} + (1 - 0) \frac{1}{0,00000113} = 0,00000113 \frac{1}{cm}$$

$$\delta_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,08 \cdot 730^2 \cdot 0,00000113 = 0,05 \text{ cm} < \delta_{lim} = 2,92 \text{ cm}$$

**- Progibi zadovoljavaju!**

### 5.3. DILATACIJA D

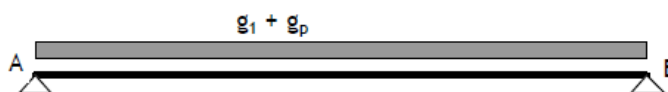
#### 5.3.1. Dimenzioniranje na savijanje - GSN



Slika 5.13 Poprečni presjek uzdužnog nosača – dilatacija C

#### Faza 0 – sustav prostih greda:

U ovoj fazi uzdužni nosači imaju funkciju " izgubljene oplata" i preuzimaju vlastitu težinu svježeg betona, opladne ploče za vrijeme gradnje i promjenjivo opterećenje od radnika i opreme u iznosu od  $1 \text{ kN/m}^2$ .



Vlastita težina nosača:

$$g_1 = A_n \cdot \gamma_b = 1,3 \cdot 25 = 32,5 \text{ kN/m'}$$

Opterećenje od monolitizacije:

$$g_p = A_p \cdot \gamma_b = 0,51 \cdot 25 = 12,75 \text{ kN/m'}$$

Promjenjivo opterećenje od radnika i opreme:

$$q = q \cdot \check{s}_n = 1 \cdot 2,3 = 2,3 \text{ kN/m'}$$

Ukupno opterećenje:

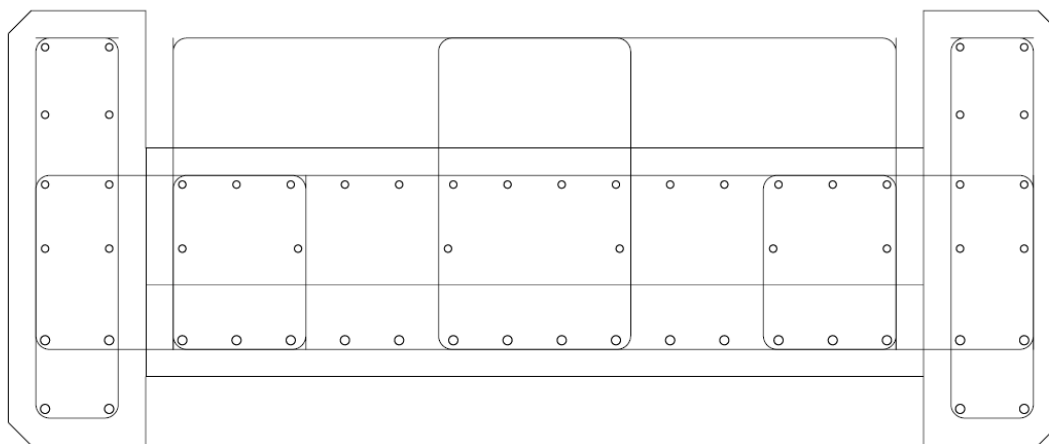
$$p = 1,35 \cdot (32,5 + 12,75) + 1,5 \cdot 2,3 = 64,54 \text{ kN/m'}$$

$$M_{Ed} = \frac{p \cdot L^2}{8} = \frac{64,54 \cdot 7^2}{8} = 395,12 \text{ kNm}$$



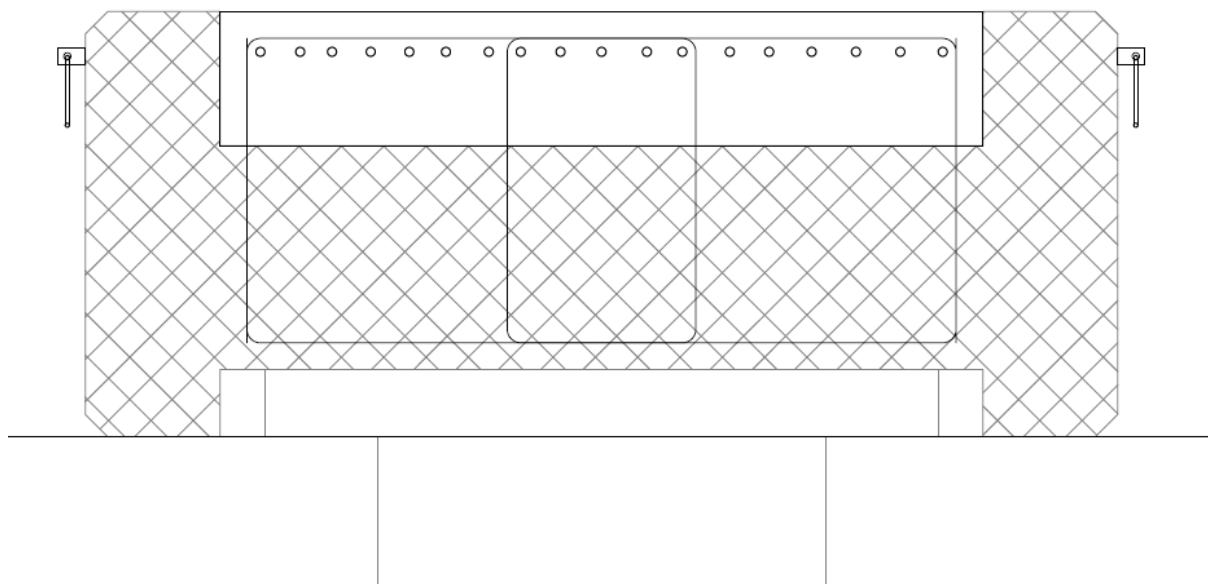
Polje	<b>b</b>	230,00	cm				
	<b>h</b>	80,00	cm	<b>C 35/45</b>			
C 35/45	<b>d<sub>1</sub> (d<sub>2</sub>)</b>	6,00	cm	<b>f<sub>cd</sub></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>	
$f_{cd}=35/1.5=23.33$ MPa	<b>d</b>	74,00	cm	<b>f<sub>yd</sub></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>	
B 500B	<b>M<sub>Ed</sub></b>	965,58	kNm	<b>Jednostruko armiranje</b>			
$f_{yd}=500/1.15=434.8$ MPa	<b>N<sub>Ed</sub></b>	312,79	kN	<b>ω</b>	4,409	%	
$M_{Ed}= 1015,92$ kNm	<b>ε<sub>s1</sub></b>	10,0	‰	<b>ρ</b>	0,161	%	
$N_{Ed}= 408,78$ kN	<b>ε<sub>c2</sub></b>	1,1	‰	<b>ξ</b>	0,099		<b>x = 7,30</b> cm
	<b>M<sub>sds</sub></b>	1071,93	kNm	<b>ζ</b>	0,965		
	<b>M<sub>Rd,lim</sub></b>	4670,58	kNm	<b>A<sub>s1</sub></b>	27,32	cm <sup>2</sup>	
	<b>μ<sub>sd</sub></b>	0,037		<b>A<sub>s2</sub></b>	0,00	cm <sup>2</sup>	
				<b>A<sub>s,min</sub></b>	18,40	cm <sup>2</sup>	
	<b>A<sub>s1</sub> = 26,19 cm<sup>2</sup></b>						

$A_s = \text{Faza 0} + \text{Faza 1} = 27,32 + 12,83 = 40,15 \text{ cm}^2 \rightarrow$  odabrana armatura **20Φ18** (45,72cm<sup>2</sup>)



Slika 5.14 Skica armature nosča - polje

Ležaj	<b>b</b>	230,00	cm				
C 35/45	<b>h</b>	80,00	cm	<b>C 35/45</b>			
$f_{cd}=35/1.5=23.33$ MPa	<b>d<sub>1</sub> (d<sub>2</sub>)</b>	5,50	cm	<b>f<sub>cd</sub></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>	
B 500B	<b>d</b>	74,50	cm	<b>f<sub>yd</sub></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>	
$f_{yd}=500/1.15=434.8$ MPa	<b>M<sub>Ed</sub></b>	1141,16	kNm	<b>Jednostruko armiranje</b>			
$M_{Ed}= 1015,92$ kNm	<b>N<sub>Ed</sub></b>	312,79	kN	<b>ω</b>	5,165	%	
$N_{Ed}= 408,78$ kN	<b>ε<sub>s1</sub></b>	10,0	‰	<b>ρ</b>	0,192	%	
	<b>ε<sub>c2</sub></b>	1,2	‰	<b>ξ</b>	0,107		<b>x = 8,00</b> cm
	<b>M<sub>sds</sub></b>	1249,07	kNm	<b>ζ</b>	0,962		
	<b>M<sub>Rd,lim</sub></b>	4733,91	kNm	<b>A<sub>s1</sub></b>	32,89	cm <sup>2</sup>	
	<b>μ<sub>sd</sub></b>	0,042		<b>A<sub>s2</sub></b>	0,00	cm <sup>2</sup>	
				<b>A<sub>s,min</sub></b>	18,40	cm <sup>2</sup>	
<b>A<sub>s1</sub> = 32,89 cm<sup>2</sup> → odabarno 18Φ16 (36 cm<sup>2</sup>)</b>							



Slika 5.15 Skica armature nosča - ležaj

## 5.3.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu – GSN

C 35/45

 $V_{Ed} = 433,83 \text{ kN}$ 
 $N_{Ed} = 312,79 \text{ kN}$ 

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{800}} = 1.6 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.6$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.17$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 20\phi 18 + 18\phi 16 = 45,72 + 36 = 81,72 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{81,72}{80 \cdot 230} = 0.005$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.6 \cdot (100 \cdot 0.005 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.17 \right] \cdot 800 \cdot 2300$$

$$V_{Rd,c} = 964122,16 \text{ N} = 964,12 \text{ kN}$$

 $V_{Rd,c}$  mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.6^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.420$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.17$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[ 0.420 + 0.15 \cdot 0.17 \right] \cdot 2300 \cdot 800$$

$$V_{Rd,c} \geq 819720 \text{ N} = 819,72 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 433,83 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 2300 \cdot 800 \cdot 23.3 = 11060976 \text{ N} = 11060,98 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Ed, \max} / V_{Rd, \max} = 433,83 / 11060,98 \approx 0.04 \Rightarrow V_{Ed} = 0.04 V_{Rd, \max}$$

$$s_{\max} = \min \{0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm}\} =$$

$$\min \{0.75 \cdot 80 = 60; 30.0\} \Rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw, \min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 230}{8} = 0,86 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø12/30** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

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

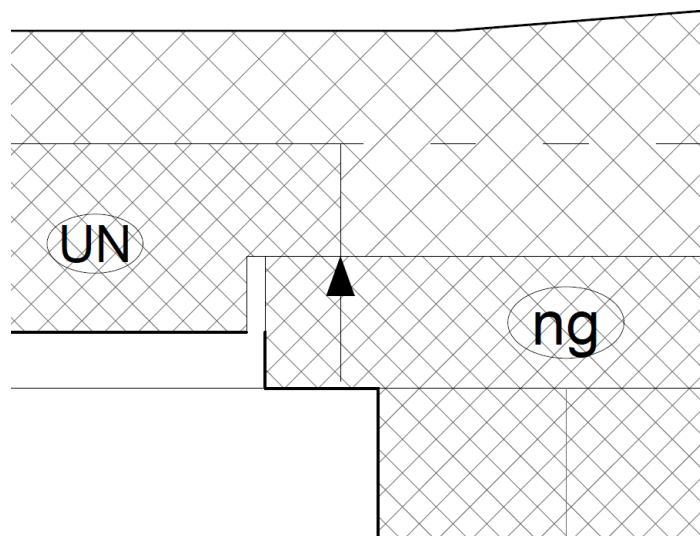
$$V_{Rd, s} = \frac{1,13}{30} \cdot (0.9 \cdot 80) \cdot 43.48 \cdot 8 = 943,34 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø12/20** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )



### 5.3.3. Dimenzioniranje istaka uzdužnog nosača



Slika 5.10 Reakcija uslijed oslanjanja uzdužnog nosača na naglavnicu

#### 5.3.3.1. Dimenzioniranje na moment savijanja

Vlastita težina nosača:

$$g_1 = A_n \cdot \gamma_b \cdot L = 1,3 \cdot 25 \cdot 7 = 227,5 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 113,75 \text{ kN}$$

Opterećenje od monolitizacije:

$$g_p = A_p \cdot \gamma_b \cdot L = 0,51 \cdot 25 \cdot 7 = 89,25 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 44,63 \text{ kN}$$

Promjenjivo opterećenje od radnika i opreme:

$$q = q \cdot \check{s}_n \cdot L = 1 \cdot 2,3 \cdot 7 = 16,1 \text{ kN}$$

$$q/2 = 8,05 \text{ kN}$$

Ukupno opterećenje:

$$M_{Ed} = [1,35 \cdot (113,75 + 44,63) + 1,5 \cdot 8,05] \cdot 0,25$$

$$M_{Ed} = 56,47 \text{ kNm}$$

C 35/45	<b>b</b>	170,00	cm	<b>C 35/45</b>		
$f_{cd}=35/1.5=23.33$ MPa	<b>h</b>	30,00	cm	<b><math>f_{cd}</math></b>	2,33	kN/cm <sup>2</sup>
B 500B	<b><math>d_1</math> (<math>d_2</math>)</b>	6,00	cm	<b><math>f_{yd}</math></b>	43,48	kN/cm <sup>2</sup>
$f_{yd}=500/1.15=434.8$ MPa	<b>d</b>	24,00	cm	<b>Jednostruko armiranje</b>		
$M_{Ed}=155,63$ kNm	<b><math>M_{Ed}</math></b>	56,47	kNm	<b><math>\omega</math></b>	3,007	%
$N_{Ed}=476,83$ kN	<b><math>N_{Ed}</math></b>	0,00	kN	<b><math>\rho</math></b>	0,136	%
	<b><math>\epsilon_{s1}</math></b>	10,0	‰	<b><math>\xi</math></b>	0,080	<b>x = 1,93 cm</b>
	<b><math>\epsilon_{c2}</math></b>	0,9	‰	<b><math>\zeta</math></b>	0,972	
	<b><math>M_{sds}</math></b>	56,47	kNm	<b><math>A_{s1}</math></b>	5,57	cm <sup>2</sup>
	<b><math>M_{Rd,lim}</math></b>	363,12	kNm	<b><math>A_{s2}</math></b>	0,00	cm <sup>2</sup>
	<b><math>\mu_{sd}</math></b>	0,025		<b><math>A_{s,min}</math></b>	5,10	cm <sup>2</sup>
	<b><math>A_{s1}=5,57</math> cm<sup>2</sup> → odabarno <b>6Φ16</b> (12,06cm<sup>2</sup>)</b>					

### 5.3.3.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot (113,75 + 44,63) + 1,5 \cdot 8,05 = 225,89 \text{ kN}$$

C 35/45	$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$
$V_{Ed}=225,89$ kN	$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{300}} = 1.81 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.81$
	$k_1 = 0.15$
	$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$
	$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$
	$\sum A_s = 6\phi 12 + 6\phi 12 = 12,06 + 12,06 = 24,12 \text{ cm}^2$
	$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{24,12}{170 \cdot 30} = 0.005$
	$V_{Rd,c} = [0.12 \cdot 1.81 \cdot (100 \cdot 0.005 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0] \cdot 300 \cdot 1700$
	$V_{Rd,c} = 287591,47 \text{ N} = 287,59 \text{ kN}$
	$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.81^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.504$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.$$

$$V_{Rd,c} \geq [0.420 + 0.15 \cdot 0] \cdot 1700 \cdot 300$$

$$V_{Rd,c} \geq 214200 \text{ N} = 214,2 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 225,89 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 1700 \cdot 300 \cdot 23.3 = 3065814 \text{ N} = 3065,8 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,max} = 225,89 / 3065,8 \approx 0.07 \Rightarrow V_{Ed} = 0.07 V_{Rd,max}$$

$$s_{\max} = \min \{0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm}\} =$$

$$\min \{0.75 \cdot 30 = 22,5; 30.0\} \Rightarrow s_{\max} = 22,5 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 20 \cdot 170}{6} = 0,57 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone:  $\emptyset 12/20$  ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{1,13}{20} \cdot (0.9 \cdot 30) \cdot 43.48 \cdot 6 = 397,97 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone  $\emptyset 12/20$  ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

### 5.3.4. Proračun armature za sprezanje

$$I_y = 0,1467 \text{ m}^4$$

$$S = A_{pl} \cdot y_{pl} = 0,51 \cdot 0,277 = 0,14127 \text{ m}^3$$

$$V_{sd,max} = 443,83 \text{ kN}$$

$$Q_{sd} = \frac{V_{sd,max} \cdot S}{I_u} = \frac{443,83 \cdot 0,14127}{0,1166} = 537,73 \text{ kN/m}$$

$$f_{yw,d} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{yw,d} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

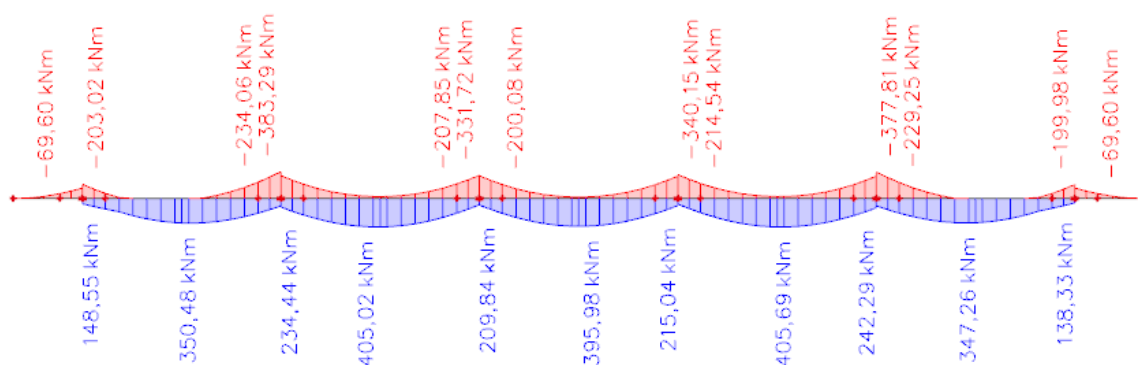
$$A_{s,req} = \frac{Q_{sd}}{f_{yw,d}} = \frac{537,73}{43,48} = 12,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: 15 vilica  $\phi 12 / 1\text{m}'$

### 5.3.5. Kontrola pukotina i progiba – GSU

#### 5.3.5.1. Kontrola pukotina

Mjerodavni momenti dobiveni su iz komebinacija za granično stanje uporabljivosti:



Slika 5.11 Momenti  $M_y$  (kNm) – GSU

$$M_k = 405,69 \text{ kNm}$$

Računska širina pukotine, prema EC2, može se prognozirati pomoću izraza:

$$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Vrijednost  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  određuje se prema izrazu:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

gdje je:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{54901}{(0,9 \cdot 74) \cdot 144,4} = 5,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{34} = 5,88$$

$k_t$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja (0,4 za dugotrajno opterećenje)

$f_{ct,eff}$  - efektivna vlačna čvrstoća ( $f_{ct,eff} = 3,2 \text{ Mpa}$ )

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{144,4}{300 \cdot 15} = 0,032$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\Phi}{\rho_{p,eff}}$$

Gdje je:

$c$  – zaštitni sloj armature

$k_1 = 0,8$  – rebrasta armatura

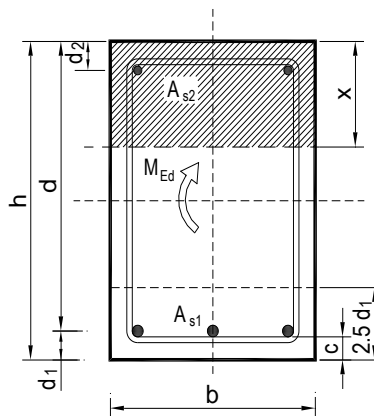
$k_2 = 0,5$  – savijanje

$k_3 = 3,4$

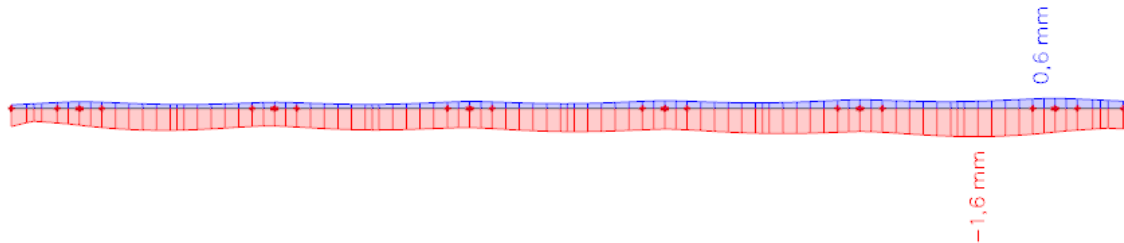
$k_4 = 0,425$

$\Phi$  – promjer najdeblje šipke

$b = 230,0 \text{ cm}$	$d = 74,0 \text{ cm}$	$h = 80,0 \text{ cm}$
$f_{ck} = 35,0 \text{ MN/m}^2$	$f_{ctm} = 3,21 \text{ MN/m}^2$	$w_g = 0,30 \text{ mm}$
$A_{s1} = 56,52 \text{ cm}^2$	$A_{s2} = 68,40 \text{ cm}^2$	$d_1 = d_2 = 6,0 \text{ cm}$
$E_s = 200,00 \text{ GN/m}^2$	$E_{cm} = 34,00 \text{ GN/m}^2$	$\alpha_e = E_g/E_{cm} = 5,88$
$M_{Ed} = 405,7 \text{ kNm}$	$k_t = 0,40$	
$\sigma_s = 103,11 \text{ MN/m}^2$		
$x = 12,46 \text{ cm}$	$\rho_{p,eff} = 0,0164$	
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,000086 <$	$0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 0,000309$	
$\emptyset = 18,0 \text{ mm}$	$c = 5,50 \text{ cm}$	
$k_1 = 0,8$	$k_2 = 0,50$	
$k_3 = 3,4$	$k_4 = 0,43$	
$s_{r,max} = 373,78 \text{ mm}$		
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,116 \text{ mm}$	$<$	$w_g$



**- Pukotine zadovoljavaju!**

5.3.5.2. Kontrola progiba


Slika 5.12 Prikaz progiba Uz (mm) – GSU

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{700}{250} = 2,8 \text{ cm}$$

 Beton: C 35/45;  $f_{ck}=40.0 \text{ MPa}$ 

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 43 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22 \cdot \left[ \frac{f_{cm}}{10} \right]^{0,3} = 22 \cdot \left[ \frac{43}{10} \right]^{0,3} \approx 34000 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot (35)^{\frac{2}{3}} = 3,2 \text{ MPa}$$

 Čelik: B500B;  $E_s=200 \text{ GPa}$ 

$$\alpha_{el} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{34} = 5,88$$

$$\delta_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

Red	Tip opterećenja	Dijagram momenata savijanja	Koeficijent $k$ iz izraza (5.131)
7			$k = \frac{5}{48} (1 - 0,1\beta)$ $\beta =  M_A + M_B  /  M_f $



$$\beta = \frac{|M_A + M_B|}{|M_F|} = \frac{|340,15 + 377,81|}{|405,69|} = 1,77$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot \beta) = 0,104 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,77) = 0,09$$

$$A_{s1} = 20\Phi 18 = 50,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = 18\Phi 16 = 36 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_I &= \frac{bh^3}{12} + \alpha_{el} \cdot \left[ A_{s1} \cdot \left( \frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left( \frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right] \\ &= \frac{230 \cdot 80^3}{12} + 5,88 \cdot \left[ 50,8 \cdot \left( \frac{80}{2} - 6 \right)^2 + 36 \cdot \left( \frac{80}{2} - 6 \right)^2 \right] \\ &= 10403337,24 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 405,69 \text{ kNm} = 405,69 \text{ kNcm}$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 35,0 \text{ GPa} = 3500 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{40569}{3500 \cdot 10403337,24} = 0,00000114 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{s1}}{b} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{5,88 \cdot 50,8}{230} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 230 \cdot 80}{5,88 \cdot 50,8}} \right) = 12,5 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{II} &= \frac{bx^3}{12} + bx \cdot \left( \frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{el} \cdot [A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (d - x)^2] \\ &= \frac{230 \cdot 12,5^3}{12} + 230 \cdot 12,5 \cdot \left( \frac{12,5}{2} \right)^2 + 5,88 \cdot [50,8 \cdot (74 - 12,5)^2 + 36 \cdot (74 - 12,5)^2] \\ &= 2080139,47 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$





$$\sigma_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{40569}{\left(74 - \frac{12,5}{3}\right) \cdot 50,8} = 11,44 \frac{kN}{cm^2} = 114,4 MPa$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_{s1}}{E_s} = \frac{114,4}{200000} = 0,0006$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d \cdot y_{IIg}} = \frac{0,0006}{74 \cdot 12,5} = 0,0000007 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{Z \cdot A_s}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,32 \cdot \frac{230 \cdot 80^2}{6} = 78506 kNcm = 785,06 kNm$$

$M_{cr} > M_{Ed} \rightarrow$  uzimamo da je koeficijent raspodjele  $\zeta=0$ , jer je nosač u elastičnom stanju.

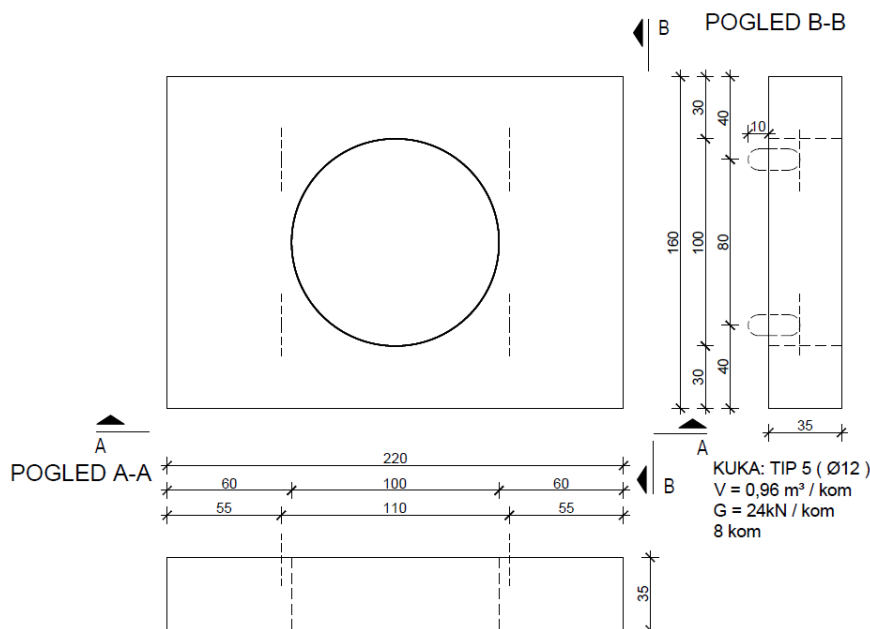
$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} + (1 - \zeta) \frac{1}{r_I} = 0 \cdot \frac{1}{0,0000007} + (1 - 0) \frac{1}{0,00000114} = 0,00000114 \frac{1}{cm}$$

$$\delta_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,09 \cdot 700^2 \cdot 0,00000114 = 0,05 cm < \delta_{lim} = 2,92cm$$

**- Progibi zadovoljavaju!**

## 5.4. Naglavnice pilota

### 5.4.1. - Dilatacija B



Slika 5.13 Naglavnica pilota – Dilatacija B

#### 5.4.1.1. Dimenzioniranje na moment savijanja

Vlastita težina naglavnice:

$$g_1 = 24 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 12 \text{ kN}$$

Opterećenje od nosača:

$$g_1 = A_n \cdot \gamma_b \cdot L = 1,765 \cdot 25 \cdot 7,5 = 330,93 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 165,47 \text{ kN}$$

Opterećenje od monolitizacije:

$$g_p = A_p \cdot \gamma_b \cdot L = 0,72 \cdot 25 \cdot 7,5 = 135 \text{ kN}$$

$$g_1/2 = 67,5 \text{ kN}$$

Promjenjivo opterećenje od radnika i opreme:

$$q = q \cdot \dot{s}_n \cdot L = 1 \cdot 3 \cdot 7,5 = 22,5 \text{ kN}$$

$$q/2 = 11,75 \text{ kN}$$



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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{350}} = 1.76 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.81$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 15\phi 14 + 15\phi 14 = 23,1 + 23,1 = 46,2 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{46,2}{220 \cdot 35} = 0.006$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.76 \cdot (100 \cdot 0.006 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0 \right] \cdot 350 \cdot 2200$$

$$V_{Rd,c} = 448667,29 \text{ N} = 4448,67 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$  mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.71^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.459$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[ 0.459 + 0.15 \cdot 0 \right] \cdot 2200 \cdot 350$$

$$V_{Rd,c} \geq 353430 \text{ N} = 353,43 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 348,43 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 2200 \cdot 350 \cdot 23.3 = 4628778 \text{ N} = 4628,78 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,max} = 348,43 / 4628,78 \approx 0.08 \Rightarrow V_{Ed} = 0.08 V_{Rd,max}$$

$$s_{\max} = \min \{ 0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm} \} =$$

$$\min \{ 0.75 \cdot 35 = 22,5; 30.0 \} \Rightarrow s_{\max} = 26,25 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 15 \cdot 220}{2} = 1,65 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø16/15** ( $A_{sw}=2,01 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{2,01}{15} \cdot (0.9 \cdot 35) \cdot 43.48 \cdot 2 = 367,06 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø16/15** ( $A_{sw}=2,01 \text{ cm}^2$ )

**- Armatura dilatacije B vrijedi i za dilatacije C i D**

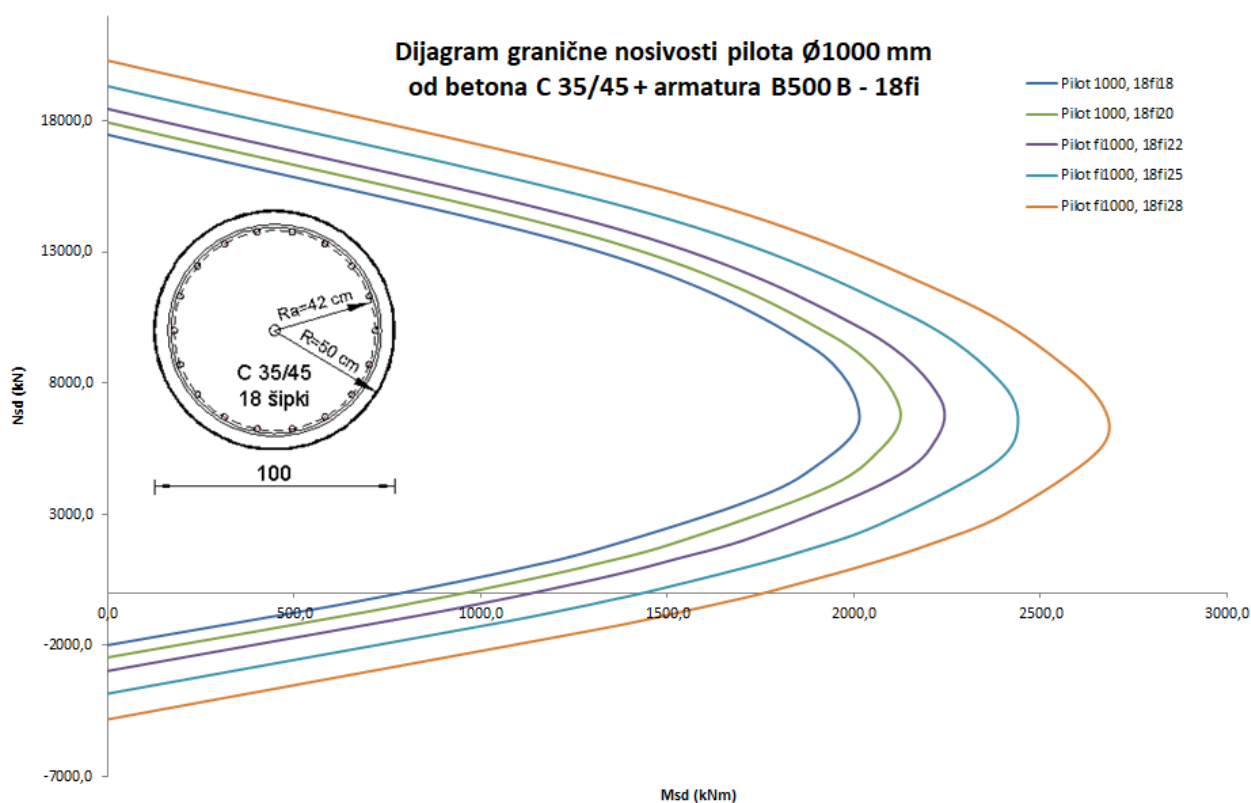
## 6. DIMENZIONIRANJE PILOTA

Dimenzioniranje pilota na djelovanje momenta savijanja i uzdužne sile izvršeno je pomoću numeričkog programa „Aspalathos Section Design“ u kojem su kreirani dijagrami nosivosti.

Kreiranje dijagrama nosivosti, ustvari, predstavlja zadavanje različitih odnosa momenta i uzdužne sile, te izračunavanje granične nosivosti za svaki zadani odnos.

Kao rezultat dobiven je sljedeći dijagram:

Dijagram 6.1 Dijagram granične nosivosti pilota  $D=1000\text{ mm}$ , C 35/45, B500B



## 6.1. DILATACIJA B

### 6.1.1. Dimenzioniranje na djelovanje momenta savijanja i uzdužne sile

Uobičajena kombinacija 1 ( $N_{maks}$ ;  $M_{prpadno}$ ):

$$N_{Ed}^1 = -789,88 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = 568,57 \text{ kNm}$$

Uvećanje reznih sila uslijed efekata drugog reda :

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} \quad [MPa]; f_{ck} [MPa]$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{35 + 8} = 33282,28 \text{ Mpa}$$

$$M_{sd,s} = \psi \cdot M_{sd};$$

$$C_m = 1,0; \gamma = 1,5$$

$$E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{332282,28}{1 + 2} = 11094,09 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1^4}{64} = 0,0049 \text{ m}^4$$

$$l_i = 0,7 \cdot h_{pilota} = 0,7 \cdot 14 = 9,8 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\phi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{10646,26 \cdot 1000 \cdot 0,0049}{9,8^2} = 5360,93 \text{ kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{sd}}{N_e}}$$



$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 1054,68}{5360,33}} = 1,41$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,41 \cdot 568,57 = 801,68 \text{ kNm}$$

-konačne rezne sile za provjeru u dijagramu interakcije (nosivosti):

	Kombinacija 1
$N_{Ed}$	-1054,68
$M_{Ed}$	801,68

Izvanredna kombinacija 2 ( $N_{\text{pripadno}}$ ,  $M_{\text{maks}}$ ):

$$N_{Ed}^2 = -776,4 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^2 = 1730,46 \text{ kNm}$$

Uvećanje reznih sila uslijed efekata drugog reda :

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} \quad [MPa]; f_{ck} \quad [MPa]$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{35 + 8} = 33282,28 \text{ Mpa}$$

$$M_{sd,s} = \psi \cdot M_{sd};$$

$$C_m = 1,0; \gamma = 1,5$$

$$E_{\phi} = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{332282,28}{1 + 2} = 11094,09 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1^4}{64} = 0,0049 \text{ m}^4$$





$$l_i = 0,7 \cdot h_{pilota} = 0,7 \cdot 9,8 = 6,9m$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\phi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{10646,26 \cdot 1000 \cdot 0,0049}{6,9^2} = 10814,21 \text{ kN}$$

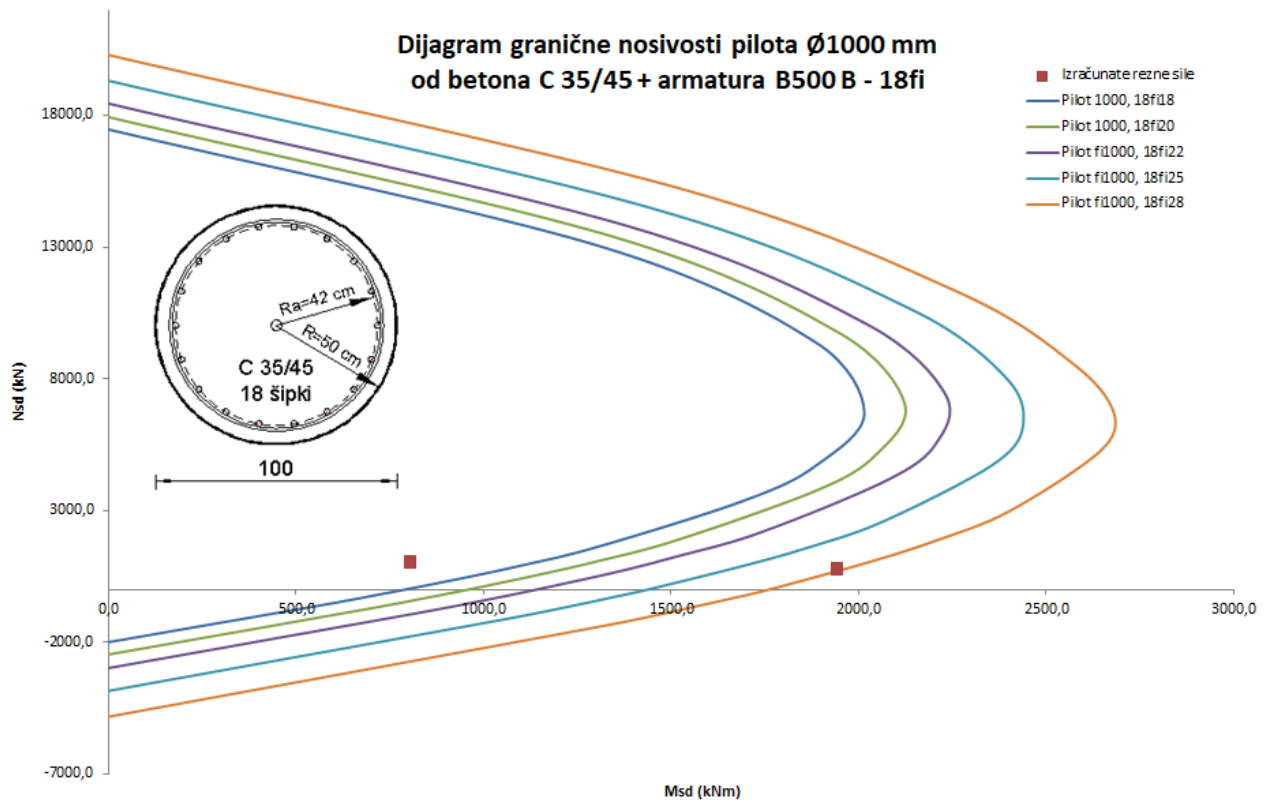
$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{sd}}{N_e}}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 776,14}{10814,21}} = 1,121$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,121 \cdot 1730,46 = 1939,23 \text{ kNm}$$

-konačne rezne sile za provjeru u dijagramu interakcije (nosivosti):

	Kombinacija 2
$N_{Ed}$	-776,4
$M_{Ed}$	1939,23



Armatura očitana iz dijagrama interakcije  $\rightarrow 18\varnothing 28$

## 6.1.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu

C 35/45

 $V_{Ed} = 734,78 \text{ kN}$ 
 $N_{Ed} = 776,96$ 

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{880}} = 1.48 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.48$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.13$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 18 \phi 28 = 110,88 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{110,88}{44^2 \cdot \pi} = 0.018$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.17 \cdot 1.48 \cdot (100 \cdot 0.018 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.13 \right] \cdot 440^2 \cdot \pi$$

$$V_{Rd,c} = 620760,24 \text{ N} = 620,76 \text{ kN}$$

 $V_{Rd,c}$  mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.48^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.373$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.13$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[ 0.373 + 0.15 \cdot 0.13 \right] \cdot 440^2 \cdot \pi$$

$$V_{Rd,c} \geq 238723,34 \text{ N} = 237,72 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 734,78 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 440^2 \cdot \pi \cdot 23.3 = 3656207,65 \text{ N} = 3656,21 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Ed, \max} / V_{Rd, \max} = 734,78 / 3656,21 \approx 0.20 \Rightarrow V_{Ed} = 0.20 V_{Rd, \max}$$

$$s_{\max} = \min \{0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm}\} = \min \{0.75 \cdot 88 = 66; 30.0\} \Rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw, \min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 30}{2} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø12/30** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$V_{Rd, s} = \frac{1,13}{10} \cdot (0.9 \cdot 88) \cdot 43.48 \cdot 2 = 778,26 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø12/10** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

### 6.1.3. Kontrola tlačnih napreznja u betonu

$$\sigma_c = \frac{N_{sd}}{A} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$N_{sd} = 1054,68 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = 1054,68 = 0,13 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,45 \cdot 3,5 = 1,58 \text{ kN/cm}^2$$

## 6.2. DILATACIJA C

### 6.2.1. Dimenzioniranje na djelovanje momenta savijanja i uzdužne sile

$$N_{Ed}^1 = -896,49 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = 546,88 \text{ kNm}$$

Uvećanje reznih sila uslijed efekata drugog reda :

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} \quad [MPa]; f_{ck} [MPa]$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{35 + 8} = 33282,28 \text{ Mpa}$$

$$M_{sd,s} = \psi \cdot M_{sd};$$

$$C_m = 1,0; \gamma = 1,5$$

$$E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{332282,28}{1 + 2} = 11094,09 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1^4}{64} = 0,0049 \text{ m}^4$$

$$l_i = 0,7 \cdot h_{pilota} = 0,7 \cdot 14,6 = 10,22 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\phi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{10646,26 \cdot 1000 \cdot 0,0049}{10,22^2} = 4929,37 \text{ kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{sd}}{N_e}}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 896,49}{4292,37}} = 1,38$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,38 \cdot 546,88 = 754,69 \text{ kNm}$$

-konačne rezne sile za provjeru u dijagramu interakcije (nosivosti):

	Kombinacija 1
$N_{Ed}$	-896,49
$M_{Ed}$	754,69

Izvanredna kombinacija 2 ( $N_{prpadno}; M_{maks}$ ):

$$N_{Ed}^2 = -556,64 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^2 = 1397,65 \text{ kNm}$$

Uvećanje reznih sila uslijed efekata drugog reda :

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} \text{ [MPa]}; f_{ck} \text{ [MPa]}$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{35 + 8} = 33282,28 \text{ Mpa}$$

$$M_{sd,s} = \psi \cdot M_{sd};$$

$$C_m = 1,0; \gamma = 1,5$$

$$E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{332282,28}{1 + 2} = 11094,09 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1^4}{64} = 0,0049 \text{ m}^4$$

$$l_i = 0,7 \cdot h_{pilota} = 0,7 \cdot 14,8 = 10,36 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\phi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{10646,26 \cdot 1000 \cdot 0,0049}{10,36^2} = 4797,04 \text{ kN}$$

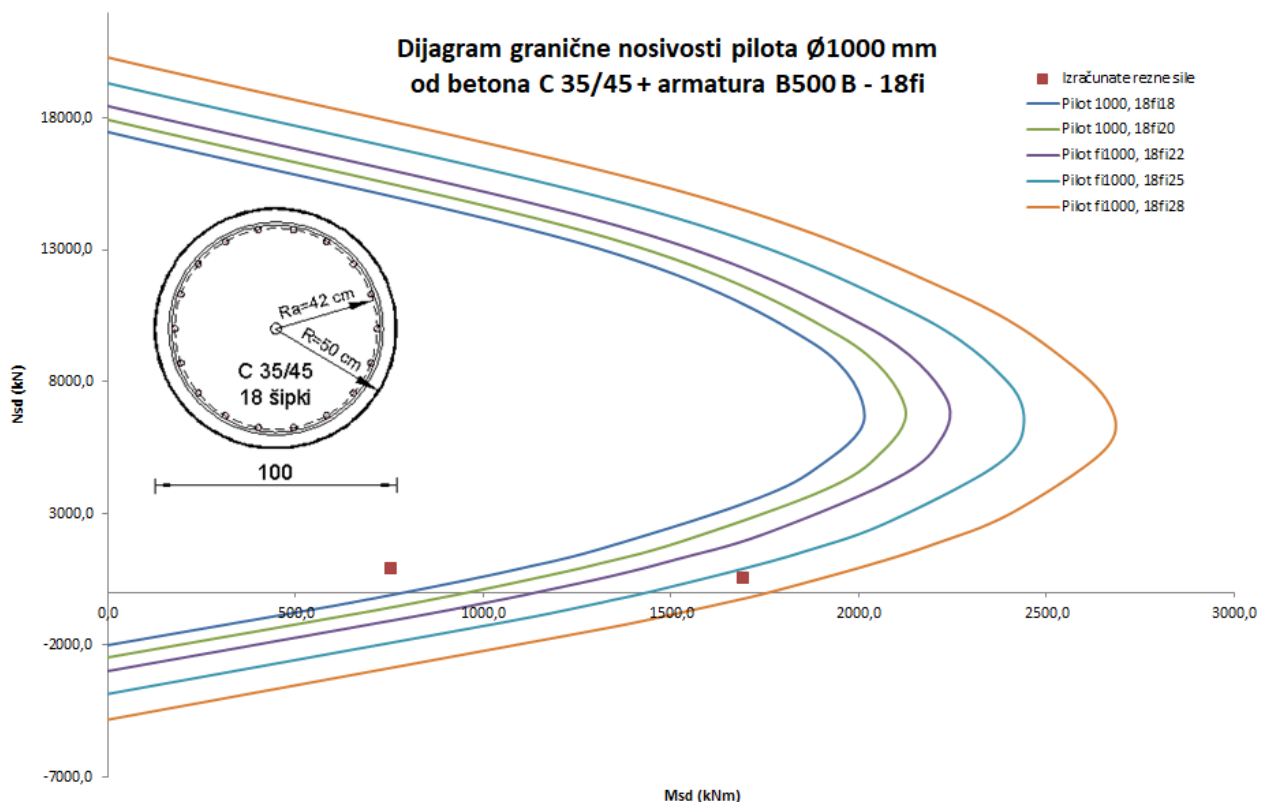
$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{sd}}{N_e}}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 556,44}{4797,04}} = 1,21$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,21 \cdot 1397,65 = 1692,06 \text{ kNm}$$

-konačne rezne sile za provjeru u dijagramu interakcije (nosivosti):

	Kombinacija 2
$N_{Ed}$	-556,44
$M_{Ed}$	1692,06



Armatura očitana iz dijagrama interakcije → 18Φ28

**6.2.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu**

C 35/45

 $V_{Ed} = 568,85 \text{ kN}$ 
 $N_{Ed} = 556,64$ 

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{880}} = 1.48 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.48$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.09$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 18 \phi 28 = 110,88 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{110,88}{44^2 \cdot \pi} = 0.018$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.48 \cdot (100 \cdot 0.018 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.09 \right] \cdot 440^2 \cdot \pi$$

$$V_{Rd,c} = 438022,70 \text{ N} = 438,02 \text{ kN}$$

 $V_{Rd,c}$  mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.48^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.373$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.09$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[ 0.373 + 0.15 \cdot 0.09 \right] \cdot 440^2 \cdot \pi$$

$$V_{Rd,c} \geq 235041,07 \text{ N} = 235,04 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 568,85 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 440^2 \cdot \pi \cdot 23.3 = 3656207,65 \text{ N} = 3656,21 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$



$$V_{Ed, \max} / V_{Rd, \max} = 568,85 / 3656,21 \approx 0.16 \Rightarrow V_{Ed} = 0.16 V_{Rd, \max}$$

$$s_{\max} = \min \{0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm}\} =$$

$$\min \{0.75 \cdot 88 = 66; 30.0\} \Rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw, \min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 30}{2} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø12/30** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$V_{Rd, s} = \frac{1,13}{10} \cdot (0.9 \cdot 88) \cdot 43.48 \cdot 2 = 778,26 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø12/10** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

### 6.2.3. Kontrola tlačnih napreznja u betonu

$$\sigma_c = \frac{N_{sd}}{A} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$N_{sd} = 896,49 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = \frac{896,49}{50^2 \cdot \pi} = 0,11 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,45 \cdot 3,5 = 1,58 \text{ kN/cm}^2$$

### 6.3. DILATACIJA D

#### 6.3.1. Dimenzioniranje na djelovanje momenta savijanja i uzdužne sile

Uobičajena kombinacija 1 ( $N_{maks}; M_{pripadno}$ ):

$$N_{Ed}^1 = -896,58 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = 632,15 \text{ kNm}$$

Uvećanje reznih sila uslijed efekata drugog reda :

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} \quad [MPa]; f_{ck} [MPa]$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{35 + 8} = 33282,28 \text{ Mpa}$$

$$M_{sd,s} = \psi \cdot M_{sd};$$

$$C_m = 1,0; \gamma = 1,5$$

$$E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{332282,28}{1 + 2} = 11094,09 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1^4}{64} = 0,0049 \text{ m}^4$$

$$l_i = 0,7 \cdot h_{pilota} = 0,7 \cdot 17,4 = 12,18 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\phi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{10646,26 \cdot 1000 \cdot 0,0049}{12,18^2} = 3470,55 \text{ kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{sd}}{N_e}}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 896,58}{3470,55}} = 1,63$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,63 \cdot 632,15 = 1032,1 \text{ kNm}$$

-konačne rezne sile za provjeru u dijagramu interakcije (nosivosti):

	Kombinacija 1
$N_{Ed}$	-896,58
$M_{Ed}$	1032,1

Izvanredna kombinacija 2 ( $N_{\text{pripadno}}$ ;  $M_{\text{maks}}$ ):

$$N_{Ed}^1 = -629,96 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = 1164,36 \text{ kNm}$$

Uvećanje reznih sila uslijed efekata drugog reda :

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} \quad [MPa]; f_{ck} [MPa]$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{35 + 8} = 33282,28 \text{ Mpa}$$

$$M_{sd,s} = \psi \cdot M_{sd};$$

$$C_m = 1,0; \gamma = 1,5$$

$$E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{33282,28}{1 + 2} = 11094,09 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1^4}{64} = 0,0049 \text{ m}^4$$

$$l_i = 0,7 \cdot h_{\text{pilota}} = 0,7 \cdot 19 = 13,3 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\phi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{10646,26 \cdot 1000 \cdot 0,0049}{13,3^2} = 2910,65 \text{ kN}$$

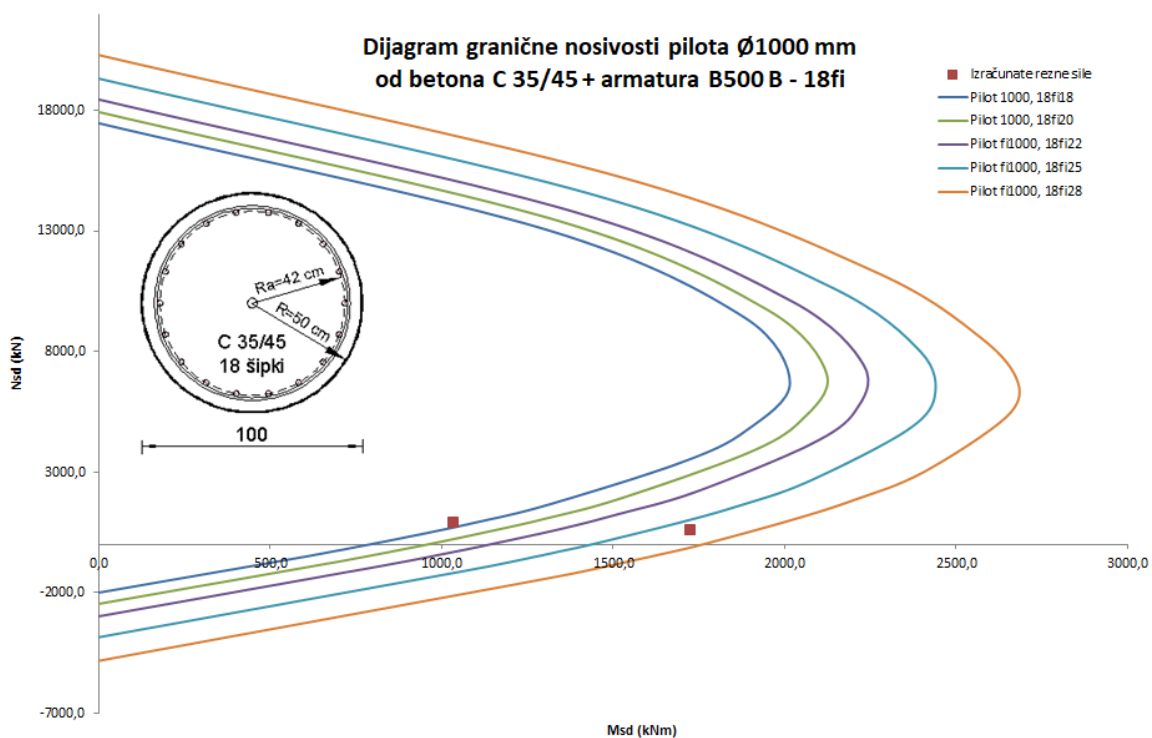
$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{sd}}{N_e}}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 629,96}{2910,65}} = 1,48$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,48 \cdot 1164,36 = 1724,08 \text{ kNm}$$

-konačne rezne sile za provjeru u dijagramu interakcije (nosivosti):

	Kombinacija 1
$N_{Ed}$	-629,96
$M_{Ed}$	1724,08



Armatura očitana iz dijagrama interakcije  $\rightarrow 18\Phi 28$

## 6.3.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu

C 35/45

 $V_{Ed} = 427,57 \text{ kN}$ 
 $N_{Ed} = 629,57 \text{ kN}$ 

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{880}} = 1.48 \leq 2.0 \Rightarrow k = 1.48$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.1$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 18\phi 28 = 110,88 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{110,88}{44^2 \cdot \pi} = 0.018$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.48 \cdot (100 \cdot 0.018 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.1 \right] \cdot 440^2 \cdot \pi$$

$$V_{Rd,c} = 438935,02 \text{ N} = 438,94 \text{ kN}$$

 $V_{Rd,c}$  mora biti veća od:

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

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.48^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.373$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.09$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[ 0.373 + 0.15 \cdot 0.1 \right] \cdot 440^2 \cdot \pi$$

$$V_{Rd,c} \geq 235986 \text{ N} = 235,39 \text{ kN}$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,max} = V_{Ed} = 427,57 \text{ kN}$$

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

$$v = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[ 1.0 - \frac{35}{250} \right] = 0.516$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 440^2 \cdot \pi \cdot 23.3 = 3656207,65 \text{ N} = 3656,21 \text{ kN} > V_{Ed,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Ed, \max} / V_{Rd, \max} = 427,57 / 3656,21 \approx 0.12 \Rightarrow V_{Ed} = 0.12 V_{Rd, \max}$$

$$s_{\max} = \min \{0.75 \cdot d; 30.0 \text{ cm}\} = \min \{0.75 \cdot 88 = 66; 30.0\} \Rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

$$\rho_{\min} = 0.001$$

Potrebna računaska poprečna armatura!

$$A_{sw, \min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 30}{2} = 0,45 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø12/30** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B 500B \Rightarrow f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8 \text{ MPa} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$V_{Rd, s} = \frac{1,13}{10} \cdot (0.9 \cdot 88) \cdot 43.48 \cdot 2 = 778,26 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Postaviti spone **Ø12/10** ( $A_{sw}=1,13 \text{ cm}^2$ )

### 6.3.3. Kontrola tlačnih napreznja u betonu

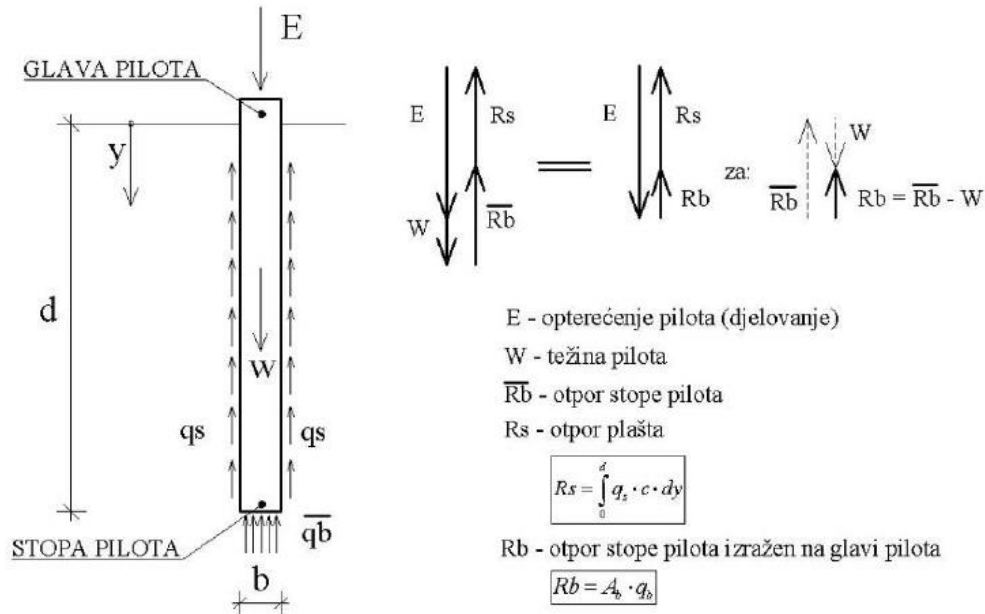
$$\sigma_c = \frac{N_{sd}}{A} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$N_{sd} = 896,58 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = 896,58 = 0,11 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,45 \cdot 3,5 = 1,58 \text{ kN/cm}^2$$

## 6.4. PRORAČUN NOSIVOSTI PILOTA

### PRORAČUN PROJEKTNE NOSIVOSTI PILOTA ZA OSNO OPTEREĆENJE, PREMA HRN EN 1997-EUROCODE 7



Shematski prikaz proračuna vertikalne nosivosti pilota

Shematski prikaz mehanizma sloma stijenske mase ispod baze pilota i preporuka izračuna nosivosti baze primjenom Hoek-Brownovog kriterija čvrstoće

Posebnost u Eurokodu je proračun karakteristične vrijednosti otpornosti tla:  $R_{ck} = R_{bk} + R_{sk}$

$$R_{ck} = \min \left[ \frac{(R_{cm})_{srednje}}{\xi_i}; \frac{(R_{cm})_{\min}}{\xi_j} \right]$$

$R_{cm}$  predstavlja mjerenu ili proračunatu otpornost tla

S obzirom na obim provedenih istražnih radova usvaja se  $\xi_3 = \xi_4 = 1.60$ .

#### 6.4.1. Nosivost pilota po plaštu, proračun prema projektom pristupu 2 (A1+M1+R2)

Ovdje će se odrediti nosivost pilota po plaštu na dijelu ukleštenja u stijenu – vapnenci, sa parametrima za povoljnu stijensku masu prema prethodnim proračunima. Polazi se od pretpostavke da pilot nosi po plaštu a nosivost na vrh se isključuje.

Jednoosna tlačna čvrstoća vapnenca u kojem će se izvesti ukleštenje je usvojena u iznosu:

$q_{uc,k} = 115$  MPa (karak. vrijednost);  $q_{uc,d} = 115/1 = 115$  MPa (prema PP2). Karakteristična tlačna čvrstoća betona klase C35/45 iznosi  $f_{ck} = 35$  MPa.

Specifično opterećenje po plaštu za jednoosnu čvrstoću  $q_{uc} = 115$  MPa, prema Horvath i Kenney, 1979) iznosi (za  $q_u$  se uvrštava manja vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće određene na stijeni i na betonu, za čvrste stijene mjerodavna je čvrstoća betona):

$$q_{us} = 2,5\sqrt{q_u} \text{ (sve u psi)} = 2,5\sqrt{16679} \approx 323 \text{ psi} = \text{kPa} = 2227.00 \text{ kN/m}^2 = 0,2227 \text{ kN/cm}^2. \text{ – stijena}$$

$$q_{us} = 2,5\sqrt{q_u} \text{ (sve u psi)} = 2,5\sqrt{5076} \approx 178 \text{ psi} = \text{kPa} = 1227 \text{ kN/m}^2 = 0,1227 \text{ kN/cm}^2. \text{ – beton}$$

$$1 \text{ psi} = 6894,757 \text{ N/m}^2$$

$$Q_{us} = q_{us} \cdot O_{ef} = R_{cm},$$

Prema HRN EN 1997-1:2012/NA : 2012, tablica L.2 (HR):

Tablica L.2 (HR) – Vrijednosti otpornosti na plaštu pilota  $q_u$ , u ovisnosti o indeksu kvalitete jezgre stijenske mase

Otpornost na plaštu $q_u$ , [MPa]	Značajka stijenske mase
$0,1 \times (q_u)^{0,5}$	Izrazito meka stijena RQD << 25 %
$0,2 \times (q_u)^{0,5}$	Meka stijena RQD < 25 %
$0,45 \times (q_u)^{0,5}$	Srednje čvrsta stijena RQD = 25 – 75 %
$0,7 \times (q_u)^{0,5}$	Jako čvrsta stijena RQD > 75 %

RQD – indeks kvalitete jezgre stijenske mase (en: rock quality designation)

$$q_{us} = 0,45\sqrt{q_u} = 0,45\sqrt{115} = 4.826 \text{ MPa} = 4826 \text{ kN/m}^2 \text{ (uvrštena jednoosna tlačna čvrstoća stijene (ispitano na jezgri))}$$

Za daljnji proračun prema PP2 se usvaja  $q_{us} = 1227 \text{ kN/m}^2$ .

Parcijalni koeficijenti za otpornost bušenih pilota  $\gamma_s$  (plašt, tlačni pilot) =  $\gamma_s, t$  (plašt, vlačni pilot) = 1.20

Koeficijent modela:

- 1,5 sve pilote, PP2
- 1,1 za pilote u krupnozrnatom tlu, PP3
- 1,3 za pilote u sitnozrnatom tlu, PP3.



$E_{ed} = 1054,68 \text{ kN}$

Dubina uklještenja	Oplošje	$q_{us}$	$Q_{us} = O \cdot q_{us}$	$\xi$	$R_{ck}$	$\gamma_s$	koeficijent modela	$R_{Ed}$
m	$m^2$	$kN/m^2$	kN		kN			kN
1	3.36	1227	4124.57	1.6	2577.85	1.2	1.5	1432.141
1.5	5.04	1227	6186.85	1.6	3866.78	1.2	1.5	2148.211
2	6.72	1227	8249.13	1.6	5155.71	1.2	1.5	2864.282
2.5	8.40	1227	10311.41	1.6	6444.63	1.2	1.5	3580.352
3	10.08	1227	12373.70	1.6	7733.56	1.2	1.5	4296.422
3.5	11.77	1227	14435.98	1.6	9022.49	1.2	1.5	5012.493
4	13.45	1227	16498.26	1.6	10311.41	1.2	1.5	5728.563
4.5	15.13	1227	18560.55	1.6	11600.34	1.2	1.5	6444.634
5	16.81	1227	20622.83	1.6	12889.27	1.2	1.5	7160.704

$1054,68 < 5728,56$

Projektna vrijednost nosivosti pilota veća je od vertikalnog opterećenja:  $E_{ed} < R_{Ed}$

#### 6.4.2. Nosivost pilota po bazi

##### Analički izraz za otpornost pilota u stijenskoj masi HRN EN 1997-1:2012/NA : 2012,L.2 (HR) – Dodatak L

Piloti promjera bušenja  $B = 1.07 \text{ m}$

$$q_b = 2 \cdot q_u \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)^2$$

$\phi = 54,36^\circ$  - računski kut unutarnjeg trenja za stijensku masu

$q_u = \sigma_c = 0,434 \text{ MPa}$  - jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase

$$q_b = 2 \cdot 0,434 \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{54,36}{2}\right)^2 = 8,40 \text{ MPa}$$

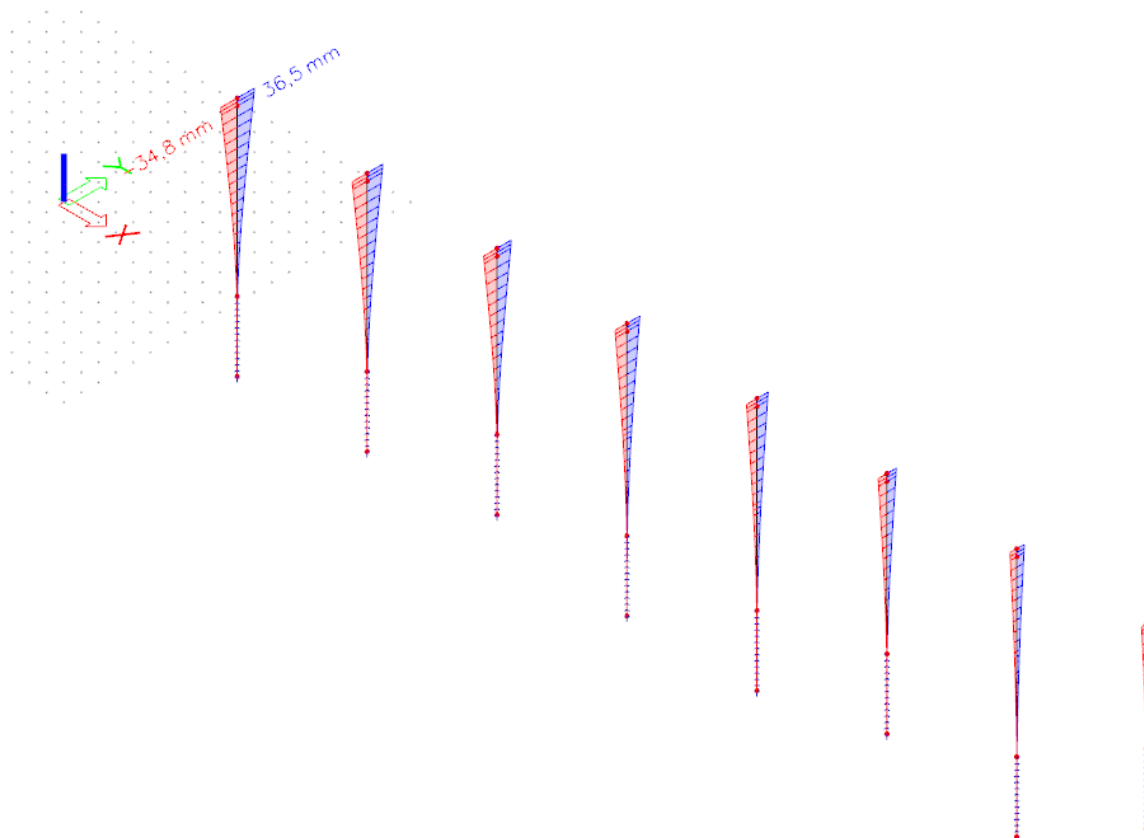
$A = 0,8992 \text{ m}^2$

$$Q_{ub} = q_b \cdot A = 8400 \cdot 0,8992 = 7553,54 \text{ kN}$$

$$R_{cd} = \frac{Q_{ub}}{1,2 \cdot 1,6} = \frac{3934,13}{1,2 \cdot 1,6} = 3934,13 \text{ kN}$$

## 6.5. KONTORLA POMAKA PILOTA – GSU

### 6.5.1. Dilatacija B



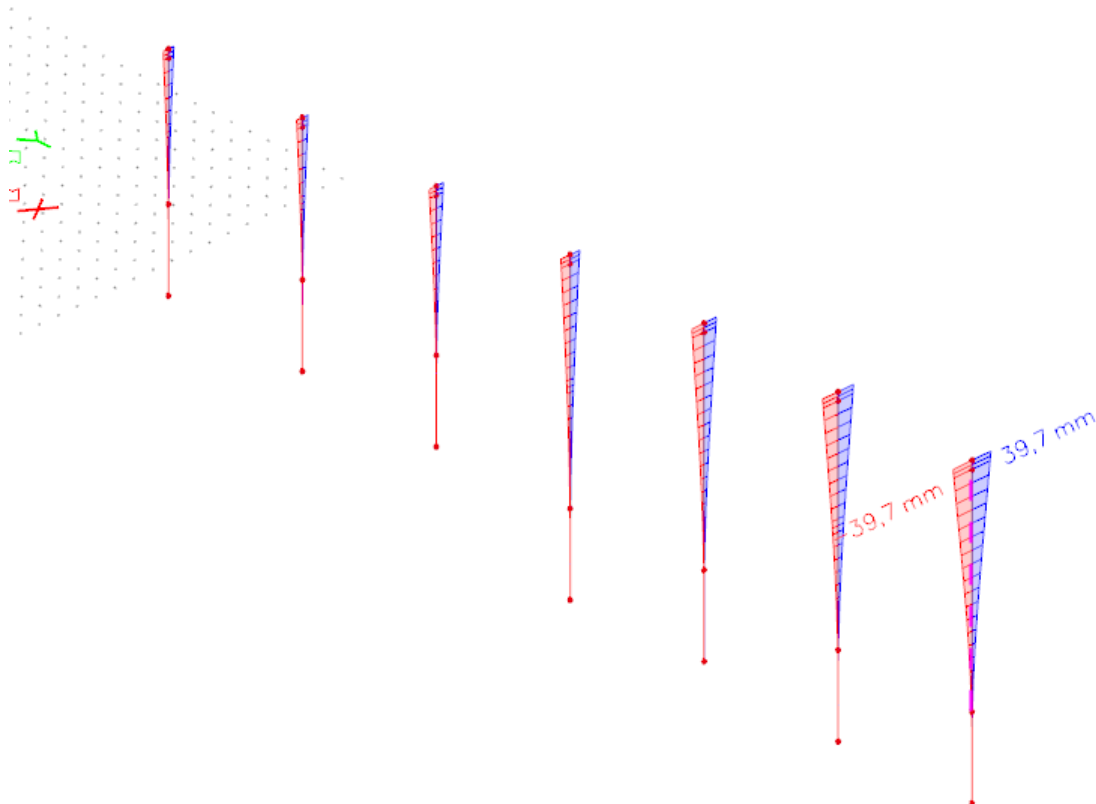
Slika 6.1 Prikaz pomaka pilota  $U_y$  (mm) – GSU

$$\delta_{lim} = \frac{h}{150} = \frac{13,5}{150} = 9 \text{ cm}$$

$$3,65 < \delta_{lim}$$

**- Pomaci zadovoljavaju!**

## 6.5.2. Dilatacija C

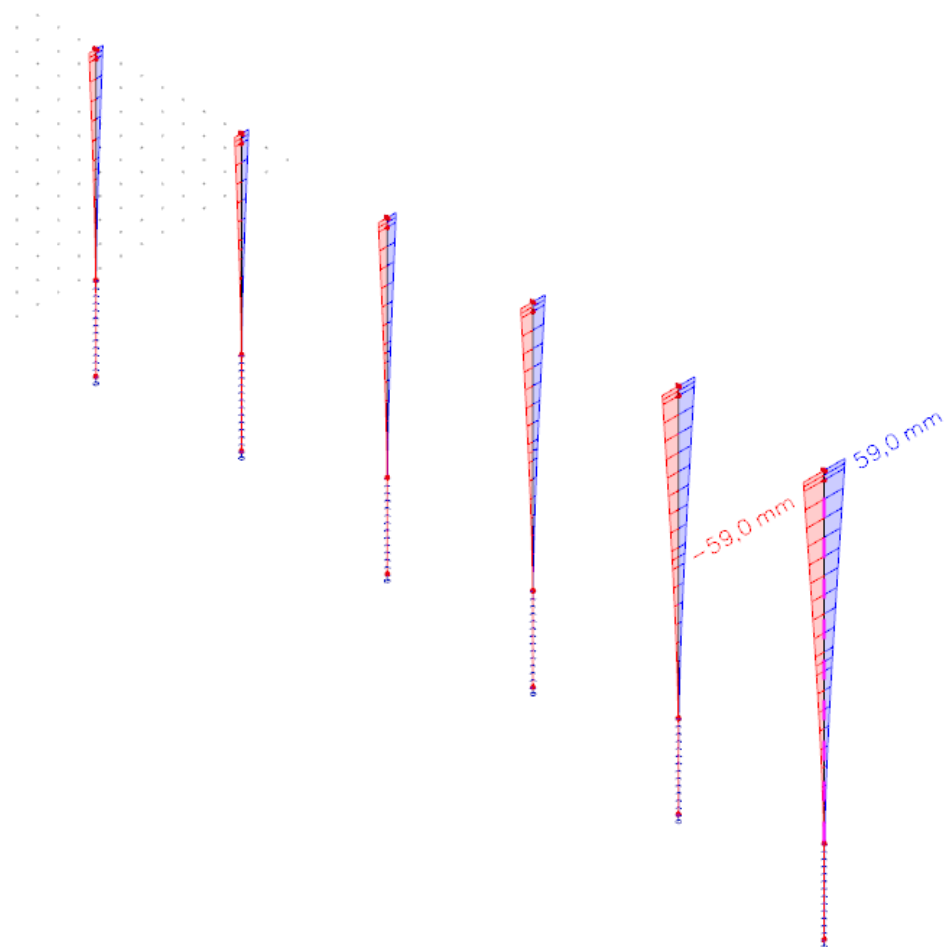

 Slika 6.2 Prikaz pomaka pilota  $U_y$  (mm) – GSU

$$\delta_{lim} = \frac{h}{150} = \frac{14,5}{150} = 9,67 \text{ cm}$$

$$3,97 < \delta_{lim}$$

- Pomaci zadovoljavaju!

## 6.5.3. Dilatacija D


 Slika 6.3 Prikaz pomaka pilota  $U_y$  (mm) – GSU

$$\delta_{lim} = \frac{h}{150} = \frac{19}{150} = 12,67 \text{ cm}$$

$$5,9 < \delta_{lim}$$

**- Pomaci zadovoljavaju!**

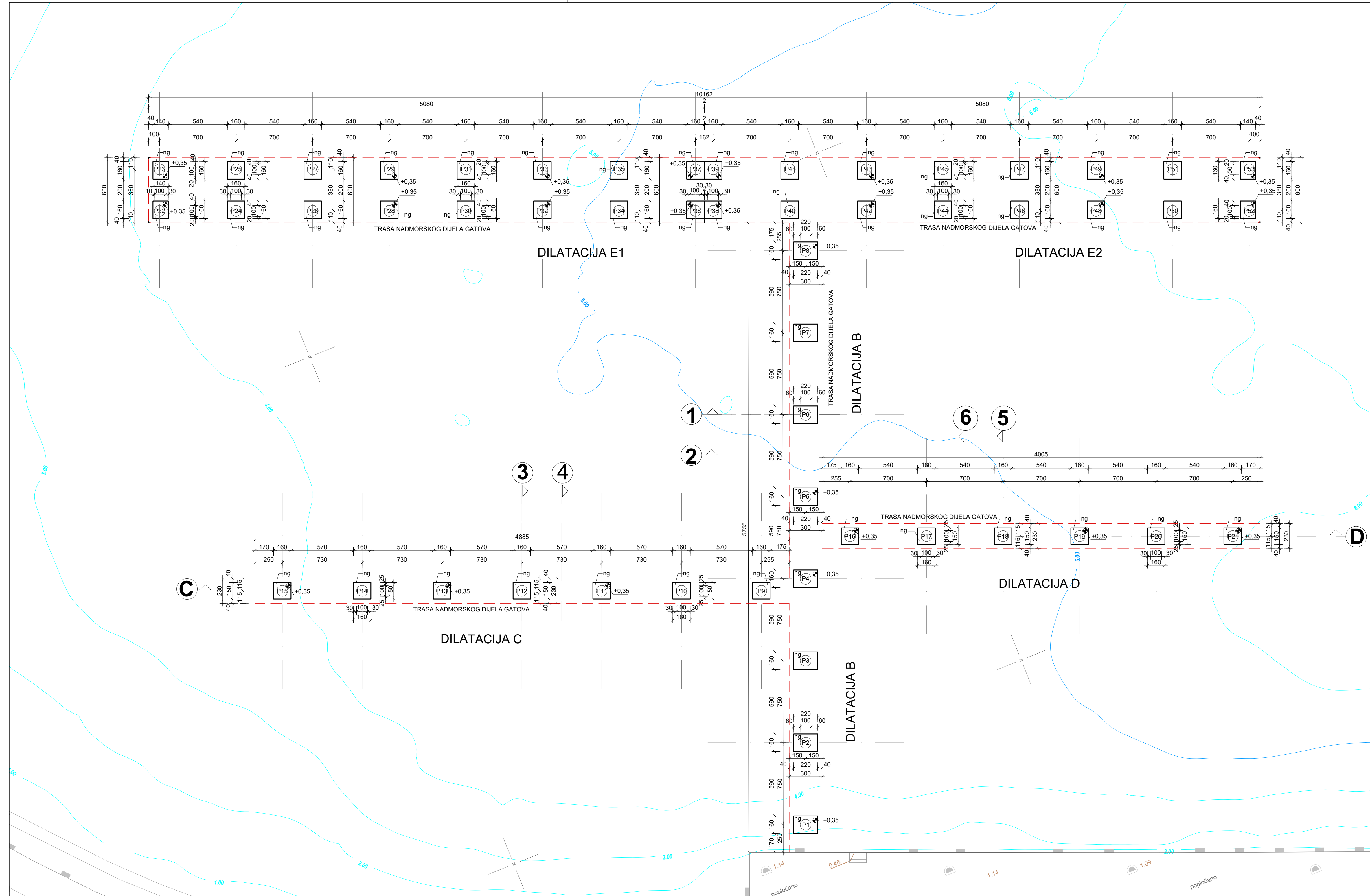


---


## 7. GRAFIČKI PRILOZI

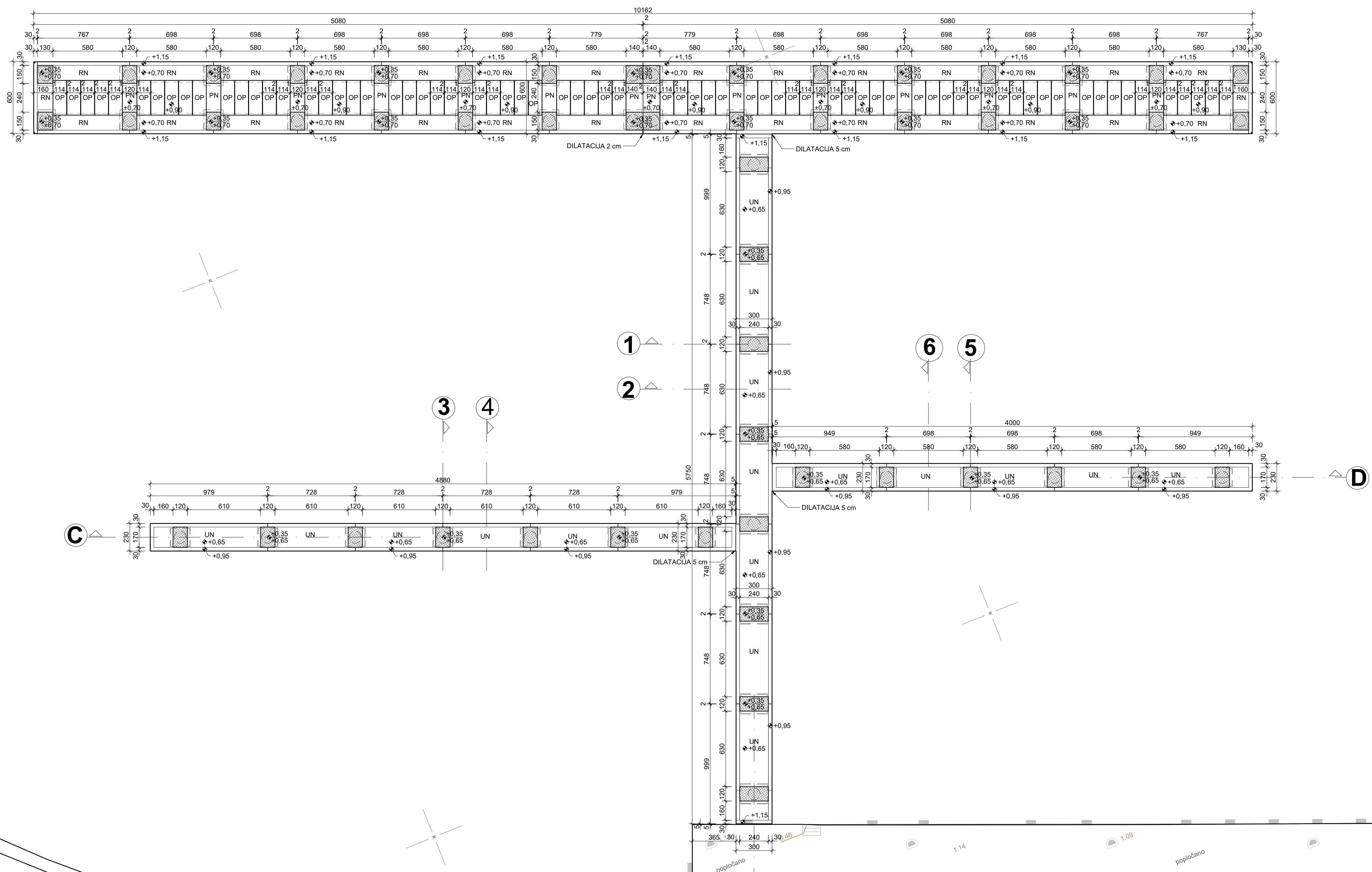
1. TLOCRT PODMORSKIH RADOVA 1 .....	MJ. 1:500
2. TLOCRT PODMORSKIH RADOVA 2 .....	MJ. 1:500
3. TLOCRT NADMORSKIH RADOVA .....	MJ. 1:500
4. TLOCRT POVRŠINSKOG UREĐENJA .....	MJ. 1:500
5. UZDUŽNI PRESJEK B .....	MJ. 1:100
6. UZDUŽNI PRESJEK C .....	MJ. 1:100
7. UZDUŽNI PRESJEK D .....	MJ. 1:100
8. POPREČNI PRESJECI 1 i 2 .....	MJ. 1:100
9. POPREČNI PRESJECI 3 i 4 .....	MJ. 1:100
10. POPREČNI PRESJECI 5 i 6 .....	MJ. 1:100
11. DETALJ ARMIRANJA ČVORA .....	MJ. 1:25





**TLOCRT PODMORSKIH RADOVA 2**  
1:500

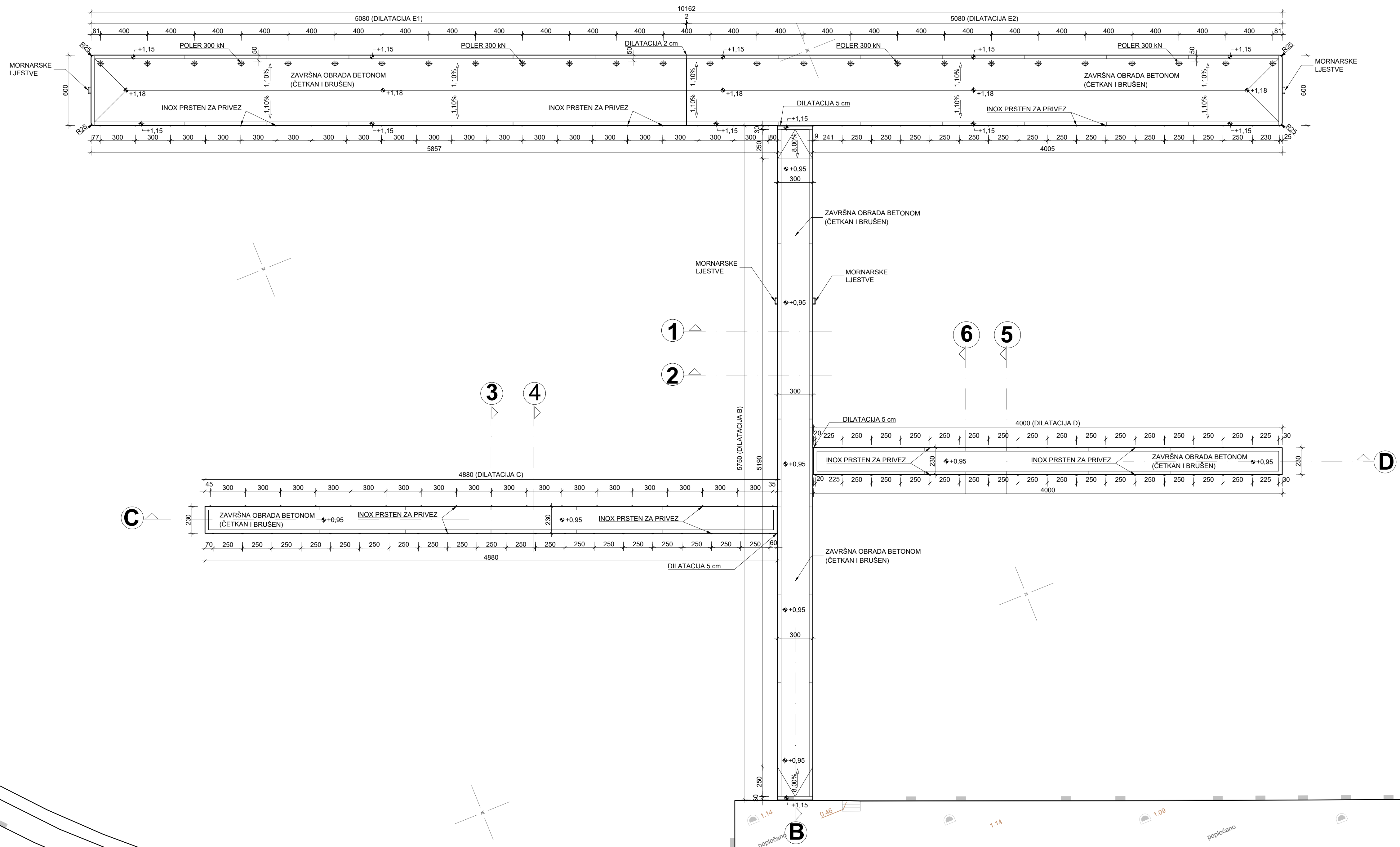
	SVIČUJE U SPOLU FAKULTET ARHITEKTURE ARHITEKTURE I GEODEZIJE 20000 SPILJE, MATICE HRVATSKE 15	Strukovna odrednica: Razina projekta: Broj projekta:	Građevinski projekt Glavni projekt 1224-23
	Investitor: LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2		
	Naziv i lokacija zahvata: DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO		
Sadržaj: TLOCRT PODMORSKIH RADOVA 2		Mentor: Prof.dr.sc. Alen Harapin	
Student: Jure Drije		Datum: rujan 2023.	Mjenilo: 1:500
		List br.	2.



TLOCRT NADMORSKIH RADOVA  
1:500

	SVJETALE U SPLITU, FAKULTET ARHITEKTURE I GEODEZIJE 20000 SPLIT, MATIJE HRVATSKA 5	Strukovna odrednica:	Građevinski projekt
		Razina projekta:	Glavni projekt
		Broj projekta:	1224-23
Investitor:	LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2		
Naziv i lokacija zahvata:	DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO		
Sadržaj:	TLOCRT NADMORSKIH RADOVA		
Mentor:	Prof.dr.sc. Alen Harapin		
Student:	Jure Drje	Datum:	rujan 2023.
		Mjerilo:	1:500
		List br.:	3.

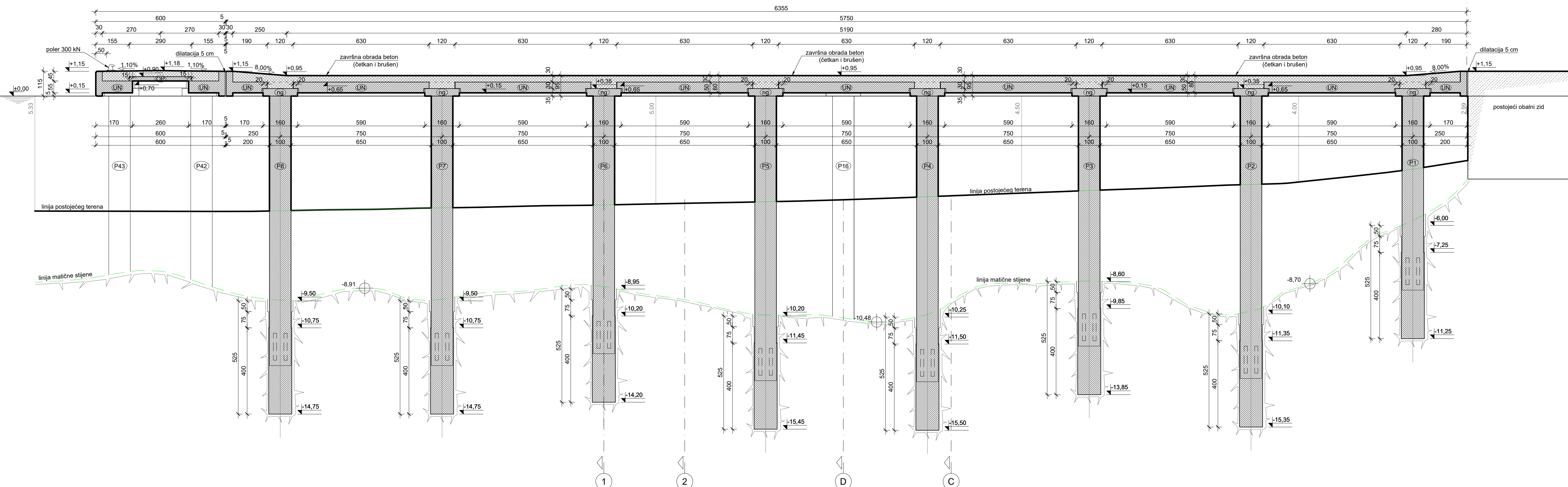





**TLOCRT POVRŠINSKOG UREĐENJA**  
1:500

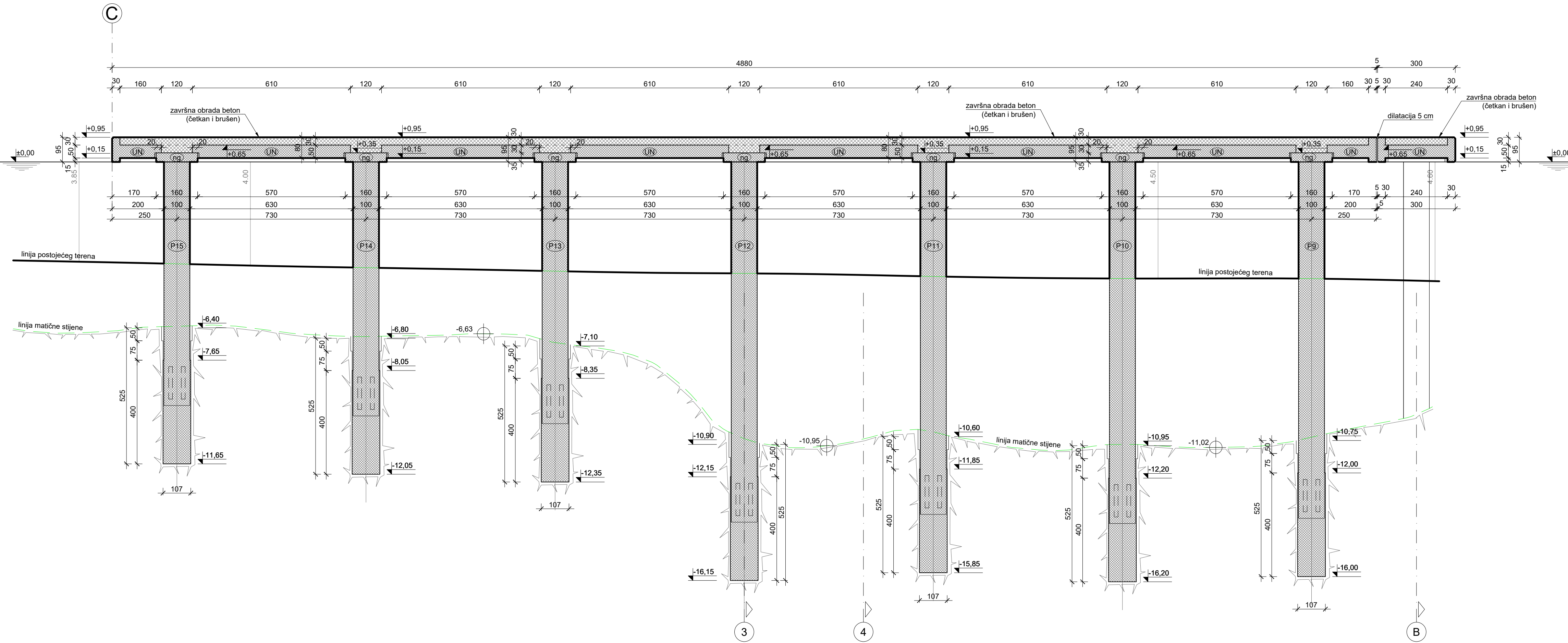
	SVIČUJE SE U SPOLU, FAKULTET ARHITEKTURE I GRAĐEVINARSTVA, HRVATSKE GOSPODARSTVA 20000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Strukovna odrednica: Razina projekta: Broj projekta:	Građevinski projekt Glavni projekt 1224-23
	Investitor: Naziv i lokacija zahvata:	LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2 DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO	
	Sadržaj: Mentor: Student:	TLOCRT POVRŠINSKOG UREĐENJA Prof.dr.sc. Alen Harapin Jure Drije	
		Datum: Mjenilo: List br.	rujan 2023. 1:500 4.


UZDUŽNI PRESJEK B  
MJ. 1:100



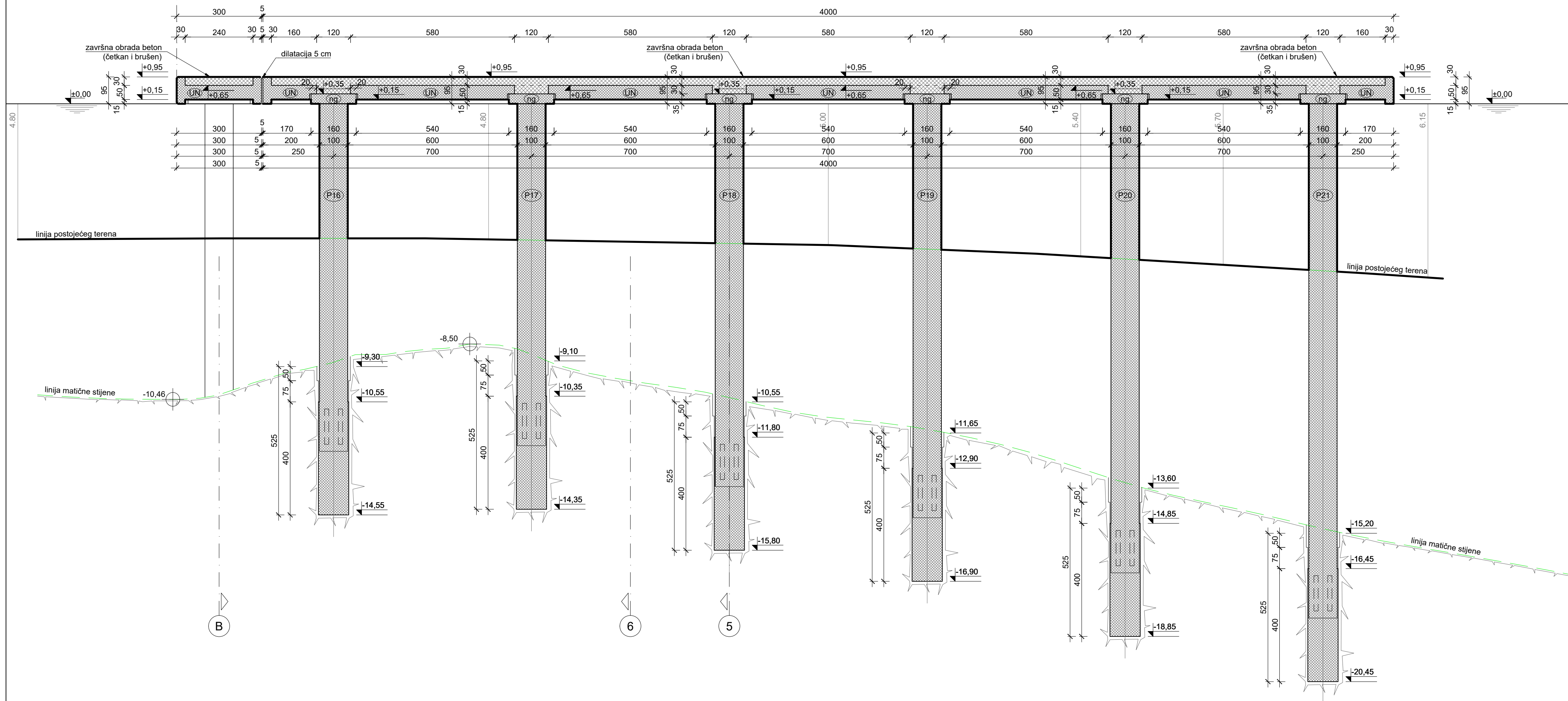
	SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15		Strukovna odrednica:	Gradjevinski projekt
	Razina projekta:		Glavni projekt	
Broj projekta:		1224-23		
Investitor:	LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2			
Naziv i lokacija zahvata:	DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO			
Sadržaj:	UZDUŽNI PRESJEK B			
Mentor:	Prof.dr.sc. Alen Harapin			
Student:	Jure Drlje	Datum:	rujan 2023.	
		Mjerilo:	1:100	
		List br.:	5.	


UZDUŽNI PRESJEK C  
MJ. 1:100



	SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE, 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15		Strukovna odrednica:	Gradjevinski projekt
	Razina projekta:		Glavni projekt	
Broj projekta:		1224-23		
Investitor:	LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2			
Naziv i lokacija zahvata:	DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO			
Sadržaj:	UZDUŽNI PRESJEK C			
Mentor:	Prof.dr.sc. Alen Harapin			
Student:	Jure Drlje	Datum:	rujan 2023.	
		Mjerilo:	1:100	
		List br.	6.	

UZDUŽNI PRESJEK D  
MJ. 1:100

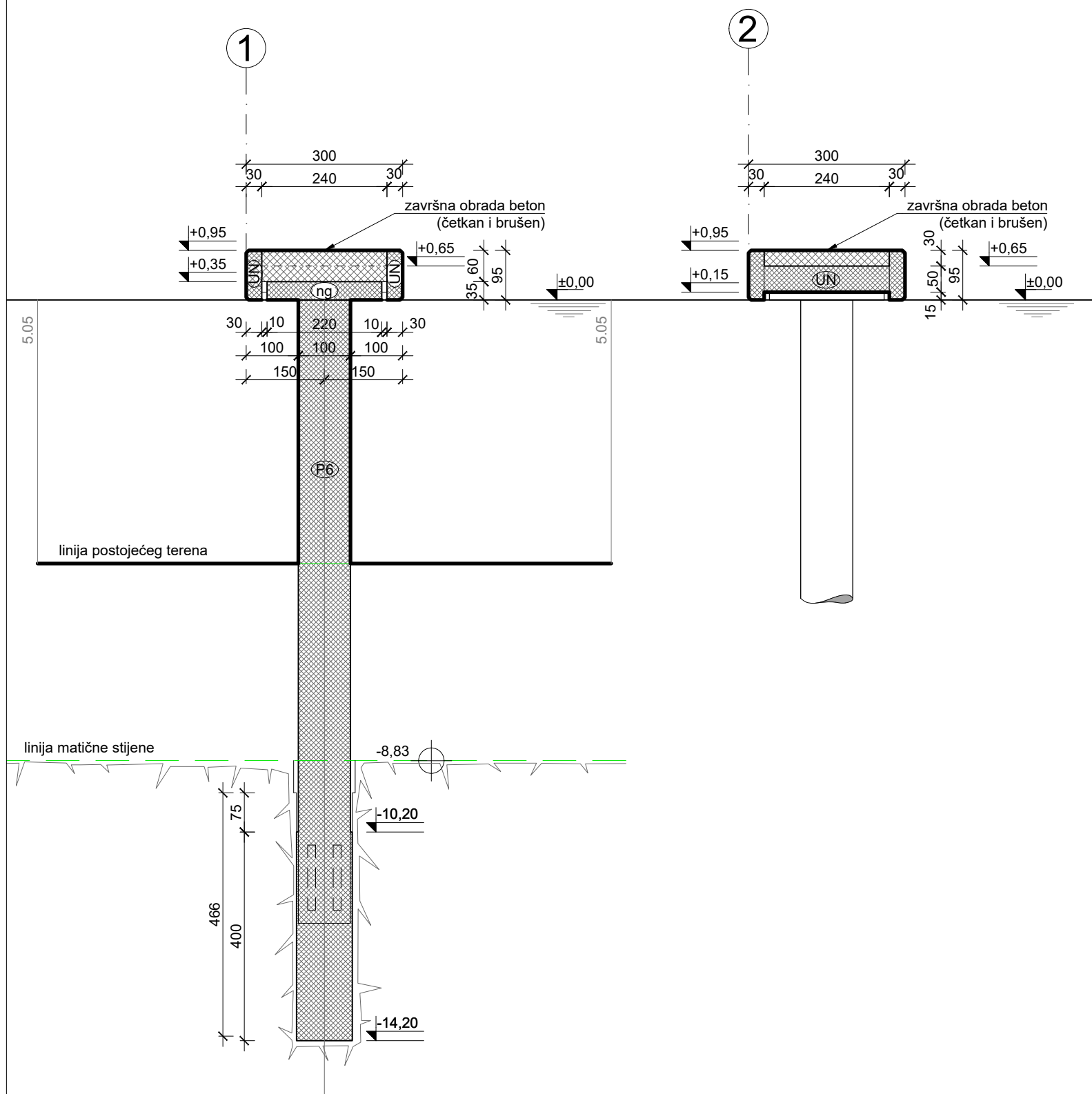



	SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15		Strukovna odrednica:	Gradjevinski projekt
			Razina projekta:	Glavni projekt
			Broj projekta:	1224-23
Investitor:	LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2			
Naziv i lokacija zahvata:	DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO			
Sadržaj:	UZDUŽNI PRESJEK D			
Mentor:	Prof.dr.sc. Alen Harapin			
Student:	Jure Drije	Datum:	rujan 2023.	
		Mjerilo:	1:100	
		List br.:	7.	

# POPREČNI PRESJECI

1 i 2

MJ. 1:100

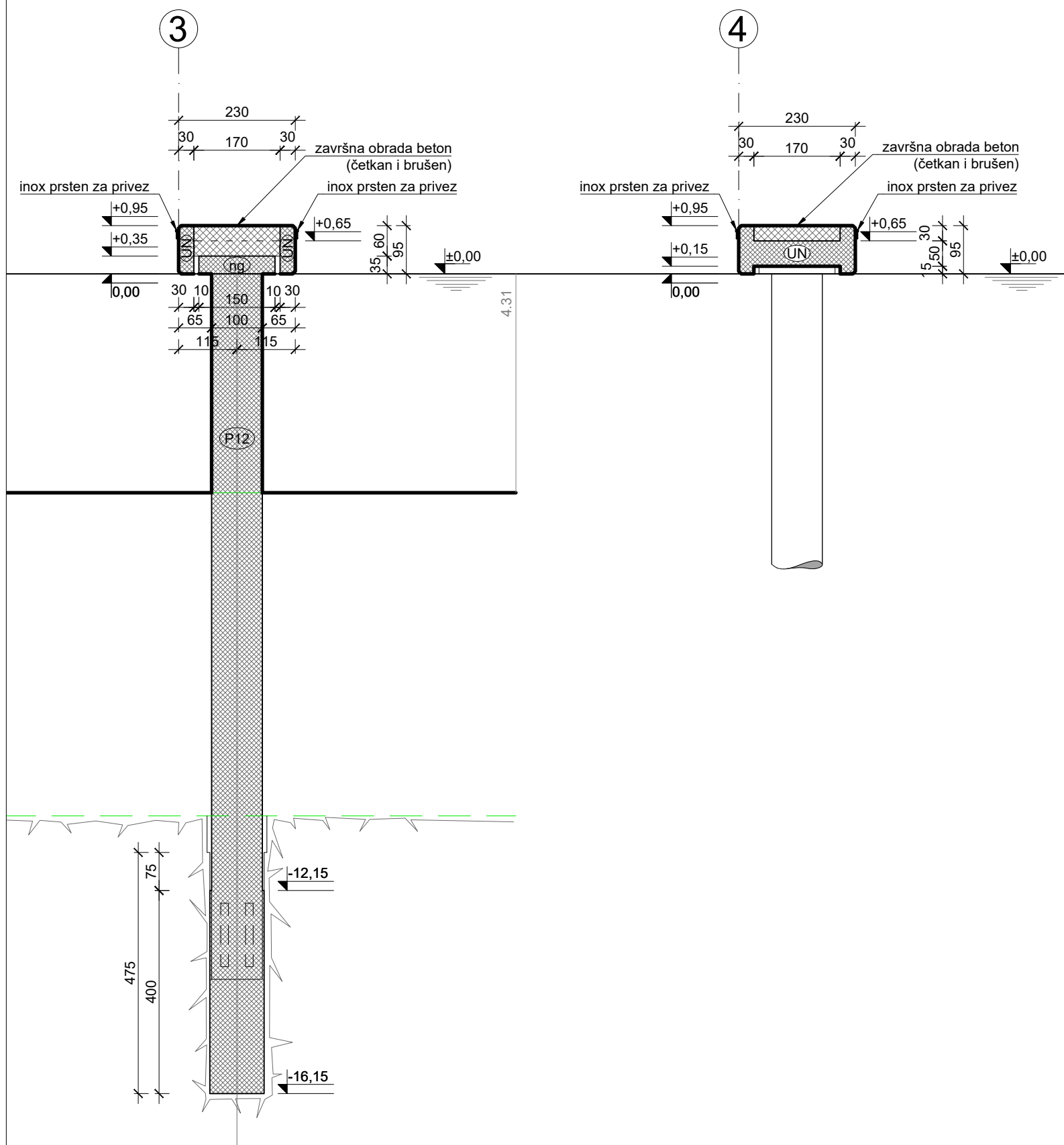



	SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15		Strukovna odrednica	Građevinski projekt
			Razina projekta:	Glavni projekt
			Broj projekta:	1224-23
Investitor:	LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2			
Naziv i lokacija zahvata:	DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO			
Sadržaj:	POPREČNI PRESJECI 1 I 2			
Mentor:	Prof.dr.sc. Alen Harapin			
Student:	Jure Drlje	Datum:	rujan 2023.	
		Mjerilo:	1:100	
		List br.	8.	

# POPREČNI PRESJECI

## 3 i 4

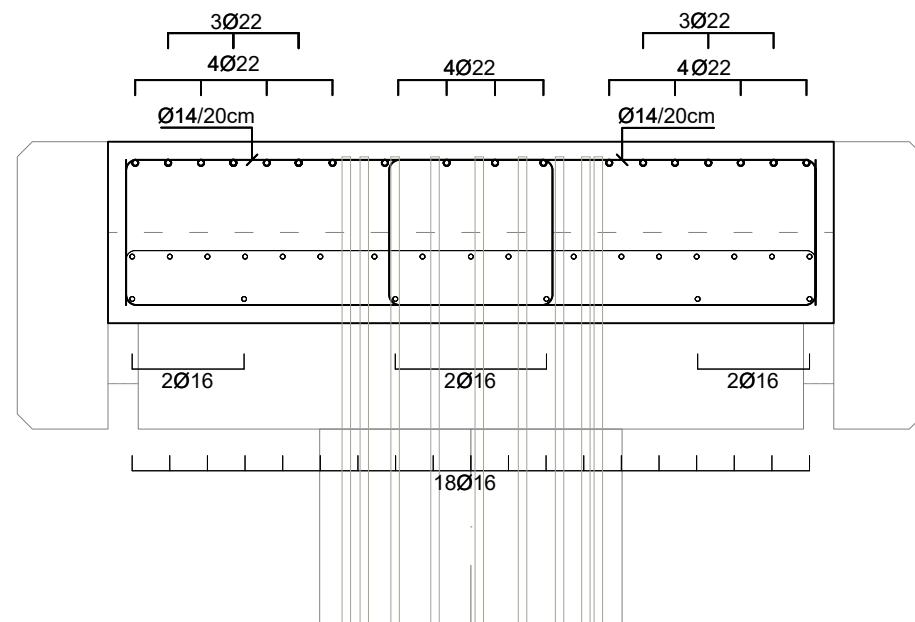
MJ. 1:100




	SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15		Strukovna odrednica	Građevinski projekt
			Razina projekta:	Glavni projekt
			Broj projekta:	1224-23
Investitor:	LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2			
Naziv i lokacija zahvata:	DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO			
Sadržaj:	POPREČNI PRESJECI 3 I 4			
Mentor:	Prof.dr.sc. Alen Harapin			
Student:	Jure Drlje	Datum:	rujan 2023.	
		Mjerilo:	1:100	
		List br.	9.	



**DETALJ ARMIRANJA ČVORA MONOLITIZACIJE B C35/45, B500B,**  
**ZAŠTITNI SLOJ ARMATURE  $C_{MIN} = 5,5 \text{ cm}$**



**DETALJ ARMIRANJA ČVORA MONOLITIZACIJE B**  
 MJ. 1:25

	SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15		Strukovna odrednica	Građevinski projekt
			Razina projekta:	Glavni projekt
			Broj projekta:	1224-23
Investitor:	LUČKA UPRAVA DUBROVAČKO-NERETVANSKE ŽUPANIJE, Vukovarska ulica 2			
Naziv i lokacija zahvata:	DOGRADNJA I UREĐENJE LUKE OTVORENE ZA JAVNI PROMET SREBRENO			
Sadržaj:	DETALJ ARMIRANJA ČVORA MONOLITIZACIJE B			
Mentor:	Prof.dr.sc. Alen Harapin			
Student:	Jure Drlje	Datum:	rujan 2023.	
		Mjerilo:	1:25	
		List br.	11.	