

INTERNACIONALNI UNIVERZITET U TRAVNIKU
FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA
ODSJEK: GRAĐEVINARSTVO

Završni rad

Tema: Idejni projekat drumskog
mosta

Mentor: Prof.dr.Tarić Mirsad

Student: Hukić Džejlan

Broj indeksa: Pt-177-15/11

Travnik, Jul 2019.

SADRŽAJ

1.	PROGRAMSKI ZADATAK	4
2.	KONCEPT KONSTRUKCIJE NATPUTNJAKA	6
2.1	Materijalizacija.....	8
2.2	Opterećenje vjetrom	9
2.3	Opterećenje seizmičkim silama.....	9
2.4	Proračun i dimenzioniranje	9
2.5	Gravitaciona opterećenja.....	10
3.	ANALIZA OPTEREĆENJA PREMA EC-1 I EC-8	11
3.1	Stalno opterećenje	11
3.2	Saobraćajno (pokretno) opterećenje.....	11
3.2.1	Vertikalno opterećenje	11
3.2.2	Horizontalno pokretno opterećenje.....	14
3.3	Izvanredna opterećenja.....	15
3.3.1	Udarac o stub	15
3.3.2	Sudar na mostu.....	15
3.3.3	Pojedinačni koncentrisani teret	15
3.3.4	Udarac u ivičnjak	15
3.3.5	Udarac u odbojnik.....	15
3.3.6	Udarci vozila na dijelove iznad kolnika.....	15
3.3.7	Opterećenje snijegom.....	15
3.3.8	Dejstvo temperature	16
3.3.9	Reologija betona	18
3.3.10	Opterećenje vjetrom.....	22
3.6.11	Opterećenje seizmičkim silama	29
3.4	Modeli opterećenja za nasip iza upornjaka	30
3.4.1	Vertikalna opterećenja	30
3.4.2	Horizontalna opterećenja	30

3.4.3	Diferencijalno slijeganje stubova.....	30
3.4.4	Kombinacije djelovanja opterećenja.....	30
4.	PRORAČUNSKI MODEL KONSTRUKCIJE	32
4.1	Osnovne pretpostavke	32
5.	Slučajevi opterećenja i mjerodavne kombinacije opterećenje prema EC-2.....	34
5.1	Zadata opterećenja.....	34
5.2	Granično stanje upotrebljivosti - SLS (Serviceability Limit State)	35
5.3	Granično stanje nosivosti – ULS (Ultimat Limit State)	36
5.4	Model nosača u softveru sap2000	37
6.	Statički proračun (analiza opterećenja prema EC-1, EC-8).....	38
6.1	Uticaji od vlastite težine	38
6.2	Uticaji od dodatnog stavnog opterećenja	38
6.3	Kombinacija stavnog i dodatnog stavnog opterećenja.....	39
6.4	Uticaj jednolike promjene temperature $t=+6,2^{\circ}\text{C}$	39
6.5	Uticaj jednolike promjene temperature $t= - 5^{\circ}\text{C}$	39
6.6	Anvelopa uticaja od temperature.....	40
6.7	Slijeganje U-1 U-2= 10mm (osl.).....	40
6.8	Slijeganje S-1= 10mm (lijevi osl.)	40
6.9	Anvelopa uticaja od slijeganja $s=10\text{mm}$	41
6.10	Slijeganje U-1 U-2= 25mm (osl.)	41
6.11	Slijeganje S-1= 25mm	41
6.1	Anvelopa uticaja od slijeganja $s=25\text{mm}$	42
6.2	UDL opterećenje (lijevo)	42
6.3	UDL opterećenje (desno)	43
6.4	Anvelopa uticaja od UDL opterećenja	43
6.5	Uticaji od TS – Tandem Sistem	44
6.6	Kombinacija uticaja SLS1.....	44
6.7	Kombinacija uticaja SLS2.....	45
6.8	Kombinacija uticaja ULS1	45
6.9	Kombinacija uticaja ULS2	46
7.	DIMENZIONIRANJE NATPUTNJAKA PREMA EC-2	46

7.1	Dimenzioniranje rasponske konstrukcije prema EC-2.....	47
7.1.1	Materijali.....	47
7.1.2	Dimenzioniranje rasponske konstrukcije u graničnom stanju nosivnosti – ULS .	50
7.2	Dimenzioniranje konzole rasponske konstrukcije.....	61
7.2.1	Presječne sile.....	61
7.2.2	Tandem sistem TS.....	62
7.2.3	Uniformly distributed load – UDL	63
7.2.4	Incidentna opterećenja	64
7.2.5	Dimenzioniranje konzole na savijanje	67
7.3	Dimenzioniranje stuba-platna natputnjaka	73
7.3	Dimenzioniranje upornjaka	93
7.4	Proračun opreme natputnjaka	110

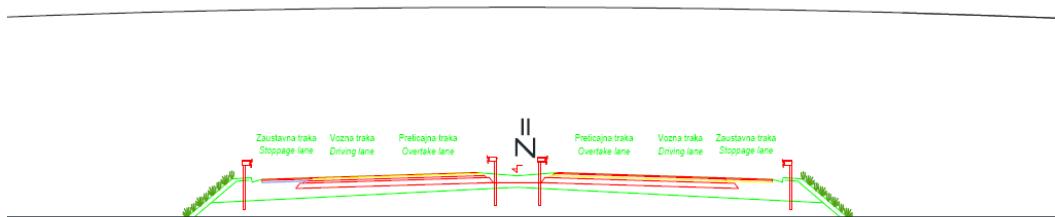
1. ZADATAK

Autocesta se nalazi u pravcu uz poprečni nagib kolovoza od $q=2,50\%$ pri čemu se vitoperenje kolovoza vrši oko unutrašnjih tačaka na poprečnom profilu koje su obostrano udaljene od osovine $a=2$ m.

Autocesta se nalazi u nasipu pri čemu je na mjestu osovine nasip visine $H=1,60$ m iznad terena. Niveleta autoceste na mjestu ukrštanja sa lokalnom je $Z=170,5$ m

Ukupna širina planuma autoceste iznosi: $2,00 + 2,50 + 0,20 + 2 \times 3,75 + 0,50 + 4,00 + 0,50 + 2 \times 3,75 + 0,20 + 2,50 + 2,00 = 29,4$ m. Visina slobodnog profila na autocesti kojeg je potrebno obezbjediti iznosi 4,70m.

Postojeći trup lokalne ceste na mjestu ukrštanja sa autocestom se nalazi u pravcu pri čemu je potrebno ispuniti zahtjev da se očuvaju tlocrtni elementi regionalne ceste. Ugao ukrštanja na mjestu osovine iznosi $\alpha=90^\circ$. Elemente nivelete regionalne ceste potrebno je oblikovati poštujući zahtjev da minimalni radius vertikalne krivine bude veći ili jednak od $R=1650$ m, odnosno da tangentni nagibi budu manji ili jednaki od $i=6\%$. Osovina regionalne ceste je položena tako da se nalazi u nasipu visine $h=1,30$ m iznad terena. Širina kolovoza na regionalnoj cesti iznosi $0,20+2 \times 2,5+0,20=5,40$ m što odgovara planiranoj brzini od $v=50$ km/h. Osim kolovoza potrebno je obezbjediti površinu za promet biciklista, i to obostrane biciklističke staze.



Slika 1. Profil autoceste na mjestu ukrštanja sa regionalnom cestom

Za potrebe izrade projekta izvedene su tri geološke istražne bušotine paralelno sa postojećom cestom, te su obavljene odgovarajuće laboratorijske analize uzoraka. Položaj bušotina je u osovinu buduće autoceste (B2) i na udaljenosti 25m od osovine sa lijeve(B1) i desne strane(B3) autoceste. Utvrđeno je da se substrat nalazi na dubinama od $h_1=9,20$, $h_2=8,80$ m i $h_3=11,20$ m respektivno u bušotinama B1, B2 i B3 a ispod linije terena. Substrat je predstavljen laporovitim krečnjacima.

Pokrivač substrata čine humus u debljinama $p_1=1,90$ m, $p_2=1,90$ m i $p_3=1,80$ m odnosno glinoviti slojevi u preostalom dijelu do substrata. Izvršeno je statičko ispitivanje jednog šipa prelnika $\phi 1000$ sa ukopavanjem 3m u supstrat te je utvrđena granična nosivost 5200kN. Lokacija objekta se može smjestiti u zonu sa 0,13 PGA za povratni period od 475 d.

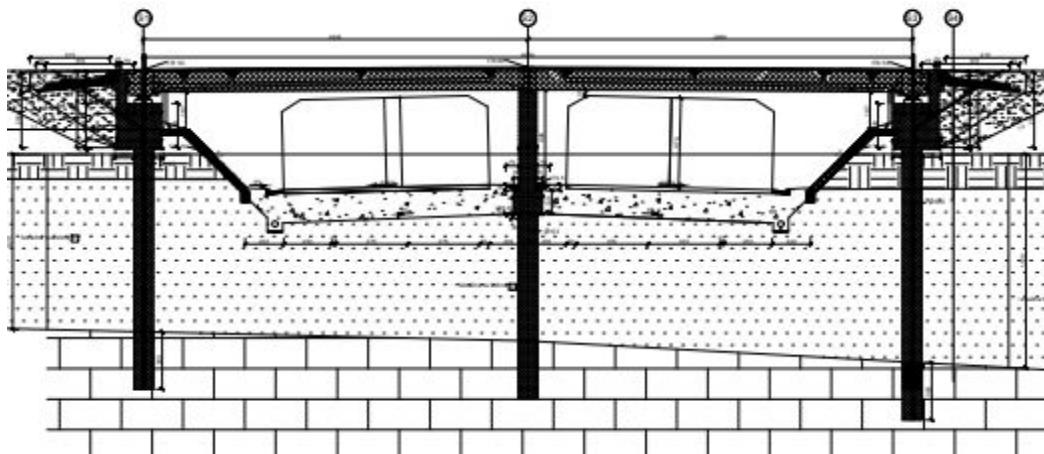
Uvažavajući gore opisane uslove, zadatak kandidata je:

- 1) Izraditi odgovarajuće dispoziciono rješenje objekta (uzdužni presjek objekta, osnova objekta, normalni poprečni presjek objekta, poprečni presjek kroz srednje i obalne stubove) uz uslov izgradnje objekta po tehnologiji:

- a) GRADNJE NA SKELI UZ PLOČASTI POPREČNI PRESJEK
- 2) Izraditi računsku analizu (prema odabranom rješenju)
 - a. rasponske konstrukcije u podužnom i poprečnom pravcu
 - b. proračun srednjih stubova
 - c. proračun obalnih stubova
 - d. proralun temeljnih konstrukcija
 - e. proračun ležišta i dilatacija
- 3) Izraditi sheme armiranja karakterističnih presjeka rasponske konstrukcije, srednjih i obalnih stubova
- 4) Analizirati mogućnost izgradnje rasponske konstrukcije kao prednapregnute uz jednake uslove kao u rješenju iznad
 - a. Odrediti potrebnu količinu čelika za prednaprezanje Y 1860 S7 iz uslova zadovoljenja dekompresije
 - b. Izraditi plan kablova za prednaprezanje
 - c. Prikazati sheme armiranja rasponske konstrukcije sa prikazanim kablovima u poprečnom presjeku

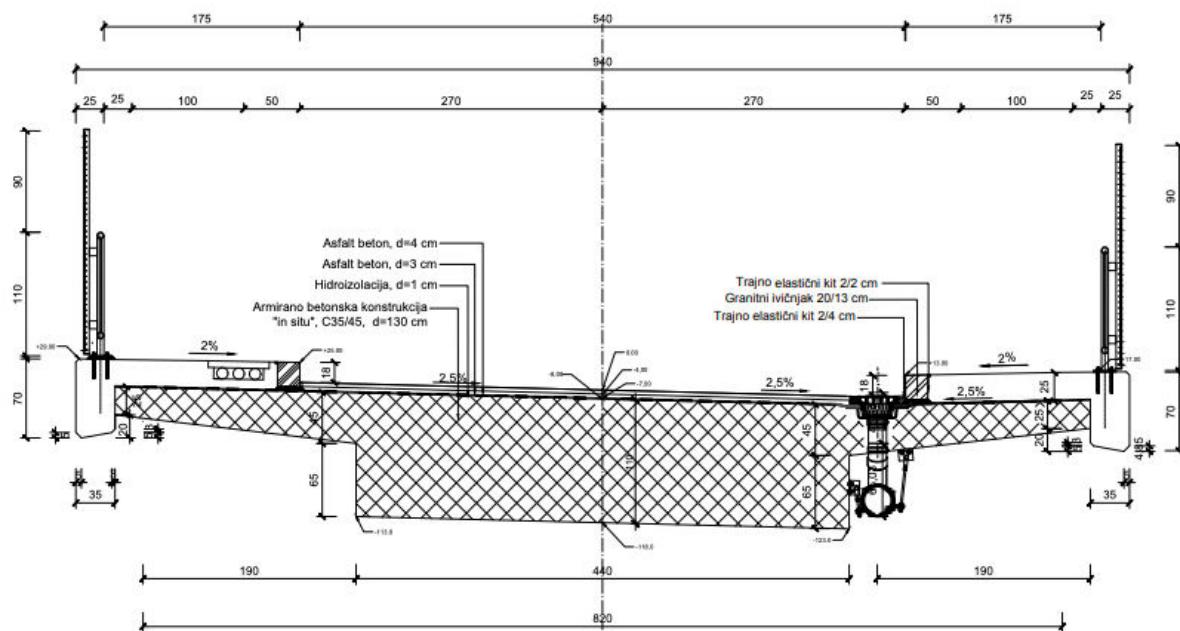
2. KONCEPT KONSTRUKCIJE NATPUTNJAKA

Natputnjak je konstruisan kao kontinualni gredni nosač na 4 polja (slika 2), simetrično na obje strane. Rasponi konstrukcije su: $L_1 = L_2 = 20 = 20$. Ukupna lučna dužina mosta iznosi 40,00 m.



Slika 2 – Kontinualni gredni nosač na dva polja

Poprečni presjek je pločasti poprečni presjek visine 110cm konzolni ispusti su sa obje strane dužine l=240 cm.(slika 3) Ukupna širina nosive konstrukcije iznosi 990cm. Kolovozna ploča je konstruisana sa poprečnim nagibom 2,5%.

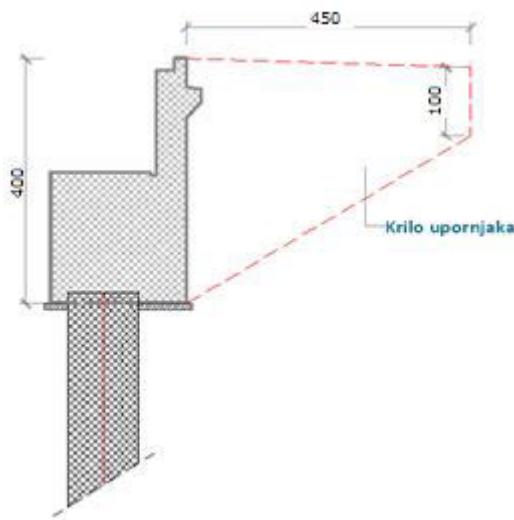


Slika 3-Poprečni presjek nadvožnjaka

Rasporna konstrukcija se oslanja na 3 oslonca (2 polja). Na početku i kraju, oslonci su upornjaci U1 i U2, a između njih stub S1. Tlocrte dimenzijske upornjaka su $7,90 \times 6,80$ m, visine 4,00m. Srednji stub je projektovan kao platno dimenzija $4,2 \times 0,90$ m, visine S1 = 5,27m. Upornjaci se oslanjaju na naglavnu gredu, odnosno temeljnu traku dimenzija: $(b/h/l = 2,30 \times 2,30 \times 7,9)$ m, radi izjednačavanja pomaka, preko koje se opterećenje dalje prenosi na 3 AB šipa $\varnothing 1000$ m, koji su u osnovi naglavne grede odnosno temeljne trake pravilno raspoređeni kao jedan središnji i dva vanjska, isto važi i za srednje stubove. Dužine šipova su različite zbog geoloških uslova terena, pa tako imamo da su šipovi upornjaka U1 dužine L=10,50m i U2: L=12,00m, pri čemu je ispoštovan uslov ukopavanja šipova u substrat min 3D.

Krilni zidovi su monolitno povezani sa upornjakom, a izvedeni su kao ploča poligonalnog oblika (slika 4), sa debljinom d=0,50m. Usvojena je ista debljina krila sa strane ležišta kao i iza upornjaka iz konstruktivnih razloga. Tlocrtna dužina krila upornjaka je 4,50m, a visina na kraju krila je 1,0m. Za prelaz sa deformabilnog trupa ceste na krutu konstrukciju natputnjaka predviđene su prelazne ploče da bi se sprječili udari i razlike u deformabilnosti koje mogu uticati na sigurnost saobraćaja i pojavu dinamičkih opterećenja na konstrukciju. Primjenjena je ploča širine 5,4m, debljine d=0,25m sa dužinom 3,7 postavljene u nagibu 1:10.

Projektovani su također stepenici sa dimenrijama stepenika $b/h=30/20$ cm, radi mogućnosti prilaza ležištima mosta, gdje su upotrebljena lončasta ležišta, nepopomična u jednom i pomična u oba pravca.



Slika 4 – Poprečni presjek krila upornjaka

Obezbeđene su i dvije dilatacije, na početku i kraju mosta da bi se omogućili pomaci uslijed temperaturnih uticaja i sličnih razloga.

Ovodnja oborinskih voda sa kolovozne površine rješena je sa ukupno 8 slivnika i 2 slivnika za čišćenje. Sabirna cijev je poduznog nagiba $i=2\%$, prečnika cijevi $\varnothing 200$ mm, pričvršćena vješaljkama za nosivu konstrukciju. Analiza opterećenja je urađena prema EC-1, EC-8.

2.1 Materijalizacija

Tabela 1. Odabrani materijali konstrukcije natputnjaka

Beton C25/30	Naglavna greda, šipovi, prijelazne ploče
$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctm} = 2,6 \text{ N/mm}^2$ $E_{cm} = 30500 \text{ N/mm}^2$	karakteristična čvrstoća betona na pritisak srednja vrijednost čvrstoće betona na zatezanje modul elastičnosti betona
Beton C30/37	Stubovi, temelji, krila, upornjaci
$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctm} = 2,9 \text{ N/mm}^2$ $E_{cm} = 32000 \text{ N/mm}^2$	karakteristična čvrstoća betona na pritisak srednja vrijednost čvrstoće betona na zatezanje modul elastičnosti betona
Beton C35/45	Rasporna konstrukcija, rubni vijenac
$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$ $E_{cm} = 33500 \text{ N/mm}^2$	karakteristična čvrstoća betona na pritisak srednja vrijednost čvrstoće betona na zatezanje modul elastičnosti betona
BSt 500S	Betonskičelik
$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ $f_{tk} = 550 \text{ N/mm}^2$ $E_s = 200 000 \text{ N/mm}^2$	granica velikih izduženja granica kidanja modul elastičnosti čelika

2.2 Opterećenje vjetrom

Proračun opterećenja vjetrom izvršen je prema važećem standardu JUS U.C7.110, JUS U.C7.111 i JUS U.C7.112 za područje Sarajeva, a za karakteristike objekta, visine i širine, kao i perioda oscilovanja od $T=1 \text{ sec}$. Na osnovu dobijenih veličina uticaja vjetra urađeno je opterećenje vjetrom uzimajući u obzir koeficijente pritiska zavisno od oblika. Prema Europskim standardima opterećenje vjetrom je analizirano prema EC-1, odnosno EN 1991-1-4:2005.

2.3 Opterećenje seizmičkim silama

Proračun uticaja seizmike na konstrukciju izvršen je prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, te prema EC-8, odnosno EN 1998-1:2004.

2.4 Proračun i dimenzioniranje

Proračun je izvršen za najnepovoljniju kombinaciju opterećenja: stalno, pokretno, dejstvo temperature, reologija betona, vjetar i seizmika. Maksimalni uticaji analizirani su za sva navedena opterećenja i međusobne kombinacije kako je određeno prema JUS-u i EC-u, kombiniranje opterećenja dato je u statičkom proračunu. Dimenzioniranje pojedinih konstruktivnih elemenata urađeno je za najnepovoljnije kombinacije navedenih opterećenja multipliciranih odgovarajućim koeficijentima sigurnosti, koji je adekvatan odgovarajućem propisu.

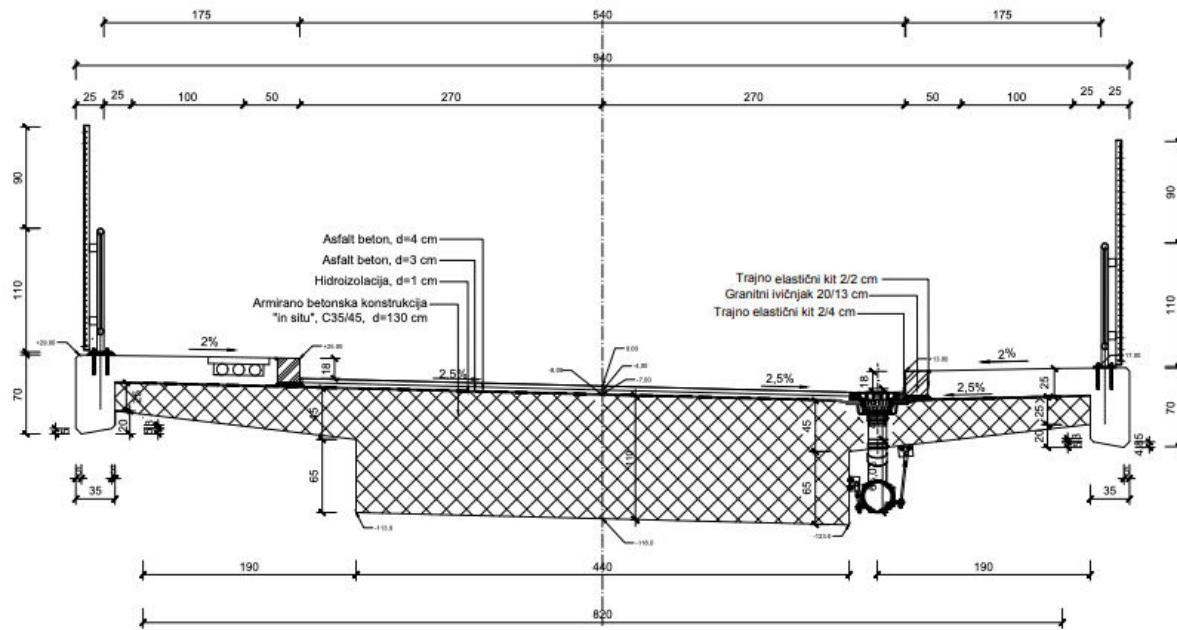
2.5 Gravitaciona opterećenja

Proračun konstrukcije izvršen je softverom TOWER 6 gdje je vlastita težina konstrukcije automatski generisana. Ostala stalna gravitaciona opterećenja koja djeluju na objekat su sračunata prema zapreminskim masama pojedinih materijala primjenjenih u objektu po propisu JUS U.C7.123 (sopstvena težina konstrukcija, nekonstruktivnih elemenata i uskladištenog materijala koji se uzima u obzir pri dimenzionisanju), dok je promjenljivo ili korisno opterećenje uzeto prema Pravilniku o tehničkim normativima za određivanje vrijednosti opterećenja mostova. Adekvatno ovome analizirano je opterećenje prema EC-1.

3. ANALIZA OPTEREĆENJA PREMA EC-1 I EC-8

3.1 Stalno opterećenje

Proračun konstrukcije se vrši software-om SAP2000, tako da se vlastita težina konstrukcije automatski uzima u obzir pri proračunu na osnovu zadanog poprečnog presjeka i materijala.



Slika 5 – Dimenzije poprečnog presjeka

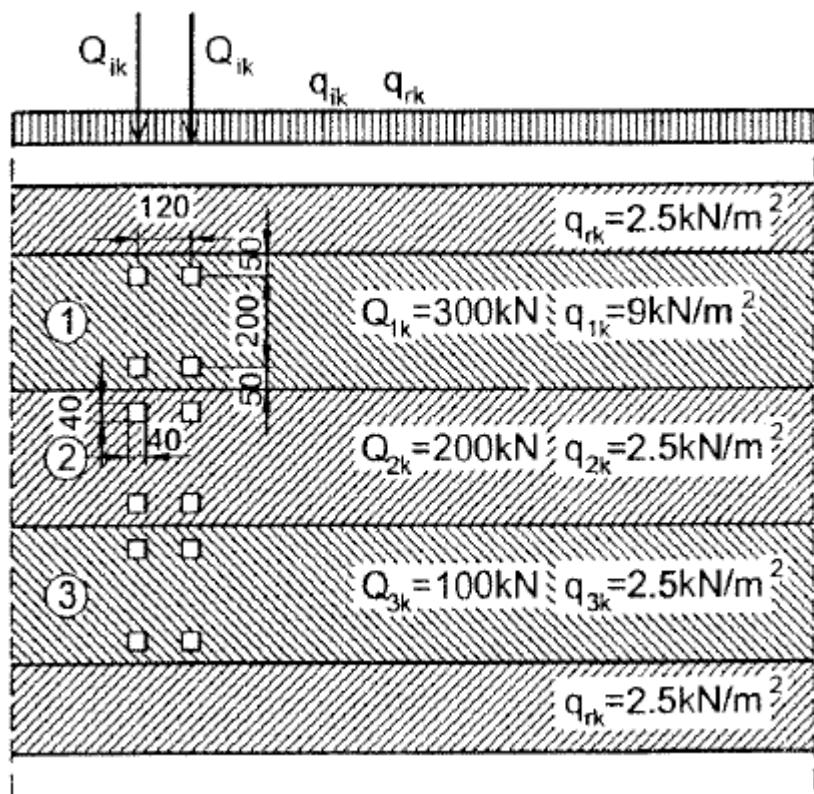
Tabela 2 - Dodatno stalno opterećenje:

Opterećenje	γ [kN/m ³]	d [m]	g [kN/m ²]	b [m]	q [kN/m]
Hidroizolacija	19	0.01	0.19	9.4	1.786
Vruće valjani asfalt	23	0.03	0.69	6.4	4.416
Mastiks asfalt	18	0.04	0.72	6.4	4.608
Ograda		2x0.4			0.8
Ivičnjak	24		A= 0.088 m ²		2.112
Rubni vijenac	25		A=1.3 m ²		32.5
Dodatak 20 %			0.2*(1.786+4.416+4.608)		2.162
Ukupno					48.384

3.2 Saobraćajno (pokretno) opterećenje

3.2.1 Vertikalno opterećenje

Za saobraćajno opterećenje koristimo **Model – 1**. Glavni sistem opterećenja od koncentrisanog i kontinualnog opterećenja koje pokriva uticaje od teških vozila i osobnih vozila. Svaka prometna traka opterećuje se s dva osovinska tereta Q_{ik} na razmaku 1,20m s razmakom točkova od 2,0m i kontinuiranim opterećenjem q_{ik} . Površina nalijeganja točkova je 40x40cm. Preostala površina opterećuje se s kontinualnim opterećenjem q_{rk} . U ovom slučaju zbog male širine kolovoza uzima se samo osovinsko opterećenje za jednu traku 300kN



Slika 6 – Model 1

Nominalna opterećenja se množe s faktorima prilagođavanja, za osovinski teret α_{Qi} , a za kontinualno opterećenje α_{qi} . Preporučuju se faktori prilagođavanja $\alpha_{Qi} \geq 0,8$; $\alpha_{qi} = 1,0$ za sve trake osim prve. Opterećenje je prouzrokovano sa **TS** (*Tandem System*) i sa **UDL** (*Uniformly Distributed Load system*). Prema njemačkom stručnom izvještaju DIN Fachbericht 101, koji se temelji na europskim normama, preporučuje se koristiti korekcijski faktor u iznosu 0,8 za koncentrisano opterećenje u prvoj i drugoj traci, dok se u trećoj traci koristi samo kontinualno opterećenje. U prvoj traci osovinsko opterećenje iznosi 240kN, a u drugoj traci 160kN.

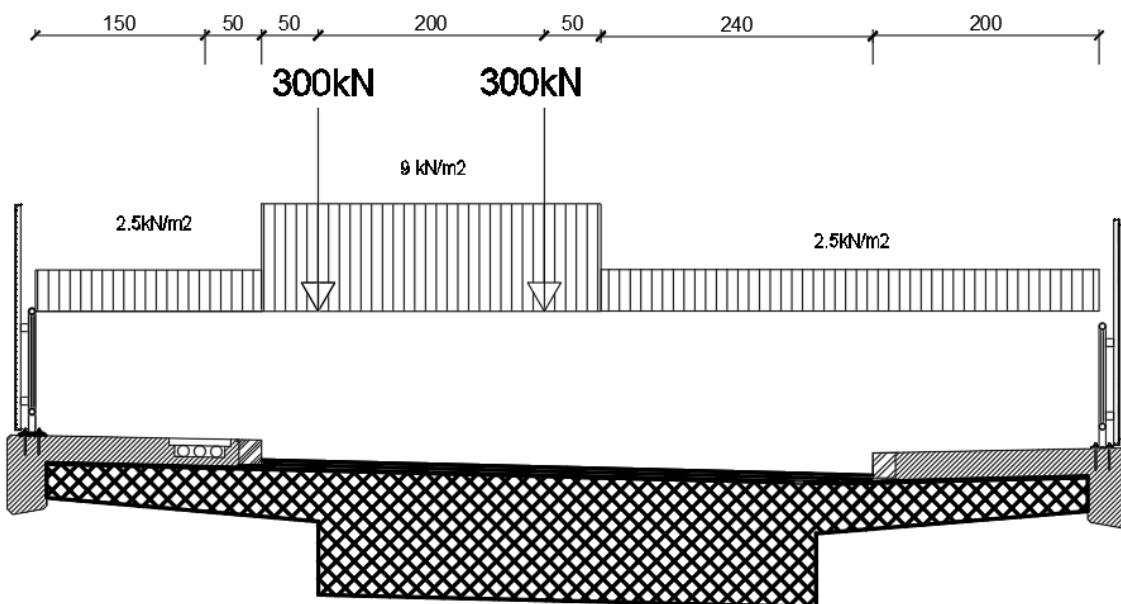
Računski iznosi saobraćajnog opterećenja:

$$Q_{1k} \cdot \alpha_{Q1} = 300 \cdot 0,8 = 240 \text{ kN} - \text{ukupno osovinsko opterećenje u prvoj traci},$$

$$q_{1k} = 9,00 \text{ kN/m}^2 - \text{ravnomjerno raspodijeljeno opterećenje u prvoj traci},$$

$$q_{rk} = 2,50 \text{ kN/m}^2 - \text{ravnomjerno raspodijeljeno opterećenje na ostalim plohami}.$$

Pokretno opterećenje je neravnomjerno raspodijeljeno u poprečnom smislu (slika 7), preraspodjeljuje se zbog utjecaja torzijske krutosti nosača.



Slika 7 – Raspodjela pokretnog opterećenja na poprečnom presjeku

Raspodijeljeno kontinualno opterećenje

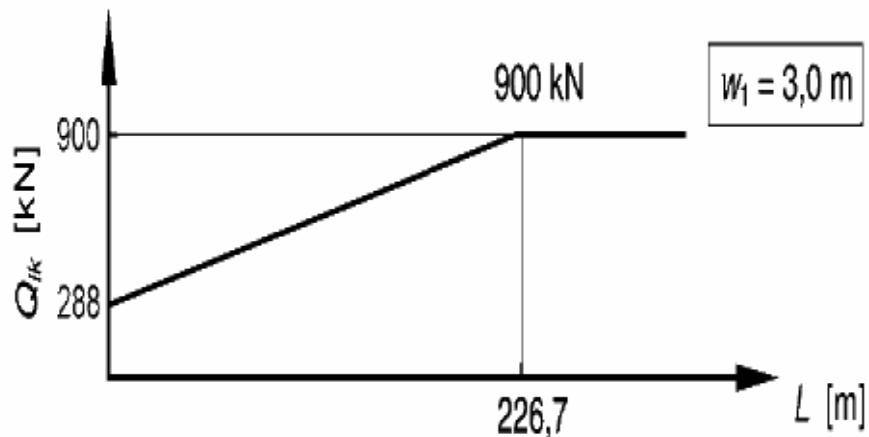
$$q_{uk} = q_{1k} \cdot 3,0 + q_{rk} \cdot (4,4 + 2) = 27 + 16 = 33 \text{ kN/m}$$

3.2.2 Horizontalno pokretno opterećenje

Horizontalno saobraćajno opterećenje predstavljaju kočne sile i sile pri pokretanju motornog vozila. Intenzitet ovih sila određuje se kao 60% osovinskog saobraćajnog opterećenja i 10 % ravnomjerno raspodijeljenog opterećenja s donjom i gornjom granicom od 180 kN, odnosno 900kN.

Napomena: sila kočenja i sila pri pokretanju motornog vozila jednakog su intenziteta, ali suprotnog smjera.

Kočenje i pokretanje vozila uzima se u skladu sa narednim dijagramom.



Slika 8 –Sila kočenja i sila pri pokretanju motornog vozila

$$Q_{ik} = 0,6 \times \alpha_{Q1} \times 2Q_{1k} + 0,1 \times \alpha_{Q1} \times q_{1k} \times W_i \times L < 900 \text{ kN}$$

$$Q_{ik} = 0,6 \times 2 \times 300 + 0,1 \times 1,0 \times 9 \times 3 \times 40 = 468 < 900 \text{ kN}$$

$$180 \times \alpha_{Q1} \text{ kN} < Q_{ik} < 900 \text{ kN}$$

$$180 \times 0,8 = 144 \text{ kN}$$

$$144 \text{ kN} < 475,38 < 900 \text{ kN}$$

Napomena: Važno je naglasiti da se istovremeno horizontalno i vertikalno pokretno opterećenje u punom iznosu ne mogu javiti. Odgovarajućim koeficijentima kombinacije biće uzeta u obzir.

3.3 Izvanredna opterećenja

3.3.1 Udarac o stub

Udarac o stub ili bilo koji drugi potporni element računa se na silu od **1000kN** uzduž saobraćaja, odnosno **500kN** poprečno na smjer saobraćaja na visini 1,25m od površine voznog traka.

3.3.2 Sudar na mostu

Sudar na mostu predstavlja posebnu situaciju koja može uzrokovati različite posljedice kao što su klizanje, prevrtanje, oštećenja pojedinih vitalnih dijelova mosta. Nadležnoj cestovnoj upravi prepusteno je da propiše osiguranja za takav slučaj.

3.3.3 Pojedinačni koncentrisani teret

Pojedinačni koncentrisani teret od 10kN s kontaktom 10×10cm treba koristiti za ispitivanje svih nosivih dijelova na stazi i kada su zaštićeni odbojnicima.

3.3.4 Udarac u ivičnjak

Udarac u ivičnjak uzima se da djeluje poprečno na smjer vožnje sa intenzitetom od 100 kN s kontaktom od 50cm dužine na 5cm ispod vrha rubnjaka uz istodobno djelovanje kotača u prvoj saobraćajnoj traci (iznad ruba ivičnjaka) sa intenzitetom $0,75\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}$. U slučaju krutih konstrukcijskih elemenata pretpostavlja se da se horizontalno opterećenje rasprostire pod uglom 45°.

3.3.5 Udarac u odbojnik

Za kruti odbojnik, predviđa se poprečno udarac silom od 100kN na 50cm uzdužno i na 10cm ispod vrha odbojnika, ali ne više od 1m iznad kolnika uz istodobno djelovanje vertikalnog opterećenja $0,5\alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}$. Za elastični odbojnik uzima se isti horizontalni udarac s rasprostiranjem po uputi proizvođača.

3.3.6 Udarci vozila na dijelove iznad kolnika

Pojedini vitalni dijelovi mosta mogu biti izloženi udarima vozila. Uzdužni udarac od 1000 kN i poprečni udarac od 500kN može mjerodavna cestovna uprava reducirati, ali se onda mora analizirati s istodobnim djelovanjem pokretnog opterećenja.

3.3.7 Opterećenje snijegom

Opterećenje od snjega na tlo ovisi o geografskom položaju i nadmorskoj visini lokacije mosta, a kreće se od 0 – 4 kN/m². Kako na prometnoj površini ne može istovremeno biti veća količina snijega i vozila, a saobraćajno opterećenje je svojim iznosom veće i od najnepovoljnijeg snijega, opterećenje snijegom ne uzima se u obzir pri proračunu u kombinaciji sa prometnim opterećenjem.

3.3.8 Dejstvo temperature

Svojstvo materije da prilikom promjene temperature mijenja volumen, ukoliko je ta promjena spriječena, odražava se kao opterećenje na mostovima. Pri analizi temperaturnih uticaja kod mostova u obzir se uzimaju dva slučaja temperaturnog djelovanja, linearna promjena temperature i ravnomjerna promjena temperature.

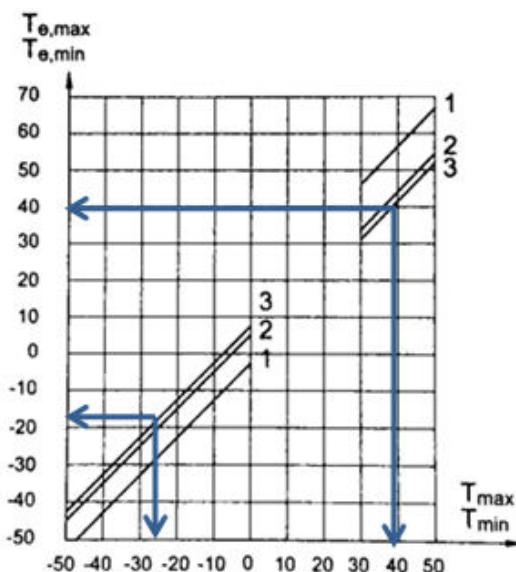
Usvojene vrijednosti temperature za proračun:

$$T_{\max, 50} = +39^\circ C$$

$$T_{\min, 50} = -26^\circ C$$

Jednolika promjena temperature

Razmatrani natputnjak pripada skupini 3 rasporskog sklopa (betonska kolnička ploča oslonjena na betonske elemente). Jednolika temperaturna komponenta ovisi o najvišoj i najnižoj računskoj temperaturi koju most može dostići u propisanom razdoblju. Najniža i najviša računska temperatura mosta u hladu ($T_{e,\max}$, $T_{e,\min}$) dobiva se iz najniže i najviše temperature zraka u hladu (T_{\max} , T_{\min}), prema sljedećoj slici:



Slika 9 - Određivanje najniže i najviše temperature mosta u hladu

$$T_{e,\max} = +40^\circ C$$

$$T_{e,\min} = -18^\circ C$$

Obzirom da nije poznata temepratura prilikom gradnje usvojiti će se $T_o = 10^\circ C$. Sada jednolika promjena temperature iznosi:

a) Najveća razlika negativne računske temperature natputnjaka je:

$$\Delta T_{n,con} = T_{e,min} - T_0 = -18 - 10 = -28^\circ C$$

b) Najveća razlika pozitivne računske temperature natputnjaka je:

$$\Delta T_{n,exp} = T_{e,max} - T_0 = 40 - 10 = +30^\circ C$$

Linearna promjena temperature

Linearno promjenljiva temperaturna komponenta izazvana je zagrijavanjem ili hlađenjem gornje površine mosta što dovodi do najviših pozitivnih temperaturnih promjena (gornja površina toplija) i do najviših negativnih temperaturnih promjena (donja površina toplija).

$\Delta T_{M,heat}$ (gornji rub topliji)

$$\Delta T_{M,heat,rač} = \Delta T_{M,heat,50} \cdot k_{sur} = 6,2 \text{ } C^\circ \text{ (za stubove } +5\text{ }C^\circ)$$

$$\Delta T_{M,poz} = 10 \text{ } C^\circ ; k_{sur} = 0,66 \text{ (za debljinu ploče } 110 \text{ cm)}$$

$\Delta T_{M,cool}$ (donji rub topliji)

$$\Delta T_{M,cool,rač} = \Delta T_{M,heat,50} \cdot k_{sur} = -5 \text{ } C^\circ \text{ (za stubove također)}$$

$$\Delta T_{M,poz} = -5 \text{ } C^\circ ; k_{sur} = 1,00 \text{ (za debljinu ploče } 110 \text{ cm)}$$

Kombinacije jednolike i linearne promjene temperature

Potrebno je uzeti u obzir istovremeno djelovanje jednolike i linearne temperaturne komponente. Za ovu kombinaciju se koristi nepovoljniji od mogućih osam kombinacija pri čemu su slijedeća četiri slučaja vrlo vjerovatna:

Niska temperatura zraka i donji rub topliji (širenje):

$$\Delta T_{M,Heat} + \omega_N x \Delta T_{N,Exp} \text{ ili } \omega_M \Delta T_{M,Heat} + \Delta T_{N,Exp} ;$$

$$\omega_M = 0,75 \text{ i } \omega_N = 0,35$$

Visoka temperatura zraka i donji rub hladniji (skupljanje):

$$\Delta T_{M,Cool} + \omega_N x \Delta T_{N,exp} \text{ ili } \omega_M \Delta T_{M,Cool} + \Delta T_{N,exp} ;$$

$$\omega_M = 0,75 \text{ i } \omega_N = 0,35$$

$\Delta T_{N,exp}$ - jednolika promjena temperature

$\Delta T_{M,heat}$ - linearna promjena temperature

3.3.9 Reologija betona

U proračunu AB konstrukcija za S.L.S. (progibi, naprsline), i u proračunu prednapregnutih konstrukcija (pad sile prednaprezanja) potrebno je poznavati ne samo konačne koeficijente puzanja i skupljanja nego i njihove vrijednosti u raznim vremenskim intervalima. Ovaj problem je posebno značajan u proračunu mostova, gdje je u proračunu nadvišenja konstrukcije tokom građenja potrebno što tačnije odrediti sve parametre za proračun ugiba, jer u tim slučajevima ne postoji strana sigurnosti. U proračunu puzanja i skupljanja prema PBAB-87 i EC-2 ne uzima se u obzir količina cementa, vodocementni faktor, uticaj aditiva i plastifikatora na promjenu koeficijenata.

Beton ima svojstvo plastičnosti i puzanja pod dugotrajnim opterećenjem. **Puzanje betona** posljedica je kretanja slobodne i apsorbirane vode u betonu i ovisno je o većem broju faktora kao što su: vlažnost zraka, srednji poluprečnik, trenutak nanošenja opterećenja, klasa betona, srednja temperatura, konzistencija betona (v/c – faktor), klasa cementa, količina cementnog tijesta, tip opterećenja (zatezanje, pritisak, savijanje), postotak armiranja, granulometrijski sastav agregata i tip agregata, koji više ili manje utječu na vremensku promjenu koeficijenta puzanja.

Linearna teorija puzanja, koja se može primjeniti kod naprezanja u eksploataciji $\sigma_c < 0,5 \cdot f_c$ uzima da je plastična deformacija betona pri dugotrajanom opterećenju linearno proporcionalna deformaciji pri kratkotrajanom opterećenju, odnosno naprezanju.

$$\varepsilon_{cp} t, t_o = \varphi t, t_o \cdot \frac{\sigma_c t_o}{E_c},$$

gdje su:

$\varphi t, t_o$ - koeficijent puzanja betona u trenutku t , starog t_o u trenutku opterećenja

E_c - tangentni modul elastičnosti betona starog 28 dana

Skupljanje konstrukcija spada u grupu indirektnih dejstava, koja su osim što su iznutra spriječena (međusobni uticaj vlakana), također su spriječena i kroz dejstvo tla.

Obzirom da je skupljanje, odnosno skraćenje vlakana upravo najviše izraženo u ranijim danima kada je čvrstoća na zatezanje mala predvidjeli smo posebnu njegu betona koja je detaljnije objašnjena u «Tehničkim uslovima za materijale».

Uticaji skupljanja se ne mogu zanemariti za ovakve objekte jer se radi o dugogodišnjem procesu čiji rezultati mogu biti vidljivi tek za desetak godina. *Dio tih uticaja se može anulirati kroz efekte puzanja odnosno prelazak konstrukcije u stadij II (pojavu kontrolisanih naprslina)* što je ovdje računski uzeto u obzir. Računato je više odvojenih proračuna, za različite starosti konstrukcije. Ovo je bilo potrebno radi promjene krutosti betonske konstrukcije, a što je posljedica pojavljivanja naprslina i efekata puzanja betona.

Skupljanje betona kao promjena volumena betona također je ovisna o parametrima kao što su sastav betona, vlažnost i temperatura okoliša, dimenzije elemenata. Koeficijent skupljanja ima malu ulogu u vertikalnim deformacijama ali veliku u uzdužnim.

Zbog velikog broja parametara o kojima ovise koeficijenti puzanja i skupljanja, EC-2 ne daje odnose φ , $t, t_o / \varphi t_\infty, t_o$ te $\varepsilon_{cs}/\varepsilon_{cs0}$ već se dodatkom normi daju izrazi za prognozu skupljanja i puzanja u vremenu "t" u funkciji gore navedenih faktora. **Vrijednost koeficijenta skupljanja** u određenom vremenskom intervalu prema EC-2:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cs0} \cdot \beta_s(t - t_s),$$

gdje su:

$$\varepsilon_{cs0} = \varepsilon_s(f_{cm}) \cdot \beta_{RH}$$

- osnovna vrijednost skupljanja;

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = [160 + \beta_{sc} \cdot (90 - f_{cm})] \cdot 10^{-6}$$

- ovisnost o betonu i cementu;

$$\beta_{sc} = \begin{cases} 4 \\ 5 \\ 8 \end{cases};$$

$$\beta_{sc} = 5 \text{ (CEM 32,5 ili CEM 42,5 sa običnim stvrdnjavanjem)}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 35 + 8 = 43 N/mm^2$$

- za cement sa polaganim, običnim ili brzim stvr.
čvrstoća zatezanje nakon 28 dana;

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1,55 \cdot \beta_{sRH} \\ +0,25 \end{cases}$$

- za vlažnost $40\% \leq RH < 99\%$ (na otvorenom) odnosno
za relativnu vlažnost $RH \geq 99\%$ (u vodi);

RH – relativna vlažnost okoliša u %

$$\beta_{sRH} = 1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3 = 1 - \left(\frac{70}{100} \right)^3 = 0,657$$

- koef. uticaja vlažnosti zraka na osnovno skupljanje

$$\beta_{RH} = -1,55 \cdot 0,657 = -1,018$$

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = [160 + 5 \cdot (90 - 43)] \cdot 10^{-6} = 395 \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{cs0} = \varepsilon_s(f_{cm}) \times \beta_{RH} = 395 \times 10^{-6} \times (-1,018) = -402,11 \times 10^{-6}$$

$$\beta_s(t - t_s) = \left(\frac{t - t_s}{0,035 \cdot h_o^2 + t - t_s} \right)^{1/2}$$

- koef. koji opisuje vremensku promjenu skupljanja

t - starost betona u danima u trenutku promatranja

t_s - starost betona u danima u trenutku kad se počinje promatrati skupljanje

$t - t_s$ - stvarno trajanje skupljanja u danima

$$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u} - \text{srednji poluprečnik presjeka (mm)}$$

Srednji poluobim za rasponsku konstrukciju:



Area = 66739,6567,
Perimeter = 2033,3155

Slika 10 -Obim i površina rasponske konstrukcije dobijena u programu AutoCAD

$$O_{eff} = 2033,315 - 920 + 0,2 \cdot 920 = 1297,3 \text{ cm}$$

$$O_{eff} = 1297,3 \text{ cm}$$

$$h_o^{R.K.} = \frac{2 \cdot A_c}{O_{eff}} = \frac{2 \cdot 55739,65}{1297,3} = 85,93 \text{ cm} \quad (1108 \text{ mm})$$

Srednji poluobim za srednji stub:

$$h_o^{stab.} = \frac{2 \cdot A_c}{O} = \frac{2 \cdot 420 \cdot 90}{2 \cdot (420 + 90)} = 75,11 \text{ m}$$

Zbog jednostavnosti računat ćemo sa osrednjjenim poluobimom presjeka:

$$h_o = \frac{h_o^{R.K.} + h_o^{stab.}}{2} = \frac{85,23 + 75,11}{2} = 80,17 \text{ mm}$$

$$\beta_s(50 \text{ dana}) = \left(\frac{50 - 3}{0,035 \cdot 801,7^2 + 50 - 3} \right)^{1/2} = 0,045 - \text{vremenski koeficijent za 50 dana}$$

$$\beta_s(30000 \text{ dana}) = \left(\frac{30000 - 3}{0,035 \cdot 801,7^2 + 30000 - 3} \right)^{1/2} = 0,755$$

$$\varepsilon_{cs}(50d) = \varepsilon_{cs0} \cdot \beta_s(50d) = -402,11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,045 = -1,809 \times 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{cs}(\infty) = \varepsilon_{cs0} \cdot \beta_s(\infty) = -402,11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,75 = -3,01 \times 10^{-4}$$

Dobijena mjera skupljanja se može djelimično umanjiti zbog pada krutosti konstruktivnih elemenata. Opadanje krutosti konstruktivnih elemenata uzrokovano je padom modula elastičnosti zbog uticaja efekta puzanja, te pojavom kontrolisanih napravljina.

Pad modula elastičnosti uslijed puzanja može se predstaviti slijedećim izrazom:

$$E_{c,eff}(t_0) = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi(t_1, t_0))}$$

Konačna vrijednost puzanja računata je sa RH=70 % i starost betona kod nanošenja opterećenja od 28 dana, a za beton C 30/37:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c \cdot (t - t_0)$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad \text{- osnovna vrijednost za koeficijent puzanja}$$

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} = 1 + \frac{1 - 70 / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{801,7}} = 1,322 \quad \text{- koef. koji uzima u obzir rel. vlažnost zraka}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{43}} = 2,562$$

$$\beta(t_o) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 28^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 1,947} = 0,4885$$

$$\beta_H = 1500$$

$$\beta_c(t - t_0) = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right)^{0,3};$$

$$\beta_c(50 - 28) = \left(\frac{50 - 28}{1500 + 50 - 28} \right)^{0,3} = 0,2805;$$

$$\beta_c(30.000 - 28) = \left(\frac{30000 - 28}{1500 + 30000 - 28} \right)^{0,3} = 0,985;$$

$$\phi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_o) = 1,322 \cdot 2,562 \cdot 0,4885 = 1,6545$$

$$\phi_{\infty, 28} = \phi_0 \times \beta_{c, \infty} = 1,6545 \times 0,985 = 1,63$$

$$\phi_{50,28} = \phi_0 \times \beta_{c, \infty} = 1,6545 \times 0,2805 = 0,462$$

Za $t = 50d$:

$$E_{c,eff}(50d) = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi(t_1, t_0))} = \frac{31900}{(1 + 0,462)} = 21819,42 \frac{N}{mm^2}$$

Za $t = 30.000d$:

$$E_{c,eff}(\infty) = \frac{E_{cm}}{(1+\phi(t_1, t_0))} = \frac{31900}{(1+1,63)} = 12129,27 \frac{N}{mm^2}$$

Ukupno skupljanje mosta sada iznosi:

$$\Delta L = \varepsilon_{cs}(\infty, t_s) \cdot L = -0,301 \cdot 10^{-3} \cdot 40 = -0,01203m$$

$$\Delta L = 1,203cm$$

Efekat skupljanja betona u proračunu konstrukcije uzet ćemo kao poseban slučaj opterećenja, gdje opterećenje nanosimo kao negativnu temperaturu u vrijednosti koja je potrebna da izazove skupljanje od 1,93 cm. To znači:

$$\Delta L = k_t \cdot t \cdot L \quad k_t = \frac{\Delta L}{t \cdot L} = \frac{-0,01203}{10^{-5} \cdot 40} = -30,07^\circ C$$

Ovu temperaturu umanjujemo za 40% zbog nastanka prslina u betonu, pa mjerodavna temperatura za proračun od skupljanja iznosi: $t_{rac} = 0,6 \cdot k_t = -18,045^\circ C$.

3.3.10 Opterećenje vjetrom

Prema Europskim standardima opterećenje vjetrom je analizirano prema EC-1, odnosno EN 1991-1-4:2005.

EuroCode-1

Ovisno o osjetljivosti mosta na dinamičku pobudu primjenjuju se dva postupka za proračun opterećenja od vjetra.

Pojednostavljeni proračun znači da se djelovanje vjetra uzima kao zamjensko statičko opterećenje u svim horizontalnim smjerovima i koristi se za konstrukcije neosjetljive na dinamičku pobudu te za proračun dinamički umjereno osjetljivih konstrukcija, primjenom dinamičkog koeficijenta c_d .

Detaljan proračun provodi se za konstrukcije za koje se očekuje da su osjetljive na dinamičku pobudu i kod kojih je vrijednost dinamičkog koeficijenta $c_d > 1,2$. Pojednostavljeni postupak može se koristiti za cestovne i željezničke mostove sa maksimalnim rasponom manjim od 200m, te za pješačke mostove maksimalnog raspona manjeg od 30m. Uz to treba da se zadovolji i uslov vitkosti L/b (pri čemu je L =raspon, b =konstrukcijska visina), i da je visina konstrukcije mosta konstantna i sastoji se od jedne kolovozne konstrukcije.

U razmatranom rješenju radi se o računskoj dužini natputnjaka $L_{rac}=40m (<200)$, male vitkosti :

- za kontinualne gredne nosače $L/b \leq 40$
- $L = 40m, b = 5,84m \dots L/b = 40/5,84 = 6,84 < 40$

- tako da će se primijeniti pojednostavljeni postupak (EC1).

Djelovanje vjetra na rasponski sklop

Rezultujuća sila vjetra na rasponski sklop određuje se na osnovu slijedećeg izraza:

$$F_w = q_{ref} \cdot c_e \cdot z_e \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{ref}$$

q_{ref} - referentni pritisak srednje brzine vjetra

c_e , z_e - koeficijent izloženosti

c_d - dinamički koeficijent odgovora konstrukcije na udar vjetra

c_f - aerodinamički koeficijent sile vjetra

A_{ref} - referentna površina djelovanja vjetra

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2$$

Za područje grada Sarajeva važi da je srednja brzina vjetra, sa $T = 50\text{god}$, $z = 10\text{m}$, $v_{ref} = 23\text{m/s}$.

Gustoća zraka iznosi $\rho = 1,25\text{kg/m}^3$.

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1,25}{2 \cdot 1000} \cdot 23^2 = 0,331\text{kN/m}^2$$

Koeficijent izloženosti $c_e(z_e)$ uzima u obzir uticaj hrapavosti terena, topografije i visine iznad tla, na srednju brzinu vjetra i turbulenciju. Referentna visina z_e je razmak najniže tačke tla do težišta konstrukcije mosta.

$$c_e(z) = c_r^2(z) \cdot c_t^2(z) \cdot \left[1 + \frac{7 \cdot k_T}{c_r(z) \cdot c_t(z)} \right]$$

k_T - koeficijent terena

$c_r(z)$ - koeficijent hrapavosti terena

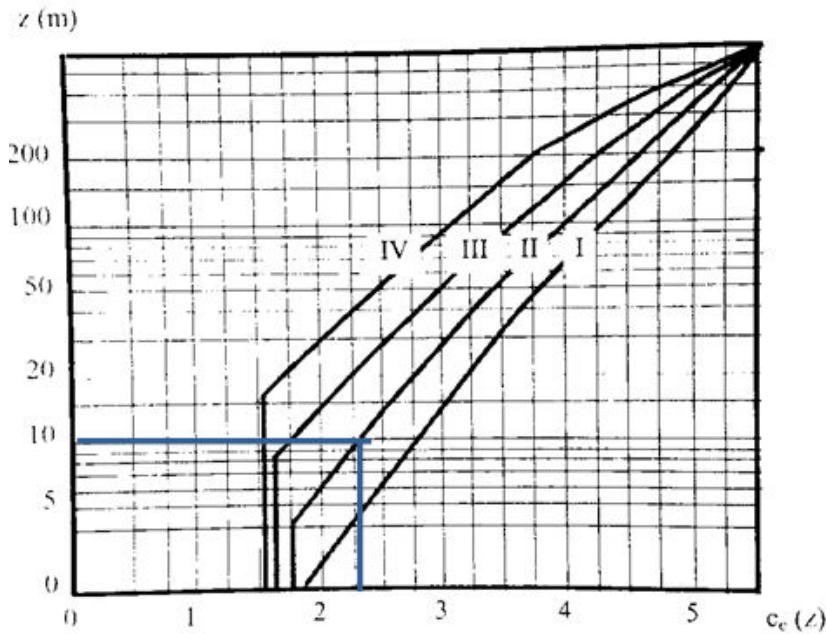
$c_t(z)$ - koeficijent topografije

z_o - dužina hrapavosti terena

z_{min} - minimalna visina

Za ravne terene (a to su svi tereni osim lokacija blizu izdvojenih brežuljaka i strmih nagiba) koeficijent topografije $c_t(z) = 1,0$, pa se koeficijent izloženosti $c_e(z_e)$ može odrediti sa slike. Natputnjak se gradi na

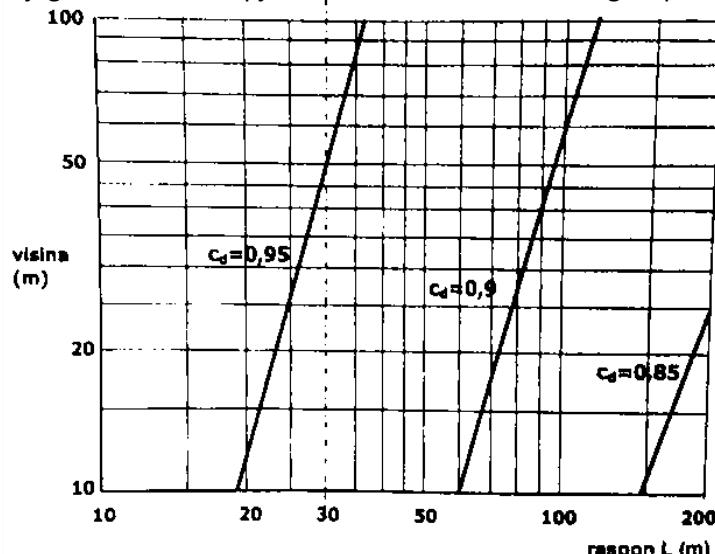
II kategoriji terena (Poljoprivredno zemljište sa ogradama, povremenim malim poljoprivrednim objektima, kućama ili drvećem).



Slika 11- Koeficijenti izloženosti kao funkcije visine „z“ iznad tla, za kategorije hrapavosti terena I-IV, za $c_t=1$

Iz dijagrama slijedi $c_e(z) = 2,20$

Dinamički koeficijent odgovora konstrukcije na udar vjetra za cestovne i željezničke mostove maksimalnog raspona manjeg od 200m te za pješačke mostove maksimalnog raspona manjeg od 30m dat je na slici:



Slika 12 - Vrijednosti dinamičkog koeficijenta za cestovne, željezničke i pješačke mostove

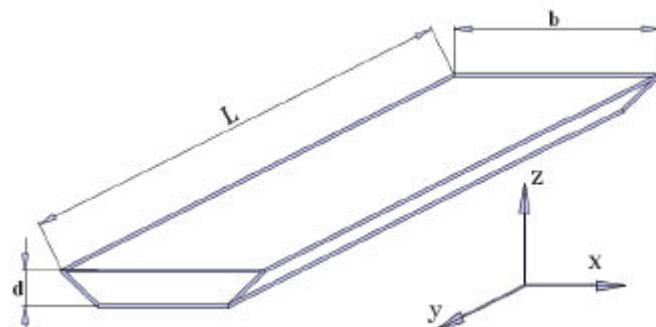
Iz dijagrama slijedi $c_d = 0,90$

Djelovanje vjetra na mostove razlaže se na tri komponente, djelovanje poprijeko na most (x), djelovanje vjetra kao uzgona (z), djelovanje vjetra uzduž objekta (y). Sila uzgona javlja se kad vjetar djeluje pod uglom u odnosu na vertikalnu ravan. Opterećenje vjetrom u smjeru (z) i (y) zanemarujuemo.

Aerodinamički koeficijenti sile vjetra poprijeko na most u pravcu (x) daje se kao:

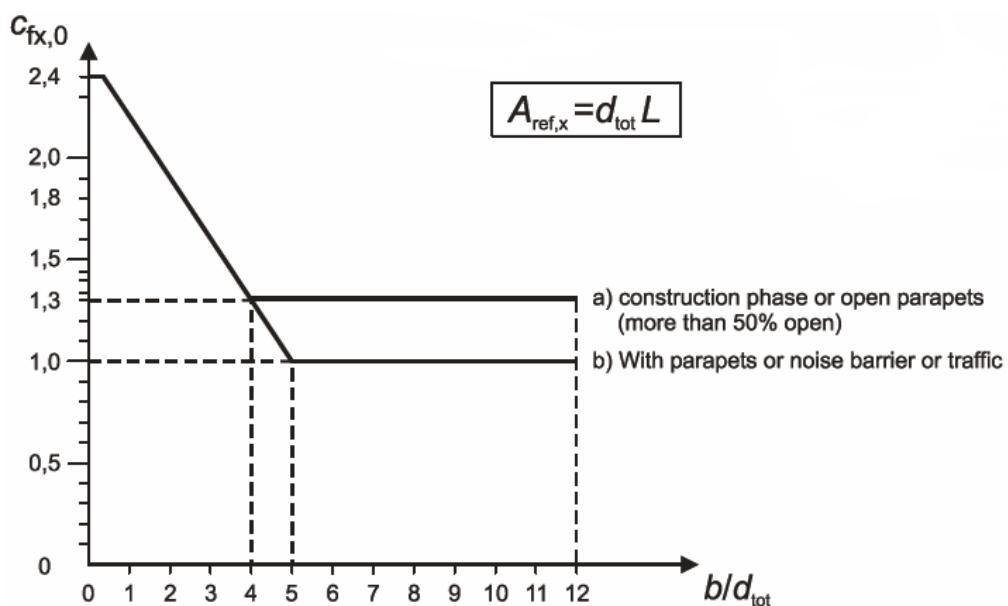
$$c_{fx} = c_{fx,0} \cdot \psi_{\lambda,x}$$

c_{fx} - koeficijent sile za beskonačnu vitkost
 λ ($\lambda = L/d$ za karakteristične tipove mostova)



Slika 13 - Pravci djelovanja vjetra na most

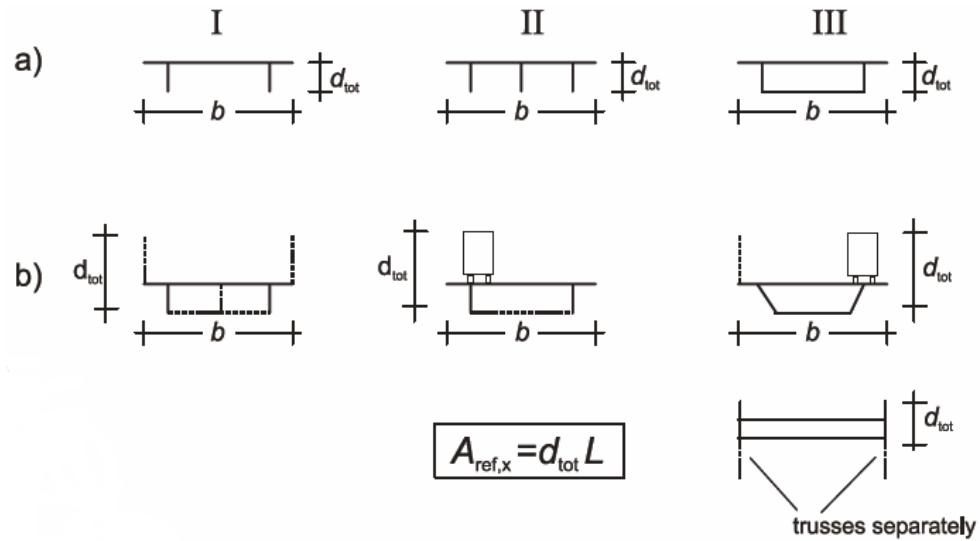
$\psi_{\lambda,x}$ - koeficijent redukcije uslijed vitkosti, pojednostavljeno uzimamo $\psi_{\lambda,x} = 1,0$



Slika 14-Određivanje koeficijenta c_{fx}

Gdje imamo dva slučaja opterećenja

- a) Neopterećen most
 b) Opterećen most



Slika 15 -Tip mosta

Za neopterećen most slučaj III (a):

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{990}{118} = 8,4 \rightarrow c_{fx,0} = 1,3$$

$$A_{ref} = 40 \cdot (1,18 + 0,30) = 59,2 m^2$$

Za opterećen most slučaj III (b):

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{990}{345} = 2,87 \rightarrow c_{fx,0} = 1,8$$

$$A_{ref} = 40 \cdot 3,25 = 130 m^2$$

Sile od vjetra na konstrukciju:

➤ Neopterećen most:

$$F_{w1} = q_{ref} \cdot c_e \cdot z_e \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{ref}$$

$$F_{w1} = q_{ref} \cdot c_e \cdot z_e \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{ref} = 0,331 \cdot 2,20 \cdot 0,9 \cdot 1,3 \cdot 59,2 = 50,43kN$$

$$w_{1,x} = \frac{F_{w1}}{l} = \frac{50,43}{40} = 1,26kN/m$$

➤ Opterećen most:

$$F_{w2} = q_{ref} \cdot c_e \cdot z_e \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{ref} = 0,331 \cdot 2,20 \cdot 0,9 \cdot 1,45 \cdot 130 = 85,20kN$$

$$w_{2,x} = \frac{F_{w2}}{l} = \frac{85,2}{40} = 2,13kN/m$$

Uzdužne sile vjetra u pravcu (y) uzimaju se sa vrijednošću 25% od sile u pravcu (x) za pune i sandučaste nosače:

$$w_{1,y} = 0,25 \cdot w_{1,x} = 0,25 \cdot 1,26 = 0,315kN/m$$

$$w_{2,y} = 0,25 \cdot w_{2,x} = 0,25 \cdot 2,13 = 0,53kN/m$$

Djelovanje vjetra na stubove

Za stubove vitkosti $h/b > 2$ i približno konstantnog poprečnog presjeka sila vjetra na djeliču površine A_j na visini z_j težišta te površine, računa se izrazom:

$$F_{wj} = q_{ref} \cdot c_e \cdot z_j \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_j$$

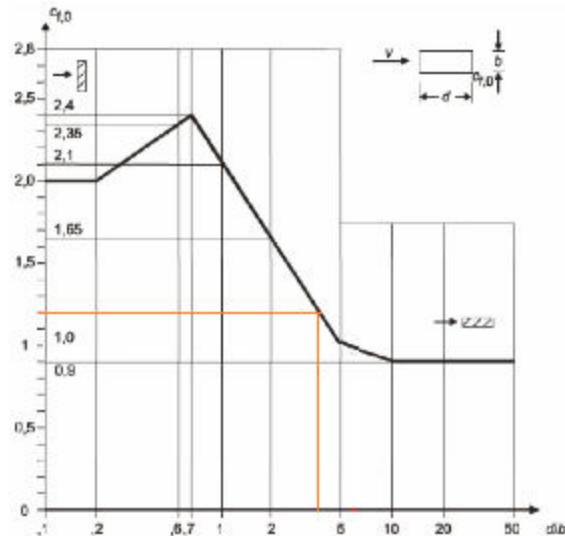
Aerodinamički koeficijent sile za konstrukcijske elemente pravougaonog presjeka dat je izrazom:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

c_f - koeficijent sile za pravokutne presjeke za beskonačnu vitkost

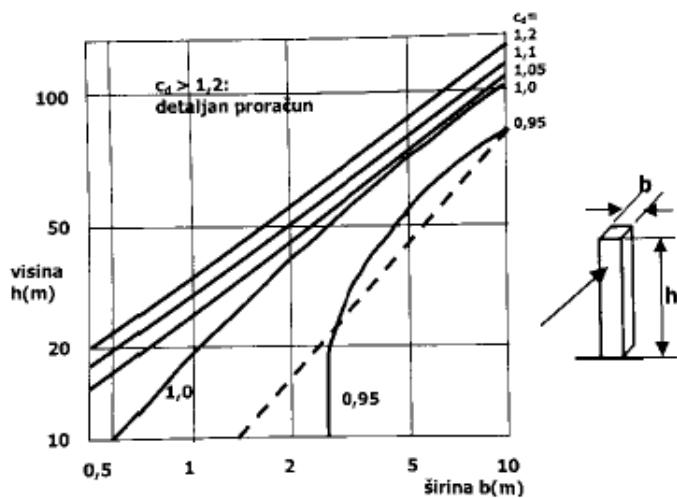
ψ_λ - koeficijent redukcije za elemente sa konačnom vitkošću

$$\frac{d}{b} = \frac{4,20}{0,90} = 5,4 \rightarrow c_{f,0} = 1,2$$



Slika 16 -Koeficijenti sile za pravougaone presjeke sa oštrim rubovima, pri vitkosti $\lambda=\infty$

Dinamički koeficijent može se odrediti prema slici:



Slika 17 -Dinamički koeficijent cd za stubove visine „h“ i širinedjelovanja vjetra „b“

$$c_d = 1,0$$

$$F_{w,x} = q_{ref} \cdot c_e \cdot z_j \cdot c_d \cdot c_{fj} \cdot A_j = 0,331 \cdot 2,20 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,95 \cdot 5,04 = 6,973 kN$$

$$w_{s,x} = \frac{6,97}{4,98} = 1,39 kN / m$$

$$F_{w,y} = 0,25 \cdot F_{w,x} = 0,25 \cdot 6,973 = 1,74 kN$$

$$w_{s,y} = \frac{1,74}{4,98} = 0,349 kN / m$$

3.6.11 Opterećenje seizmičkim silama

Proračun uticaja od zemljotresa vrši se metodom spektralne analize u skladu sa EC-8. Pri tome su primjenjeni slijedeći parametri:

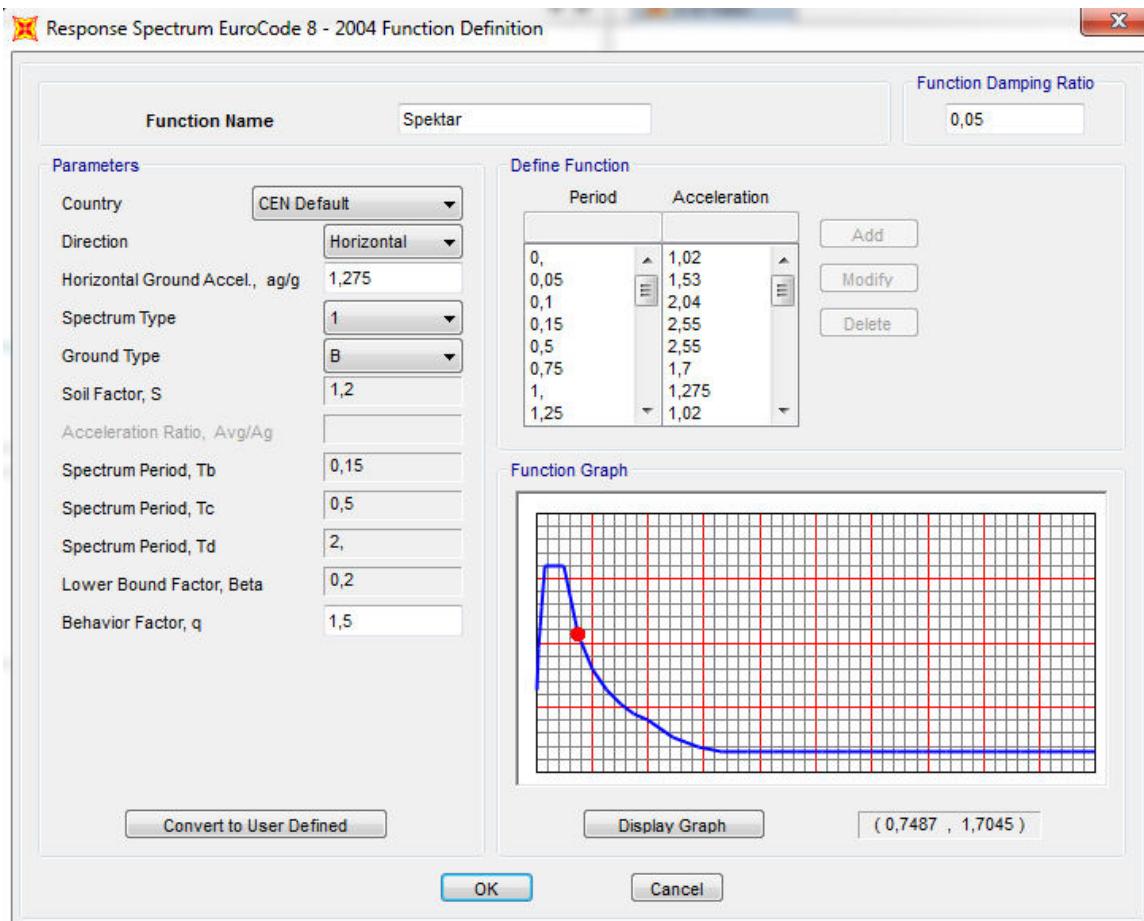
Ubrzanje zemlje: $a_g = 0,1 \cdot g = 0,981 \text{ m/s}^2$ - VII seizmička zona

Kategorija zemljjišta: B

Prigušenje: 5%

Faktor ponašanja: $q = 1,5$

Napomena: pri konstruisanju projektnog spektra koristi se tip 1 projektnog spektra (prema EC8 ovaj tip se koristi ako se očekuju potresi većih magnituda).



Zbog niske seizmičke zone i karaktera konstrukcije nerealno je očekivati da seizmička kombinacija opterećenja bude mjerodavna za dimenzioniranje stubova.

3.4 Modeli opterećenja za nasip iza upornjaka

3.4.1 Vertikalna opterećenja

Ako se u pojedinim slučajevima ne odredi drugačije, treba kolnik iza zida upornjaka, krila, bočnih zidova i drugih dijelova mosta koji stoje u direktnom dodiru sa zemljom, opteretiti modelima opterećenja kao i za vertikalno pokretno opterećenje – Model 1. U skladu sa karakterističnim opterećenjima na kolniku. Radi pojednostavljenja može se opterećenje dvoosovine zamijeniti sa jednako raspodijeljenim opterećenjem na površini od $1,0 \times 2,0\text{m}$. Ako nema drugih odredbi, može se pri pravilnom zbijanju nasipa iza upornjaka pretpostaviti da se opterećenje rasprostire pod uglom od 30° prema vertikali.

3.4.2 Horizontalna opterećenja

Za proračun čeonih zidova upornjaka treba uzeti u obzir silu kočenja u uzdužnom smjeru. Karakteristična vrijednost ove sile je $0,60 \cdot a_{Q1} \cdot Q_{1k}$

Ova sila djeluje istovremeno s osovinskim opterećenjem $a_{Q1} \cdot Q_{1k}$ za opterećenje –Model 1 i sa potiskom nasipa iza upornjaka. Kolnik iza čeonog zida treba predvidjeti da nije istovremeno opterećen. Korisno opterećenje na jediničnoj površini može se zamijeniti djelovanjem nadstola tla odgovarajuće visine i mase.

3.4.3 Diferencijalno slijeganje stubova

Analizirana su dva tipa diferencijalnog slijeganja.

- Vjerovatno slijeganje 10 mm (analizirano u SLS-u)
- Moguće slijeganje 25mm* (analizirano u ULS-u)

*Diferencijalno slijeganje u stanju granične nosivosti se određuje uz uslov popucalosti presjeka (prelaska u stadij II) zbog čega se krutost sistema umanjuje za 60%.

3.4.4 Kombinacije djelovanja opterećenja

Prema EC-1 razlikuju se stalne i prolazne proračunske situacije, izvanredne proračunske situacije te seizmičke proračunske situacije od kojih ovisi promjenjiva kombinacija djelovanja opterećenja za proračun računske vrijednosti djelovanja.

Tabela br.3.: Računske vrijednosti djelovanja opterećenja

Proračunska situacija	Simbol	Računska vrijednost djelovanja
Stalna/Prolazna	P/T	$S_d = S_d \left[\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} + \gamma_P \cdot P_k \right]$
Izvanredna	A	$S_d = S_d \left[\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{11} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + A_d + \gamma_p \cdot P_k \right]$
Seizmička	E	$S_d = S_d \left[\sum_j G_{k,j} + A_{Ed} + \psi_{21} \cdot Q_{k,1} + P_k \right]$

$G_{k,j}$, $Q_{k,j}$ - karakteristične veličine za stalno i promjenljivo opterećenje

$Q_{k,1}$ - karakteristične veličine nepovoljnog jedinog ili vodećeg promjenljivog djelovanja kad istovremeno djeluje više promjenljivih opterećenja (pokretno opterećenje)

P_k - karakteristične veličine prednaprezanja

A_d - računska vrijednost za slučajno djelovanje koja se daje državnim propisima

g_G, g_Q, g_p - parcijalni koeficijenti sigurnosti za djelovanja

$\psi_{0,1}$ - koeficijenti kombinacije

A_{Ed} - najnepovoljnija računska kombinacija djelovanja seizmičkih komponenti

$\psi_{2,1}$ - koeficijent kombinacije kod seizmičke kombinacije djelovanja

$\psi_{2,1} = 0,2$

Računske vrijednosti djelovanja dobijaju se množenjem reprezentativnih vrijednosti sa parcijalnim koeficijentima sigurnosti datim u slijedećoj tabeli:

Tabela br. 4.: Parcijalni koeficijenti sigurnosti

Djelovanja		Simbol	Proračunska situacija	
			P/T	A
Stalna opterećenja (vlastita težina nosivih i nenosivih elemenata konstrukcije, stalna opterećenja od tla, vode u tlu, slobodne vode	Nepovoljna	$\gamma_{G^{sup}}$	1,35	1,00
	Povoljna	$\gamma_{G^{inf}}$	1,00	1,00
Prednaprezanje		γ_P	1,00	1,00
Slijeganje		γ_{Gset}	1,00	
Prometna djelovanja	Nepovoljna	Cestovni i pješački mostovi	γ_Q	1,35 (*, **)
		Željeznički mostovi	γ_Q	1,45 (*)
		Model SW/2	γ_Q	1,2
Druga promjenljiva djelovanja	Povoljna		γ_Q	0
		Nepovoljna	γ_Q	1,5
		Povoljna	γ_Q	0
Izvanredna djelovanja		γ_A		1,00

(*) – Komponente saobraćajnih djelovanja uvode se u kombinacije kao jedno djelovanje, preko relevantne grupe opterećenja, uz zanemarivanje povoljnih komponenti ovih grupa.

(**) – Prema njemačkom stručnom izvještaju DIN Fachbericht 101 uz korištenje korekcijskog faktora 0,8 za koncentrisana opterećenja vozila, parcijalni koeficijent sigurnosti iznosi 1,5

4. PRORAČUNSKI MODEL KONSTRUKCIJE

4.1 Osnovne prepostavke

Za nosivu konstrukciju natputnjaka usvojen je pločasti poprečni presjek.

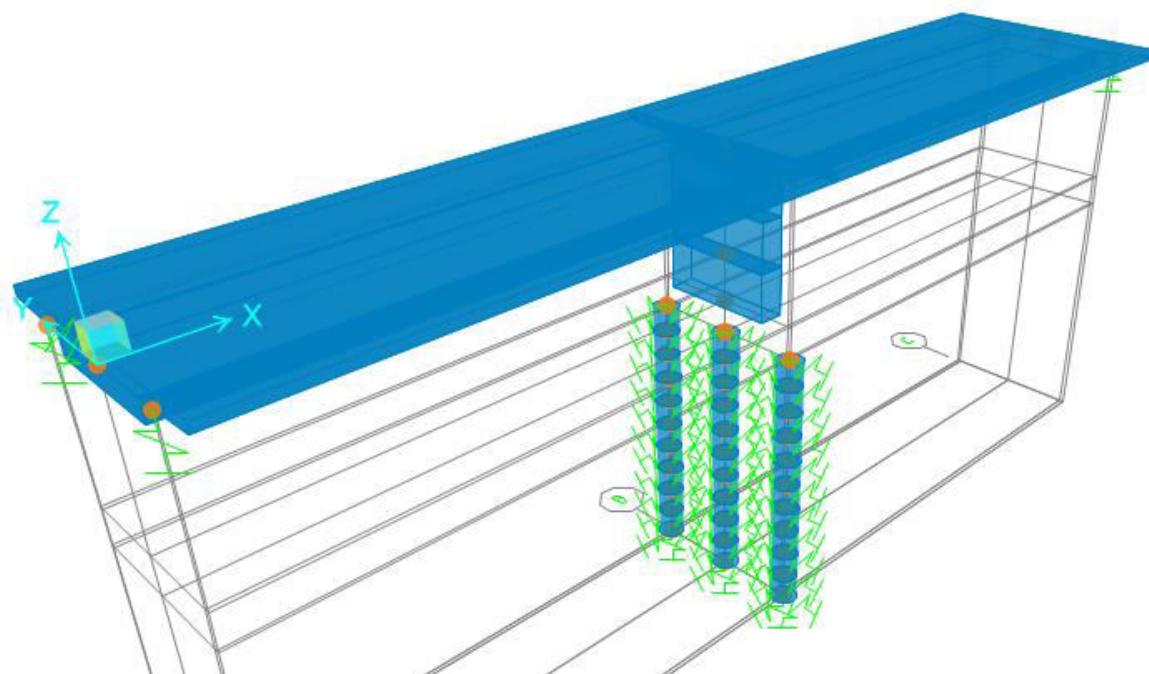
Glavni uzdužni smjer mosta posmatra se kao linijski kontinualni nosač na četiri polja.

Razmaci iznose 20 m. Proračun unutrašnjih sila na ovakvom kontinualnom nosaču provodi se prema poznatim načelima tehničke mehanike. Bitno je uzeti u obzir sve mjerodavne kombinacije opterećenja čime dobijamo sile za dimenzioniranje i odabir potrebne armature.

Prilikom proračuna pomoću računarskog programa, potrebno je voditi računa o slijedećem:

- ✓ Zadati odgovarajući presjek
- ✓ Zadati poprečni presjek metra širine, a visine jednake debljini ploče
- ✓ Zadati kontinuirana opterećenja na pojedine elemente
- ✓ Koncentrisana opterećenja vozila „prošetati“ po mostu
- ✓ Tražiti maksimalne presječne sile od različitih kombinacija opterećenja

Modeliranje konstrukcije urađeno je u softwear-u SAP 2000:



5. Slučajevi opterećenja i mjerodavne kombinacije opterećenje prema EC-2

Opterećenja na natputnjaku su aplicirana na prethodno pokazani računski model za analizu u podužnom smjeru natputnjaka, prema sljedećoj tabeli:

5.1 Zadata opterećenja

Tabela 5: Definicija zadatah opterećenja (sap2000)

	Case Text	Type Text	InitialCond Text	ModalCase Text	BaseCase Text
	DEAD	LinStatic	Zero		
	MODAL	LinModal	Zero		
	Proba	LinStatic	Zero		
	TS	LinMoving	Zero		
	Potres x	LinRespSpec		MODAL	
	Potres y	LinRespSpec		MODAL	
	slijeganje obalnih stubova	LinStatic	Zero		
	slijeganje srednjeg stuba	LinStatic	Zero		
	Dodatno stalno	LinStatic	Zero		
	UDL lijevo	LinStatic	Zero		
	UDL desno	LinStatic	Zero		
	UDL lijevo T	LinStatic	Zero		
	UDL desno T	LinStatic	Zero		
▶	UDL lijevo T1	LinStatic	Zero		
	UDL desno T1	LinStatic	Zero		
	Udar vozila 1000	LinStatic	Zero		
	Udar vozila 500	LinStatic	Zero		
	Temp +30	LinStatic	Zero		
	Temp -28	LinStatic	Zero		
	Lin. temp 6,2	LinStatic	Zero		
	Lin. temp -5	LinStatic	Zero		
	Skupljanje	LinStatic	Zero		
	Vjetar 1	LinStatic	Zero		
	Vjetar 2	LinStatic	Zero		
	Vjetar 3	LinStatic	Zero		
	slijeganje obalnih stubova 25mm	LinStatic	Zero		
	slijeganje srednjeg stuba 25mm	LinStatic	Zero		

Naknadno će biti analizirano dejstvo od sile kočenja koja iznosi $Q_{lk} = 475,38 \text{ kN}$, pa stoga u ovoj tabeli nije prikazano kao slučaj opterećenja.

Intenzitet opterećenja:

Dodatno stalno opterećenje: 42,97 [kN/m]

Linearna temperatura: +10 –gornji rub topliji

Linearna temperatura: -5 – donji rub topliji

Slijeganje: 10 [mm] – SLS

Slijeganje: 25 [mm] – ULS

UDL: 49,25 [kN/m]

TS: 400 [kN] – dvije pokretne sile na razmaku 1.2 [m] koje šetaju po nosaču

5.2 Granično stanje upotrebljivosti - SLS (Serviceability Limit State)

Osnovni uslov: $E_d \leq C_d$ ili $E_d \leq R_d$, gdje su:

E_d – računska vrijednost dejstava

C_d – računska vrijednost kriterija upotrebljivosti

Razlikuju se sljedeće proračunske situacije:

Karakteristična (rijetka) kombinacija: $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Neučestala kombinacija: $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi'_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{1i} \cdot Q_{ki}$

Česta kombinacija: $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Kvazistalna kombinacija: $\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Tabela 6. Koeficijenti kombinacije dejstava za SLS

	Saobraćajno opterećenja		Temperatura T_k
	TS	UDL	
ψ_0	0.75	0.40	0.8
ψ_1	0.75	0.40	0.6
ψ_2	0.20(0)	0.20	0.5
ψ'_1	0.80	0.80	0.8

Natputnjak se svrstava se u klasu D objekata prema DIN FB 102 pri čemu je za proračun naprslina mjerodavna česta kombinacija opterećenja. Formirane su česte kombinacije opterećenja u kojima se kao vodeća dejstva korisnog opterećenja smjenjuju pojedine grupe dajući najnepovoljnije rezultate, koje su

ulazne veličine za provjeru grednih elemenata. Tako imamo kombinaciju sa vodećim opterećenjem od (SLS1), a u drugom slučaju vodeće opterećenje je (SLS2).

Imamo dvije kombinacije, a to su:

a) (SLS1) - vodeće opterećenje: - mjerodavna kombinacija

Stalno + Slijeganje_10mm + (0,75 × TS) + (0,40 × UDL) + (0,5 × Temperatura)

b) (SLS2) - vodeće opterećenje:

Stalno + Slijeganje_10mm + (0,20 × TS) + (0,20 × UDL) + (0,6 × Temperatura)

5.3 Granično stanje nosivosti – ULS (Ultimat Limit State)

Osnovni uslov: $E_d \leq R_d$, gdje su:

E_d - računska vrijednost dejstava

R_d - računska vrijednost otpornosti presjeka

Razlikuju se sljedeće proračunske situacije:

Stalna i prolazna (osnovna):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_p \cdot P_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{oi} \cdot Q_{ki}$$

Incidentna kombinacija nije uopšte mjerodavna, međutim razmatrana je još i seizmička kombinacija opterećenja uz faktor ponašanja konstrukcije $q=1.5$.

$$\sum G_{kj} + P_k + \gamma_A \cdot A_{ED} + \sum \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Tabela 7. Koeficijenti sigurnosti i koeficijenti kombinacije dejstava za ULS

	γ nepovoljno dejstvo	γ povoljno dejstvo	ψ_0
Vlastita težina	1.35	1.0	
Slijeganje oslonaca*)	1.0	0	
Reologija*	1.35	1.0	
Saobraćajno opterećenje TS	1.5	0	0.75
Saobraćajno opterećenje UDL	1.5	0	0.40
Temperatura*)	1.5		0.80

* Presječne sile se određuju sa pretpostavkom da je krutost konstrukcije jednaka 0.6 krutosti po stadiju I

ULS osnovna kombinacija opterećenja (uz smjenjivanje vodećeg dejstva korisnog tereta)

Za nepovoljno dejstvo:

a) (ULS1) - vodeće opterećenje:

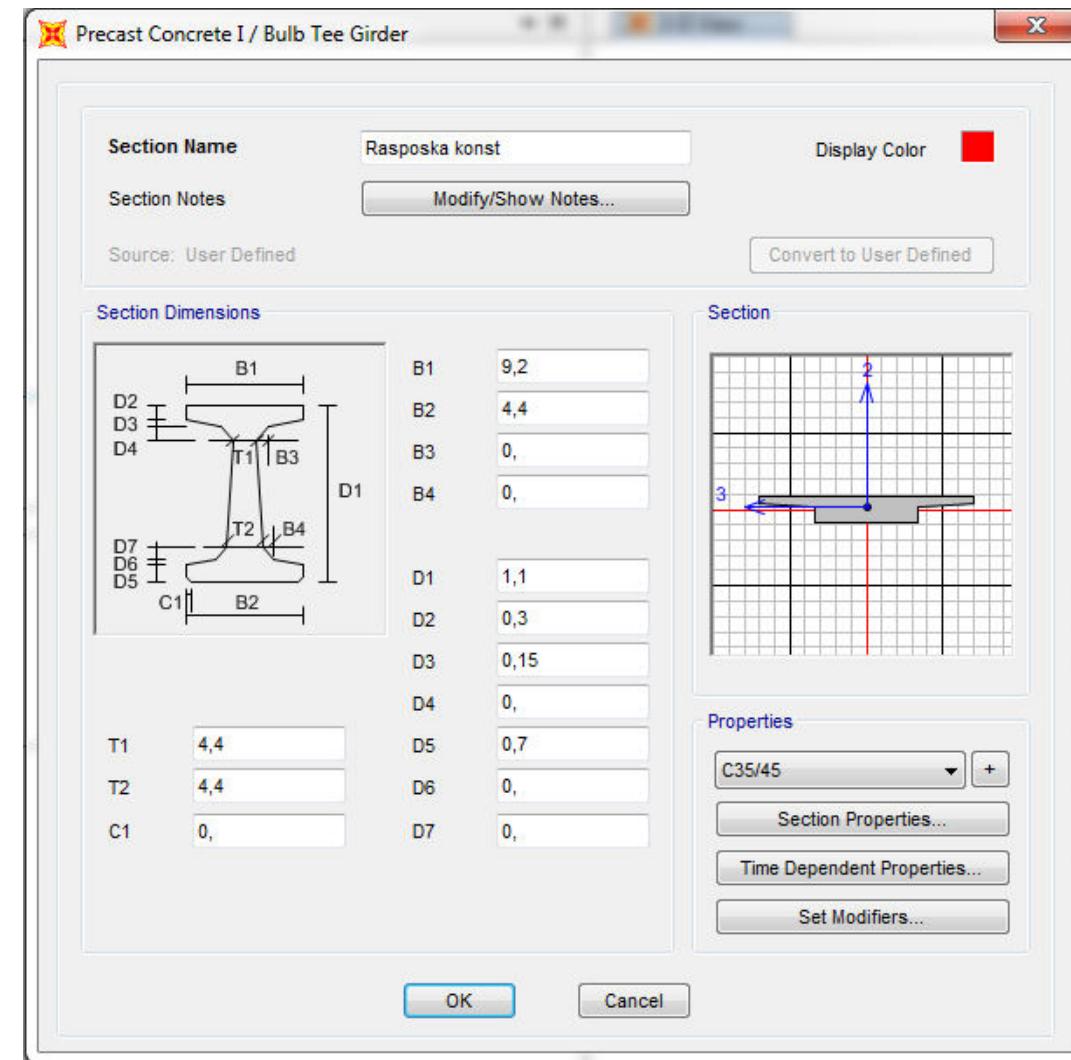
$$1,35 \times \text{Stalno} + (1,0 \times \text{Slijeganje_25mm}) + (1,50 \times \text{TS}) + (1,50 \times \text{UDL}) + (1,5 \times 0,8 \times 0,6 \times \text{Temperatura})$$

b) (ULS2) - vodeće opterećenje:

$$1,35 \times \text{Stalno} + (1,0 \times \text{Slijeganje_25mm}) + (1,50 \times 0,75 \times \text{TS}) + (1,50 \times 0,4 \times \text{UDL}) + (1,5 \times 0,6 \times \text{Temperatura})$$

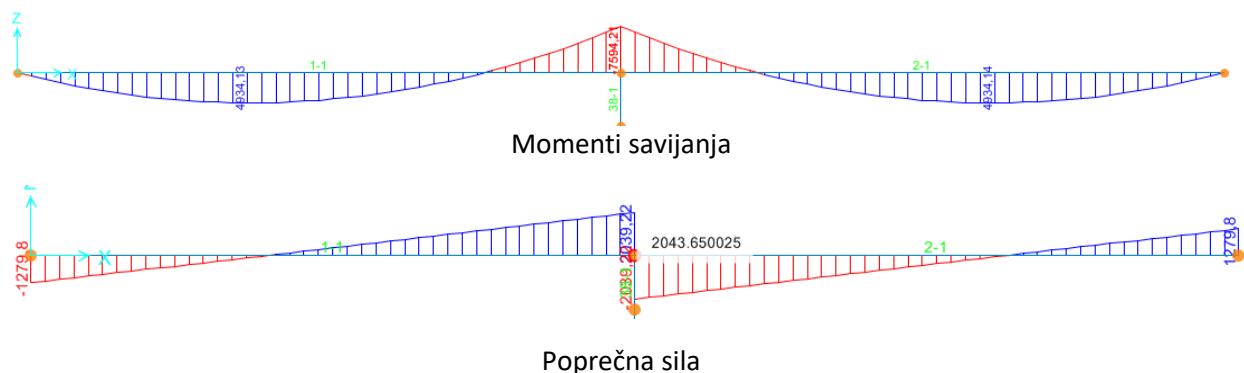
5.4 Model nosača u softveru sap2000

Poprečni presjek nosača:

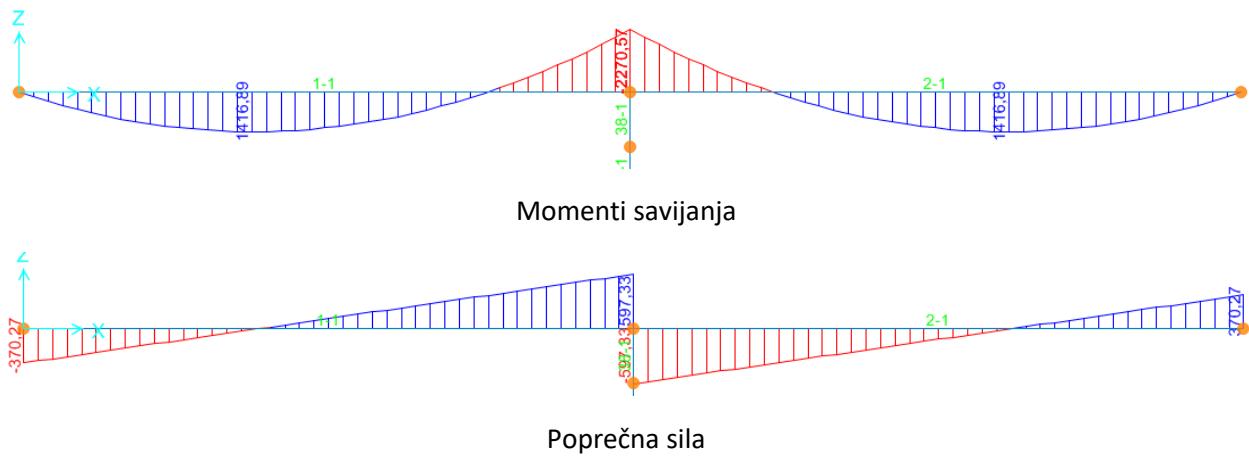


6. Statički proračun (analiza opterećenja prema EC-1, EC-8)

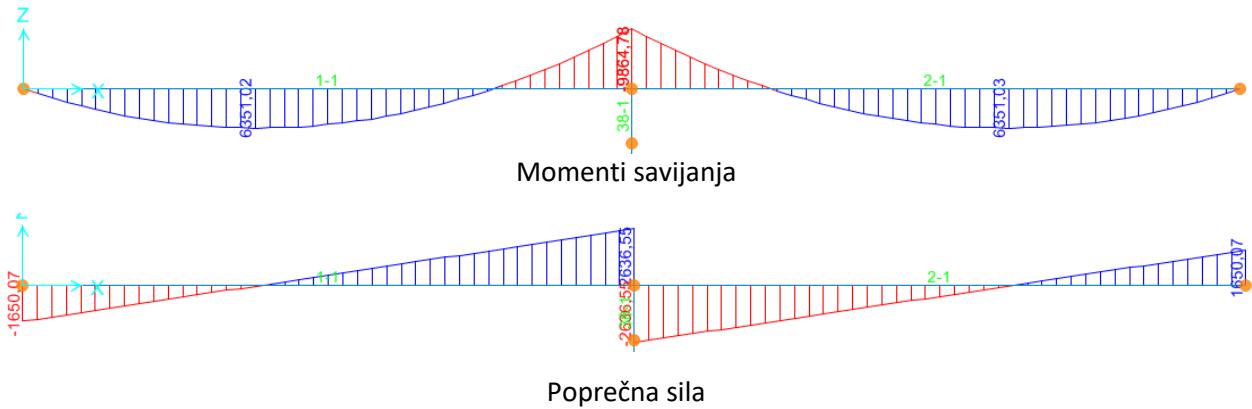
6.1 Uticaji od vlastite težine



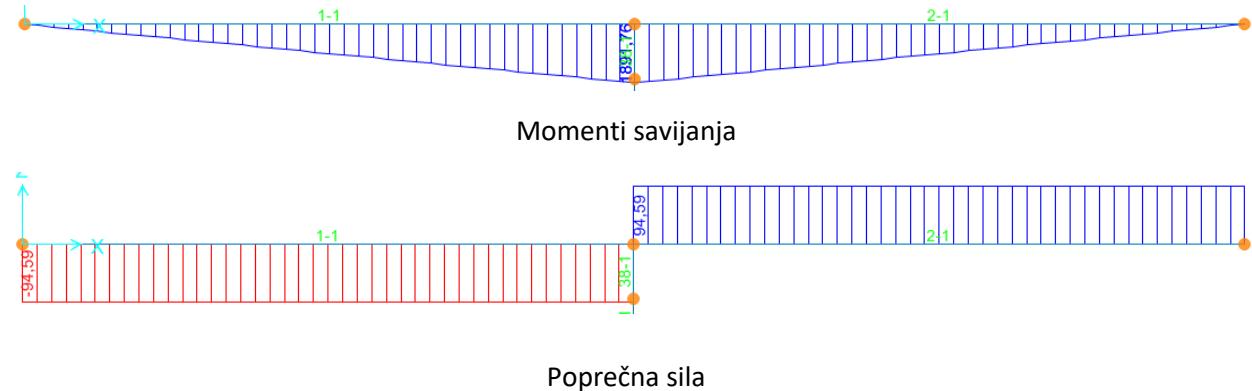
6.2 Uticaji od dodatnog stalnog opterećenja



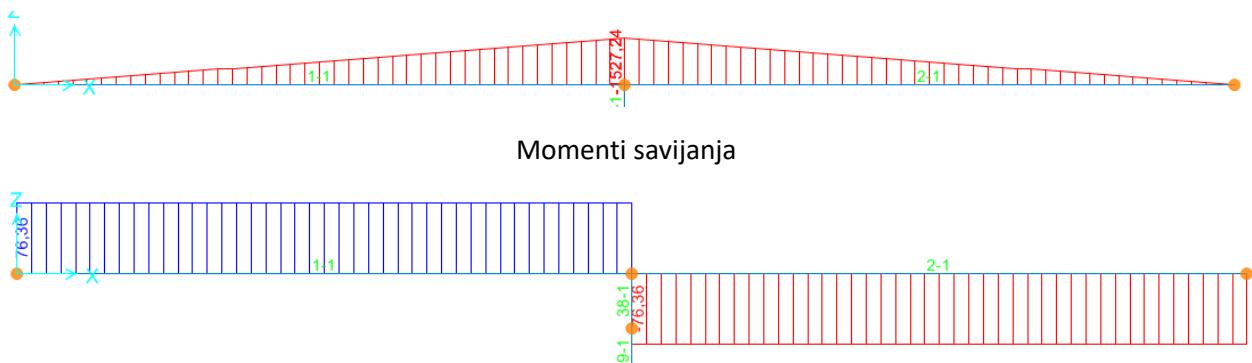
6.3 Kombinacija stalnog i dodatnog stalnog opterećenja



6.4 Uticaj jednolike promjene temperature $t=+6,2^{\circ}\text{C}$



6.5 Uticaj jednolike promjene temperature $t= - 5^{\circ}\text{C}$

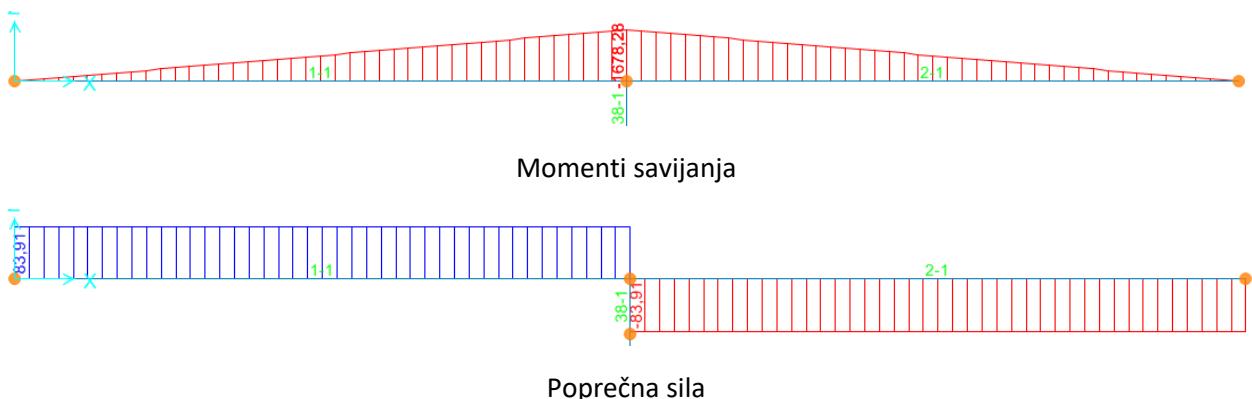


Poprečna sila

6.6 Anvelopa uticaja od temperature

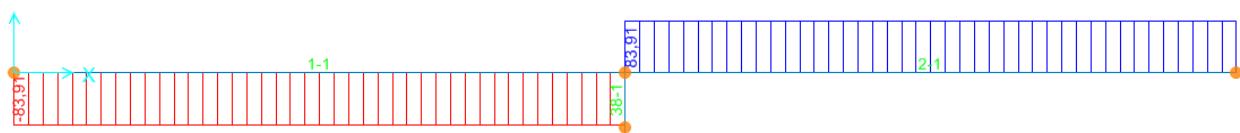


6.7 Slijeganje U-1 U-2= 10mm (osl.)



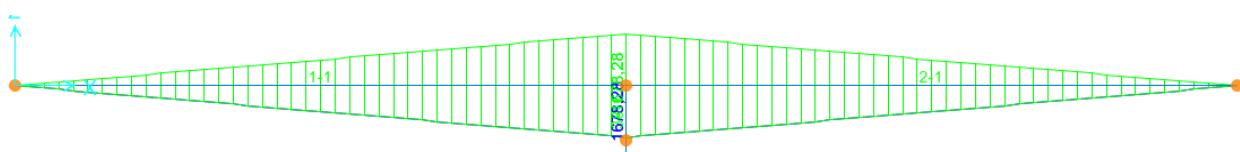
6.8 Slijeganje S-1= 10mm (lijevi osl.)





Poprečna sila

6.9 Anvelopa uticaja od slijeganja $s=10\text{mm}$

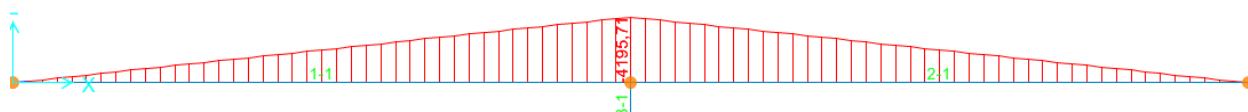


Momenti savijanja

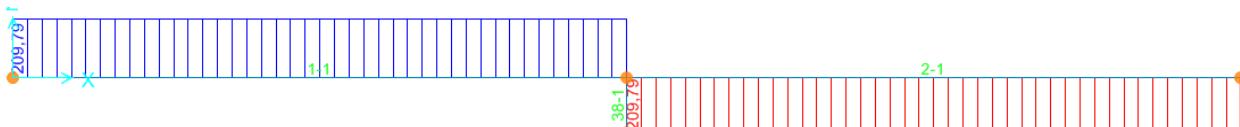


Poprečna sila

6.10 Slijeganje U-1 U-2= 25mm (osl.)

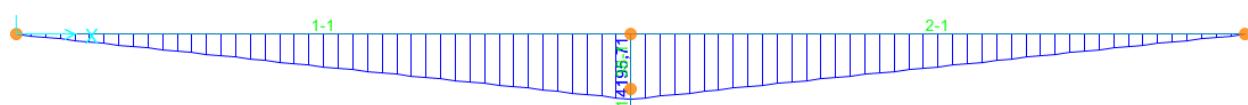


Momenti savijanja

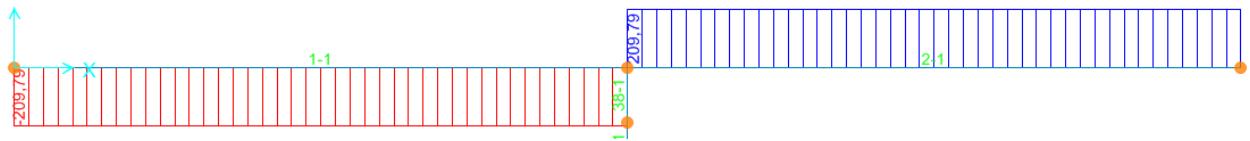


Poprečna sila

6.11 Slijeganje S-1= 25mm



Momenti savijanja



Poprečna sila

6.1 Anvelopa uticaja od slijeganja $s=25\text{mm}$

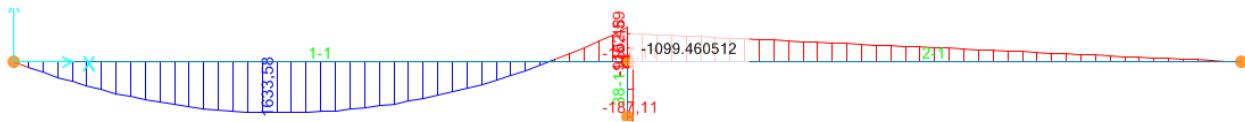


Momenti savijanja

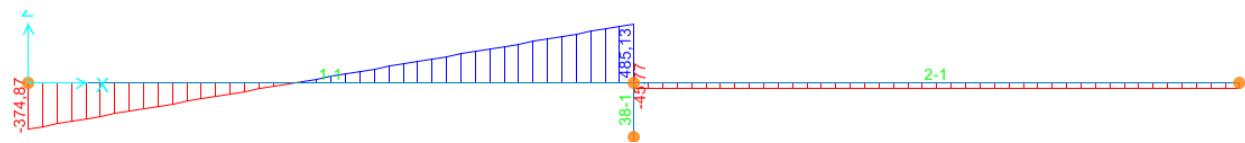


Poprečna sila

6.2 UDL opterećenje (lijevo)



Momenti savijanja

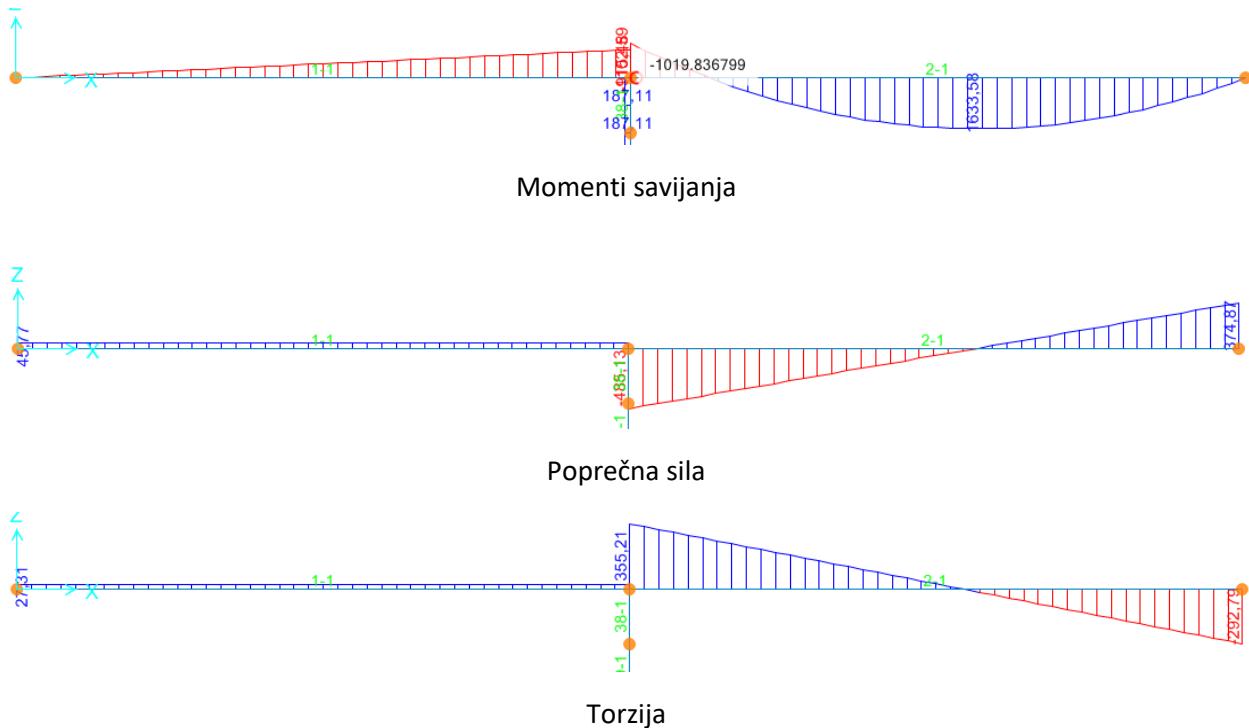


Poprečna sila

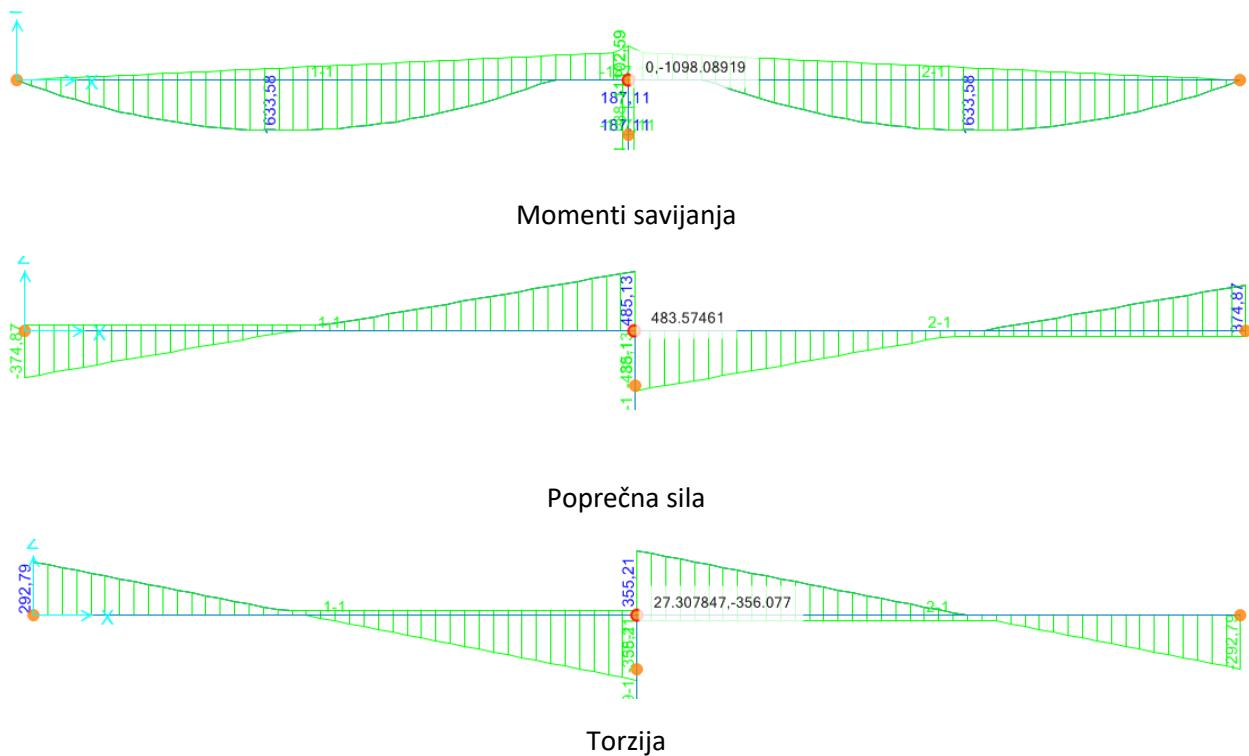


Torzija

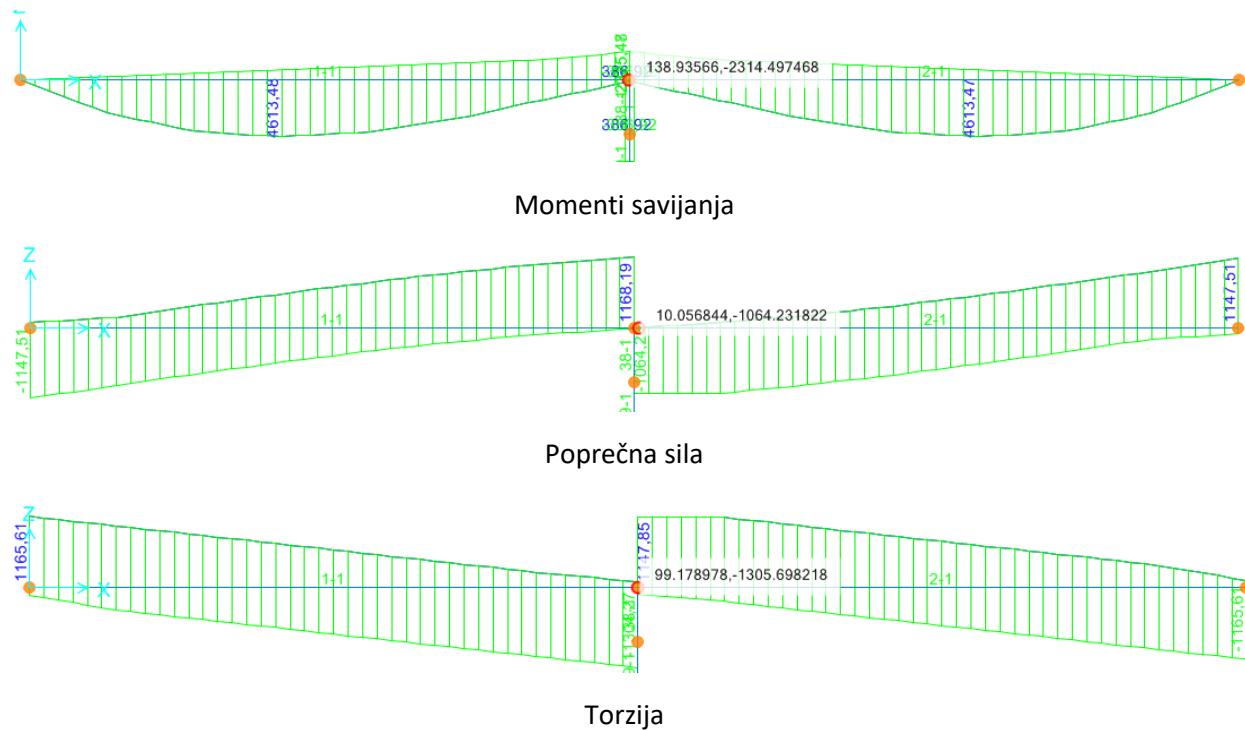
6.3 UDL opterećenje (desno)



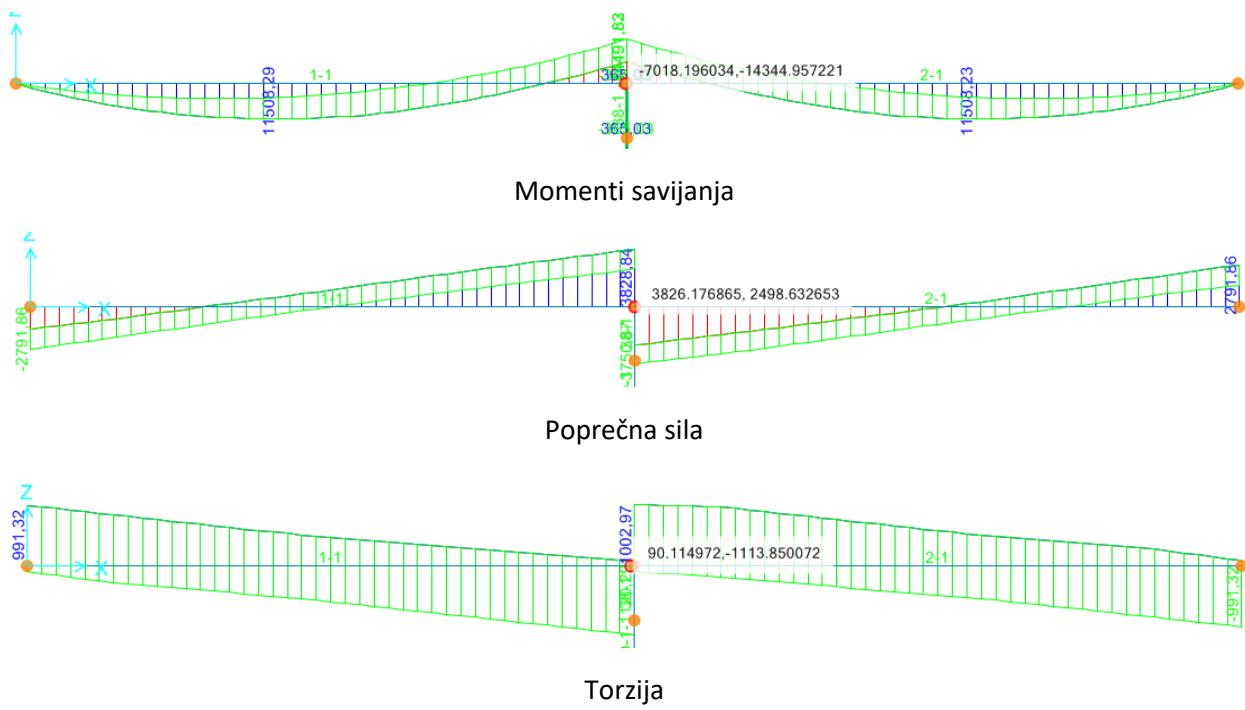
6.4 Anvelopa uticaja od UDL opterećenja



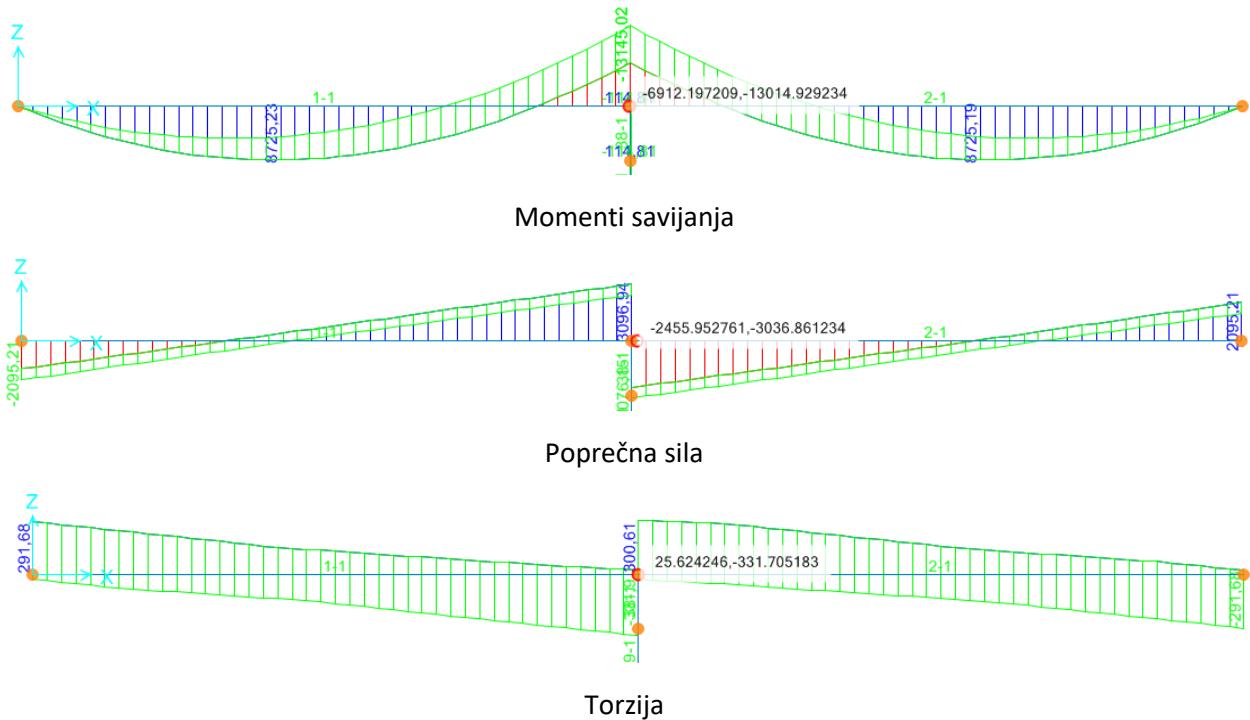
6.5 Uticaji od TS – Tandem Sistem



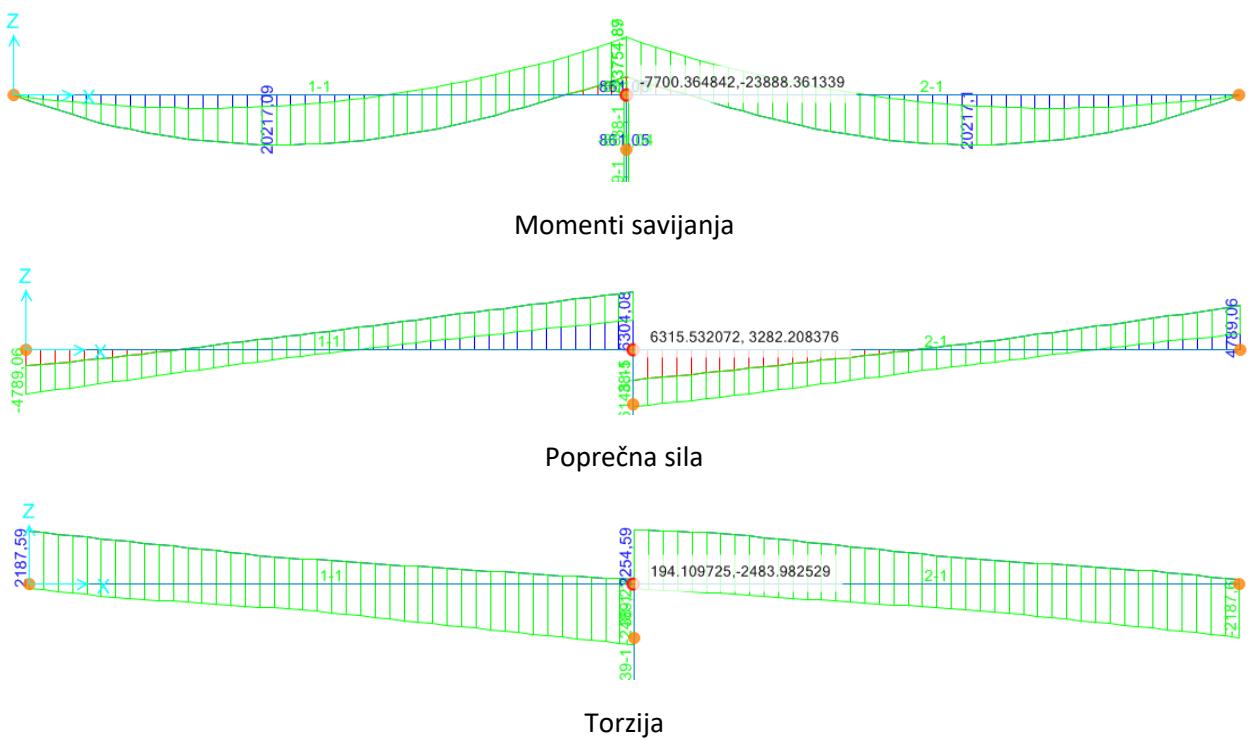
6.6 Kombinacija uticaja SLS1



6.7 Kombinacija uticaja SLS2

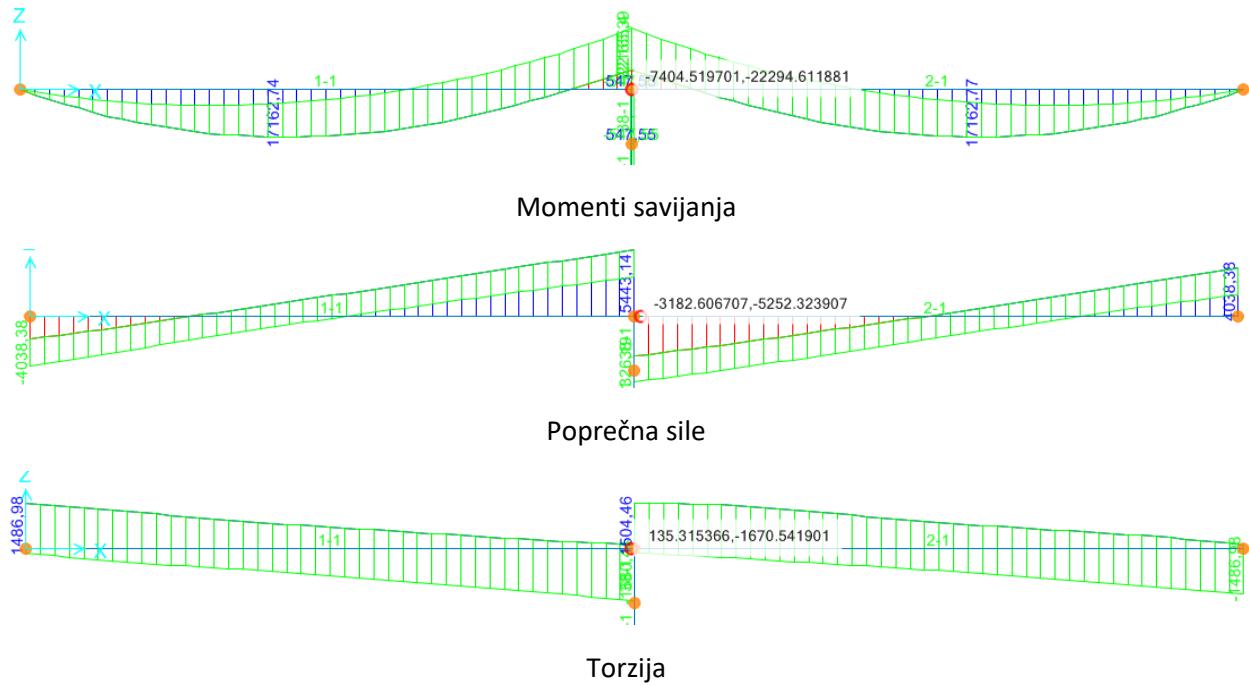


6.8 Kombinacija uticaja ULS1



6.9

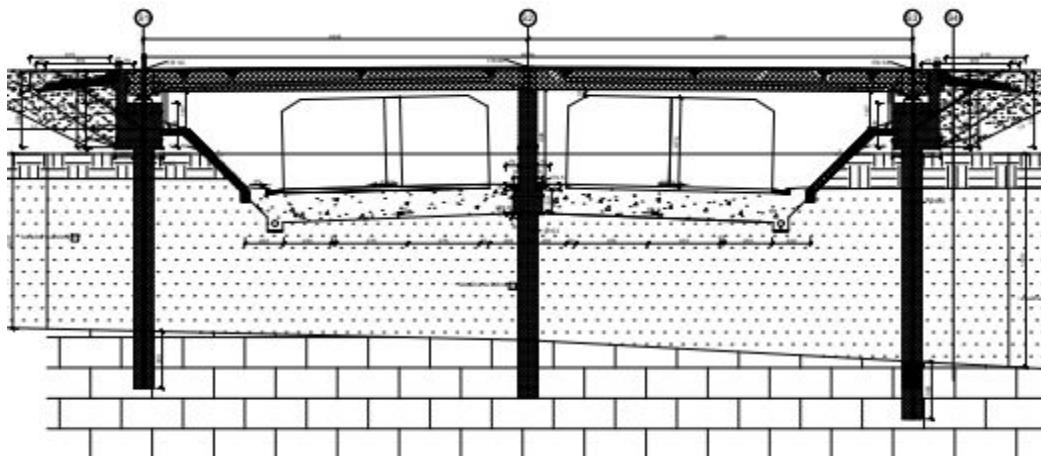
Kombinacija uticaja ULS2



7. DIMENZIONIRANJE NATPUTNJAKA PREMA EC-2

U prethodnom poglavlju prikazane su presječne sile, mjerodavne za dimenzioniranje karakterističnih presjeka rasponske konstrukcije natputnjaka u podužnom smjeru. Presjeci za dimenzioniranje se mogu vidjeti na slijedećoj slici, kao i usvojena armatura za sve presjeke. Sprovedena je kontrola za granično stanje upotrebljivosti (SLS) i za granično stanje nosivosti (ULS), pa je prema mjerodavnom slučaju usvojena armatura.

7.1 Dimenzioniranje rasponske konstrukcije prema EC-2



Slika 72. Karakteristični presjeci za dimenzioniranje

Prema DIN Fachberichtu 102 za AB konstrukcije u graničnom stanju upotrebljivosti (SLS) potrebno je provjeriti širinu naprsilina i vrijednosti progiba. Naprsline na konstrukciji mosta su ograničene na vrijednost od **wk ≤ 0,300mm** a što je u skladu sa *klasom mostova D* prema DIN FB 101. Prema DIN FB 102 je za proračun naprsilina također potrebno provjeriti i minimalnu armaturu. Minimalni prečnik šipke koja se smije koristiti u konstrukciji je Ø10, dok je maksimalni razmak između šipki 200mm.

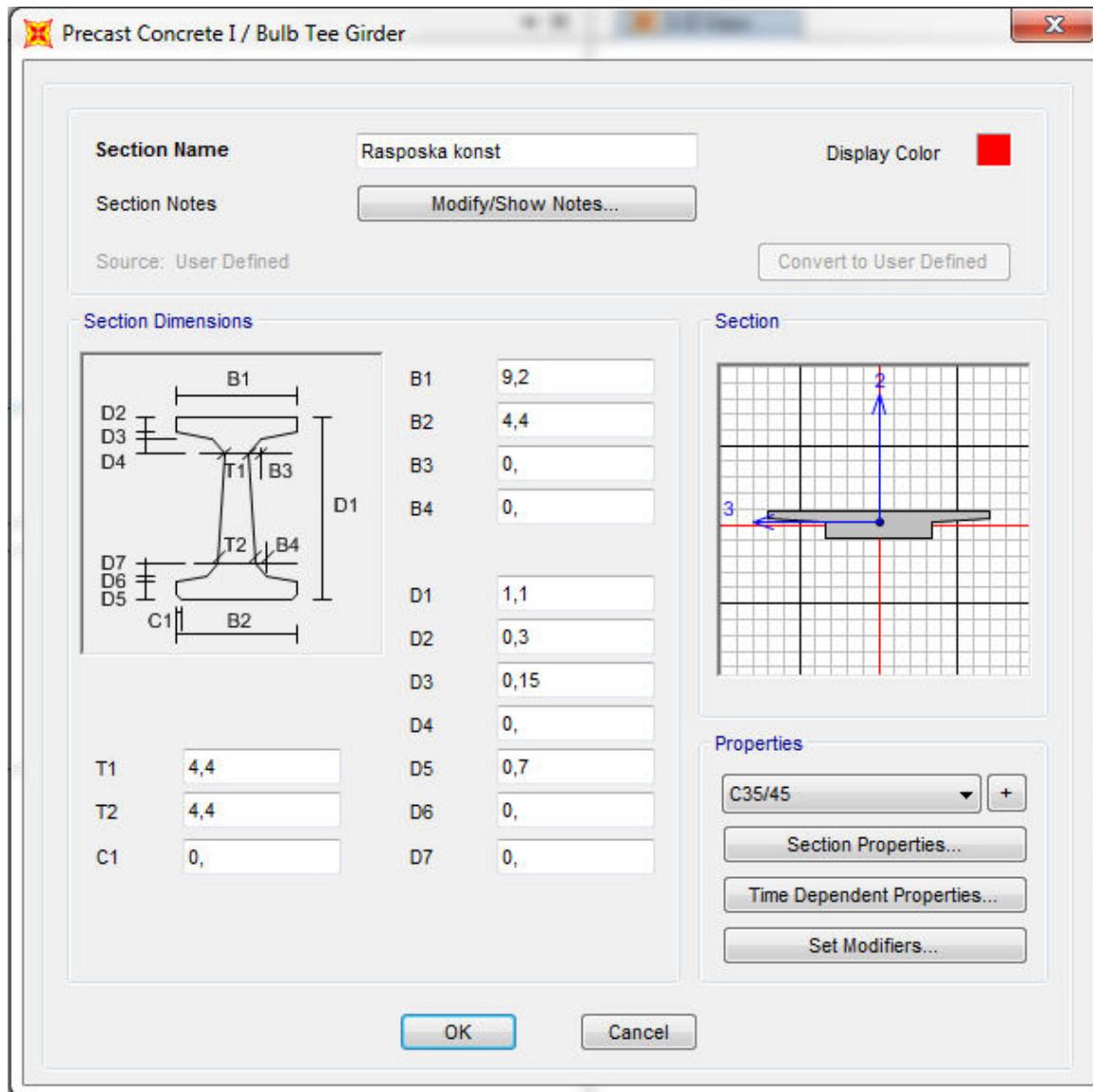
7.1.1 Materijali

Prema EC 2, odnosno, ENV 206, karakteristična čvrstoća betona određuje se na probnim tijelima cilindričnog oblika prečnika 15 cm, i visine 30 cm ($f_{ck,cyl}$), alternativno na kocki stranice 15 cm ($f_{ck,cube}$) kao 5% fraktilna vrijednost.

Klasa betona		C65/45
Čvrstoća na pritisak	$f_{ck,cyl}$ [N/mm ²]	35
	$f_{ck,cube}$ [N/mm ²]	45
Čvrstoća na zatezanje	f_{ctm} [N/mm ²]	3,2
	$f_{ctk,0,05}$ [N/mm ²]	2,2
	$f_{ctk,0,95}$ [N/mm ²]	4,2
E-modul	E_{cm} [N/mm ²]	33500
Granična deformatija	$\epsilon_{cu} \cdot 10^{-3}$ ¹⁾	-3,1
	$\epsilon_{cu} \cdot 10^{-3}$ ²⁾	-3,5

Beton (C35/45): $f_{ck} = 35 \frac{N}{mm^2} = 3,5 \frac{kN}{cm^2}$ $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1,5} = 23,33 \frac{N}{mm^2}$

Čelik (S500): $f_{yk} = 500 \frac{N}{mm^2} = 50,0 \frac{kN}{cm^2}$ $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$



Minimalna podužna armatura

Prema EC 2 za gredne elemente te klasu betona C 35/45 i armaturu BSt 500 S minimalna uzdužna armatura ne smije biti manja od:

$$\min A_s = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 66286,17 = 99,42 \text{ cm}^2$$

$$\min A_s = 0,6 \cdot \frac{1}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,6 \cdot \frac{1}{500} \cdot 66286,17 = 79,54 \text{ cm}^2$$

Usvojena minimalna podužna armatura $\varnothing 14/50/20 \text{ cm}$
 BSt500 S
 $12 \times 1,54 \text{ cm}^2 = 18,48 \text{ cm}^2 / 20 \text{ cm} = 0,92 \text{ cm}^2 / \text{cm}$

$$_{\text{stv}}A_a =$$

Minimalna poprečna armatura

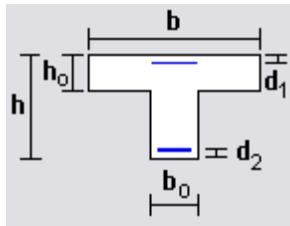
Prema EC 2 za gredne elemente te klasu betona C 35/45 i armaturu BSt 500 S minimalna poprečna armatura koja je na razmaku $s_w < 30 \text{ cm}$ podužno i $s_w < 80 \text{ cm}$ poprečno se određuje prema izrazu:

$$A_{sw} = \min \rho_w \cdot s_w \cdot b_w \cdot \sin \alpha = 0,0011 \cdot 15 \cdot 440 \cdot \sin 90^\circ = 7,26 \text{ cm}^2$$

Usvojene osmosječne vilice: $\varnothing 12/50/15 \text{ cm}$

BSt500 S

$$_{\text{stv}}A_a = 8 \times 1,13 \text{ cm}^2 = 9,04 \text{ cm}^2 / 15 \text{ cm} = 0,60 \text{ cm}^2 / \text{m}$$



Slika 73. Karakteristični presjeci za dimenzioniranje i karakteristike presjeka

Sudjelujuće širine

Prema EC-2 sudjelujuća širina određuje se prema izrazu:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

gde je:

$$b_{eff,i} = 0,2 b_i + 0,1 l_0 \leq 0,2 l_0$$

i

$$b_{eff,i} \leq b_i$$

a) krajnja polja nosača:

$$b_w = 440 \text{ cm}; b_1 = b_2 = 240; l_0 = 0,85 \cdot L_1 = 0,85 \cdot 2000 = 1700 \text{ cm} \quad b_{eff,1} = b_{eff,2} = 0,2 \cdot 240 + 0,1 \cdot 1700 = 218 \text{ cm}$$

$$b_{eff,krajnje polje} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w = 2 \cdot 218 + 440 = 876 \text{ cm}$$

b) srednja polja nosača:

$$b_w = 440 \text{ cm}; b_1 = b_2 = 240; l_0 = 0,7 \cdot L_2 = 0,7 \cdot 2000 = 1400 \text{ cm}$$

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = 0,2 \cdot 240 + 0,1 \cdot 1400 = 188 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},\text{srednje polje}} = b_{\text{eff},1} + b_{\text{eff},2} + b_w = 2 \cdot 188 + 440 = 816 \text{ cm}$$

c) nad stubovima S1

$$b_w = 440 \text{ cm}; b_1 = b_2 = 240; I_0 = 0,15 \cdot (L_1 + L_2) = 0,15 \cdot (2000 + 2000) = 600 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = b_{\text{eff},2} = 0,2 \cdot 240 + 0,1 \cdot 600 = 108 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},S1} = b_{\text{eff},1} + b_{\text{eff},2} + b_w = 2 \cdot 108 + 440 = 656 \text{ cm}$$

7.1.2 Dimenzioniranje rasponske konstrukcije u graničnom stanju nosivnosti – ULS

7.1.2.1 Mjerodavni statički utjecaji za dimenzioniranje:

Kombinacija uticaja ULS1

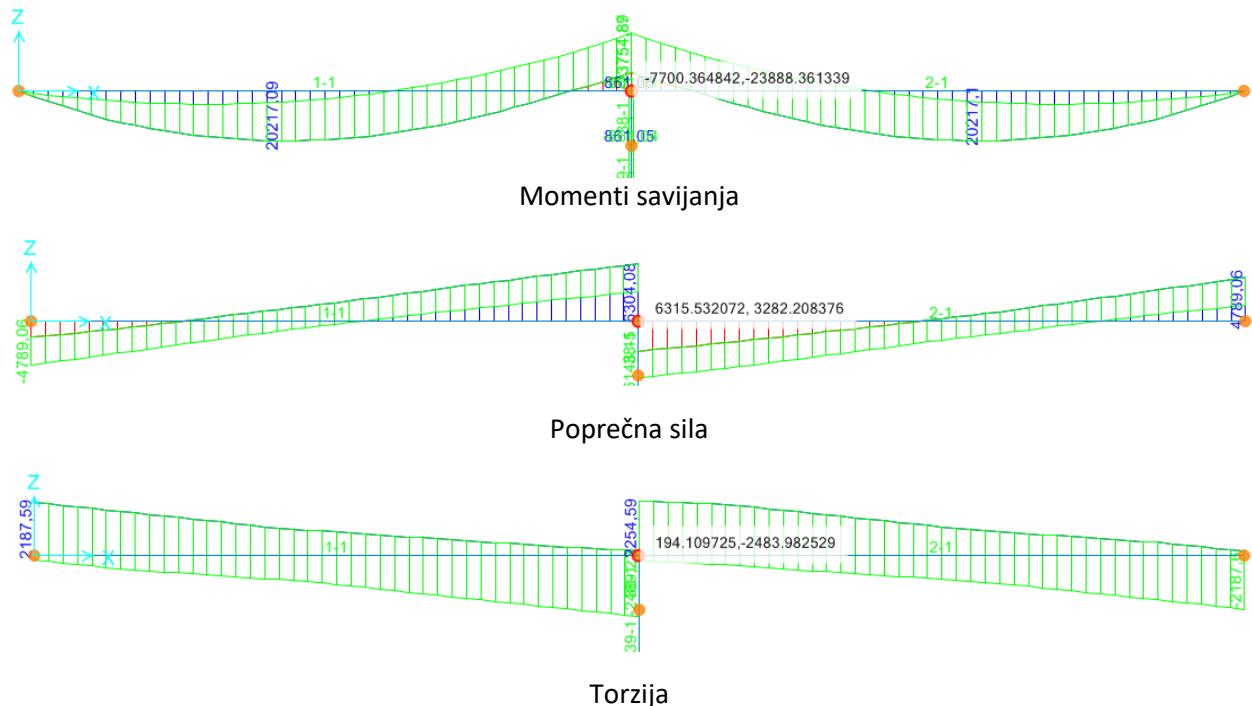


Tabela br.7: Dimenzioniranje u graničnom stanju nosivnosti - ULS

Napomena: usvojena armatura za ULS granično stanje nije mjerodavna

Presjek	N [kN]	M [kNm]	b ₀ [m]	h [m]	b [m]	h ₀ [m]	d ₂ =d ₁ [m]	potA [cm ²]	USVOJENO BSt 500S (B)	stvA [cm ²]
A										
A-B dole	0	20217,09	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	potA _s =488,4	80Ø28	492,6
A-B gore	0	0	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89
B dole	0	0	4,40	1,10	6,50	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89
B gore	0	-23888,36	4,40	1,10	6,50	0,375	0,08	potA _s =642,12	105Ø28	646,54
B-C dole	0	20217,09	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	potA _s =488,4	80Ø28	492,6
B-C gore	0	0	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89
C										

A-B dole

ABKalkulator

Naziv Presjeka: Presjek2

Propisi: EC 2

Presjek: T presjek

Materijal: Beton C35/45, $\gamma_c = 1,50$; Celik S500, $\gamma_s = 1,15$

Dimenzijs [cm]:

- $b = 810,00$
- $b_0 = 440,00$
- $h = 110,00$
- $h_0 = 37,50$
- $d_1 = 8,00$
- $d_2 = 8,00$

Granicne Sile [kN-m]:

- $M_{sd} = 20217,00$
- $N_{sd} = 0,00$
- Pritisak negativan
- $V_{sd} = 0,00$
- $\alpha = 90,00$
- $\theta = 45,00$

Metoda za poprecnu silu: Standardna

Opcije: Dimenzioniranje (checked), Granicni Momenat, Granicne Sile, Simetricno

Proracun: Ugibi, Armatura, Prsline

Presjek, deformacije i naponi u betonu:

Dilatacije $\epsilon_{c} = 3,50 \text{ \%}$, Naponi pritiska u betonu $19,83 \text{ N/mm}^2$

$A_{a2} = 488,40 \text{ cm}^2$, $\epsilon_{s} = 18,37 \text{ \%}$
 $(80 \text{ d}28) (\text{stv}A_{a2} = 492,60 \text{ cm}^2)$

Min. armatura

ABKalkulator

Naziv Presjeka: Presjek5

Propisi: EC 2

Presjek: T presjek

Materijal: Beton C35/45, $\gamma_c = 1,50$; Celik S500, $\gamma_s = 1,15$

Dimenzijs [cm]:

- $b = 810,00$
- $b_0 = 440,00$
- $h = 110,00$
- $h_0 = 37,50$
- $d_1 = 8,00$
- $d_2 = 8,00$

Granicne Sile [kN-m]:

- $M_{sd} = 1,00$
- $N_{sd} = 0,00$
- Pritisak negativan
- $V_{sd} = 0,00$
- $\alpha = 90,00$
- $\theta = 45,00$

Metoda za poprecnu silu: Standardna

Opcije: Dimenzioniranje (checked), Granicni Momenat, Granicne Sile, Simetricno

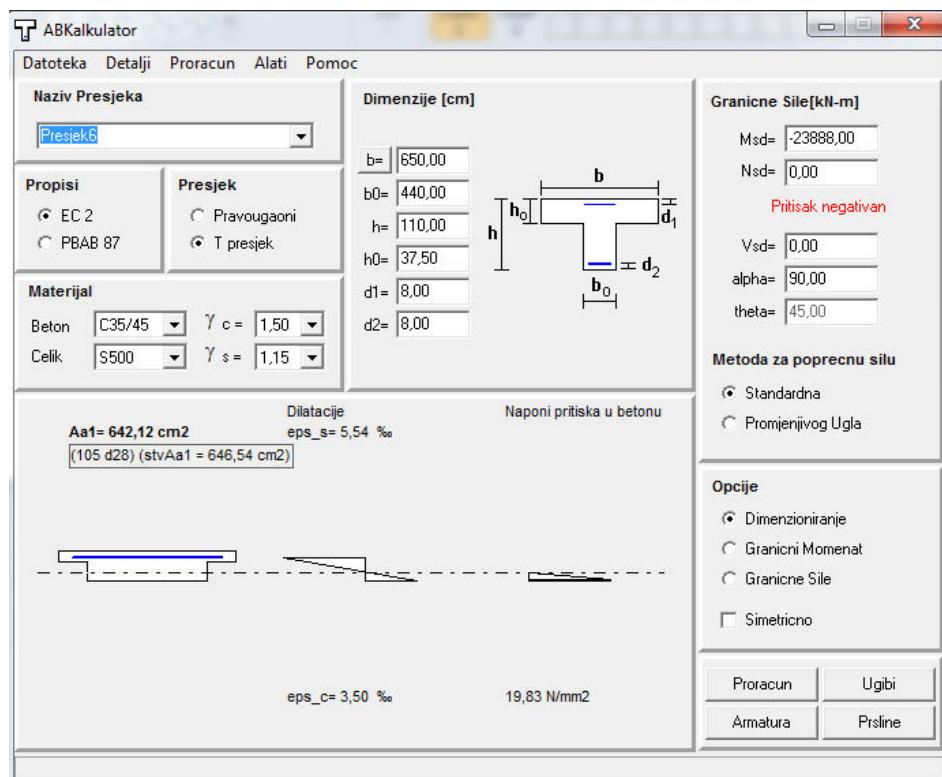
Proracun: Ugibi, Armatura, Prsline

Presjek, deformacije i naponi u betonu:

Dilatacije $\epsilon_{c} = 0,02 \text{ \%}$, Naponi pritiska u betonu $0,30 \text{ N/mm}^2$

$A_{a2} = 72,60 \text{ cm}^2$, $\epsilon_{s} = 20,00 \text{ \%}$
 $(12 \text{ d}28) (\text{stv}A_{a2} = 73,89 \text{ cm}^2)$

B gore



Dimenzioniranje na poprečne sile

Tabela br.13.: Pregled poprečnih sila

Presjek		Qu (kN)	Qu (MN)
Upornjak U1		4720	4,72
Stub S1	Lijevo	6372,74	6,37
	Desno	6372,74	6,37
Upornjak U2		4720	4,72

-računska vrijednost nosivosti na smicanje prema EC-2:

$$V_{Rd,c} = \left(\frac{0,15}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right) \cdot b_w \cdot d$$

,gdje je:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d[\text{mm}]}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1100}} = 1,4264 \leq 2,00$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{492,6}{440 \cdot 110} = 0,010177$$

$$\rightarrow V_{Rd,c} = \left(\frac{0,15}{1,50} \cdot 1,426 \cdot (100 \cdot 0,010177 \cdot 35)^{1/3} \cdot 4,40 \cdot 1,10 \right) = 2,26 \text{ MN} = 2262,44 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 6372,74 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c} < V_{sd} \rightarrow$ potreban je proračun smičuće armature

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$V_{Rd,c} = \beta_c \cdot 0,10 \cdot f_{ck}^{1/3} \cdot \left(1 + 1,2 \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \right) \cdot b_w \cdot z = 2,4 \cdot 0,10 \cdot 35^{1/3} \cdot 4,40 \cdot 0,90 \cdot 1,10 = 3415,65 \text{ kN}$$

$$\cot \theta = 1,25 \leq \frac{1,2 - 1,4 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}}{1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{sd}}} \leq \frac{7}{4}$$

$$\cot \theta = 1,25 \leq \frac{1,2}{1 - \frac{3415,65}{6372,74}} = 2,58 \rightarrow \text{usvojeno } \cot \theta = 1,25$$

$$V_{Rd,max} = 4,40 \cdot 0,9 \cdot 1,10 \cdot 0,85 \cdot 23,33 / (1,25 + 1,25^{-1}) = 42,14 \text{ MN}$$

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{V_{sd}}{z \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta} = \frac{6372,74}{0,9 \cdot 1,10 \cdot 43,5 \cdot 1,25} = 118,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usvojene dvanaestosječne vilice uz oslonce:

Ø14/50/15 cm

$$\text{BSt500 S}$$

$$_{\text{stv}} A_a = 12 \times 1,54 \text{ cm}^2 = 18,48 \text{ cm}^2 / 15 \text{ cm} = 123,2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usvojene dvanaestosječne vilice u poljima:

Ø14/50/20 cm

$$\text{BSt500 S}$$

$$_{\text{stv}} A_a = 12 \times 1,54 \text{ cm}^2 = 18,48 \text{ cm}^2 / 20 \text{ cm} = 110,88 \text{ cm}^2/\text{m}$$

7.1.2.2 Dimenzioniranje AB rasponske konstrukcije u graničnom stanju upotrebljivosti - SLS
 Mjerodavni statički uticaji za dimenzioniranje prikazani su na slijedećoj slici:

Kombinacija uticaja SLS1

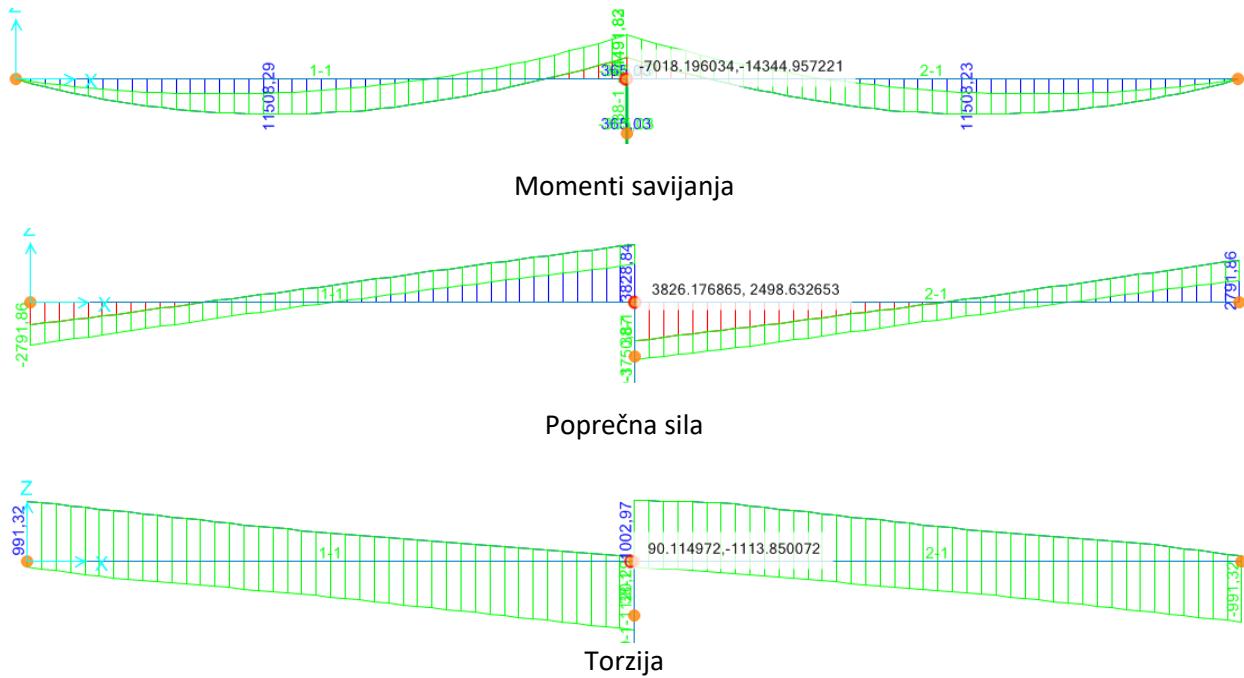


Tabela br.8: Dimenzioniranje u graničnom stanju upotrebljivosti - SLS

Presjek	N [kN]	M [kNm]	b ₀ [m]	h [m]	b [m]	h ₀ [m]	d ₂ =d ₁ [m]	potA [cm ²]	USVOJENO BSt 500S (B)	stvA [cm ²]	w [mm]
A											
A-B dole	0	11351,35	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	potA _s =488,4	80Ø28	492,6	0,201
A-B gore	0	0	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
B dole	0	0	4,40	1,10	6,50	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
B gore	0	-14858,06	4,40	1,10	6,50	0,375	0,08	potA _s =642,12	105Ø28	646,54	0,223
B-C dole	0	11351,35	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	potA _s =488,4	80Ø28	492,6	0,201
B-C gore	0	0	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
C											

ABKalkulator

Datoteka Detalji Proracun Alati Pomoc

Naziv Presieka Dimensioniši formular

Proracun prsline

Propisi: Propis EC

Materijal: Beton, Celič

Presječni podaci:

- Momenat u stanju eksploracije: $M_{exp} = 11351,35 \text{ kNm}$
- Normalna sila u stanju eksploracije: $N_{exp} = 0,00 \text{ kN}$
- Zastitni sloj betona: $a = 8 \text{ cm}$
- Precnik vilice: 14 mm

Odabrano Aa1: () stvAa1= 0,00 cm²

Odabrano Aa2: (80 d28) stvAa2= 492,60 cm²

Armatura:

- Srednji Razmak Naprsline: $S_{rm} = 100,02 \text{ mm}$
- Srednja Sirina Naprsline: $W/m = 0,118 \text{ mm}$
- Karakteristična Sirina Naprsline: $W_k = 0,201 \text{ mm}$

Opcije:

- Standardna
- Promjenjivog Ugla

Proracun **Ugibi** **Armatura** **Prsline**

Aa2= 488,40 cm² eps_s= 18,37 %
(80 d28) (stvAa2 = 492,60 cm²)

Veličina prsline u polju

ABKalkulator

Datoteka Detalji Proracun Alati Pomoc

Naziv Presieka Dimensioniši formular

Proracun prsline

Propisi: Propis EC

Materijal: Beton, Celič

Presječni podaci:

- Momenat u stanju eksploracije: $M_{exp} = -14858 \text{ kNm}$
- Normalna sila u stanju eksploracije: $N_{exp} = 0,00 \text{ kN}$
- Zastitni sloj betona: $a = 8 \text{ cm}$
- Precnik vilice: 14 mm

Odabrano Aa1: (105 d28) stvAa1= 646,54 cm²

Odabrano Aa2: () stvAa2= 0,00 cm²

Armatura:

- Srednji Razmak Naprsline: $S_{rm} = 106,30 \text{ mm}$
- Srednja Sirina Naprsline: $W/m = 0,131 \text{ mm}$
- Karakteristična Sirina Naprsline: $W_k = 0,223 \text{ mm}$

Opcije:

- Standardna
- Promjenjivog Ugla

Proracun **Ugibi** **Armatura** **Prsline**

eps_c= 3,50 % 19,83 N/mm²

Veličina prsline iznad oslonca

7.1.2.3 Konstruktivni uslovi za armiranje

Za određivanje armature AB elemenata važe sva pravila definirana u EC2, DIN Fachbericht 102 Brücken. Ovdje će se pomenuti samo neki dodatni uslovi.

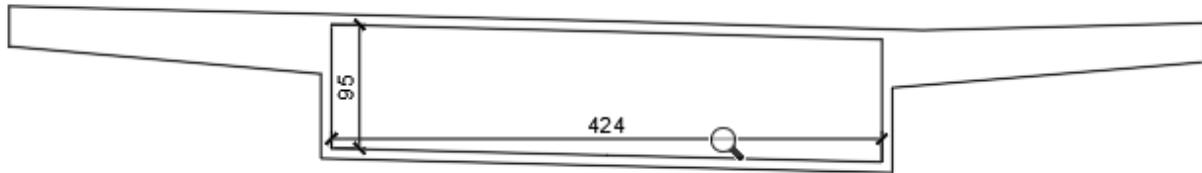
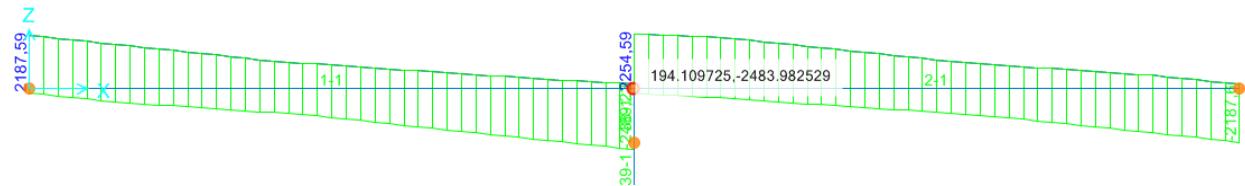
AB konstrukcije objekata armiraju se u svim ravninama i smjerovima glavnih napona. Nijedno područje presjeka ne smije ostati nearmirano bez obzira na statičke uticaje. U području napona zatezanja moraju biti razmaci između profila manji od 15cm, a u području napona pritiska manji od 20cm. Za glavne AB nosače nisu poželjne armaturne šipke prečnika većeg od 28mm i tanje 10mm. Kod armaturnih mreža moraju biti otvori mreže $\leq 15\text{cm}$, a promjer šipki $\geq 8\text{mm}$. Kod glavnih nosača uzengije moraju biti zatvorene, a ako su otvorene onda moraju imati kuke. Šipke koje se savijaju ne smiju ugrožavati zaštitni sloj betona.

Kod armiranja bušenih šipova, minimalni procent armature iznosi 0,5%, a maximalni do 3%. Uzengije, odnosno spirala treba da ima minimalni profil 12mm za šipove prečnika $\geq 100\text{cm}$, odnosno 10mm za šipove $\varnothing < 100\text{cm}$. Razmak između uzengija je $\leq 20\text{cm}$, dok je u zoni preklapanja i sidrenja glavne armature $\leq 10\text{cm}$.

Tabela br.9.: Pregled usvojene armature tako da širina naprslina bude ograničena na $w=0,3\text{ mm}$

Presjek	N [kN]	M [kNm]	b ₀ [m]	h [m]	b [m]	h ₀ [m]	d ₂ =d ₁ [m]	potA [cm ²]	USVOJENO BSt 500S (B)	stvA [cm ²]	w [mm]
A											
A-B dole	0	20217,09	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	potA _s =488,4	80Ø28	492,6	0,201
A-B gore	0	0	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
B dole	0	0	4,40	1,10	6,50	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
B gore	0	-23888,36	4,40	1,10	6,50	0,375	0,08	potA _s =642,12	105Ø28	646,54	0,223
B-C dole	0	20217,09	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	potA _s =488,4	80Ø28	492,6	0,201
B-C gore	0	0	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
C											

Mjerodavna vrijednost momenta torzije: ULS



Torzija:

$$Ted1 = 2187,59 \text{ kNm}$$

$$Ted2 = 2254,59 \text{ kNm}$$

$$Ak = 424 \times 95 = 40280 \text{ cm}^2 \text{ površina jezgra}$$

$$Uk = 424 \times 2 + 95 \times 2 = 1038 \text{ cm obim jezgra}$$

$$teff = 2 \times 8 = 0,16 \text{ m debljina stjenke}$$

$$Trdmax = \frac{2 \times \alpha red \times fcd \times Ak \times teff}{ctg\theta + tg\theta} = \frac{2 \times 0,75 \times 2,33 \times 40280 \times 16 \times 2,3}{1+1} = 2662,825 \text{ kNm}$$

$$pota_{sl} = \frac{Ted}{2 \times Ak \times fyd \times tg\theta} = \frac{2254,59 \times 100 \text{ kNm}}{2 \times 40280 \times 43,50 \times 1} = 0,064 \text{ cm}^2$$

$$potAsl = \frac{Ted \times Uk}{2 \times Ak \times fyd \times tg\theta} = \frac{2254,59 \times 100 \text{ kNm} \times 1038 \text{ cm}}{2 \times 40280 \times 43,50 \times 1} = 64,8 \text{ cm}^2$$

Povećanje poprečne armature nije potrebno, jer usvojena poprečna armatura na poprečnu silu je dovoljna i za torziju.

Usvojena dodatna podužna armatura zbog torzije u gornjoj i donjoj zoni po $32,4 \text{ cm}^2$

$$potA_s = 32,4 \text{ cm}^2$$

ABKalkulator

Datoteka Detalji Proracun Alati Pomoc

Naziv Presjeka: Presjek3

Propisi: EC 2

Materijal: Beton C35/45, Čelik S500

Dimenzijs [cm]

Granicne Sile [kN-m]: Msd= -23888,00, Nsd= 0,00. Pritisak negativan.

Metoda za poprecnu silu: Standardna

Opcije: Dimenzioniranje

Proracun, **Ugibi**, **Armatura**, **Prsline**

ABKalkulator

Datoteka Detalji Proracun Alati Pomoc

Naziv Presjeka: Presjek3

Propisi: EC 2

Materijal: Beton C35/45, Čelik S500

Proracun prsline

Proracun, **Dodatni Podaci**

Momenat u stanju eksplotacija	Mexp = -14858,06	kNm
Normalna sila u stanju eksplotacija	Nexp = 0,00	kN
Zastitni sloj betona	a = 8	cm
Precnik vilice	14	mm

Odabrano Aa1: (110 d28) stvAa1= 677,33 cm²

Odabrano Aa2: (6 d28) stvAa2= 36,95 cm²

Armatura

Srednji Razmak Naprsilina	Srm = 103,74	mm
Srednja Sirina Naprsilina	Wm = 0,122	mm
Karakteristicna Sirina Naprsilina	Wk = 0,208	mm

Detalji

Granicne Sile [kN-m]: Msd= -23888,00, Nsd= 0,00. Pritisak negativan.

Metoda za poprecnu silu: Standardna

Opcije: Dimenzioniranje

Proracun, **Ugibi**, **Armatura**, **Prsline**

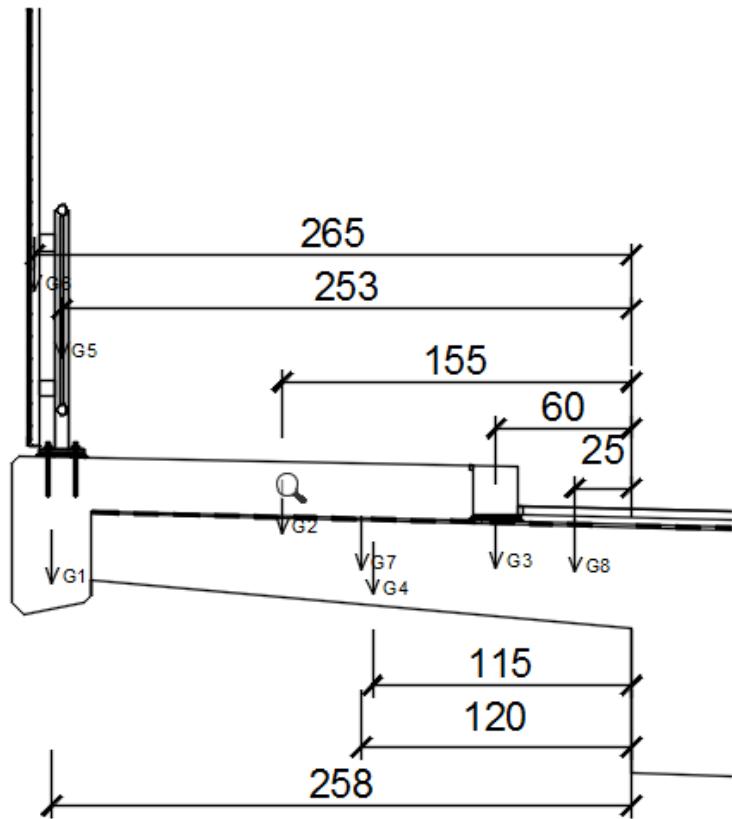
Konačna usvojena armatura za rasponsku konstrukciju:

Presjek	N [kN]	M [kNm]	b ₀ [m]	h [m]	b [m]	h ₀ [m]	d ₂ =d ₁ [m]	potA [cm ²]	USVOJENO BSt 500S (B)	stvA [cm ²]	w [mm]
A											
A-B dole	0	20217,09	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	potA _s =488,2	80Ø28	492,6	0,201
A-B gore	0	0	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
B dole	0	0	4,40	1,10	6,50	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
B gore	0	-23888,36	4,40	1,10	6,50	0,375	0,08	potA _s =674,52	110Ø28	677,33	0,208
B-C dole	0	20217,09	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	potA _s =488,4	80Ø28	492,6	0,201
B-C gore	0	0	4,40	1,10	8,10	0,375	0,08	minA _s =72,6	12Ø28	73,89	0
C											

7.2 Dimenzioniranje konzole rasponske konstrukcije

7.2.1 Presječne sile

a) Stalno opterećenje



Slika 74. Konzola rasponske konstrukcije

$$G_1 = A_1 \cdot \gamma_b = 0.1384 \cdot 25 = 3.46 \text{ [kN/m]}$$

$$G_2 = A_2 \cdot \gamma_b = 0.41 \cdot 25 = 10.25 \text{ [kN/m]}$$

$$G_3 = A_3 \cdot \gamma_b = 0.022 \cdot 24 = 0.528 \text{ [kN/m]}$$

$$G_4 = A_4 \cdot \gamma_b = 1.41 \cdot 25 = 35.25 \text{ [kN/m]}$$

$$G_5 = 0.60 \text{ [kN/m]}$$

$$G_6 = 0.40 \text{ [kN/m]}$$

$$G_7 = 0.01 \cdot \gamma_{iz} \cdot 2,40 = 0,45 \text{ [kN/m]}$$

$$G_8 = A_9 \cdot \gamma_{asf} = 0.035 \cdot 24 = 0.875 \text{ [kN/m]}$$

- Moment uklještenja na jedinicu dužine uslijed stalnog opterećenja:

$$m_G = 2,58 \cdot G_1 + 1,55 \cdot G_2 + 0,6 \cdot G_3 + 1,15 \cdot G_4 + 2,53 \cdot G_5 + 2,65 \cdot G_6 + 1,20 \cdot G_7 + 0,25 \cdot G_8 \quad m_G = 68,89 \text{ kNm/m}$$

- Poprečna sila u uklještenju na jedinicu dužine uslijed stalnog opterećenja:

$$V_G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7 + G_8 = 51,81 \text{ kN/m}$$

7.2.2 Tandem sistem TS

- Na osnovu slike slijedi da je:

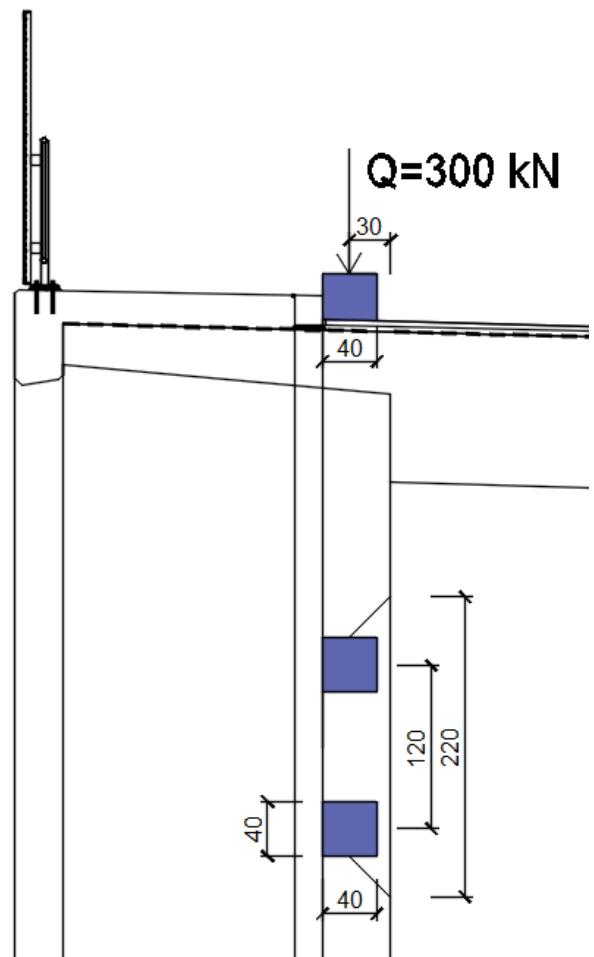
$$M_{TS} = \frac{300 \cdot 0.30}{2.20} = 40,91 \text{ [kNm/m']}$$

$$V_{TS} = \frac{300}{2.20} = 136,36 \text{ [kN/m']}$$

$$x \leq 2.5 \cdot d$$

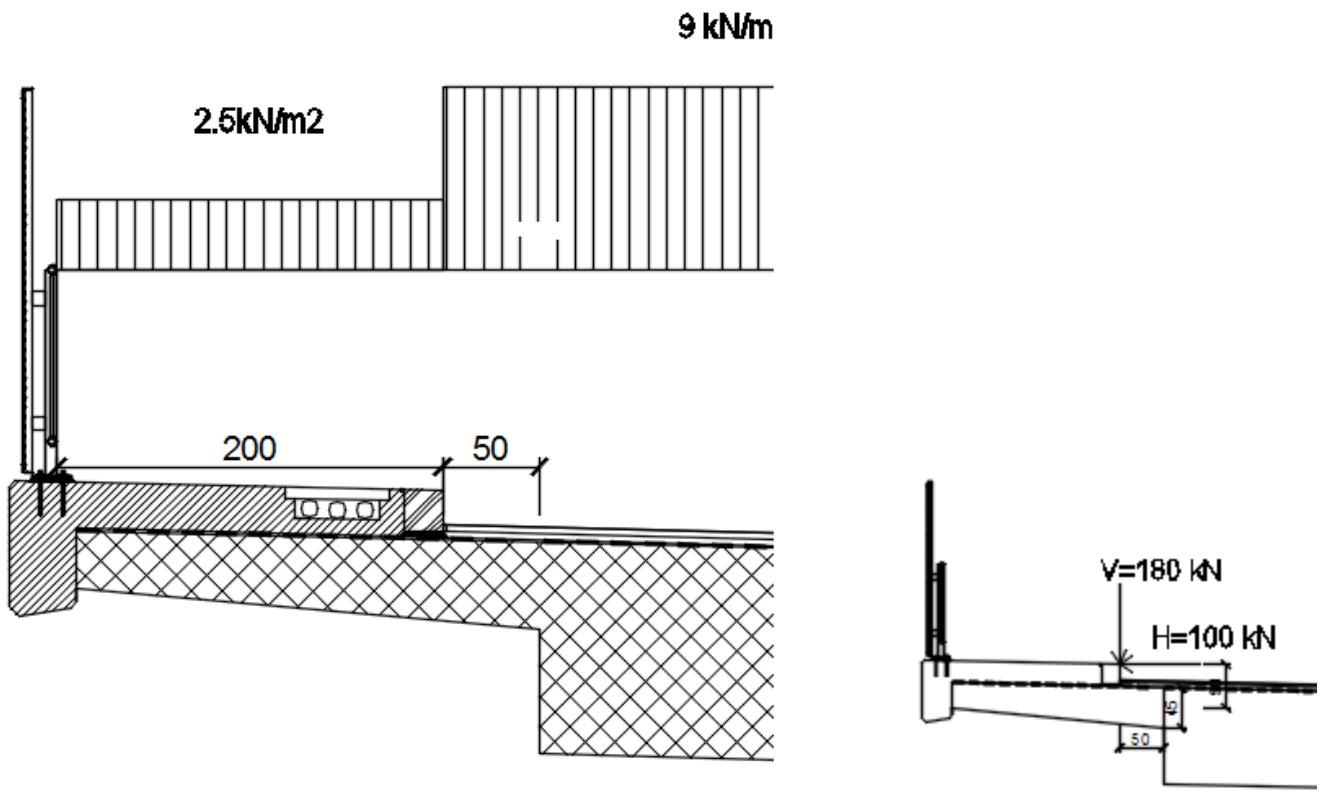
$$\beta = \frac{x}{2.5 \cdot d} = \frac{0.30}{2.5 \cdot 0.4} = 0.30$$

$$V_{a,inc}^* = \beta \cdot V_{a,inc} = 0.30 \times 136,36 = 40,9 \text{ [kN]}$$



Slika 75. Djelovanje od tandem sistema-TS

7.2.3 Uniformly distributed load – UDL



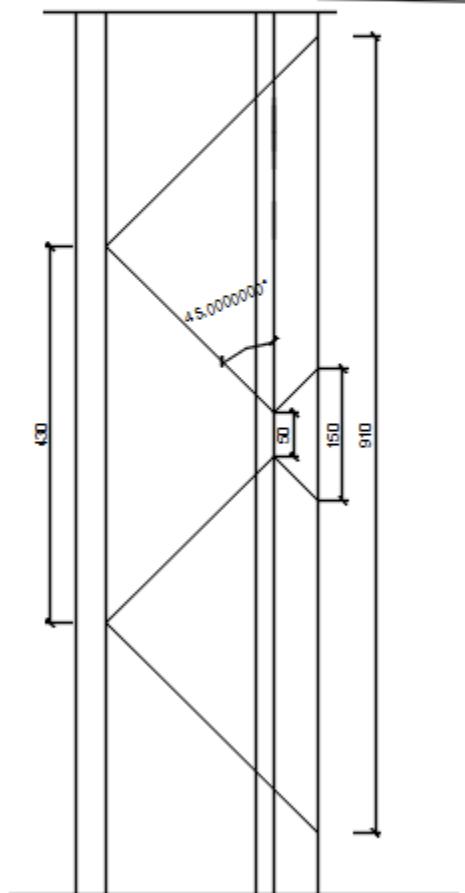
Slika 76. Djelovanje UDL-a

$$M_{UDL} = \frac{9.0 \cdot 0.5^2}{2} + 2.5 \cdot 2.0 \cdot (0.5 + 2.0 \cdot 0.50)$$

$$M_{UDL} = 8,625 \text{ [kNm/m']}$$

$$V_{UDL} = 9 \cdot 0.5 + 2.5 \cdot 2.0 = 9,5 \text{ [kN/m']}$$

7.2.4 Incidentna opterećenja



7.2.4.1 Udar u ivičnjak

Slika 77. Sile udara i rasprostiranje opterećenja od udara u ivičnjak

$$M_{a,inc,V} = \frac{180 \cdot 0.45}{1.50} = 54 \text{ [kNm/m']}$$

$$M_{a,inc,H} = \frac{100 \cdot 0.5}{9,1} = 5,49 \text{ [kNm/m']}$$

$$M_{a,inc} = 54 + 5,49 = 59,49 \text{ [kNm/m']}$$

$$V_{a,inc} = \frac{180}{1.5} = 120 \text{ [kN/m']}$$

$$N_{a,inc} = \frac{100}{9,1} = 10,98 \text{ [kN/m']}$$

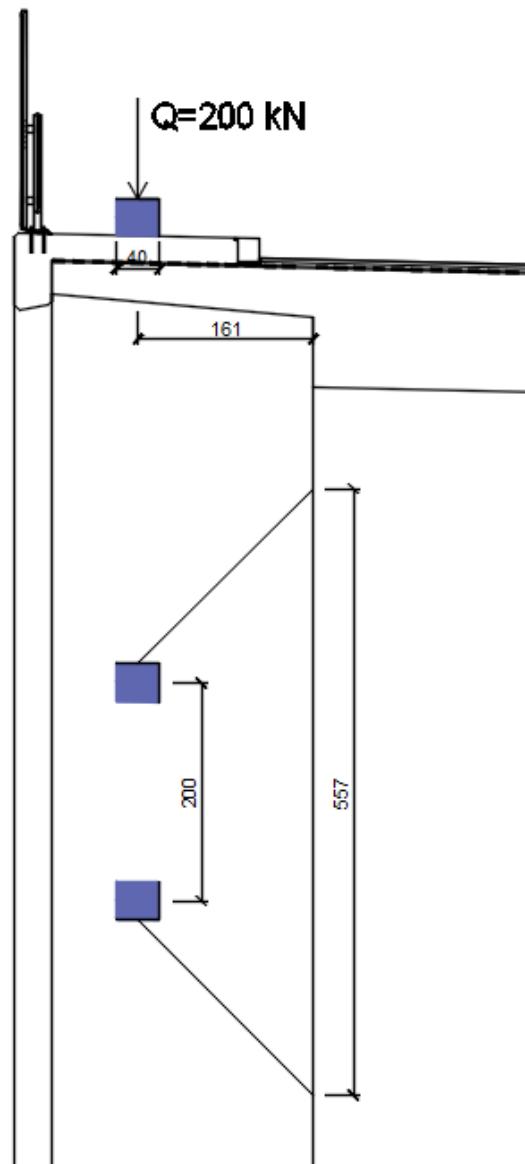
- Mjerodavna sila za proračun ukosnica na spoju konzole i vjenca:

$$N_{a,inc} = \frac{100}{4,3} = 23,25 \text{ [kN/m']}$$

7.2.4.2 Iskakanje vozila

$$M_{c,inc} = \frac{200 \cdot 1,61}{5,57} = 57,80 \text{ [kNm/m']}$$

$$V_{c,inc} = \frac{200}{5,57} = 35,9 \text{ [kN/m']}$$



7.2.4.3 Opterećenje na ogradu

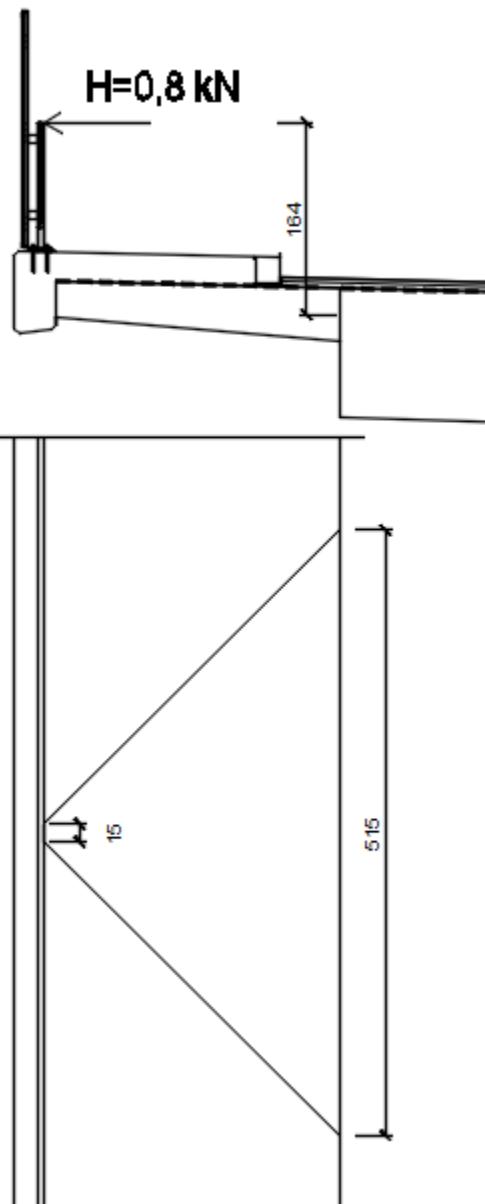
$$M_{d,inc} = \frac{0.8 \cdot 2.0 \cdot 1.64}{5,15} = 0,51 \text{ [kNm/m']}$$

$$V_{d,inc} = 0 \text{ [kN/m']}$$

$$N_{d,inc} = \frac{0.8 \cdot 2.0}{5,15} = 0.31 \text{ [kN/m']}$$

Za proračun ukosnica na spoju konzole i vjenca:

$$N_{d,inc} = \frac{0.8 \cdot 2.0}{0.15} = 10.67 \text{ [kN/m']}$$



7.2.5 Dimenzioniranje konzole na savijanje

Tabela 10. Pregled statičkih uticaja:

M[kNm/m]	V[kN/m]	N[kN/m]
$M_G=68,89$	$V_G=51,81$	$N_G=0$
$M_{TS}=40,91$	$V_{TS}=136,36$	$N_{TS}=0$
$M_{UDL}=8,625$	$V_{UDL}=9,5$	$N_{UDL}=0$
$M_{a,inc}=59,49$	$V_{a,inc}=120$	$N_{a,inc}=10,98$
$M_{c,inc}=57,80$	$V_{c,inc}=35,9$	$N_{c,inc}=0$
$M_{d,inc}=0,51$	$V_{d,inc}=0$	$N_{d,inc}=0,31$

I slučaj opterećenja – osnovna kombinacija:

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_G + \gamma_Q \cdot (M_{UDL} + M_{TS})$$

$$M_{Ed} = 1.35 \cdot 68,89 + 1.50 \cdot (8,625 + 40,91) = 167,3 \text{ [kNm/m']}$$

$$V_{Ed} = \gamma_G \cdot V_G + \gamma_Q \cdot (V_{UDL} + V_{TS})$$

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot 51,81 + 1.50 \cdot (9,5 + 136,36) = 288,73 \text{ [kN/m']}$$

$$N_{Ed} = 0 \text{ [kN/m']}$$

II slučaj opterećenja – incidentna kombinacija:

$$M_{Ed} = \gamma_{GA} \cdot M_G + A_d$$

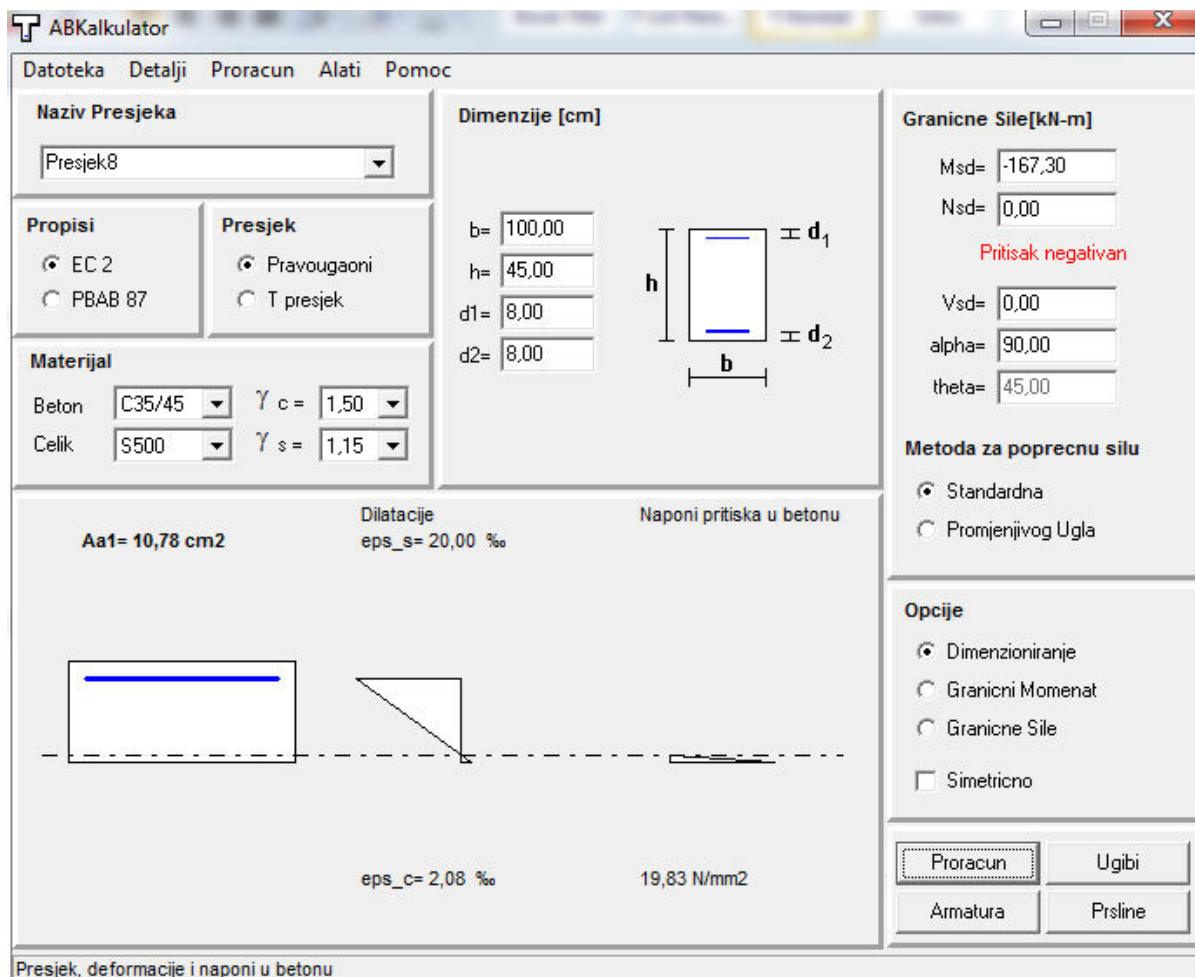
$$M_{Ed} = 1.0 \cdot 68,89 + (59,49 + 0,51) = 128,89 \text{ [kNm/m']}$$

$$V_{Ed} = \gamma_{GA} \cdot V_G + A_d$$

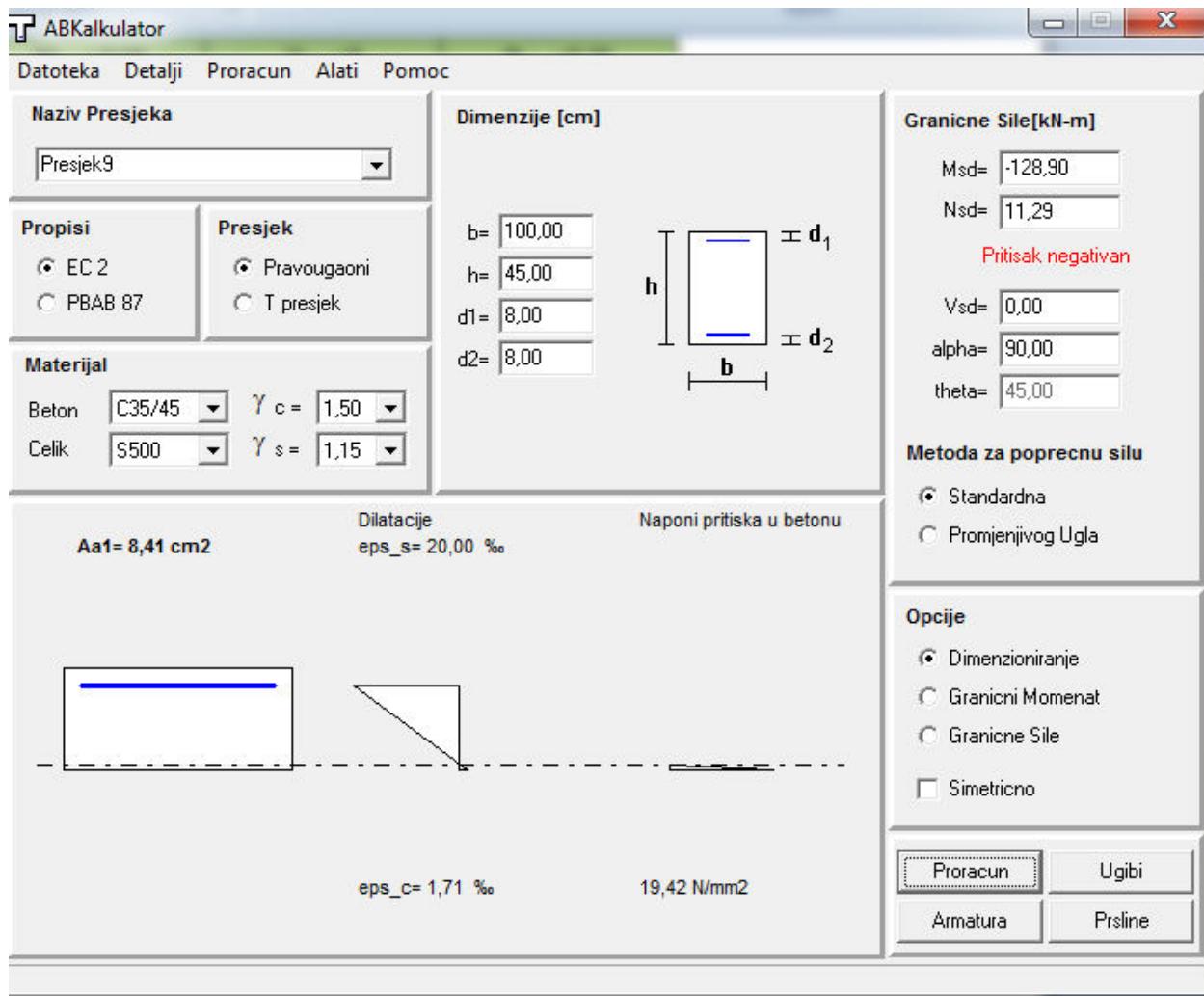
$$V_{Ed} = 1.0 \cdot 42,73 + (120 + 0) = 162,73 \text{ [kN/m']}$$

$$N_{Ed} = 10,98 + 0,31 = 11,29 \text{ [kN/m']}$$

Proračun pomoću AB kalkulatora:



Slika 80. Dimenzioniranje na uticaje od osnovne kombinacije



Slika 81. Dimenzioniranje na uticaje od incidentne kombinacije

USVOJENO:

$\varnothing 14 / 14 \text{ [cm]} \text{ BSt 500 S (B)}$

$$_{\text{stv}} A = 11.00 \text{ [cm}^2\text{]} >_{\text{pot}} A = 10.78 \text{ [cm}^2\text{]}$$

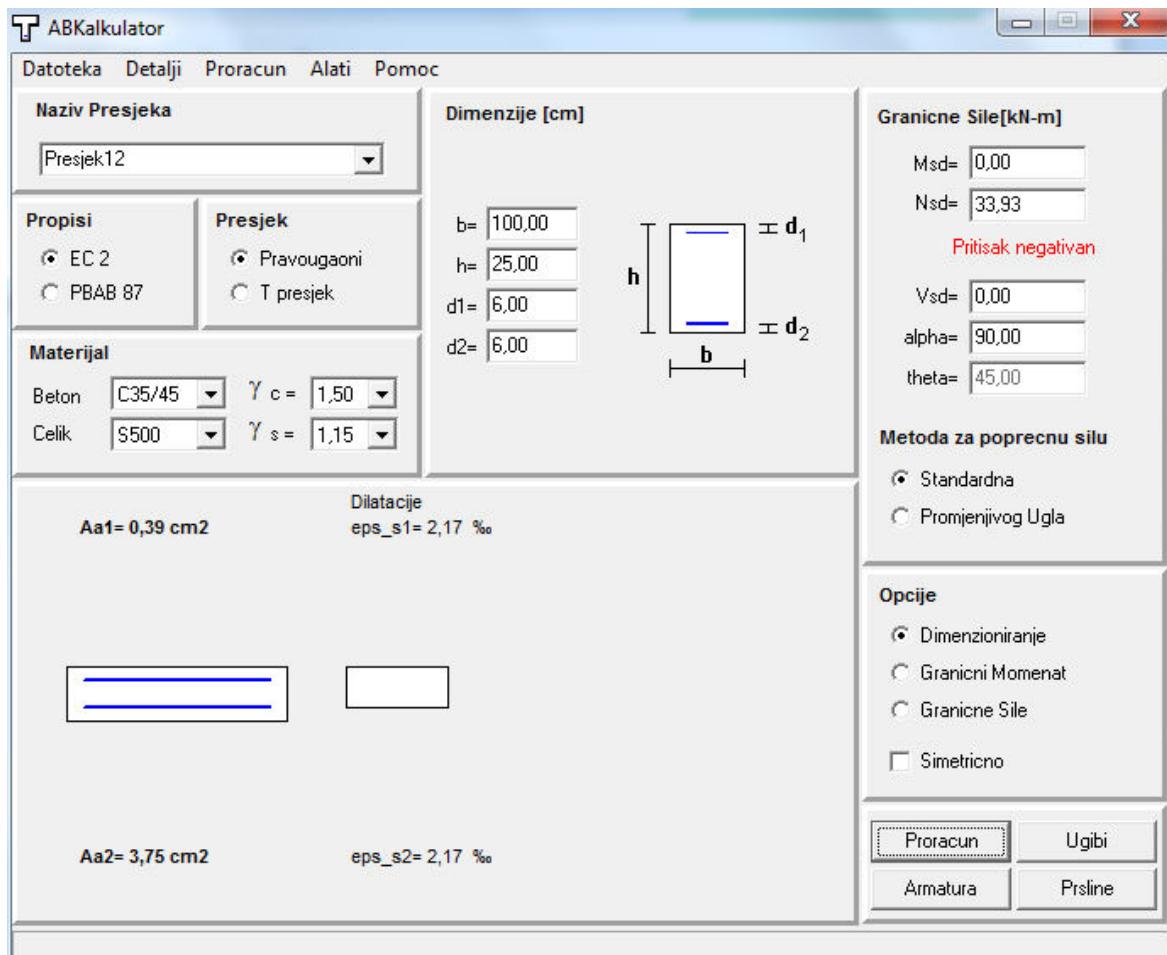
7.2.5.1 Kontrola ukosnika

$$N_{a,inc} = 23,25 \text{ [kN]}$$

$$N_{d,inc} = 10,67 \text{ [kN]}$$

$$N_{ED} = N_{a,inc} + N_{d,inc} = 23,25 + 10,67 = 33,93 \text{ [kN]}$$

Proračun pomoću AB kalkulatora:



Slika 82. Dimenzioniranje ukosnika

USVOJENO:

$\varnothing 14 / 25 \text{ [cm]} \text{ BSt 500 S (B)}$

$${}_{stv} A = 6.16 \text{ [cm}^2\text{]} > {}_{pot} A = 3.75 \text{ [cm}^2\text{]}$$

7.2.5.2 Kontrola graničnog stanja upotrebljivosti – SLS

- a) Ograničenje širine naprslina bez direktnog proračuna

Česta kombinacija:

$$M_{Ed} = M_G + \psi_1 (M_{Ts} + M_{UDL}) = 68,89 + (0.75 \cdot 40,91 + 0.40 \cdot 8,625) = 103,02 [\text{kNm/m}']$$

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot \sigma_s}$$

$$z = 0.8 \cdot d = 0.8 \cdot 39 = 0.312 [\text{m}]$$

$$d_s = 14 [\text{mm}]$$

$$d_s^* = d_s \cdot \frac{f_{ct,0}}{f_{ct,eff}} = 14 \cdot \frac{3.0}{3.2} = 13,125 [\text{mm}]$$

$$\sigma_s = 239 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad w = 0.2 [\text{mm}]$$

$$\sigma_s = 292 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad w = 0.30 [\text{mm}]$$

$$A_s = \frac{103,02 \cdot 10^6}{312 \cdot 239} \cdot 10^{-2} = 13,81 \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right]$$

$$A_s = \frac{103,02 \cdot 10^6}{312 \cdot 292} \cdot 10^{-2} = 11,3 \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right]$$

***Prema novim preporukama DIN FB preporučuje se $z=0.8 \times d$, čime smo na strani sigurnosti.

Grenzdurchmesser d_s^* für Betonrippenstäbe

Zeile	Stahlspannung σ_s N/mm ²	Grenzdurchmesser der Stäbe in mm in Abhängigkeit vom Rechenwert der Rißbreite w_k	
		$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
1	160	42	28
2	200	28	18
3	240	19	13
4	280	14	9
5	320	11	7
6	360	8	6
7	400	7	5
8	450	5	4

USVOJENO:

$$\varnothing 14 / 12.5 [\text{cm}] \text{ BSt 500 S (B)}$$

$${}_{\text{stv}} A = 12.32 \left[\text{cm}^2 \right] > {}_{\text{pot}} A = 11.3 \left[\text{cm}^2 \right]$$

- Ograničenje napona

Rijetka kombinacija:

$$M_{Ed} = M_G + (M_{Ts} + M_{UDL}) = 68,89 + 40,91 + 8,625 = 118,43 \text{ [kNm/m']}$$

$$W_c = \frac{h^2}{6} = \frac{0.45^2}{6} = 0.03375 \left[\frac{m^3}{m} \right]$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{W_c} = \frac{118,43 \cdot 10^{-3}}{0.03375} = 3,5 \left[\frac{MN}{m^2} \right] < 5,0 \left[\frac{MN}{m^2} \right] =_{\text{dop}} \sigma_c$$

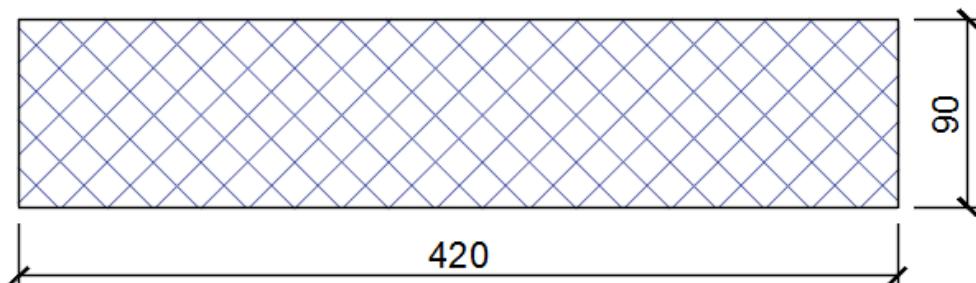
Betonfestigkeitsklasse	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
zul $\sigma_{c,Rand}$ [MN/m ²]	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5

7.3 Dimenzioniranje stuba-platna natputnjaka

Prema njemačkim DIN normama za AB konstrukciju u graničnom stanju upotrebljivosti (SLS) potrebno je provjeriti širinu naprslina i vrijednosti progiba.

Naprsline u stubovima natputnjaka ograničene su na vrijednost od $w_k < 0,300 \text{ mm}$ a što je u skladu sa klasom „D“ prema DIN FB 101. Prema DIN FB 102 je za proračun naprslina potrebno također provjeriti i minimalnu armaturu. Minimalni prečnik šipke koja se smije koristiti u stubovima je $\varnothing 16$, dok je maksimalni razmak između šipki 150mm.

7.3.1 Materijalizacija i minimalna armatura platna



Slika 83. Poprečni presjek AB platna natputnjaka

$$A_c = 90 \cdot 560 = 50400 \text{ cm}^2$$

Beton C 30/37	
Karakteristična čvrstoća na pritisak	$f_{ck,oyt} = 30 \text{ N/mm}^2$
Srednja vrijednost čvrstoće na zatezanje	$f_{ctm} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{30^2} = 2,90 \text{ N/mm}^2$
5% fraktilna vrijednost čvrstoće betona na zatezanje (donja frak. vrijednost)	$f_{ctk,0.05} = 2,0 \text{ N/mm}^2$
95% fraktilna vrijednost čvrstoće betona na zatezanje (gornja frak. vrijednost)	$f_{ctk,0.95} = 3,8 \text{ N/mm}^2$
Modul elastičnosti	$E_{cm} = 32000 \text{ N/mm}^2$

-računska čvrstoća betona na pritisak:

$$f_{cq} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,50} = 20 \text{ N/mm}^2$$

Armatsurni čelik S 500	
Karakteristična vrijednost čvrstoće betonskog čelika na granici velikih izduženja	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
Modul elastičnosti	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$

-računska granica razvlačenja armature:

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

- 1) Prema EC 2 za stubove te klasu betona C 30/37 i armaturu BSt 500 S minimalna vrijednost ukupne uzdužne armature ne smije da bude manja od:

$$\min A_s = \frac{0,15 \cdot N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 11671,91}{43,5} = 40,25 \text{ cm}^2$$

$$\min A_s = 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 37800 = 113,4 \text{ cm}^2$$

Usvojena minimalna uzdužna armatura:

38Ø16 BSt 500 S (B)

$$_{stv}A_s = 119,32 \text{ cm}^2 > \min A_s = 113,4 \text{ cm}^2$$

- 2) Prema EC2 za gredne elemente te klasu betona C30/37 i armaturu BSt 500S minimalna poprečna armatura koja je na razmaku $s_w < 30 \text{ cm}$ podužno i $s_w < 80 \text{ cm}$ poprečno određuje se prema izrazu:

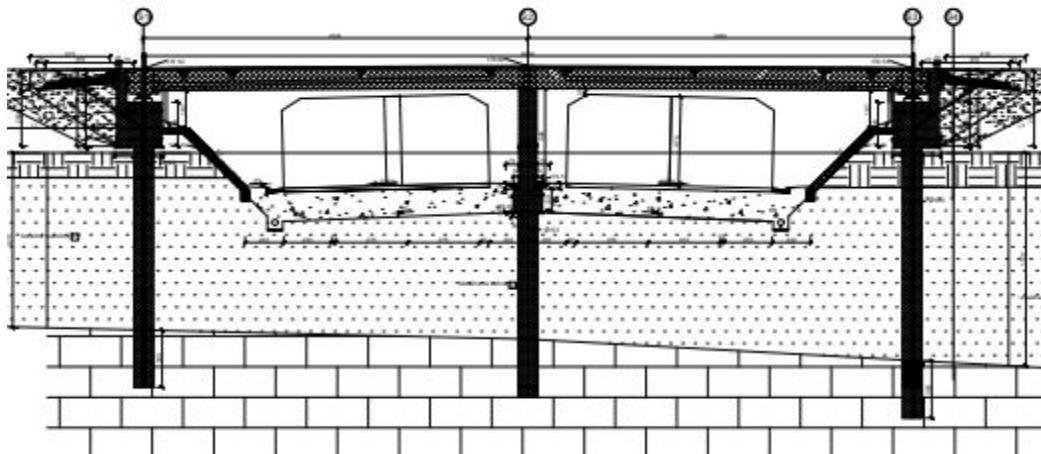
$$A_{sw} = \rho_w \cdot s_w \cdot b_w \cdot \sin \alpha = 0,0011 \cdot 25 \cdot 420 \cdot \sin 90^\circ = 11,55 \text{ cm}^2 \quad (\min \rho_w = 0,0011)$$

Usvojene osmosjecne vilice:

Ø14/50/25cm BSt 500 S (B)

$$_{stv}A_{sw} = 12,32 \text{ cm}^2 / 25 \text{ cm}; \quad _{stv}A_{sw} = 49,28 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

7.3.2 Opterećenja.



Slika 84. Rasponska konstrukcija mosta sa naznačenim stubom za dimenzioniranje

Naprezaanja srednjeg stuba proizilaze iz dispozicionog rješenja mosta.

Horizontalna naprezaanja rasponske konstrukcije se preko srednjeg stuba prenose u tlo. Incidentna kombinacija opterećenja će biti mjerodavna za dimenzioniranje ako se uzme u obzir da su uticaji jednolike temperature i skupljanja zanemarljivo mala. Pod incidentnom kombinacijom opterećenja se podrazumijeva seizmička kombinacija, dok se udar vozila u stub isključuje zbog predviđenih betonskih ograda u zoni stuba.

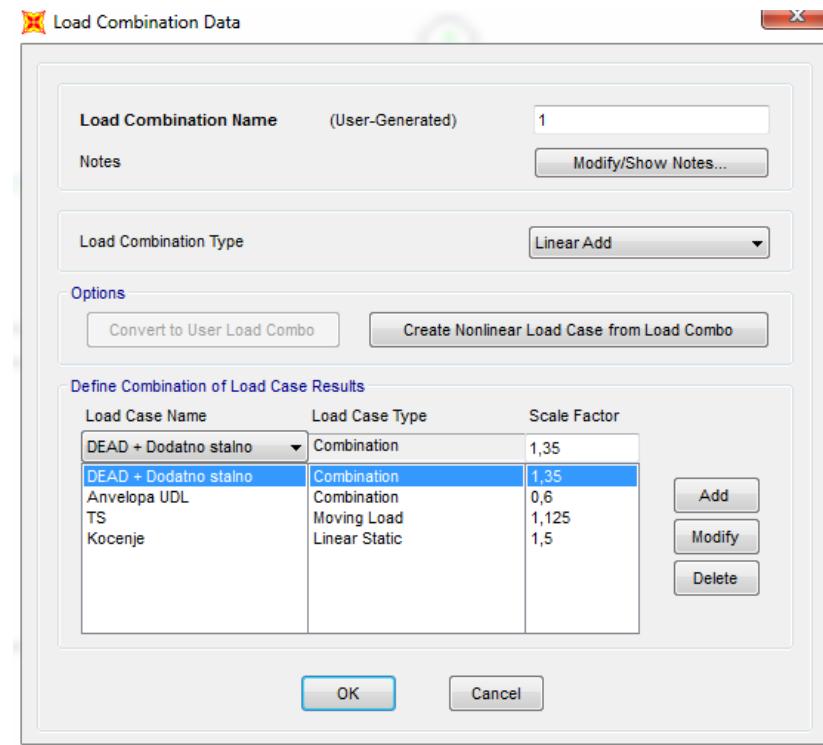
Mjerodavne presječne sile za dimenzionisanje:

U ove anvelope je uključena seizmička koombinacija koja je za neke presjeke mjerodavna za dimenzioniranje. Prvo će se provesti postupak dimenzioniranja po teoriji prvog reda, a zatim će se provjeriti za teoriju drugog reda.

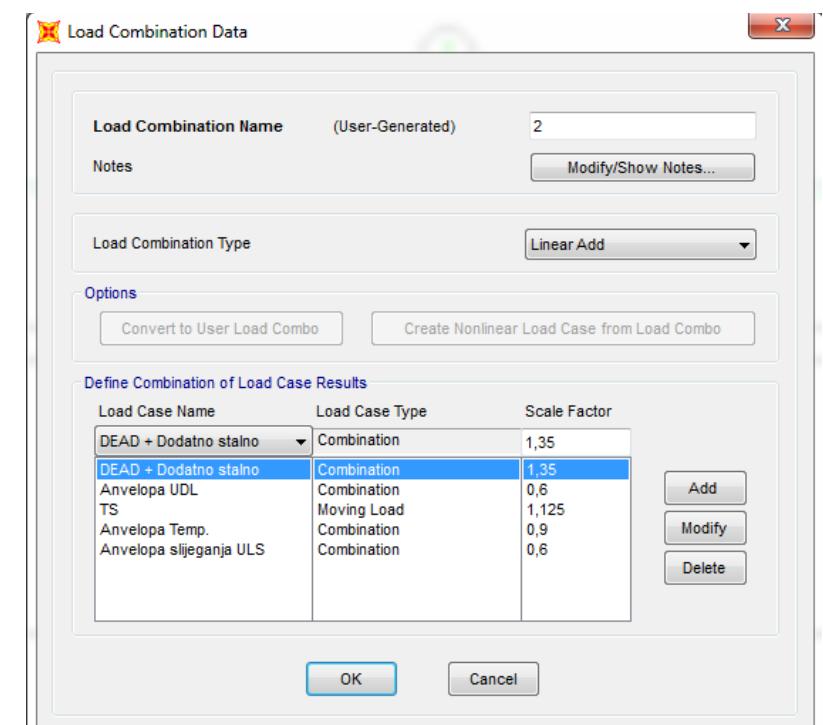
- Stalnaiprolazna(Osnovna)
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_G x G_{kj} + \gamma_P x P_k + \gamma_{Q1} x Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} x \psi_{0i} x Q_{ki}$$
- Incidentna kombinacija-isključivo se razmatra seizmicka kombinacija sa faktorom ponasanja konstrukcije $q=1,5$, dok ostale incidentne nisu uopste mjerodavne
$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \gamma_A x A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} x Q_{ki}$$

Kombinacije:

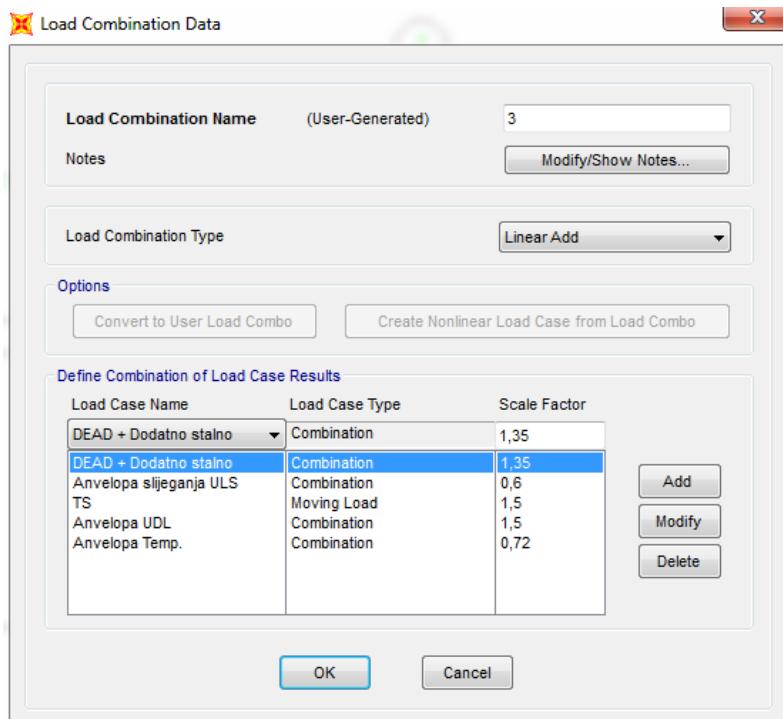
1. Kočenje vodeće opt.



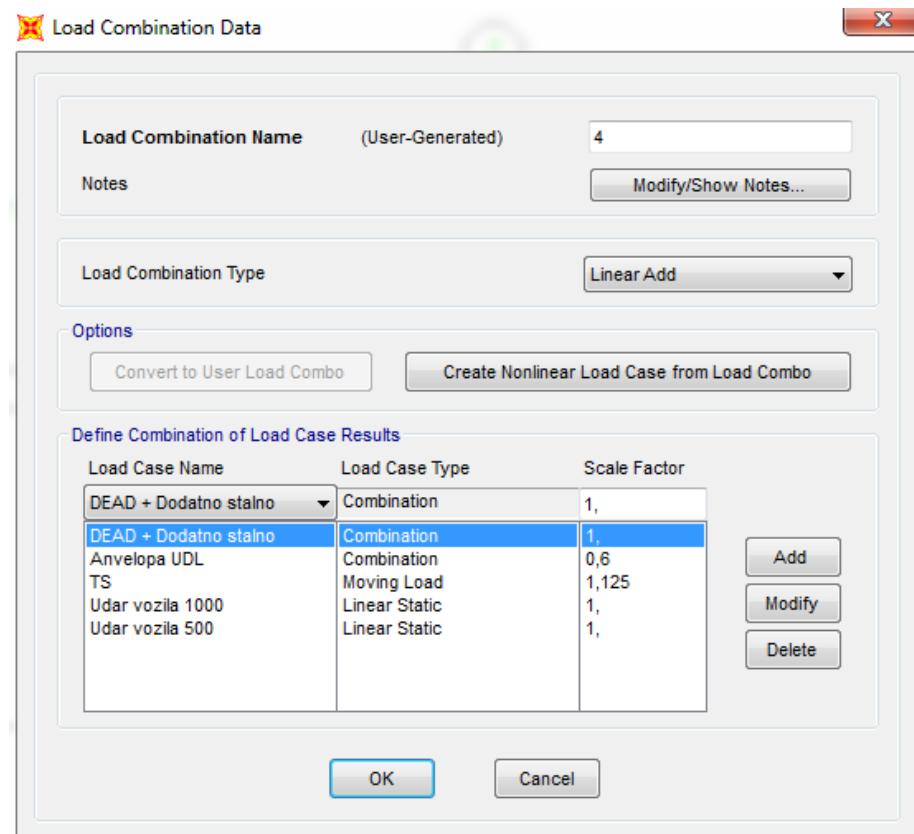
2. ULS vodeće opt.



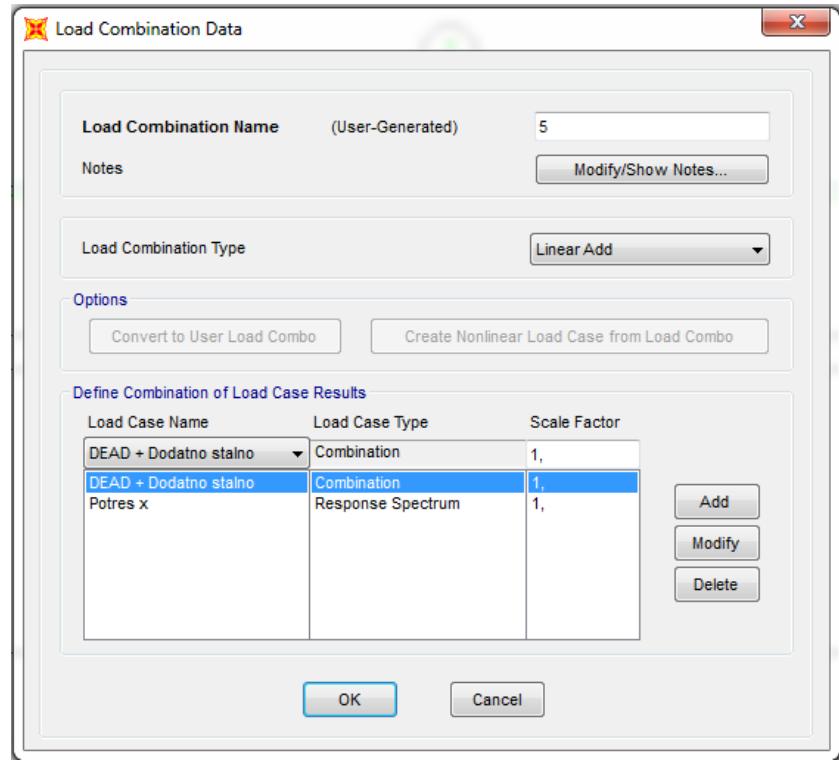
3. TS+UDL vodeće



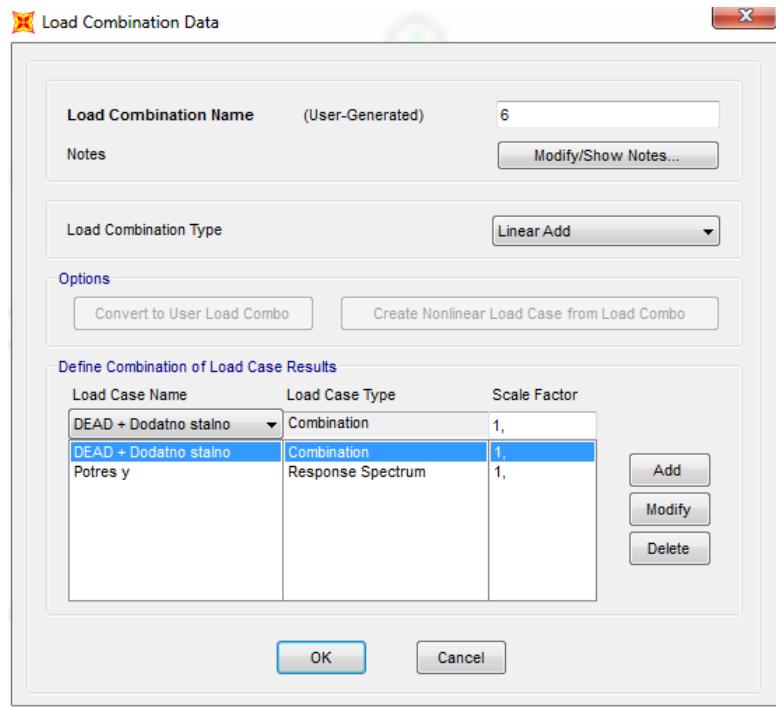
4. Temp. vodeće



5. Seizmička X smjer (uzeto 30% uticaja u Y smjeru)

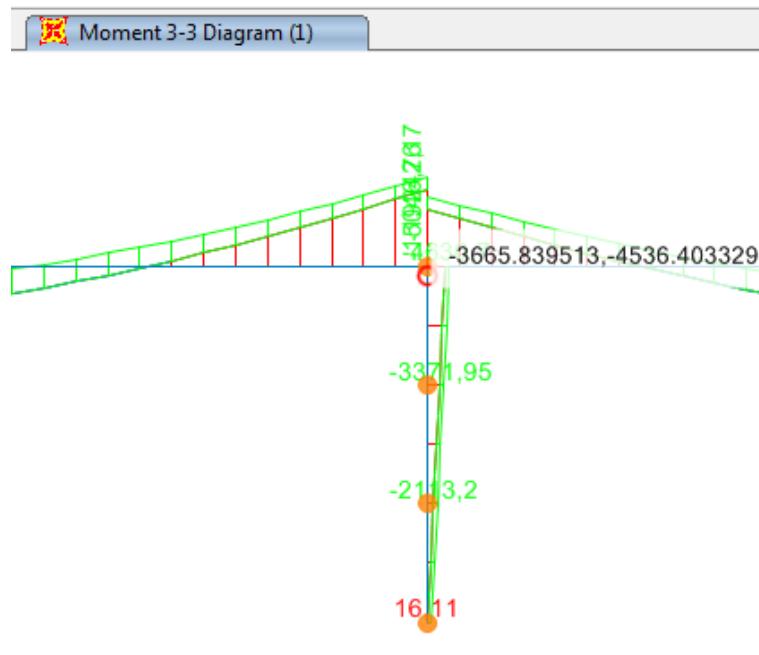


6. Seizmička Y smjer (uzeto 30% uticaja u X smjeru)

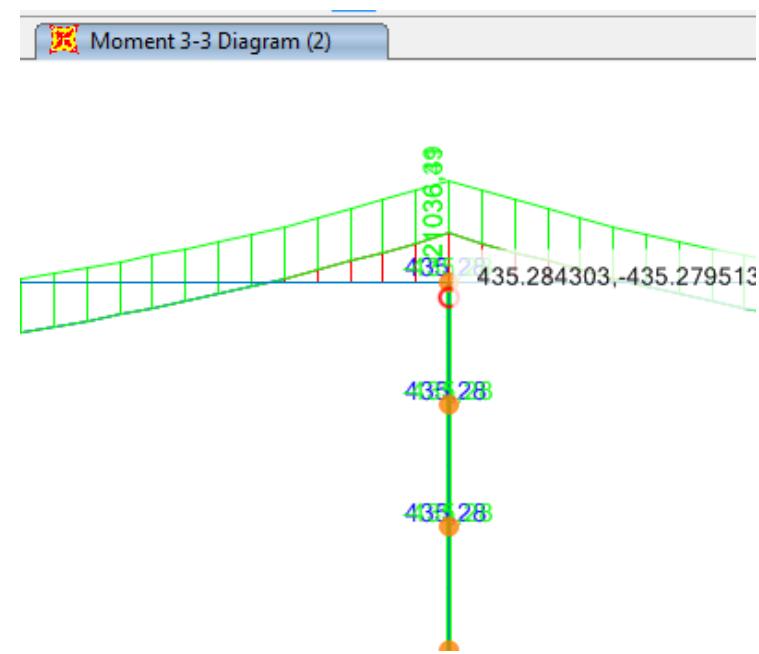


Rezultati:

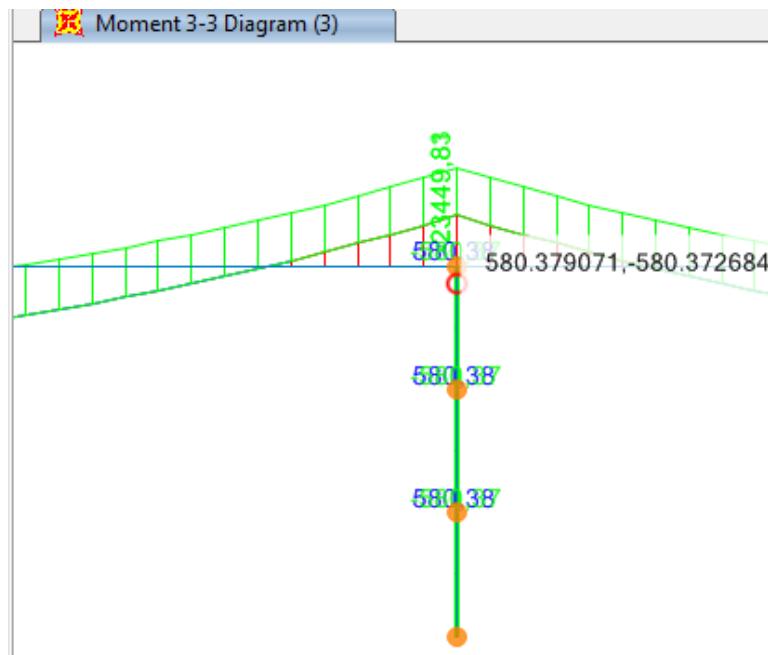
1. Kočenje vodeće opt.



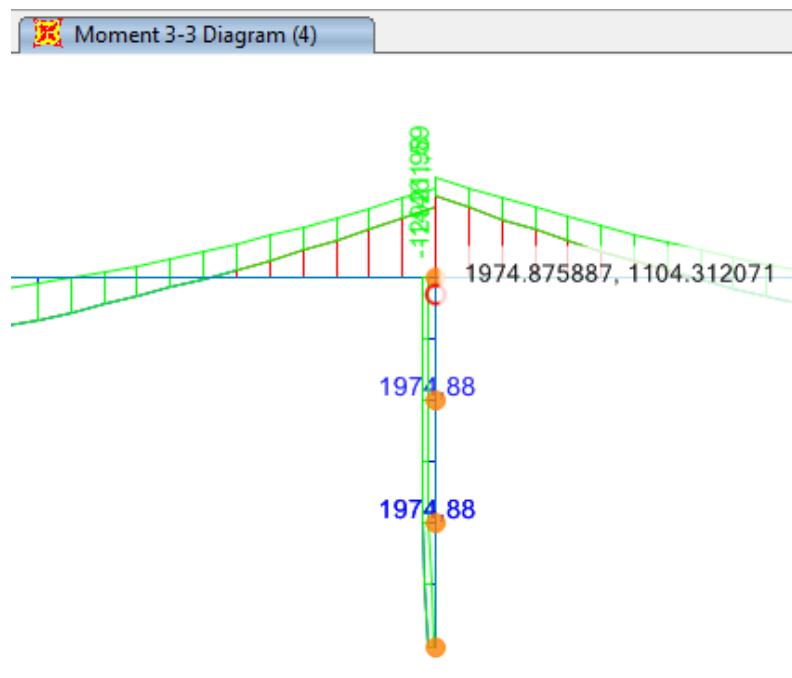
2. ULS vodeće opt.



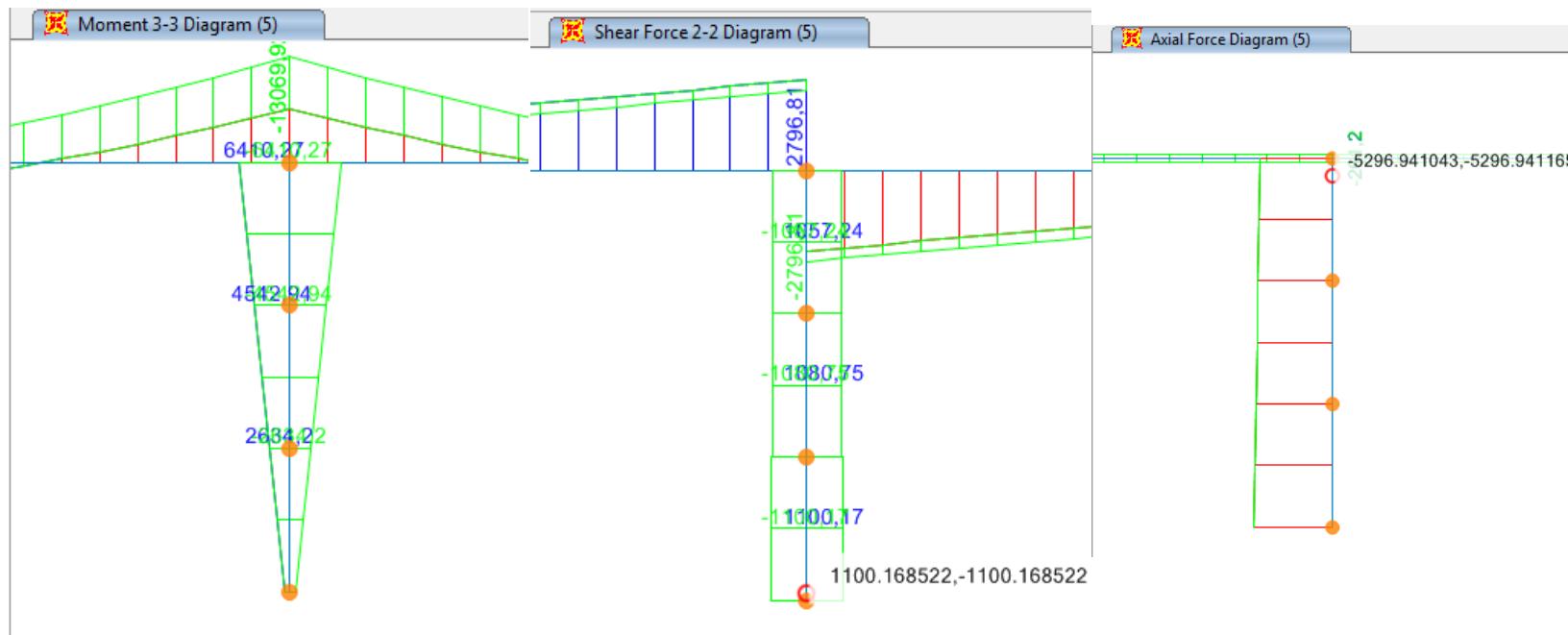
3. TS+UDL vodeče



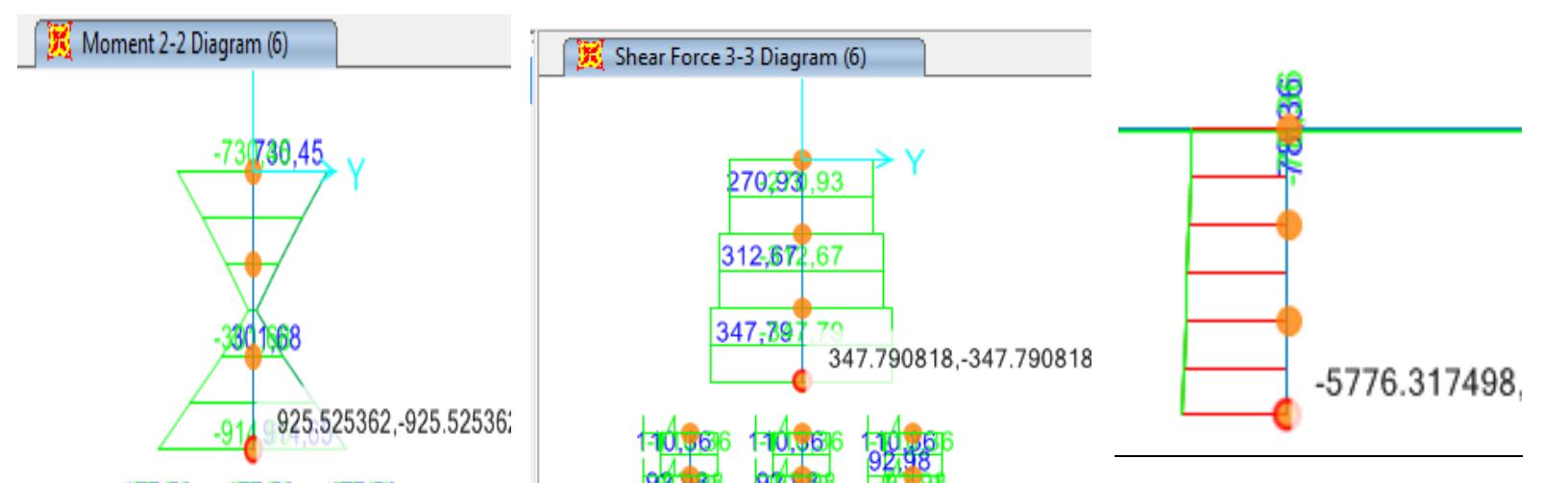
4. Temp. vodeče



5. Seizmička X smjer (uzeto 30% uticaja u Y smjeru)



6. Seizmička Y smjer (uzeto 30% uticaja u X smjeru)



Za dimenzioniranje stuba su mjerodavne kombinacije u kojima je vodeće opterećenje kočenje vozila, incidentna opterećenja udara u stub i seizmičkih opterećenja.

Mjerodavne kombinacije za presječne sile su date u nastavku, a odgovarajuće presječne sile maksimalnim uticajima su date tabelarno za svaku kombinaciju.

- I $1,35 \cdot \text{Stalno} + (1,50 \cdot 0,4 \cdot \text{UDL}) + (1,50 \cdot 0,75 \cdot \text{TS}) + 1,35 \cdot \text{Kočenje}$
- II $1,35 \cdot \text{Stalno} + (1,50 \cdot 0,4 \cdot \text{UDL}) + (1,50 \cdot 0,75 \cdot \text{TS}) + (1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{Temperatura}) + (1,0 \cdot 0,6 \cdot \text{Slijeganje})$
- III $1,35 \cdot \text{Stalno} + (1,0 \cdot 0,6 \cdot \text{Slijeganje}) + (1,50 \cdot \text{TS}) + (1,50 \cdot \text{UDL}) + (1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot \text{Temperatura})$
- IV $1,00 \cdot \text{Stalno} + (1,50 \cdot 0,4 \cdot \text{UDL}) + (1,50 \cdot 0,75 \cdot \text{TS}) + 1,0 \cdot \text{Udar}$
- V $\text{Stalno} + x + 0,3 \cdot y$
- VI $\text{Stalno} + y + 0,3 \cdot x$

kombinacije					
	naprezanja	M3	M2	T2	N
1	1	4466,01	1747,09	-712,5	9754,51
	2	435,27	1747,09	0	10138,1
	3	-580	2789,79	0	11510,8
	4	1974,87	3320	500	7727,87
	5	-	6401,27	2182,94	1100,16
	6	-1865	680,78	330,05	5773,69

Tabela 7. Maksimalni uticaji u stubu

7.3.3 Dimenzioniranje stuba:

Osim uticaja seizmike potrebno je uzeti uticaje drugog reda u stubu. Uticaji drugog reda uzeti su u obzir smatrajući da je dužina izvijanja stuba jednaka:

$$l_0 = l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1} \right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2} \right) \right\}$$

$$k = (\theta/M) \cdot (EI/L)$$

L=	5,40 - Visina stuba
E=	3,19E+07 - Modul elastičnosti betona
J=	2,55E-01 - Moment inercije stuba
θ_1 =	1,30E-04 -zaokret u čvoru "1" stuba
M ₁ =	1000,00 - momenat savijanja u čvoru "1"
θ_2 =	4,30E-04 -zaokret u čvoru "2" stuba
M ₂ =	1000,00 - momenat savijanja u čvoru "2"

Ne dirati formule ispod

$$\begin{aligned} K_1 &= 0,1958 \\ K_2 &= 0,6477 \end{aligned}$$

$$1,163761 \quad \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1} \right)$$

$$\beta = 1,62 - \text{Dužina izvijanja}$$

$$1,393111 \quad \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2} \right)$$

$$l_0 = 1,62 \cdot h = 1,62 \cdot 5,40 = 8,748 \text{ m}$$

Teorija II reda :

Mjerodavna kombinacija za dimenzioniranje je Seizmička kombinacija.

Presjećne sile za dimenzioniranje ćemo proračunati *Teorijom II reda*

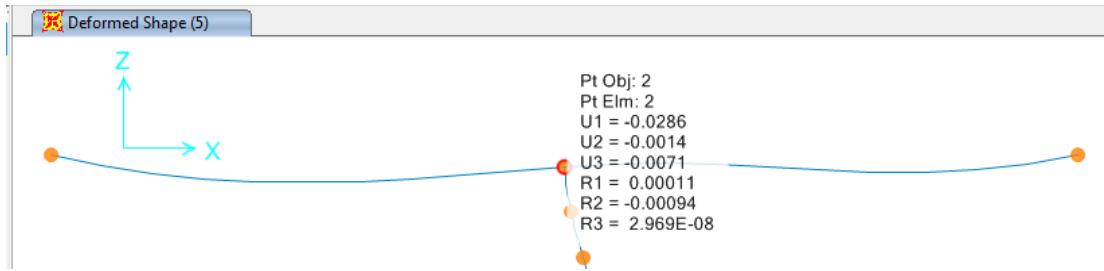
Za seizmičku kombinaciju ΔM se računa po izrazu:

$$\Delta M = \left[\left(\frac{1+q}{2} \right) d_w + d_{inp} + d_g \right] N_{ed}$$

$$d_{inp} = \frac{l_i}{300} \quad L_i = \beta \times L$$

$$d_g = 0$$

$$d_w = 0,0286 \text{ m (pomak vrha stuba uslijed seizmičke kombinacije)}$$



$$d_{inp} = \frac{li}{300} = \frac{8,748}{300} = 0,02916 \text{ m}$$

$$d_w = 0,0286 \text{ m}$$

$$q = 1,5$$

$$N_{ed} = 5296 \text{ kN}$$

$$\Delta M = \left[\left(\frac{1+q}{2} \right) dw + d_{inp} + dg \right] N_{ed} = 343,76 \text{ kNm}$$

Mjerodavne presječne sile za stub:

$$M_3 = \Delta M + M_3 = 343,76 + 6401,27 = 6745,03 \text{ kNm}$$

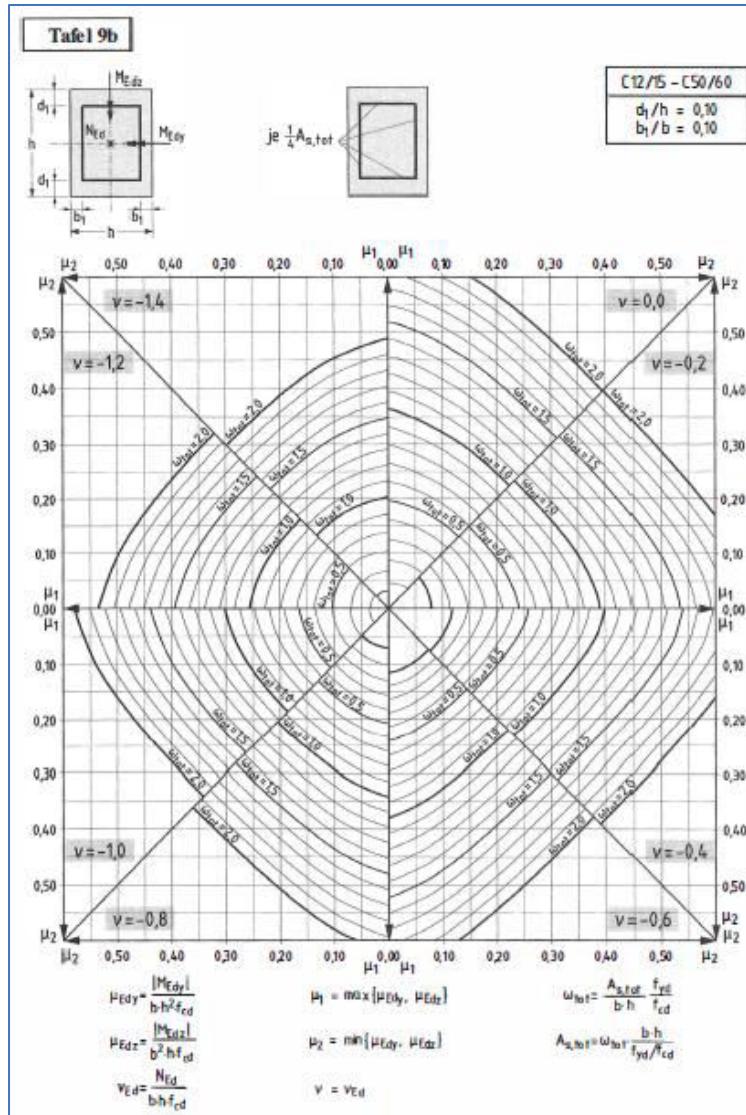
$$M_2 = \Delta M + M_2 = 343,76 + 925 = 1268,76 \text{ kNm}$$

Određivanje poduzne armature pomoću dijagrama interakcije:

$$\mu_{Ed2-2} = \frac{M_{2-2}}{b^2 \times h \times f_{cd}} = \frac{1268,76 \text{ kNm}}{4,2^2 \times 0,9 \times 17 \times 10^3 \text{ kN/m}^2} = 0,0047$$

$$\mu_{Ed3-3} = \frac{M_{3-3}}{b^2 \times h \times f_{cd}} = \frac{6745,03 \text{ kNm}}{0,9^2 \times 4,2 \times 17 \times 10^3 \text{ kN/m}^2} = 0,1166$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-5296 \text{ kN}}{0,9 \text{ m} \times 4,2 \text{ m} \times 17 \times 10^3 \text{ kN/m}^2} = -0,0824$$



SLIKA 1 INTERAKCIJONI DIJAGRAM ZA DVOOSNO SAVIJANJE

Sa dijagraama su očitane vrijednosti:

$$\omega_{tot} = 0,275$$

Potrebna armatura:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \times b \times h = 0,275 \times \frac{17 \times 10^3}{435 \times 10^3} \times 90cm \times 420cm = 406,24 cm^2$$

Potrebna armatura :

$$A_{s2} = A_{s1} = 203,12 \text{ cm}^2$$

Usvojene šipke 35Ø28

$$\text{stv } A_{s1} = \text{stv } A_{s2} = 215,51 \text{ cm}^2$$

7.3.5 Dimenzioniranje na poprečne sile:

$$V_{Rd,ct} = \left[\frac{0,15}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot 100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}^{1/3} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_{wnom} \cdot d$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

$$d = 0,9 - 0,09 = 0,81 \text{ m}$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{540}} = 1,61 < 2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{529,55}{420 \cdot 81} = 0,01556$$

$$V_{Rd,ct} = \left[\frac{0,15}{1,5} \cdot 1,61 \cdot (100 \cdot 0,01556 \cdot 30)^{1/3} \right] \cdot 4,20 \cdot 0,81 = 1,419 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,ctMIN} = \left[\frac{\kappa_1}{\gamma_c} \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} - 0,12 \sigma_{cd} \right] b \cdot d$$

$$V_{Rd,ctMIN} = [0,035 \cdot 1,61^{3/2} \cdot 30^{1/2}] 4,2 \cdot 0,81 = 1,332 \text{ MN}$$

$V_{Rdct} = 1,419 \text{ MN} > V_{sd} = 1,332 \text{ MN}$, pa je dovoljna **minimalna poprečna armatura.**

Usvojene osmosjecne vilice:

Ø14/50/25cm BSt 500 S (B)

$$\text{stv } A_{sw} = 12,32 \text{ cm}^2 / 25 \text{ cm}; \text{stv } A_{sw} = 49,28 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

Progušćenje pri krajevima stuba iz seizmičkih razloga: Ø14/50/12,5cm BSt 500 S (B)

$$\text{stv } A_{sw} = 12,32 \text{ cm}^2 / 12,5 \text{ cm}; \text{stv } A_{sw} = 98,56 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

7.3.6 Provjera na biaksijalno savijanje stuba

Potrebnu armaturu za dva okomita pravca savijanja smo proračunali zasebno, zanemarujući biaksijalno savijanje.

Smijer x:

$$\lambda = li/i$$

$$li = 1,62 \times 540 = 874,8 \text{ cm}$$

$$i = \sqrt{\frac{Iz}{A}} = \sqrt{\frac{25515000}{37800}} = 25,98$$

$$Iz = \frac{b * h^3}{12} = \frac{420 * 90^3}{12} = 25515000 \text{ cm}^4$$

$$A = 420 \times 90 = 37800 \text{ cm}^2$$

$$\lambda_2 = li/i = 874,8 / 25,98 = 33,67$$

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{6410,27}{5296,94} = 1,11 \text{ m}$$

Smijer Y:

$$\lambda = li/i$$

$$li = 1,28 \times 540 = 691,2 \text{ cm}$$

$$i = \sqrt{\frac{Iy}{A}} = \sqrt{\frac{555660000}{37800}} = 121,24$$

$$Iy = \frac{b * h^3}{12} = \frac{90 * 420^3}{12} = 555660000 \text{ cm}^4$$

$$A = 420 \times 90 = 37800 \text{ cm}^2$$

$$\lambda_3 = li/i = 691,2 / 121,24 = 5,7$$

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{730}{5296,94} = 0,137 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\lambda_2/\lambda_3 &\leq 2 \rightarrow \lambda_2/\lambda_3 = 33,67/5,7 = 5,9 < 2 \\ \lambda_3/\lambda_2 &\leq 2 \rightarrow \lambda_3/\lambda_2 = 5,7/33,67 = 0,169 < 2\end{aligned}$$

$$\left(\frac{M_{Ed2}}{M_{Rd2}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed3}}{M_{Rd3}}\right)^a \leq 1,0$$

a eksponent:
za kružne i eliptične poprečne preseke: $a = 2$
za pravougaone poprečne preseke:

N_{Ed}/N_{Rd}	0,1	0,7	1,0
a =	1,0	1,5	2,0

uz linearu interpolaciju za međuvrednosti

Slika 37. Tabela za interpolaciju eksponenta 'a'

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 37800 \text{ cm}^2 \cdot 1,7 \frac{kN}{\text{cm}^2} + 523,2 \cdot 43,5 = 87019,2 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = \mu \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,185 \cdot 420 \cdot 90^2 \cdot 1,7 = 10699,29 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd3} = \mu \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,006 \cdot 90 \cdot 420^2 \cdot 1,7 = 1619,35 \text{ kNm}$$

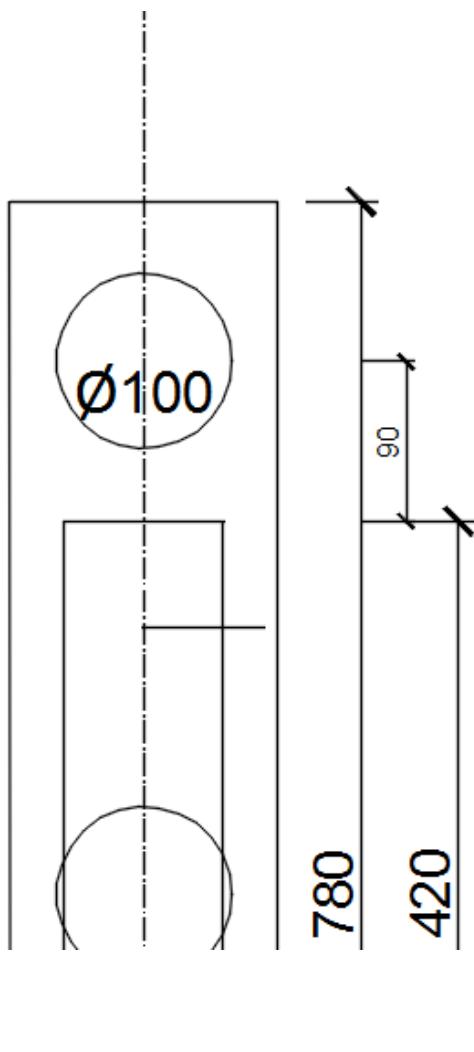
- $\max M_2$

$$\left(\frac{M_{Ed2}}{M_{Rd2}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed3}}{M_{Rd3}}\right)^a = \left(\frac{6409,8}{10699,29}\right)^1 + \left(\frac{730}{1619,35}\right)^1 = 0,88 \leq 1,0$$

$$N_{Ed} = 5296,94 \text{ kN} (\text{p})$$

7.3.7 Opterećenje i dimenzioniranje naglavne grede srednjeg stuba:

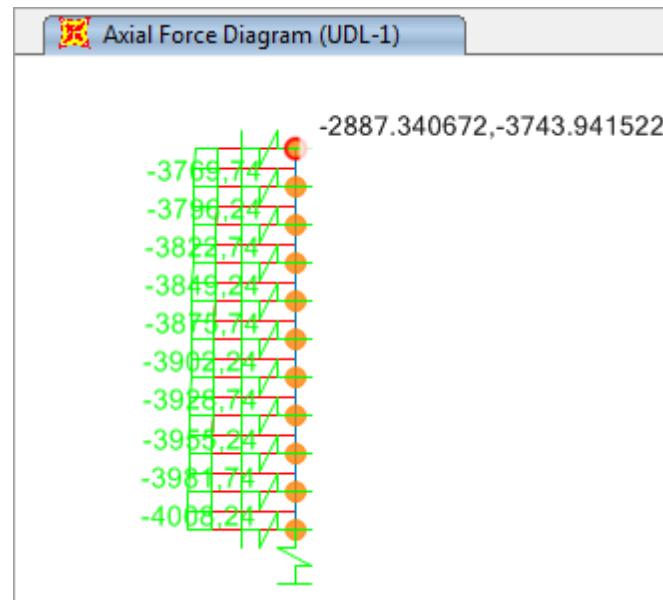
Kako je srednji stub AB platno a naglavna greda se nalazi na spoju platna sa šipovima i ima ulogu da prenese opterećenje sa stuba na šipove. Posmatraće se samo moment i poprečna sila koju može izazvati šip koji se nalazi na isturenom dijelu naglavne grede u odnosu na AB platno.

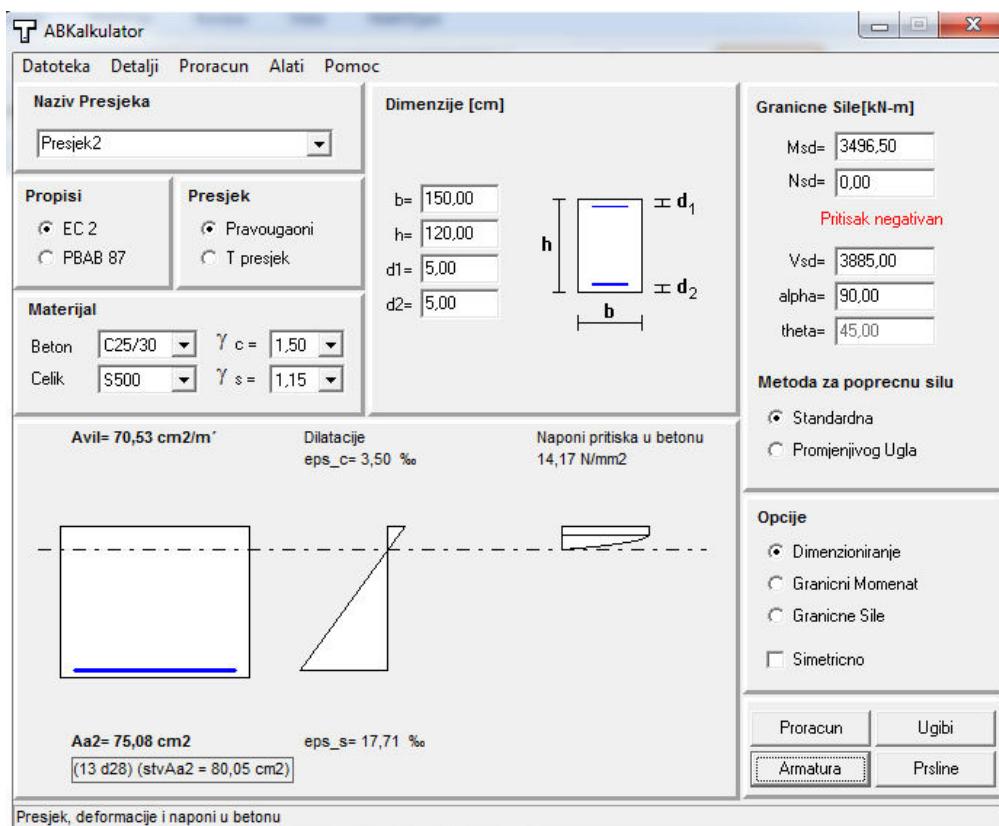


Fed=3885 kN – sila kojom šip djeluje na naglavnu gredu

$$Med=3743,94 *0,9 =3496,5 \text{ kNm}$$

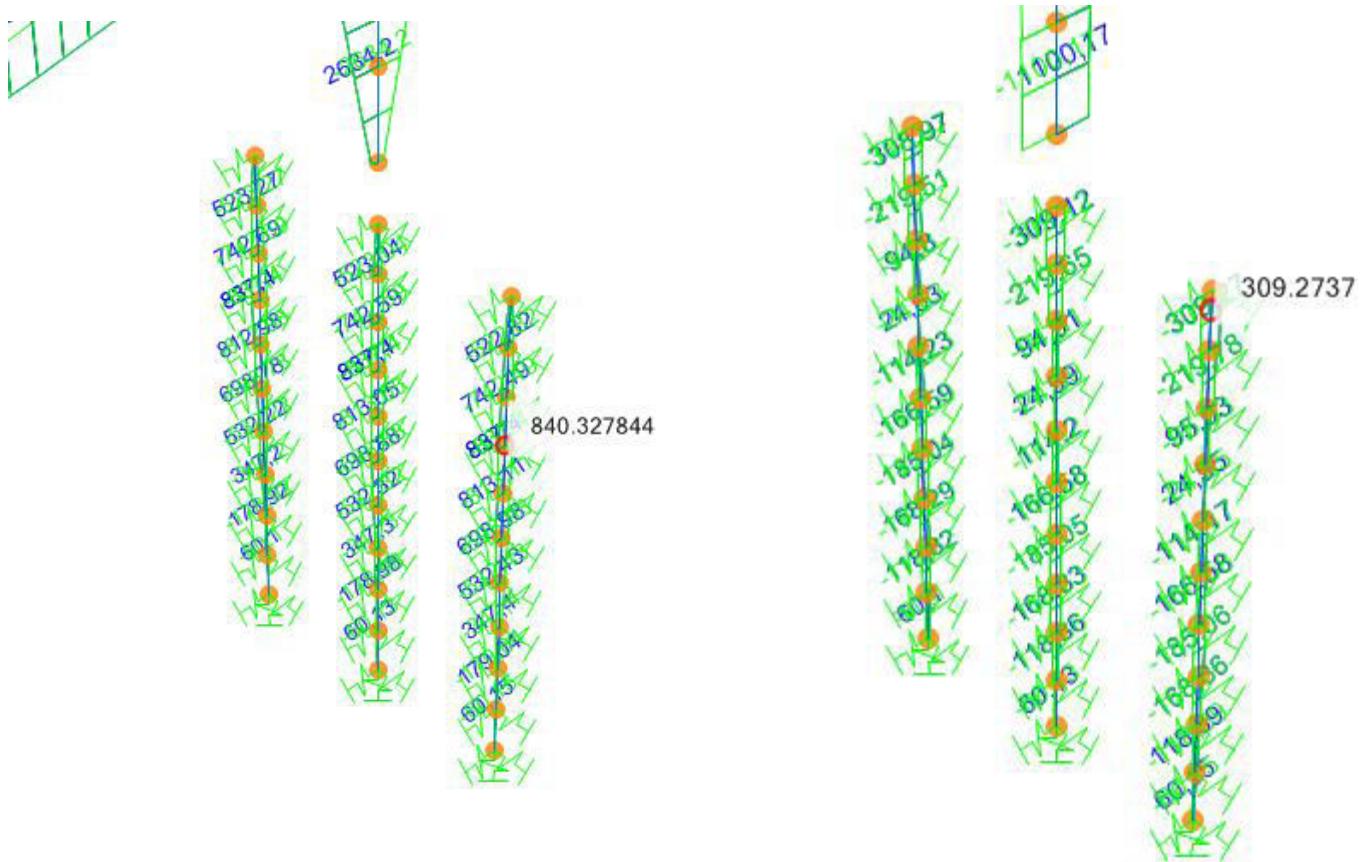
$$Ved=3885 \text{ kN}$$





Usvojeno: -podužna 13Ø28 (80,08 cm²)
-poprečna četverosječne vilice Ø16/11 cm (73,12 cm²/m')

7.3.8 Dimenzionisanje šipova ispod srednjeg stuba:



$$Med=840,32 \text{ kNm}$$

$$Ned=3885 \text{ kN}$$

$$Ved=309,27 \text{ kN}$$

$$m_{imds}=0,075 \quad n_{ieds}=-0,348$$

$$\text{minimalna armatura: } 0,5/100 * 7850 = 39,25 \text{ cm}^2$$

USVOJENO: 7Ø28 (43,1 cm²)

$$Ved=309,27 \text{ kN}$$

Odabran je nagib pritisnutih dijagonalala 45°

$$V_{Rd,max} = 0,75 * 1,42 * 90 * 0,9 * 90 * 0,5 = 3881,9 \text{ kN} > V_{ed}$$

$$V_{Rd,ct} = 0,24 * 25_{1/3} * 0,9 * 0,9 * 0,9 = 0,511 \text{ MN} = 511 \text{ kN} > V_{ed}$$

$$pot a_{sw} = 125 / 43,5 * 0,9 * 0,9 * 1 = 2,33 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$a_{sw,min} = 0,93 * 90 = 8,37 \text{ cm}^2$$

USVOJENO: vilice dvosječne $\varnothing 12/25 \text{ cm}$ ($9,05 \text{ cm}^2$)

7.3 Dimenzioniranje upornjaka

Stalno opterecenje Sopstvena tezina je uzeta u obzir software-om SAP200v20. Pritisak tla u stanju mirovanja Ukupna dubina : H=3,80m Sljunak : $\gamma=22\text{kN/m}^3$ $\phi=44$

Koeficijent aktivnog pritiska tla : $k_0=1-\sin\phi=0,305$

Zamjenjujuće opterećenje od saobraćaja : $P=10\text{kN/m}^2$

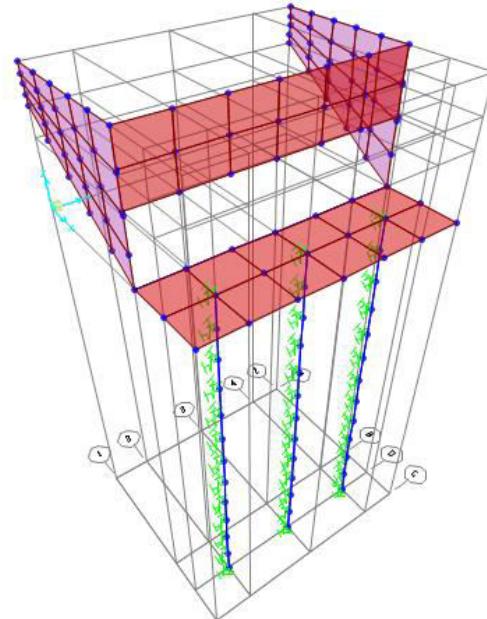
Horizontalni pritisak u dnu : $P=(3,80 \times 22 + 10) \times 0,305 = 25,49 + 3,05 = 28,548 \text{kN/m}^2$

Racunsko opterecenje rasponske konstrukcije

$R_z,Ed = 2751,17 \text{kN}$

$R_z,Ed = 1969,22 \text{kN}$ $R_y,$

$R_y,Ed=362,62 \text{kN}$ -seizmika Y

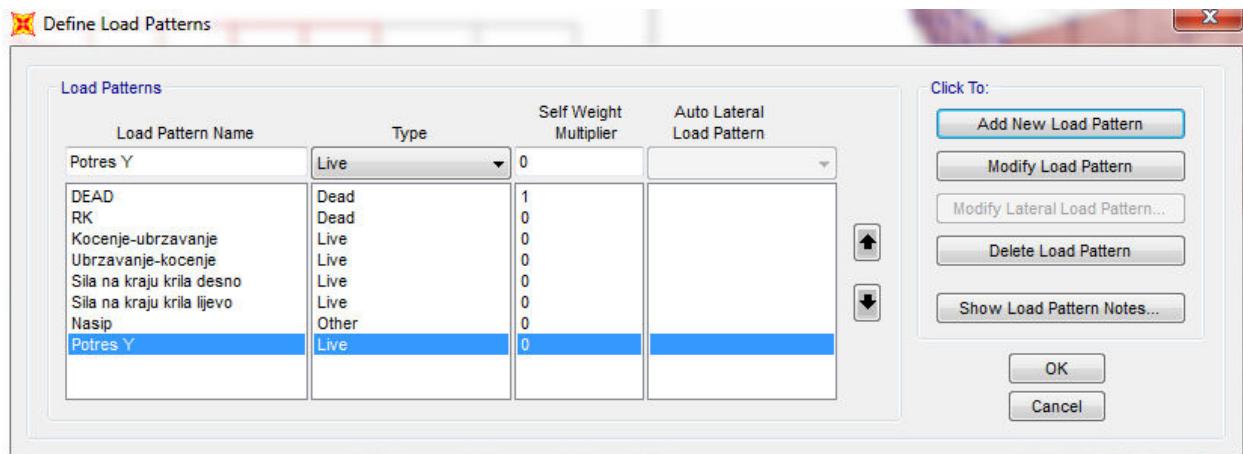


Opterećenje od TS (vozilo na nadzidku upornjaka):
 $Q_{1k}=150 \text{kN}$ -vertikalno opterećenje od točka $q_{1k}=90 \text{kN}$ -horizontalno opterećenje od točka Vozilo na krilu
upornjaka: $Q=150 \text{kN}$

MODELIRANJE UPORNJAKA

Upornjak je modeliran shell elementima. Dok su šipovi modelirani elementima grede. Nadzidak je povezan sa konstraint elementima za naglavnu gredu, kao i krila za naglavnu gredu u donjem djelu te za nadzidak u gorbhen dhekz. Šipovi dužine 14,3 metara su u tlu koje je modelirano oprugama, 3 metra šipa se nalazi u glini čija je krutost uzeta da se linearno povećava sa dubinom, dok su posljednja 3 metra šipa u supstratu.

7.3.1 Opterećenja



Kombinacije opterećenja za upornjak:

ULS1

1,35xDEAD-naprezanja u šipovima u fazi gradnje

ULS2

1,35xDEAD+1,35xtlo+ (opt sa RK)+1,5xTS-mjerodavno za nadzidak

ULS3

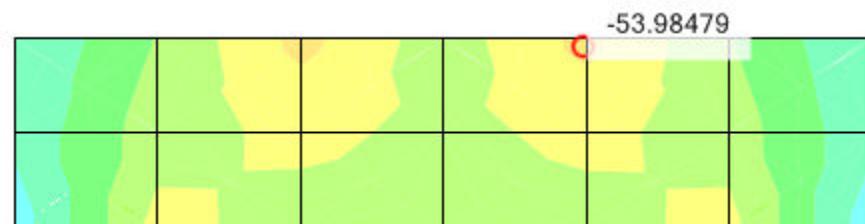
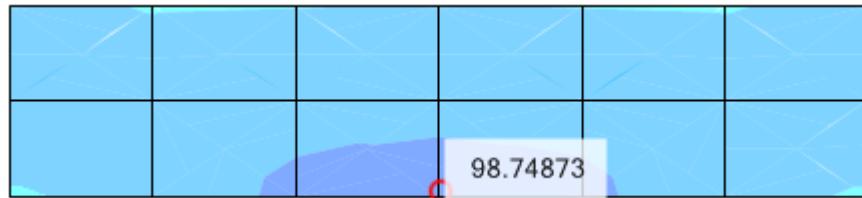
1,35 x DEAD+1,35 x tlo+ (opt sa RK)+1,5 x sila od vozila-mjerodavna za krilo

Potres

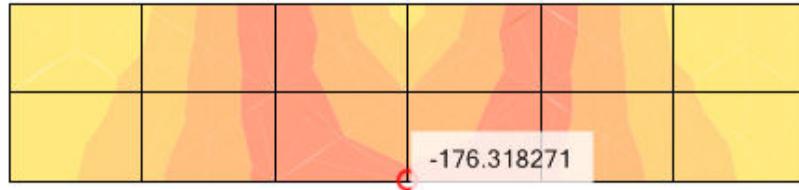
1,0 x DEAD+ 1,0 x Potres y

7.3.2 Opterećenja i dimenzioniranje nadzidka

Momenti savijanja nadzidka: ULS-2



Normalne sile u pravcu Z: ULS-2



Potrebna armatura: podužna

ABKalkulator

Datoteka Detalji Proracun Alati Pomoc

Naziv Presjeka: Presjek3

Propisi: EC 2

Presjek: Pravougaoni

Materijal: Beton C25/30, Čelik S500

Dimenzije [cm]: b=100.00, h=50.00, d1=5.00, d2=5.00

Granicne Sile [kN-m]: Msd= 98,75, Nsd= -176,31 (Pritisak negativan), Vsd= 0,00, alpha= 90,00, theta= 45,00

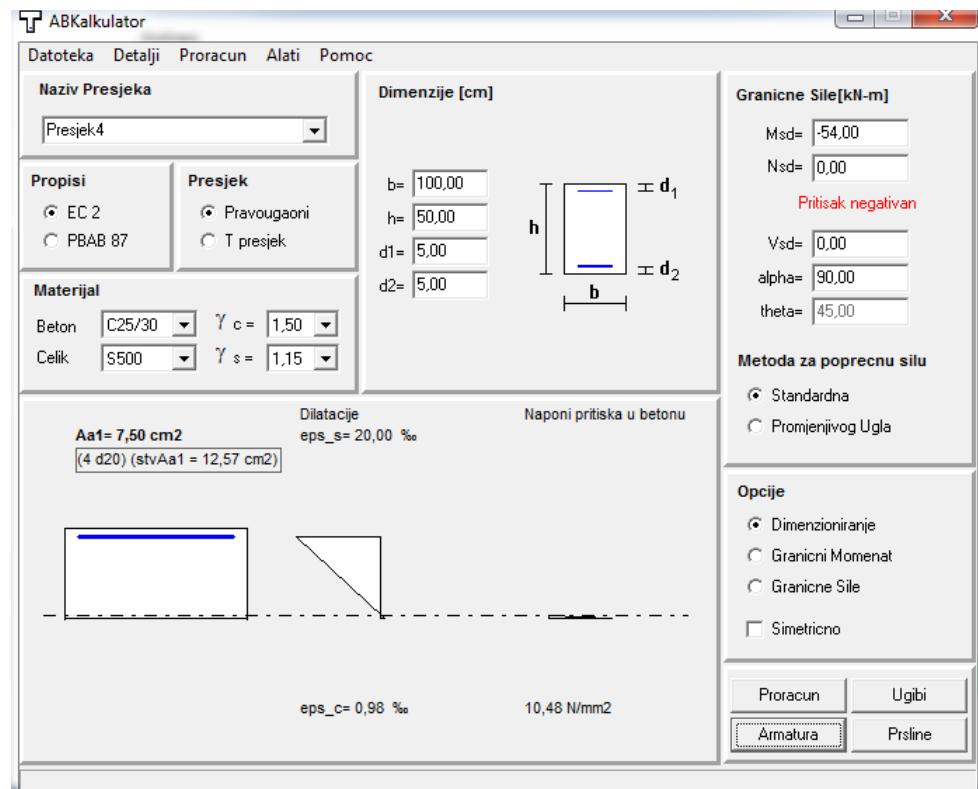
Metoda za poprecnu silu: Standardna

Opcije: Dimenzioniranje (checked), Granicni Momenat, Granicne Sile, Simetricno

Proracun, Ugibi, Armatura, Prsline

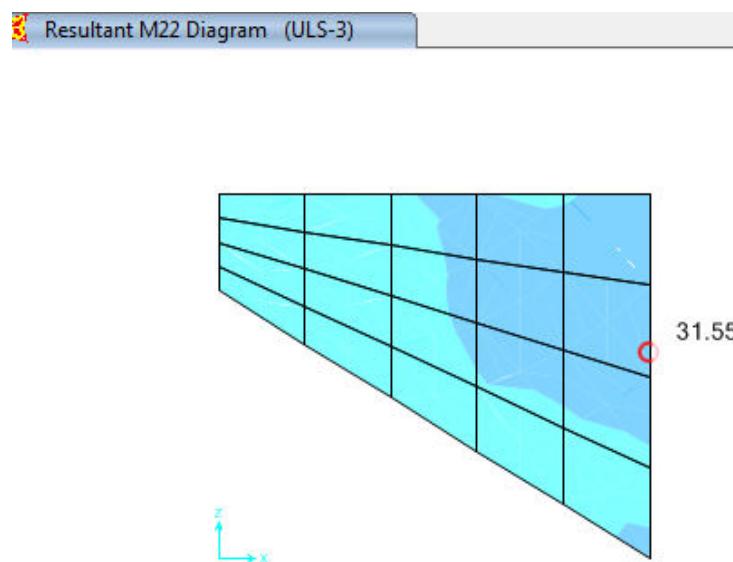
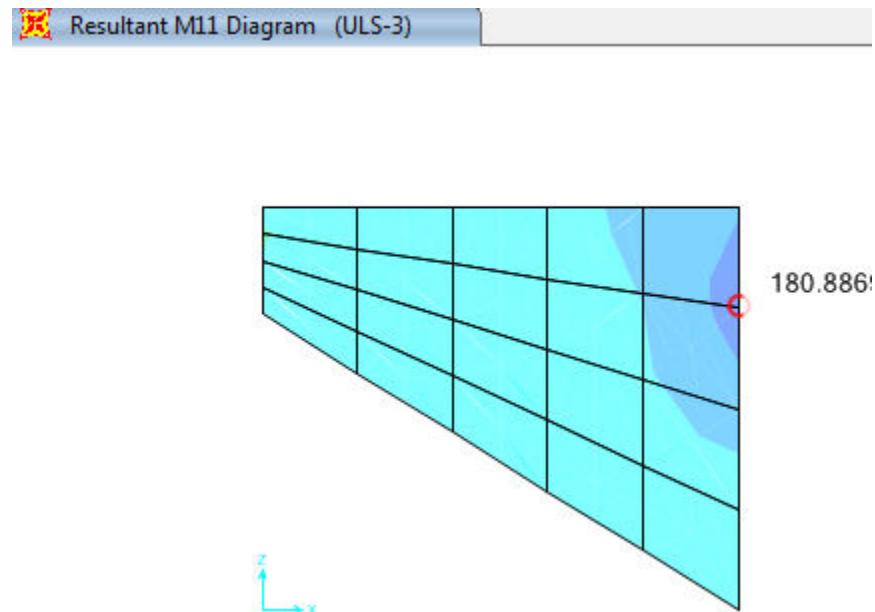
Aa2= 7,50 cm², eps_s= 20,00 %, (4 d20) (stvAa2 = 12,57 cm²)

Potrebna armatura: poprečna

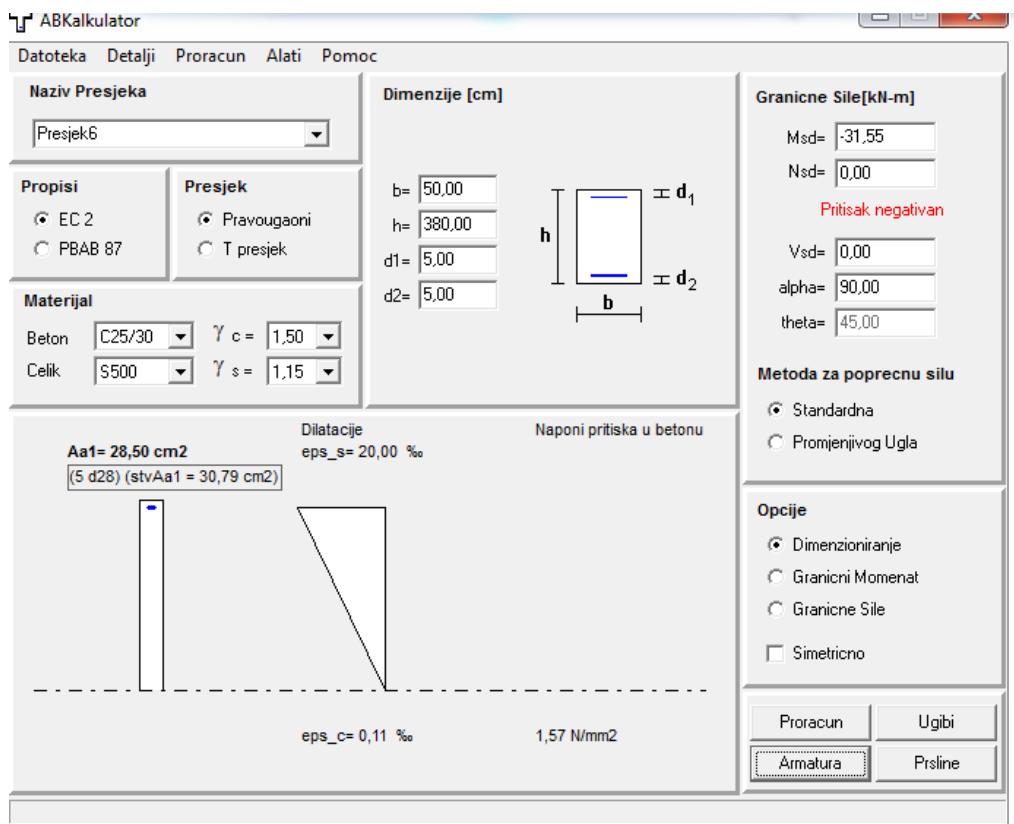


7.3.3 Opterećenja i dimenzioniranje krila

Moment krila:



Potrebna poduzna armatura:



ABKalkulator

Datoteka Detalji Proracun Alati Pomoc

Naziv Presjeka: Presjek2

Propisi: EC 2

Presjek: Pravougaoni

Materijal: Beton C25/30, Čelik S500

Dimenziije [cm]:

- b = 100,00
- h = 50,00
- d₁ = 5,00
- d₂ = 5,00

Dilatacije: $\epsilon_{c} = 2,11 \%$

Naponi pritiska u betonu: $14,17 \text{ N/mm}^2$

A_{a2} = 9,54 cm², $\epsilon_{s} = 20,00 \%$
 $(5 \text{ d}20) (\text{stvAa2} = 15,71 \text{ cm}^2)$

Granicne Sile [kN-m]:

- M_{sd} = 180,00
- N_{sd} = 0,00
- Pritisak negativan
- V_{sd} = 0,00
- alpha = 90,00
- theta = 45,00

Metoda za poprecnu silu:

- Standardna
- Promjenjivog Ugla

Opcije:

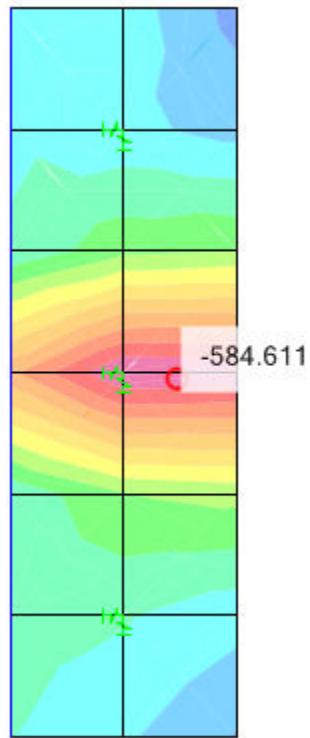
- Dimensioniranje (selected)
- Granicni Momenat
- Granicne Sile
- Simetricno

Proracun, Ugibi, Armatura, Prsline

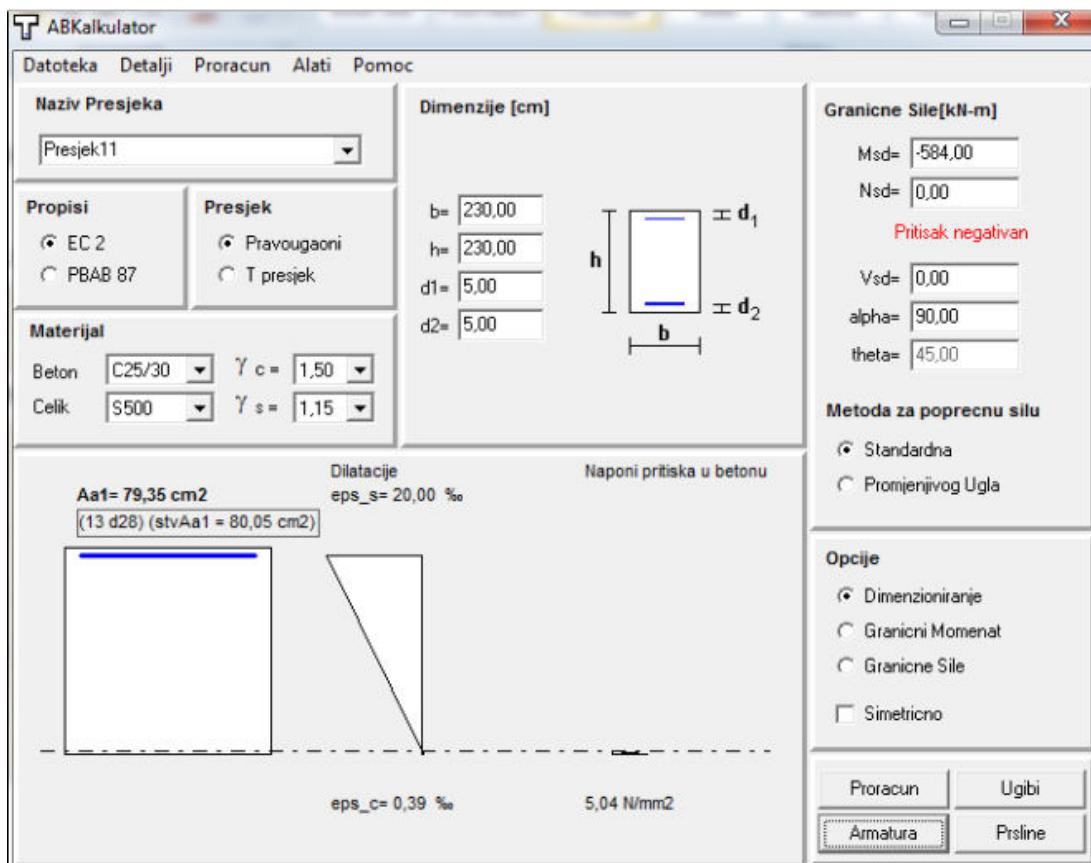
Usvojena poduzna armatura u krilu 20/20

7.3.4 Opterećenja i dimenzioniranje naglavne grede upornjaka

Moment savijanja (naglavna greda):



Potrebna armatura:



7.3.5 Opterećenje i dimenzioniranje šipova upornjaka i srednjeg stuba te dokaz nosivosti šipova.

Dokaz nosivosti šipova:

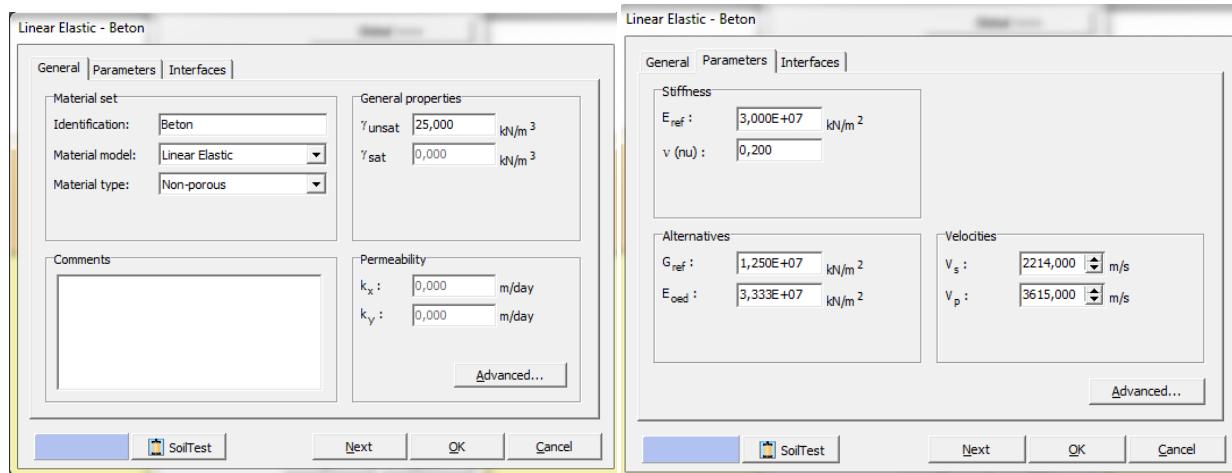
-Ulagani podaci za Plaxis 2D:

-Prva dva materijala će biti modelirana po MC kriteriju ponašanja materijala, dok će beton biti modeliran linearno-elastično.

Glina:

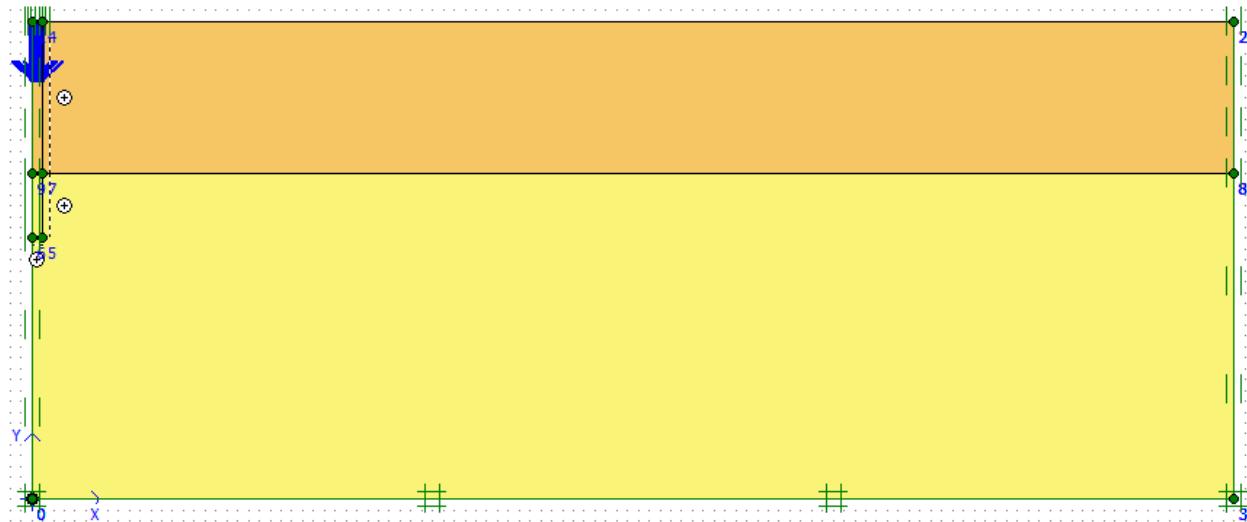
Krečnjak:

Beton:



Materijal	ϕ	γ	μ	E	C
1.Glina	0	19	0,3	3000	14
2.Krečnjak	29	22	0,3	61500	15
3.Beton		25	0,2	30000000	

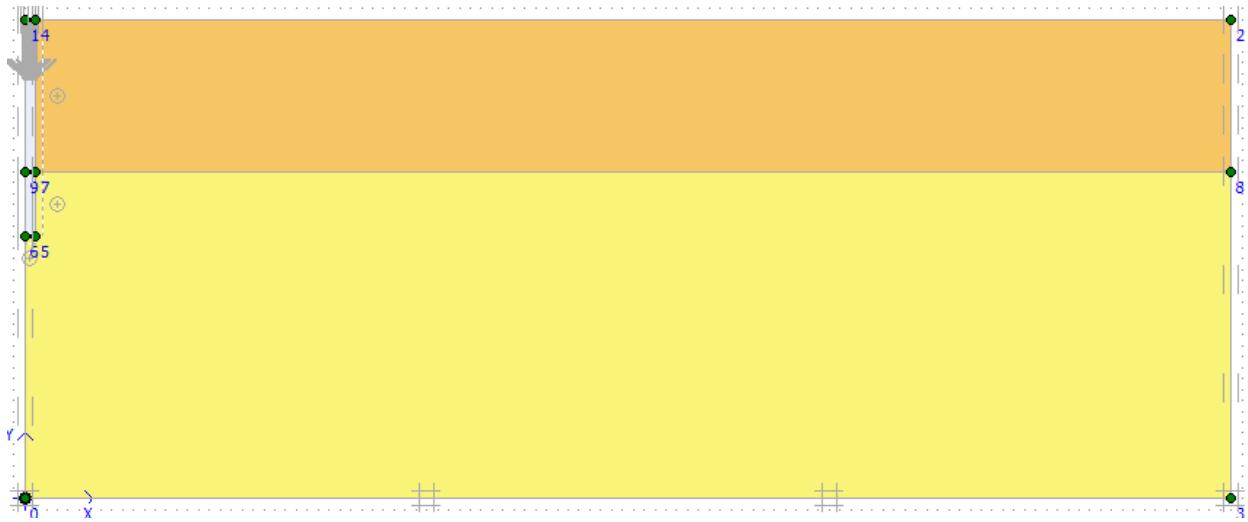
-Model



-Faze:

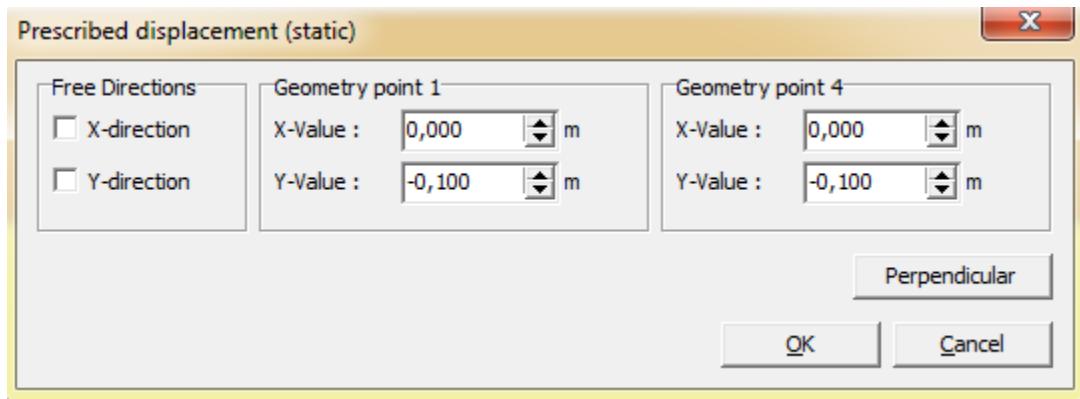
1.Faza

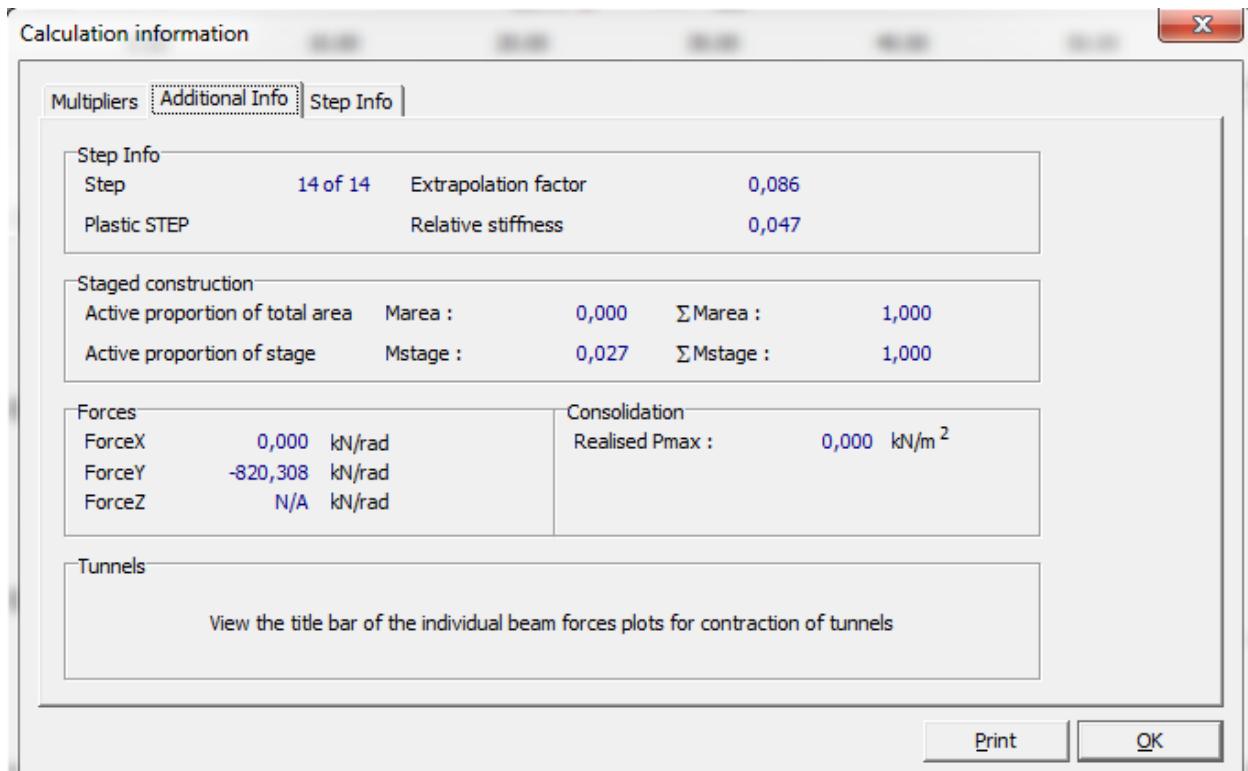
Izgradnja šipa



2.Faza

-Nuliranje slijeganja, apliciranje slijeganja na šip u vrijednosti od $\phi/10=10$ cm.

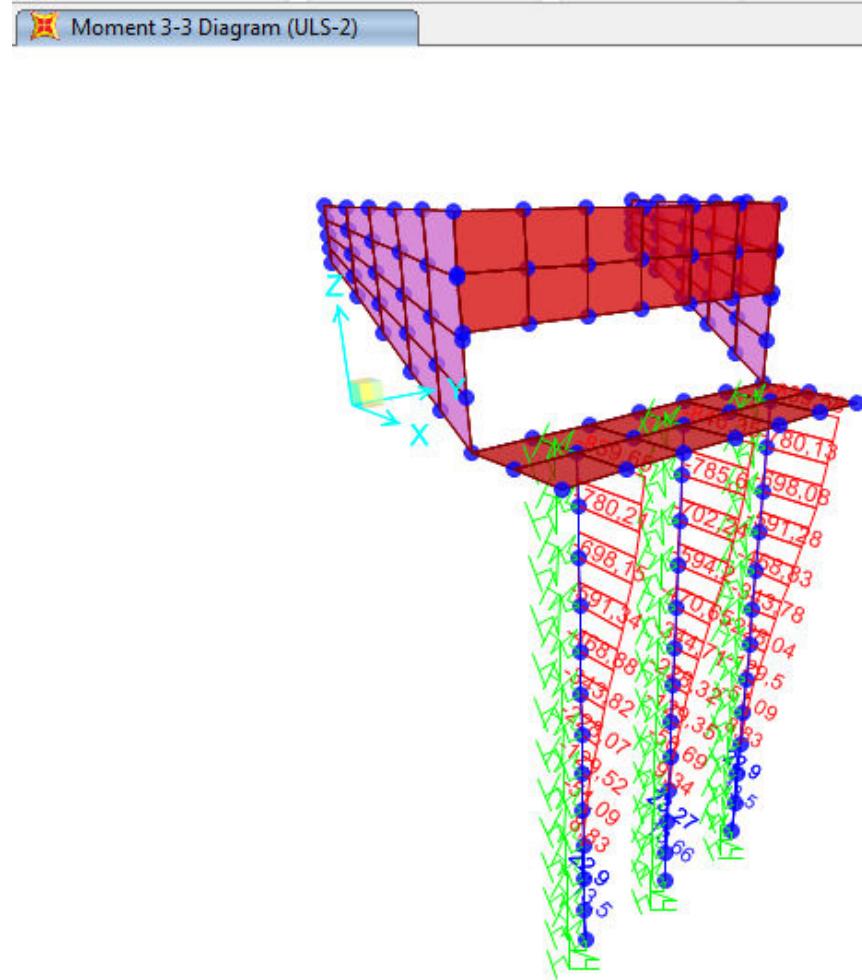


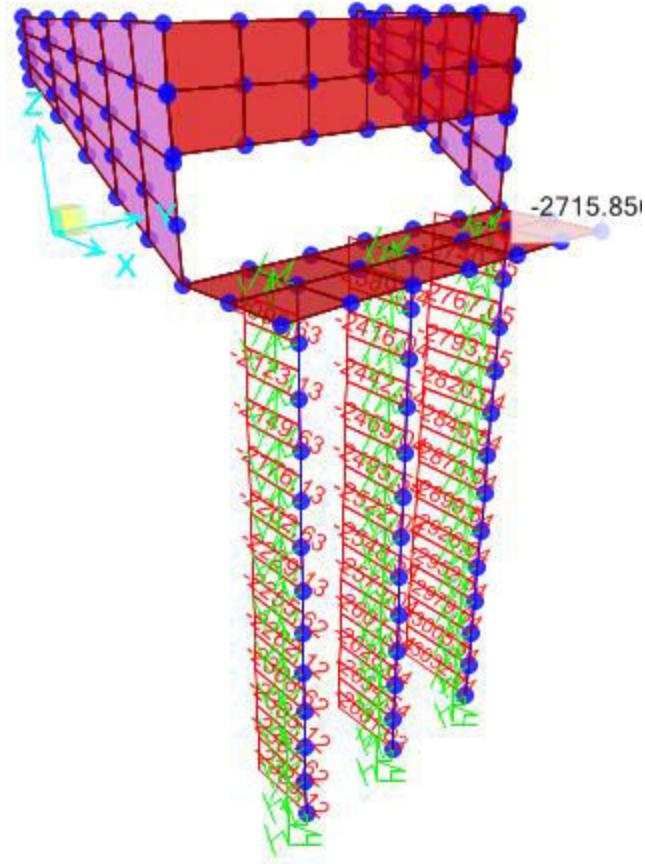


$$Force\ Y = 820,3 \frac{kN}{rad} = 820,3 \times 2 \times \pi = 5151,48\ kN$$

-Šip za unesene parametre ima približno nosivost 5200 kN, te se dalje provjerava da li nejgova nosivost zadovoljava.

Mjerodavni uticaji za dimenzioniranje šipova upornjaka:





Karakteristična nosivost iz statičkog ispitivanja iznosi 5200 kN.

ULS2

$n=5$ – broj bušotina $\psi_3=1,0$

$$R_c = R_b + R_p \psi_3 = 5200 * 1,0 = 5200 \text{ kN}$$

PP1 K1

$K1 A1 + M1 + R1$

$$R_{c,d} = R_c / 1,15 = 5200 / 1,15 = 4521,74 \text{ kN}$$

$$Ed = 1.35 \times G + 1.5 \times P = 2715,85 \text{ kN} < 4521,74 \text{ kN} - \text{zadovoljeno}$$

PP1 K2

A2+M1+R4

$$R_{c,d} = R_c / R4 = 5200 / 1,5 = 3466,66 \text{ kN}$$

$$Ed = 1,0 \times G + 1,35 \times P = 1425 + 256 \text{ kN} = 1578 < 3466,66 \text{ kN} - \text{zadovoljeno}$$

PP2 K1

A1+M1+R2

$$R_{c,d} = R_c / R2 = 5200 / 1,1 = 4727,2 \text{ kN}$$

$$Ed = 1,35 \times G + 1,5 \times P = 2715,85 < 4636,36 \text{ kN} - \text{zadovoljeno}$$

Dimenzionisanje šipova ispod upornjaka:

Med=846,46 kNm

Ned=-2715,85 kNm

$$m_{imds}=0,076 \quad n_{eds}=-0,244 \quad \omega_{tot}=0,1 \text{ pot} \quad A_{s,tot}=25,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{minimalna armatura: } 0,5/100 * 7850 = 39,25 \text{ cm}^2$$

USVOJENO: 7Ø28 (43,1 cm²)

Ved=125 kN

Odabran je nagib pritisnutih dijagonalala 45°

$$V_{Rd,max} = 0,75 * 1,42 * 90 * 0,9 * 90 * 0,5 = 3881,9 \text{ kN} > Ved$$

$$V_{Rd,ct}=0,24 \cdot 25^{1/3} \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,511 \text{ MN} > V_{ed}$$

$$pot a_{sw}=125/43,5 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 = 2,33 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$a_{sw,min}=0,93 \cdot 90 = 8,37 \text{ cm}^2 \text{ USVOJENO: vilice dvosječne } \varnothing 12/25 \text{ cm (9,05 cm}^2)$$

Proračun nositivosti šipova ispod srednjeg stuba:

max aksijalna sila u šipu iz kombinacija:

Max sila u stubu iz ULS-a kN

Sila u šipu: $11655/3=3885 \text{ kN}$

PP1 K1

A1+M1+R1

$$R_{c,d}=R_c/1,15=5200/1,15=4521,74 \text{ kN}$$

$$Ed=1,35 \cdot G + 1,5 \cdot P = 3885 \text{ kN} < 4521,74 \text{ kN}$$

PP1 K2

A2+M1+R4

$$R_{c,d}=R_c/R4=5200/1,5=3466,66 \text{ kN}$$

$$Ed=1,0 \times G + 1,35 \times P = 5742/3 + 941 \cdot 1,35 = 3184,35 < 3466,6 \text{ kN}$$

PP2 K1

A1+M1+R2

$$R_{c,d}=R_c/R2=5200/1,1=4727,27 \text{ kN}$$

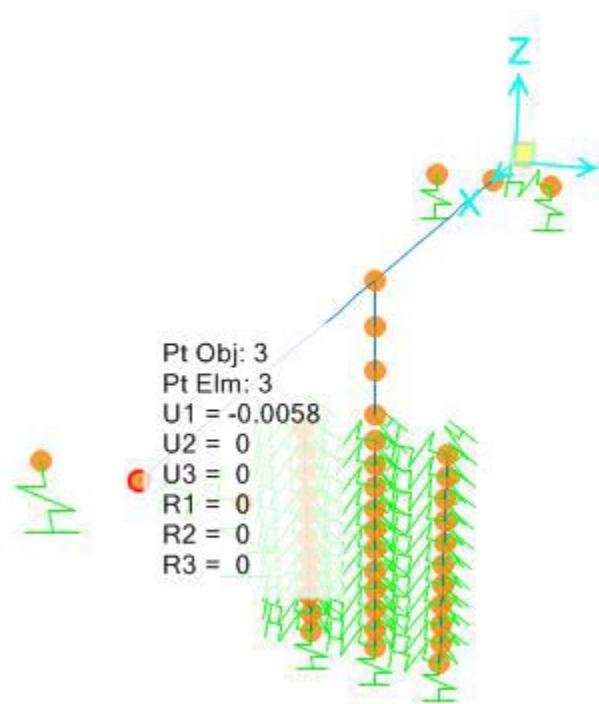
$$Ed=1,35 \cdot G + 1,5 \cdot P = 3885 < 4727,27 \text{ kN - zadovoljeno}$$

7.4 Proračun opreme natputnjaka

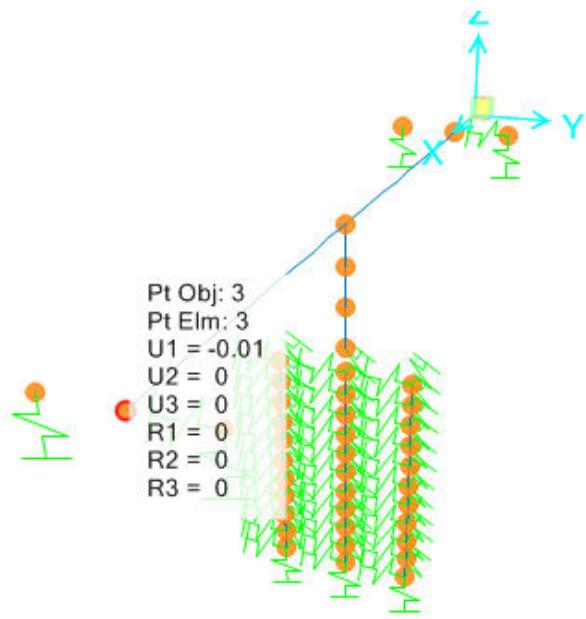
7.4.1 Proračun dilatacija nad upornjacima

Proračun dilatacije vrši se za uticaje:

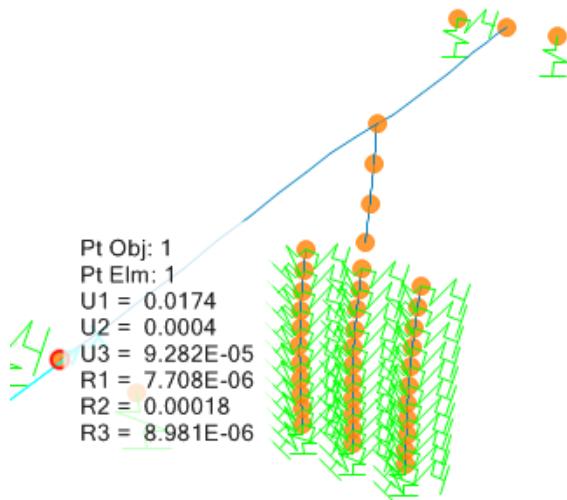
- 1) **SKUPLJANJE** – prema DIN FB 101 – pomjeranja od skupljanja se povećavaju za **60%**
- 2) **TEMPERATURA +50°C / -48°C** – računska temperatura se uvećava za **+20°C / -20°C**
- 3) **KOČENJE** – računski pomak od horizontalne sile $Q_{1k} = 475,38 \text{ kN}$



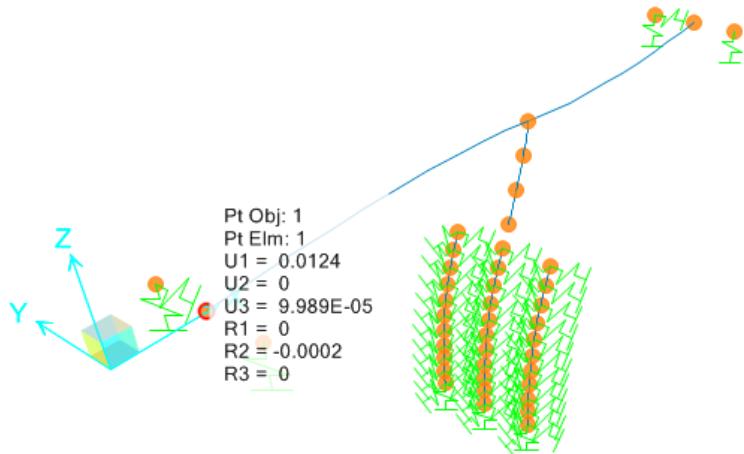
Slika 89. Pomjeranja uslijed djelovanja skupljanja



Slika 90. Pomjeranja usljeđenja djelovanja temperature



Slika 91. Pomjeranja usljeđenja 0,6 seizmika+0,4 temp



Slika 91. Pomjeranja uslijed djelovanja sile kočenja

Mjerodavno pomjeranje za proracun kapaciteta dilatacije iznosi:

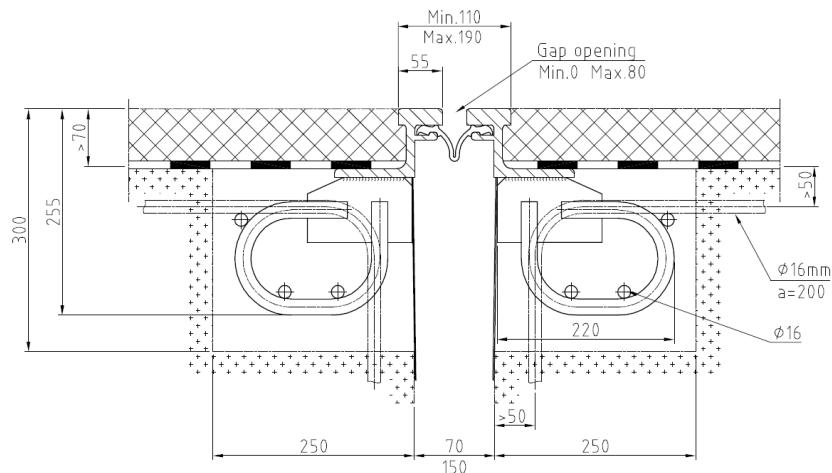
$$u=5,8+17,4+12,4= 35,6 \text{ mm}$$

Tč.	Vrsta dilatacije	Orijentaciona dužina dilatiranja objekta	Pomjeranja u dilatacijskoj spojnici			Materijali za dilataciju
			u (smjer x)	v (smjer y)	w (smjer z)	
5.2	Dilatacije za minimalna pomjeranja (završetak kolovoza)	do 20 (30) m	20 mm ¹⁾ (± 10 mm)	5 mm ¹⁾	5 mm ¹⁾	čelični završni profil i bitumenska masa za zalijevanje
5.3	Dilatacije za mala pomjeranja	do 50 (70) m	50 mm (± 25 mm)	5 mm	1 mm ²⁾	polimerizirana bitumenska masa, elastomjerne ispuna, guma, čelik
5.4	Dilatacije za srednja pomjeranja	do 150 m	150 mm (± 75 mm)	5 mm ³⁾	1 mm ³⁾	gumeni zaptivač, upeti profili, čelična sidra, zavrtnjevi za sidranje itd.
5.5	Dilatacije za velika pomjeranja ⁴⁾	do 300 m	300 mm (± 150 mm)	5 mm ³⁾	1 mm ³⁾	gumeni zaptivač, čelična sidra, čelični nosivi elementi, čelični češljevi i žage, teške ploče, elementi iz sintetičkih materijala itd.
5.6	Dilatacije za jako velika pomjeranja ⁴⁾	iznad 300 m	> 300 mm (± 150 mm)	5 mm ³⁾	1 mm ³⁾	

Slika 94. Podjela dilatacija

S obzirom da je pomjeranje malo tj. **u=35,6mm**, a dužina natputnjaka **I=40m** ipak ćemo precijeniti pomjeranja te usvojiti:

ČELIČNU DILATACIJU SA GUMENIM ULOŠKOM $\Delta=80mm=\pm 40mm$

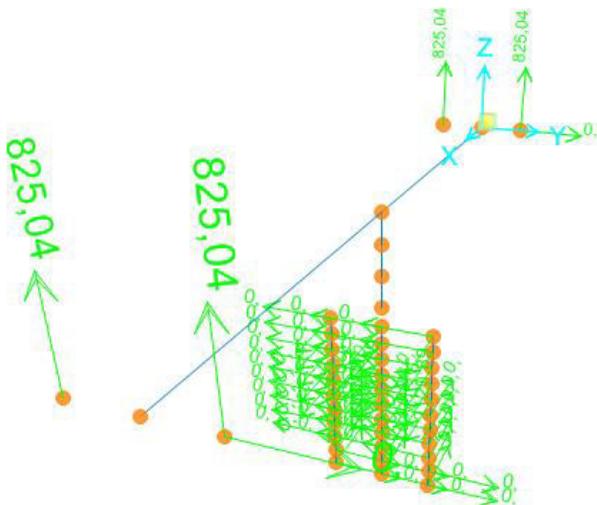


Slika 95. Dilatacija natputnjaka kod obalnih stubova

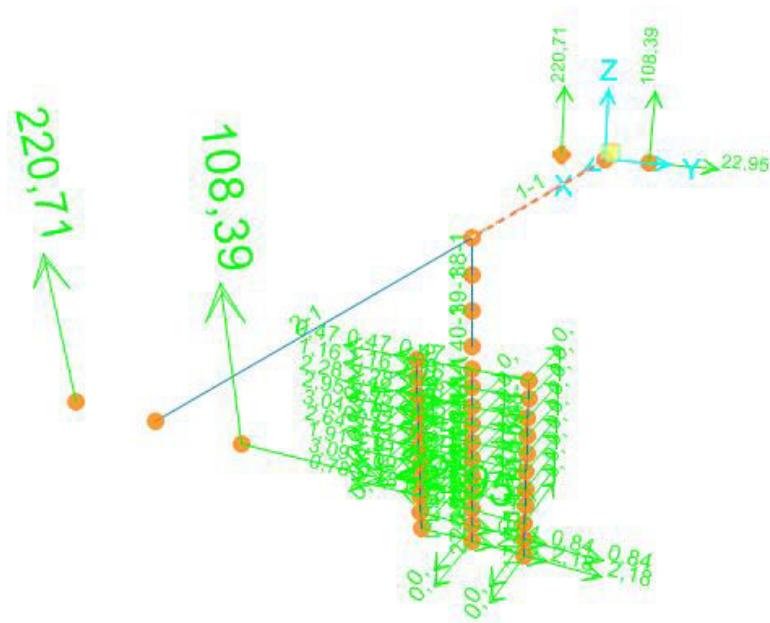
7.4.2 Proračun ležišta

Proračun potrebnog kapaciteta nosivosti ležišta izvršen je za slijedeća opterećenja:

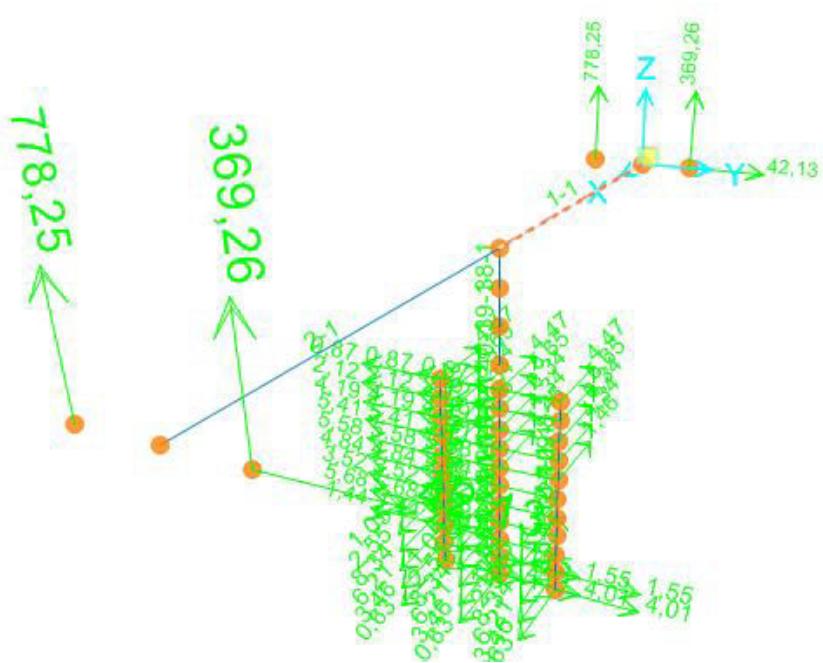
- Stalni i dodatni stalni teret uključujući i efekte reologije betona;
- Uticaj vjetra;
- Korisni teret, TANDEM SISTEM;
- Korisni teret, UDL;
- Kočenje;
- Temperatura.
- Seizmiku.



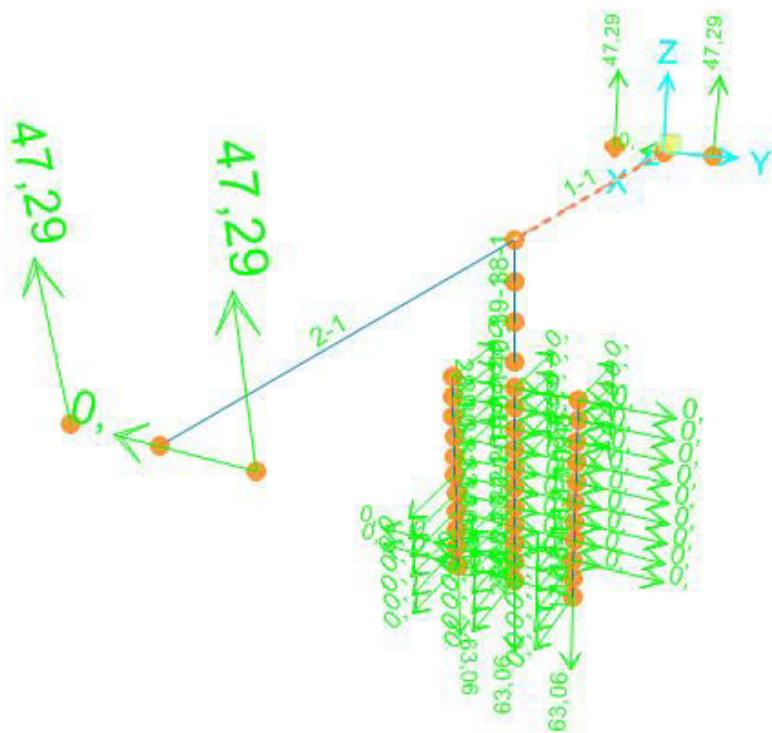
Slika 96. Reakcije od stavnog i dodatnog opterećenja



Slika 97. Reakcije od UDL-a

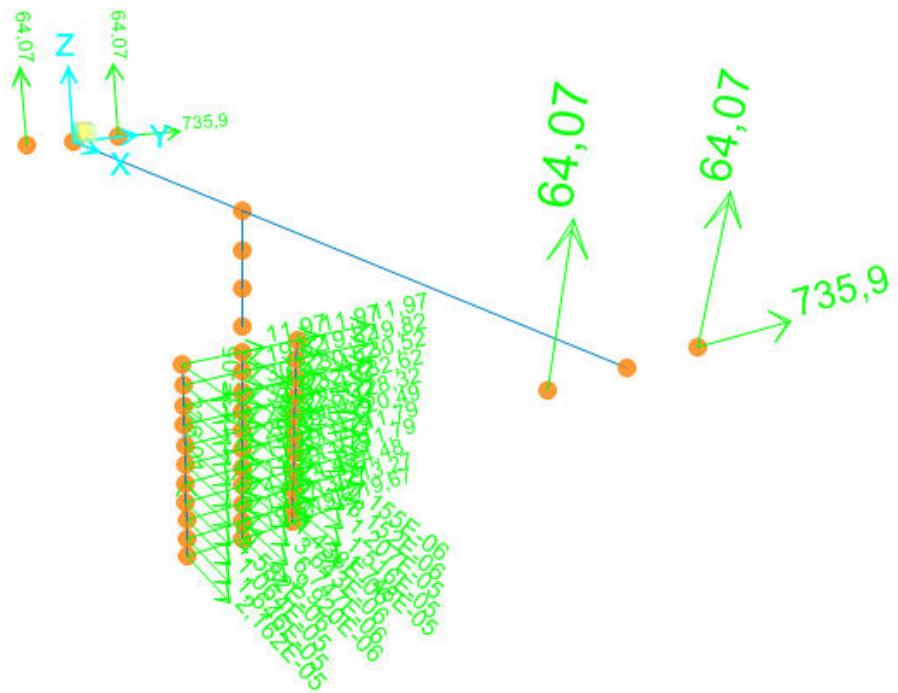


Slika 99. Reakcije od TS-a



Slika 100. Reakcije uslijed djelovanja temperature

Uticaj seizmike u smjeru Y:



Vertikalna nosivost:

$$N_{sd} = 1,35 \cdot 825,04 + 1,5 \cdot 220,71 + 1,5 \cdot 778,25 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 47,29 = 2668,99 \text{ kN}$$

Horizontalna nosivost: (seizmika Y)

$$V_{sdy} = 735,9 \text{ kN}$$

Ležišta

Maksimalne reakcije oslonaca rasponske konstrukcije:

Na osnovu maksimalnih reakcija biraju se ležajevi koji mogu podnijeti ove sile.