

# Glavni projekt stambene građevine u Solinu

---

Vrdoljak, Jelena

Master's thesis / Diplomski rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:102694>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

# **DIPLOMSKI RAD**

**Jelena Vrdoljak**

**Split, 2023.**

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

**Jelena Vrdoljak**

**Glavni projekt stambene građevine u Solinu**

**Diplomski rad**

**Split, 2023.**

# **Glavni projekt stambene građevine u Solinu**

## ***Sažetak:***

U radu je prikazan glavni projekt stambene građevine koja se nalazi u Solinu. Predmetna građevina je stambena građevina s 14 stambenih jedinica na 4 nadzemne etaže, kao i garažom u podzemnoj etaži. Građevina je izvedena u armiranom betonu, sve monolitne izvedbe s armirano betonskim zidovima, stupovima i armirano betonskim pločama kao međukatnom konstrukcijom. Projekt sadrži: tehnički opis konstrukcije, opće i posebne tehničke uvjete, plan kontrole i osiguranja kvalitete, proračun nosivih konstrukcijskih elemenata i karakteristične građevinske nacрте i armaturene planove.

## ***Ključne riječi:***

Stambena građevina, glavni projekt, monolitna izvedba

# **Main design of the residential building in Solin**

## ***Abstract:***

This thesis presents the main design of the residential building which is located in Solin. The subject building is a residential building with 14 residential units on 4 above-ground floors, as well as a garage in the underground floor.

The building is made of reinforced concrete, all monolithic designs with reinforced concrete walls, columns and reinforced concrete slabs as a mezzanine structure. The project contains technical description of the structure, general and particular conditions of civil engineering works, control plan and quality assurance plan, calculation of the main structural elements as well as characteristic structural plans and reinforcement plans.

## ***Keywords:***

Residential building, main design, monolithic construction

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDAT: Jelena Vrdoljak  
BROJ INDEKSA: 0083221494  
KATEDRA: **Katedra za betonske konstrukcije i mostove**  
PREDMET: Betonske konstrukcije

### **ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Glavni projekt stambene građevine u Solinu

Opis zadatka: Na temelju danih arhitektonskih podloga, potrebno je izraditi glavni projekt stambene zgrade u Solinu. Izrađeni projekt mora sadržavati:

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

U Splitu, srpanj 2023.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Marija Smilović Zulim

Predsjednik Povjerenstva

za završne i diplomske ispite:

Izv. Prof. dr. sc. Ivan Balić

1. TEHNIČKI OPIS PRORAČUNA KONSTRUKCIJE .....	1
1.1. Općenito ( projektni zadatak ) .....	1
1.2. Oblik i veličina građevinske čestice .....	2
1.3. Namjena građevine .....	2
1.4. Konstruktivne pojedinosti – općenito.....	4
1.5. Konstruktivne pojedinosti - garaža.....	5
1.6. Konstruktivne pojedinosti – prizemlje .....	5
1.7. Konstruktivne pojedinosti – katovi.....	5
1.8. Lokacija i opterećenje.....	6
1.9. Izvedba.....	6
1.10. Materijali.....	7
2. GEOTEHNIČKI IZVJEŠTAJ .....	8
2.1. Podaci o istražnim radovima .....	8
2.2. Geološka i inženjersko – geološka istraživanja .....	8
2.3. Dubina podzemne vode .....	8
2.4. Temeljenje .....	9
3. PLAN KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE .....	10
3.1. Opće napomene .....	10
3.2. Postizanje zahtijevane geometrije .....	10
3.3. Zemljani radovi.....	11
3.3.1. Iskopi.....	11
3.3.2. Nasipi .....	11
3.4. Betonski i armiranobetonski adovi.....	12
3.4.1. Beton .....	12
3.4.2. Betonski čelik.....	13

3.4.3.	Prekidi betoniranja .....	14
3.4.4.	Oplata .....	14
3.4.5.	Primijenjeni standardi .....	15
3.5.	Ostali radovi i materijali .....	19
3.6.	Kontrolna ispitivanja .....	19
3.7.	Dužnosti izvođača.....	20
4.	OPĆI I POSEBNI TEHNIČKI UVJETI .....	21
4.1.	Oplate i skele .....	21
4.2.	Transport i ugradnja betona .....	22
4.3.	Betoniranje pri visokim vanjskim temperaturama.....	23
4.4.	Betoniranje pri niskim vanjskim temperaturama.....	25
4.5.	Obveze izvođača.....	25
5.	NAČIN ZBRINJAVANJA GRAĐEVNOG OTPADA .....	26
6.	UVJETI ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK TRAJANJA .....	28
7.	PLANOVI POZICIJA .....	31
8.	ANALIZA OPTEREĆENJA.....	32
8.1.	Vlastita težina .....	33
8.2.	Dodatno stalno opterećenje .....	33
8.3.	Pokretno opterećenje .....	36
8.4.	Potresno opterećenje.....	37
8.4.1.	Rezultati dinamičke analize .....	40
9.	NUMERIČKI MODEL .....	43
10.	DIMENZIONIRANJE HORIZONTALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE .....	47
10.1.	Proračun ploča .....	47
10.1.1.	Ploča pozicije 100 - ploča iznad garaže.....	47
10.1.2.	Ploča pozicije 200 - ploča 1. kata.....	62

10.1.3.	Ploča pozicije 300 - ploča 2. kata .....	72
10.1.4.	Ploča pozicije 400 - ploča 3. kata .....	82
10.1.5.	Ploča pozicije 500 – krovna ploča .....	92
10.2.	Proračun AB greda.....	101
10.2.1.	Greda (G1) 80x45 cm .....	101
10.2.2.	Greda (G2) 80x45 cm .....	110
10.2.3.	Greda (G3) 80x45 cm .....	119
10.2.4.	Greda (G4) 20x48 cm .....	128
10.2.5.	Greda (G5) 20x75 cm .....	137
10.2.6.	Greda (KG1) 20x43 cm .....	146
10.2.7.	Greda (KG2) 20x43 cm .....	155
11.	DIMENZIONIRANJE VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE .....	164
11.1.	Proračun stupova u garaži.....	164
11.1.1.	Proračun stupova na savijanje i uzdužnu silu .....	165
11.2.	Proračun stupova 20x80 cm.....	166
11.2.1.	Rezultati proračuna.....	166
11.2.2.	Proračun na poprečnu silu .....	176
11.2.3.	Kontrola stupa na proboj ploče.....	178
11.3.	Proračun zidova .....	183
11.3.1.	Proračun zidova na savijanje i uzdužnu silu.....	184
11.3.2.	Proračun zidova na djelovanje poprečne sile .....	184
11.3.3.	Rezultati proračuna karakterističnog zida zgrade (x smjer) .....	187
11.3.4.	Rezultati proračuna karakterističnog zida zgrade (y smjer) .....	195
11.3.5.	Rezultati proračuna karakterističnog zida garaže .....	202
11.3.6.	Rezultati proračuna zidnog visokostijenog nosača (x smjer) .....	210
12.	PRORAČUN STUBIŠTA .....	213



13.	PRORAČUN TEMELJNE PLOČE .....	216
13.1.	Rezultati proračuna .....	216
13.1.1.	Kontaktna naprezanja .....	216
13.1.2.	Kombinacija GSN.....	217
13.2.	Dimenzioniranje na savijanje.....	218
14.	GRAFIČKI PRILOZI.....	221
15.	LITERATURA.....	222

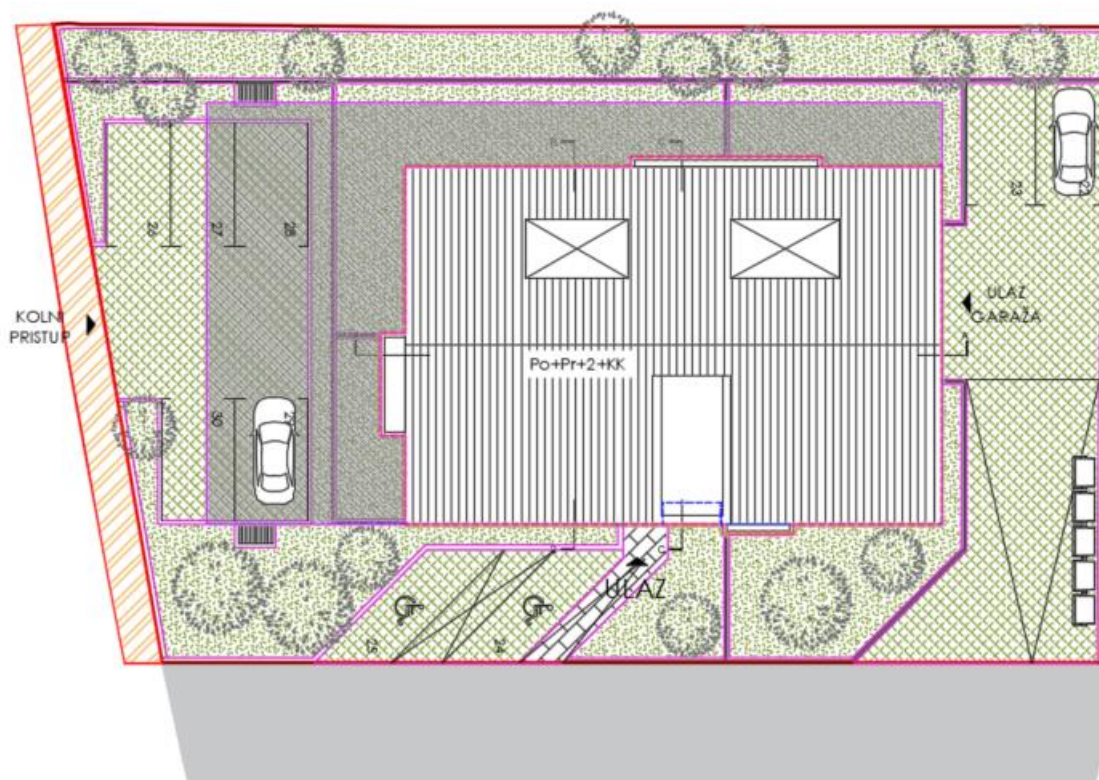
# 1. TEHNIČKI OPIS PRORAČUNA KONSTRUKCIJE

## 1.1. Općenito ( projektni zadatak )

Predmet ovog rada je stambena građevina u Solinu.

Građevinska parcela površine je cca 1035,8 m<sup>2</sup>. Analizirajući lokaciju, oblik i veličinu građevinske parcele, visinske razlike prisutne na terenu, a vodeći računa o važećoj planskoj dokumentaciji, izrađeno je arhitektonsko rješenje samostojećeg poslovno-stambenog objekta.

Ovaj glavni projekt usklađen je sa svim prostorno – planskim parametrima s važećom lokacijskom dozvolom, formiranje čestice, namjena građevine, veličina i površina građevine, izgrađenost, visina, etažnost, smještaj građevine na građevnoj čestici, uređenje čestice, priključenje na javno – prometnu površinu i komunalnu infrastrukturu, parkirališna mjesta.



Slika 1.1 Situacija – prikaz stambene zgrade

## 1.2. Oblik i veličina građevinske čestice

Parcela je pravilnog oblika površine oko 1035,8 m<sup>2</sup>. Tlocrtna površina objekta je 513,75 m<sup>2</sup>. Smještaj građevine na parceli proizlazi iz prostorno – prometnih uvjeta, odnosno mogućnosti pješачkog i kolnog pristupa s prometnica koje se nalaze na sjevernoj, južnoj istočnoj strani stambene zgrade.

## 1.3. Namjena građevine

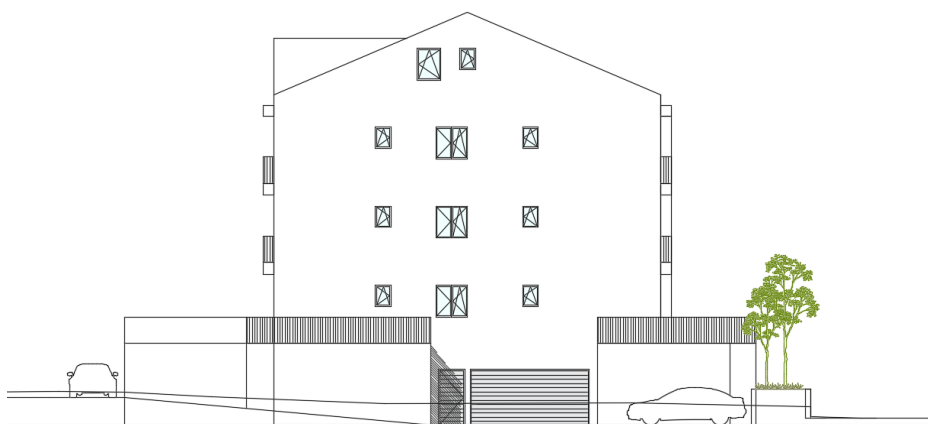
Namjena građevine je stambena. Uzevši u obzir problem parking mjesta izrađena je podzemna garaža. Zgrada ima 4 nadzemne etaže (prizemlje i 3 kata).

Vertikalnu komunikaciju podzemne garaže i stambenih katova čini stubište.

Kolni ulaz u garažu je sa sjeverne strane zgrade dok je pješачki ulaz u zgradu moguć sa istočne strane kroz ulaz s nivoa prizemlja zgrade.

Ukupna visina zgrade od nulte točke terena je 12,35 m. Pojedini kat zgrade je visok 2,97 m mjereno od vrha ploče jednog kata do vrha ploče drugog kata, izuzev etaže prizemlja čija je visina 3,02 m, dok je visina garaže 2,90 m.

Okolni teren zgrada prikladno će se hortikulturalno urediti. Svi infrastrukturni priključci izvest će se prema posebnim zahtjevima komunalnih i javnih poduzeća ili stručnih službi grada i županije.



Slika 1.2 Sjeverno pročelje zgrade



Slika 1.2 Južno pročelje zgrade



Slika 1.2 Istočno pročelje zgrade



Slika 1.2 Zapadno pročelje zgrade

#### **1.4. Konstruktivne pojedinosti – općenito**

U konstrukcijskom smislu građevina je standardna armirano – betonska konstrukcija koja će se izvesti prema ovom projektu. Konstrukcija se sastoji od zgrade sa podzemnom garažom. Krovna konstrukcija je kosa AB ploča. Temeljenje objekta izvesti će se u razini etaže garaže ispod AB zidova i stupova na temeljnoj ploči.

Međukatne konstrukcije su AB ploče. Debljina ploče nad svim katovima je 20 cm izuzev ploče iznad garaže debljine 25 cm i 30 cm, te ploče krovne konstrukcije debljina 18 cm . Nosivi zidovi su također armirano - betonski, debljine 20 cm, s potrebnim termičkim slojevima. Točan položaj betonskih zidova dan je u priložima. Sve ostale vertikalne pregrade izvedene su kao lagane pregrade, zidane porobetonskim blokovima (npr. Ytong) ili šupljom opekom te nisu tretirane kao sudjelujući nosivi dijelovi u ovom proračunu već su uzeti u obzir kao dodatno opterećenje na pločama.

### **1.5. Konstruktivne pojedinosti - garaža**

Konstrukcija ploče iznad garaže je armirano - betonska monolitna konstrukcija koja se sastoji od armirano - betonskih ploča ( $d = 25 \text{ cm}$  i  $d = 30 \text{ cm}$ ).

Garaža je ukrućena obodnim zidovima i nasipom zemlje za horizontalna opterećenja.

Vertikalni nosivi sustav su zidovi i stupovi. Stupovi u garaži su pravokutnog presjeka dimenzija  $20 \times 80 \text{ cm}$ . Obodni i unutrašnji zidovi su debljine  $20 \text{ cm}$ .

Materijal izrade je beton klase C 30/37.

### **1.6. Konstruktivne pojedinosti – prizemlje**

Konstrukcija ploče prizemlja je armirano - betonska monolitna konstrukcija koja se sastoji od armirano - betonske ploče ( $d = 20 \text{ cm}$ ).

Vertikalni nosivi sustav čine AB zidovi. Obodni i unutrašnji zidovi su debljine  $20 \text{ cm}$ .

Materijal izrade je beton klase C 30/37.

### **1.7. Konstruktivne pojedinosti – katovi**

Za izvedbu međukatne konstrukcije predviđena je AB ploča. Izrađena je od betona klase C30/37 (prikazano u planovima pozicija), debljine  $20 \text{ cm}$ .

Betonska ploča izvodi se lijevanjem na licu mjesta u oplati. U proračunu su dane osnovne dimenzije i količine armature za pojedine konstruktivne elemente uglavnom kroz skice armature. Elementi koji nisu računati armiraju se konstruktivno ( $\geq 0.1\%$  površine betonskog presjeka). Vertikalni nosivi sustav katova čine AB zidovi debljine  $20 \text{ cm}$ .

## 1.8. Lokacija i opterećenje

Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u zonu za koju je zadano projektno ubrzanje tla  $a_g = 0.219g$ . Konstrukcija seizmičke sile preuzima sustavom armirano-betonskih zidova i stupova, što je u skladu s Eurokodom 2 i Eurokodom 8.

## 1.9. Izvedba

Iskop građevinske jame do nivoa 4,8 m ispod nivoa prizemlja buduće građevine izvršit će se u širokom iskopu s vertikalnim zasjekom (10:1). Pristup jami predviđen je na mjestu buduće rampe.

U trenutku izrade projektne dokumentacije nije poznat izvođač konstrukcije. Prilikom izrade statičkog proračuna usklađena je geometrija presjeka elemenata konstrukcije s izvođačkim mogućnostima većine građevinskih firmi. Prilikom odabira izvođača moguće je da dođe do manjih odstupanja u obliku poprečnog presjeka pojedinih elemenata u odnosu na elemente iz statičkog proračuna, ali se ne očekuju bitna odstupanja, koja bi imala utjecaj na ukupnu stabilnost građevine te je dovoljno ove razlike obraditi u izvedbenom projektu konstrukcije.

Opterećenja su uzeta prema podacima dobivenim od strane investitora, projektanata instalacija te prema normama i pravilima struke.

Zbog veličine i složenosti građevine u cilju osiguranja što kvalitetnije izvedbe nosive konstrukcije investitor je dužan osigurati projektantski nadzor nad konstrukcijom tijekom cijelog vremena izvedbe konstrukcije u skladu s Zakonom o gradnji (NN 153/13,20/17).

## **1.10. Materijali**

### a) Beton

Za sve betonske radove predviđen je beton C 30/37, a sve prema "Tehničkim propisima za građevinske konstrukcije" (NN 17/17).

### b) Armatura

Predviđena armatura je B 500B za sve elemente, u obliku šipki ili mreža. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min 3 cm.

Veličinu zaštitnog sloja osigurati dostatnim brojem kvalitetnih distancera. Kvalitetu zaštitnog sloja osigurati kvalitetnom oplatom i ugradnjom betona te dodacima betonu i ostalim rješenjima prema zahtjevima ovog projekta i projektu betona, kojeg je dužan izraditi izvođač radova. Veličina i kvaliteta zaštitnog sloja betona presudni su za trajnost objekta.

U potpunosti poštivati projektirani raspored i položaj armaturnih šipki, koje trebaju biti nepomične kod betoniranja. Sva upotrebljena armatura treba imati odgovarajuće ateste o kakvoći.

Skidanje oplata za grede i ploče može se izvršiti nakon što beton postigne min. 70% čvrstoće (cca 7 dana uz normalnu njegu betona). Za temelje se može upotrijebiti beton niže klase.



## **2. GEOTEHNIČKI IZVJEŠTAJ**

### **2.1. Podaci o istražnim radovima**

Geotehnički istražni radovi su se sastojali od obilaska terena s prospekcijskim pregledom i detaljnim geološkim kartiranjem, izrade fotodokumentacije, georadarskog snimanja, seizmičkog snimanja i iskopa i pregleda dvije istražne jame. Sve istražne jame su iskopane do dubine pojave matične stijene, na dijagonalnim kutovima građevine.

U nastavku su izneseni samo najvažniji zaključci iz geotehničkog elaborata koji su bitni za ovu predmetnu građevinu.

### **2.2. Geološka i inženjersko – geološka istraživanja**

Tlo je uglavnom ujednačenog sastava. U tlu se najčešće protežu čisti slojevi lapora koji su tvrdi i imaju karakteristike slične vapnencima.

Na području predmetne lokacije moguće je postojanje većih krških pojava (kaverne i sl.), zbog čega je potrebno nakon iskopa temeljnih jama izvršiti kompresorsku provjeru stijenske mase.

### **2.3. Dubina podzemne vode**

U hidrogeološkom smislu, razlomljene i okršene naslage lapora imaju pukotinsku i moguće kaverno-znu poroznost te se oborinske vode relativno brzo procjeđuju u podzemlje. U nijednoj istražnoj jami nije zabilježena pojava podzemne vode.

## 2.4. Temeljenje

Površinski sloj sačinjavaju elementi nastali trošenjem matične stijene ili nasipni materijal, koji se sastoji uglavnom od žućkasto smeđe gline, same ili pomiješane s crvenkasto smeđom zemljom.

Kako je predviđena dubina dna temelja pretpostavlja se da će se svi temelji nalaziti na kvalitetnoj laporovitoj stijeni.

Iskop građevinske jame do nivoa 4,8 m ispod nivoa prizemlja buduće građevine izvršit će se u širokom iskopu s vertikalnim zasjekom (10:1). Pri zasijecanju potrebno je ukloniti sve nestabilne stijene. Zasijek treba zaštititi prskanim betonom debljine  $d = 5-10$  cm uz armiranje armaturnom mrežom Q-196 i geotehničkim sidrima duljine  $l=2.5$  m po potrebi prema posebnom projektu. Pristup jami predviđen je na mjestu buduće rampe.

Nakon iskopa potrebno je temeljnu plohu ručno očistiti od ostataka razlomljenog materijala, kao i eventualnu glinovitu ispunu iz pukotina. Po obavljenom čišćenju temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine (škrape) popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 do projektirane kote temeljenja.

Ukoliko se naiđe na kavernu (pukotinu), veće udubine i relativno manje širine, a nije moguće potpuno uklanjanje gline crvenice, sanaciju izvesti tako da se glina očisti do dubine cca 50 cm ispod kote temeljenja, a nastali prostor do projektiranja kote temeljenja "plombira", tj. zapuni podbetonom.

Dopuštena centrična naprezanja tla na detaljno očišćenim naslagama matične stijene uzeta su za osnovna opterećenja 0,55 MPa.

Za predviđeni način temeljenja ne očekuju se slijeganja niti diferencijalna slijeganja.

Naročitu pažnju treba posvetiti na eventualne proširene pukotine bez ispune koje mogu biti dio većeg podzemnog sustava. Na tim mjestima je potrebno izvršiti provjeru bušenjem svrdlom Ø32 mm ("štamptom") do dubine 2.0 do 3.0 m od kote temeljenja.

### **3. PLAN KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE**

#### **3.1. Opće napomene**

Izvoditelj je odgovoran za kvaliteta izvođenja radova i za uredno poslovanje. Izvoditelj ne smije odstupati od projekta bez pismenog odobrenja nadzornog inženjera investitora, a uz prethodnu suglasnost projektanta. Sve izmjene se moraju unijeti u građevinsku knjigu i građevinski dnevnik.

Kvaliteta korištenog građevinskog materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda, kao i kvaliteta izvedenih radova mora odgovarati prethodno navedenim uvjetima propisanim važećim propisima, standardima, uvjetima iz tehničke dokumentacije, te uvjetima iz ugovora.

Ukoliko izvoditelj ugrađuje materijal koji nije standardiziran, za isti je dužan pribaviti odgovarajuće dokaze o kakvoći i priložiti ih u pismenoj formi.

Pri izvođenju građevine, izvoditelj se dužan pridržavati navedenih propisa kao i svih ostalih Pravilnika, Tehničkih normativa, posebnih uvjeta za izradu, ugradnju i obradu pojedinih elemenata građevine, kao i standarda propisanih za izvođenje radova na građevini (temeljenje, betonski radovi, skele i oplata, armatura, čelik za armiranje, kontrola kvalitete betona i čelika, zidanje zidova, završni radovi), kako bi osigurao da izvedena građevina odgovara projektu, te svim propisima i standardima RH.

#### **3.2. Postizanje zahtijevane geometrije**

Od faze iskolčenja objekta, preko svih faza izgradnje do završetka objekta, nužan je stalni geodetski nadzor. Tijekom građenja vršiti:

- Stalnu kontrolu geometrije svih elemenata i objekta kao cjeline
- Kontrolu osiguranja svih točaka
- Kontrolu postavljenih profila
- Kontrolu repera i poligonalnih točaka

### **3.3. Zemljani radovi**

#### **3.3.1. Iskopi**

Tijekom radova na iskopima kontrolirati sljedeće:

- Iskop se obavlja prema profilima i visinskim kotama iz projekta, te sa propisanim nagibima pokosa iskopa (uzimajući u obzir geomehanička svojstva tla)
- Tijekom rada ne smije doći do potkopavanja ili oštećenja okolnih građevina ili okolnog tla
- Ne smiju se iskopati nepotrebno povećani ili štetni iskopi
- Ne smije se degradirati ili oštetiti temeljno tlo zbog nekontroliranih miniranja i neadekvatnih iskopa
- Za vrijeme rada na iskopu, pa do završetka svih radova na objektu, izvođač je dužan osigurati pravilnu odvodnju, ne smije dozvoliti zadržavanje vode u iskopima
- Vrstu i karakteristiku temeljnog tla kontrolirati prema geotehničkom elaboratu, a dubine i gabarite iskopa prema građevinskom projektu građevine

#### **3.3.2. Nasipi**

Kontrolu kvalitete materijala za izradu nasipa vršiti prema važećim normama. Kontrolom i tekućim ispitivanjima obuhvatiti:

- Određivanje stupnja zbijenosti u odnosu na Proctorov postupak (Sz) ili određivanje modula stišljivosti (Ms)
- Ispitivanje granulometrije nasipanog materijala

Nasipavanje izvoditi po propisanim debljinama slojeva i s propisanom zbijenošću. Kontrola zbijenosti vrši se probno po slojevima i obvezno na vrhu

### **3.4. Betonski i armiranobetonski adovi**

#### **3.4.1. Beton**

Sve komponente betona (agregat, cement, voda, dodaci), te beton kao materijal, trebaju udovoljavati zahtjevima važećih normi, propisa i pravila struke. Izvoditelj je dužan izraditi projekt betona u skladu s projektom konstrukcije i dostaviti ga na suglasnost projektantu objekta.

Kontrola kvalitete betona sastoji se od kontrole proizvodnje i kontrole suglasnosti s uvjetima projekta konstrukcije i projekta betona.

Betonski radovi moraju se izvoditi prema projektu konstrukcije i projektu betona (kojeg je dužan izraditi Izvođač), a u svemu sukladno s Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije (NN17/17).

Kod projektiranog betona u projektu mora biti specificiran razred tlačne čvrstoće (marka betona) i to kao karakteristična vrijednost 95%-tne vjerojatnosti s kriterijima sukladnosti prema normi HRN EN 206-1. Sastavni materijali od kojih se beton proizvodi, ili koji mu se pri proizvodnji dodaju, moraju ispunjavati zahtjeve normi na koje upućuje norma HRN EN 206-1 i zahtjeve prema Tehničkom propisu za građevinske konstrukcije.

Zahtjevi za isporuku betona i informacije proizvođača betona korisniku moraju sadržavati podatke prema normi HRN EN 206-1. Uzimanje uzoraka, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava svježeg betona provodi se prema normama niza HRN EN 12350, a ispitivanje svojstava očvrstalog betona prema normama niza HRN EN 12390.

Eventualna vremenski ubrzana proizvodnja betonskih elemenata, u cilju ubrzanja građenja, dopuštena je samo uz poseban projekt tehnologije izvođenja i dokaz zahtijevanih svojstava prethodnim ispitivanjima. Za svako odstupanje od projekta, nadzorni inženjer je dužan izvijestiti projektanta i investitora. Nužna je njega ugrađenog betona da se ne pojave štetne pukotine, a u svemu prema projektu betona, važećim propisima i pravilima struke.

### 3.4.2. Betonski čelik

Betonski čelici trebaju udovoljavati zahtjevima važećih propisa. Za čelik za armiranje primjenjuju se norme nHRN EN 10080-1 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik

- nHRN EN 10080-1 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik
  - 1.dio: Opći zahtjevi (prEN 10080-1:1999)
- nHRN EN 10080-2 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik
  - 2.dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda A (prEN10080-2:1999)
- nHRN EN 10080-3 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik
  - 3.dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda B (prEN10080-3:1999)
- nHRN EN 10080-4 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik
  - 4.dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda C (prEN 10080-4:1999)
- nHRN EN 10080-5 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik
  - 5.dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih armaturnih mreža (prEN 10080-5:1999)
- nHRN EN 10080-6 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik
  - 6.dio: Tehnički uvjeti isporuke rešetki za gredice (prEN 10080-6:1999)

Potvrđivanje sukladnosti čelika za armiranje provodi se prema odredbama Dodatka A norme nHRN EN 10080-1 i odredbama posebnog propisa.

Uzimanje uzoraka, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava čelika za armiranje provodi se prema normama nizova nHRN EN 10080, odnosno nHRN EN 10138, i prema normama niza HRN EN ISO 15630 i prema normi HRN EN 10002-1.

Preklopi se izvode prema odredbama priznatim tehničkim pravilima iz Priloga H Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije, odnosno prema normi HRN ENV 1992-1-1:2004.

Sva armatura je iz čelika B500 u obliku šipki ili mreža. Osobito poštivati projektom predviđene razmake i zaštitne slojeve armature. Ni jedno betoniranje elementa ne može započeti bez prethodnog detaljnog pregleda armature od strane nadzornog inženjera i njegove dozvole

### **3.4.3. Prekidi betoniranja**

Prekid i nastavci betoniranja konstrukcija moraju biti obrađeni projektom betona.

### **3.4.4. Oplata**

Za izvedbu svih betonskih i armiranobetonskih elemenata potrebno je pravovremeno izraditi, postaviti i učvrstiti odgovarajuću drvenu, metalnu ili sličnu oplatu. Oplata mora odgovarati mjerama građevinskih nacrti, detalja i planova oplata. Podupiranjem i razupiranjem oplata mora se osigurati njena stabilnost i nedeformabilnost pod teretom ugrađene mješavine. Unutarnje površine moraju biti ravne i glatke, bilo da su vertikalne, horizontalne ili kose. Postavljena oplata mora se lako i jednostavno rastaviti, bez udaranja i upotrebe pomoćnih alata i sredstava čime bi se "mlada" konstrukcija izložila štetnim vibracijama. Ako se nakon skidanja oplata ustanovi da izvedena konstrukcija dimenzijama i oblikom ne odgovara projektu Izvođač je obavezan istu srušiti i ponovo izvesti prema projektu. Prije ugradnje svježe mješavine betona u oplatu istu, ako je drvena, potrebno je dobro navlažiti, a ako je metalna mora se premazati odgovarajućim premazom. Izvođač ne može započeti betoniranje dok nadzor ne izvrši pregled postavljene oplata i pismeno je ne odobri.

### 3.4.5. Primijenjeni standardi

#### Standardi za beton – osnovni

HRN EN 206- Beton – 1. dio: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 1:2002 206-1:2000)

HRN EN 206- Beton – 1. dio: Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 1/A1:2004 206-1:2000/A1:2004)

nHRN EN 206- Beton – 1. dio: Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 1/A2 206-1:2000/prA2:2004)

#### Standardi za beton – ostali

HRN EN 12350-1 Ispitivanje svježeg betona – 1. dio: Uzorkovanje

HRN EN 12350-2 Ispitivanje svježeg betona – 2. dio: Ispitivanje slijeganjem

HRN EN 12350-3 Ispitivanje svježeg betona – 3. dio: VeBe ispitivanje

HRN EN 12350-4 Ispitivanje svježeg betona – 4. dio: Stupanj zbijenosti

HRN EN 12350-5 Ispitivanje svježeg betona – 5. dio: Ispitivanje rasprostiranjem

HRN EN 12350-6 Ispitivanje svježeg betona – 6. dio: Gustoća

HRN EN 12350-7 Ispitivanje svježeg betona – 7. dio: Sadržaj pora – Tlačne metode

HRN EN 12390-1 Ispitivanje očvrsnulog betona – 1. dio: Oblik, dimenzije i drugi zahtjevi za uzorke i kalupe

HRN EN 12390-2 Ispitivanje očvrsnulog betona – 2. dio: Izradba i njegovanje uzoraka za ispitivanje čvrstoće

HRN EN 12390-3 Ispitivanje očvrsnulog betona – 3. dio: Tlačna čvrstoća uzoraka

HRN EN 12390-6 Ispitivanje očvrsnulog betona – 6. dio: Vlačna čvrstoća cijepanjem uzoraka



HRN EN 12390-7	Ispitivanje očvrtnulog betona – 7. dio: Gustoća očvrtnulog betona
HRN EN 12390-8	Ispitivanje očvrtnulog betona – 8. dio: Dubina prodiranja vode pod tlakom
prCEN/TS 12390-9	Ispitivanje očvrtnulog betona – 9. dio: otpornost na smrzavanje ljuštenjem
ISO 2859-1	Plan uzorkovanja za atributni nadzor – 1. dio: Plan uzorkovanja indeksiran prihvatljivim nivoom kvalitete (AQL) za nadzor količine po količine
ISO 3951	Postupci uzorkovanja i karta nadzora s varijablama nesukladnosti
HRN U.M1.057	Granulometrijski sastav mješavina agregata za beton
HRN U.M1.016	Beton. Ispitivanje otpornosti na djelovanje mraza
HRN EN 480-11	Dodaci betonu, mortu i injekcijskim smjesama – Metode ispitivanja – 11. dio: Utvrđivanje karakteristika zračnih pora u očvrtnulom betonu
HRN EN12504-1	Ispitivanje betona u konstrukcijama – 1. dio: Izvađeni uzorci – Uzimanje, pregled i ispitivanje tlačne čvrstoće
HRN EN 12504-2	Ispitivanje betona u konstrukcijama – 2. dio: Nerazorno ispitivanje – Određivanje veličine odskoka
HRN EN 12504-3	Ispitivanje betona u konstrukciji – 3. dio: Određivanje sile čupanja
HRN EN 12504-4	Ispitivanje betona u konstrukciji – 4. dio: Određivanje brzine ultrazvuka
prEN 13791:2003	Ocjena tlačne čvrstoće betona u konstrukcijama ili u konstrukcijskim elementima
Standardi za čelik za armiranje – osnovni	
nHRN EN 10080-1	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 1.dio: Opći zahtjevi (prEN 10080-1:1999)
nHRN EN 10080-2	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 2. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda A (prEN 10080-2:1999)

nHRNEN 10080-3	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 3. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda B (prEN 10080-3:1999)
nHRN EN 10080-4	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 4. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda C (prEN 10080- 4:1999)
nHRN EN 10080-5	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 5. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih armaturnih mreža (prEN 10080-5:1999)
nHRN EN 10080-6	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 6. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih rešetki za gredice (prEN 10080-6:1999)

## Standardi za čelik za armiranje – ostali

HRN EN 10020	Definicije i razredba vrsta čelika
HRN EN 10025	Toplovaljani proizvodi od nelegiranih konstrukcijskih čelika – Tehnički uvjeti isporuke
HRN EN 10027-1	Sustavi označivanja čelika – 1. dio: Nazivi čelika, glavni simboli
HRN EN 10027-2	Sustavi označivanja čelika – 2. dio: Brojčani sustav
EN 10079	Definicije čeličnih proizvoda
HRN EN 10204	Metalni proizvodi – Vrste dokumenata o ispitivanju (uključuje dopunu A1:1995)
prEN ISO 17660	Zavarivanje čelika za armiranje
HRN EN 287-1	Provjera osposobljenosti zavarivača – Zavarivanje taljenjem – 1. dio: Čelici
HRN EN 719	Koordinacija zavarivanja – Zadaci i odgovornosti

- HRN EN 729-3      Zahtjevi za kakvoću zavarivanja– Zavarivanje taljenjem metalnih materijala – 3. dio: Standardni zahtjevi za kakvoću
- HRN EN ISO 4063      Zavarivanje i srodni postupci – Nomenklatura postupaka i referentni brojevi
- HRN EN ISO 377      Čelik i čelični proizvodi – Položaj i priprema uzoraka i ispitnih uzoraka za mehanička ispitivanja
- HRN EN 10002-1      Metalni materijali – Vlačni pokus – 1. dio: Metoda ispitivanja (pri sobnoj temperaturi)
- HRN EN ISO 15630-1      Čelik za armiranje i prednapinjanje betona – Ispitne metode – 1. dio: Armaturene šipke i žice
- HRN EN ISO 15630-2      Čelik za armiranje i prednapinjanje betona – Ispitne metode – 2. dio: Zavarene mreže

#### Ostali standardi

- ENV 1992-1-1      Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – 1. dio: Opća pravila i pravila za zgrade
- ENV 1992-1-2      Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – 1-2 dio: Opća pravila – Projektiranje konstrukcije na požar

Ovlaštene organizacije i institucije za atestiranje su na listi u Glasniku Zavoda kojeg izdaje Državni zavod za normizaciju i graditeljstvo.

Izvoditelj je dužan osiguravati dokaze o kvaliteti radova i ugrađenih proizvoda i opreme prema Zakonu i prema zahtjevima iz projekta, te u tom smislu mora čuvati dokumentaciju o ispitivanju ugrađenog materijala, proizvoda i opreme prema programu ispitivanja iz projekta.

Nadzorni inženjer dužan je voditi računa da je kvaliteta radova, ugrađenih proizvoda i opreme u skladu sa zahtjevima projekta te da je kvaliteta dokazana propisanim ispitivanjima i dokumentima. Nadzorni inženjer dužan je da za tehnički pregled priredi završno izvješće o izvedbi građevine.

### **3.5. Ostali radovi i materijali**

Svi ostali materijali i proizvodi koji se ugrađuju u objekt trebaju biti kvalitetni i trajni, uz zadovoljenje svih važećih normi, propisa i pravila struke. Za sve se upotrijebljene materijale provode tekuća i kontrolna ispitivanja, odnosno prilažu atesti isporučitelja. Izvedba svih radova treba biti ispravna, kvalitetna i pod stalnim stručnim nadzorom. Za svako odstupanje primijenjenog gradiva ili gotovog proizvoda od projekta, potrebna je suglasnost projektanta i investitora. Za vrijeme izvođenja radova potreban je stalni tehnički nadzor.

Preporuča se stalni kvalificirani nadzor građevinske struke koji će moći realizirati sve postavke iz ovog proračuna.

### **3.6. Kontrolna ispitivanja**

Kontrolna ispitivanja provodi nadzorni organ, a za konačnu ocjenu kvalitete materijala i radova mjerodavni su rezultati kontrolnog ispitivanja. Kontrolna ispitivanja obavljaju se u tijeku izvedbe radova po vrsti, obujmu i vremenu, kako to nalažu zakonski propisi i tehnička regulativa.

Ukoliko rezultati kontrolnih ispitivanja pokažu da kvaliteta upotrebljenih materijala i izvedenih radova ne odgovara zahtijevanim uvjetima, nadzorni organ je dužan izdati nalog izvođaču da nekvalitetan materijal zamjeni kvalitetnim i radove dovede u ispravno stanje.

Izvođač je dužan napraviti „Projekt betona“, koji će zadovoljiti uvjete date ovom projektnom dokumentacijom, a istovremeno uvažiti tehnologiju proizvodnje i ugradbe betona koju primjenjuje izvođač, te zadovoljiti propisane uvjete. Kontrolu kvalitete betonskih radova treba provjeriti za to registriranoj organizaciji, a za kontrolna ispitivanja je potrebno primijeniti u skladu s „TPGK“N.N.17/17.

### 3.7. Dužnosti izvođača

Radove izvoditi na način određen ugovorom, propisima i pravilima struke, tehničkim normativima i standardima propisanim i prihvaćenim u RH, te prema odobrenoj projektnoj dokumentaciji. Poduzeti sve potrebne mjere za sigurnost zaposlenih radnika, javnog prometa kao i susjednih objekata pored kojih se izvode radovi.

Organizirati kontrolu radova u terenskim i pogonskim laboratorijima, ili provjeriti tu kontrolu stručnim organizacijama koju su za to upisane u sudski registar. Ugrađivati materijal, predgotovljene elemente, elemente, uređaje i tehničku opremu koji odgovaraju propisanim standardima i tehničkim normativima. Kvalitetu radova, materijala i uređaja koji mogu utjecati na stabilnost i sigurnost objekta i kvalitetu cijelog objekta, odnosno radove, dokumentirati obrađenim rezultatima ispitivanja ili ispravama izdanim u skladu sa zakonom ili propisima o tehničkim normativima i standardima.

Radove izvoditi po redoslijedu kojim se osigurava kvalitetno izvođenje i o izvođenju pojedinih faza na vrijeme obavijestiti nadzorni organ zbog pregleda i utvrđivanja kvalitete. Rezultate ispitivanja izvođač je dužan dostaviti nadzornom inženjeru.

Dužan je pribaviti sve ateste kada je to propisano tehničkim normativima ili propisima. Ne smije upotrebljavati građevinske materijale bez odobrenja nadzornog organa, a u slučaju da ih upotrijebi, snosi rizik i troškove koji iz toga nastanu. Izvođač je dužan tijekom građenja i po završetku istog pribaviti dokaze o kvaliteti upotrijebljenog građevinskog materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda od ovlaštenih organizacija kao što je:

- Upis geomehaničara u građevinski dnevnik s potvrdom kvalitete temeljnog tla
- Izvješće o kvaliteti betona za monolitne AB konstrukcije
- Izvješće o ispitivanju betonskog čelika
- Uvjerenje o kvaliteti zavarene građevinske armaturne mreže

## 4. OPĆI I POSEBNI TEHNIČKI UVJETI

### 4.1. Oplate i skele

Skele i oplate moraju imati takvu sigurnost i krutost da bez slijeganja i štetnih deformacija mogu primiti opterećenja i utjecaje koji nastaju tijekom izvedbe radova. Skela i oplata moraju biti izvedeni tako da se osigurava puna sigurnost radnika i sredstava rada kao i sigurnost prolaznika, prometa, susjednih objekata i okoline uopće. Materijali za izradu skela i oplata moraju biti propisane kvalitete. Nadzorni inženjer treba odobriti oplatu prije početka betoniranja. Kod izrade projekta oplate mora se uzeti u obzir kompaktiranje pomoću vibratora na oplati tamo gdje je to potrebno. Oplata mora sadržavati sve otvore i detalje prikazane u nacrtima, odnosno tražene od nadzornog inženjera.

Oplata odnosno skela treba osigurati da se beton ne onečisti. Obje moraju biti dovoljno čvrste i krute da odole pritiscima kod ugradnje i vibriranja i da spriječe ispušćenja. Nadzorni inženjer će, tamo gdje mu se čini potrebno, tražiti proračunski dokaz stabilnosti i progibanja.

Nadvišenja oplate dokazuju se računski i geodetski se provjeravaju prije betoniranja. Oplata mora biti toliko vodotijesna da spriječi istjecanje cementnog mlijeka. Ukoliko se za učvršćenje oplate rabe metalne šipke od kojih dio ostaje ugrađen u betonu, kraj stalno ugrađenog dijela ne smije biti bliži površini od 5 cm. Šupljina koja ostaje nakon uklanjanja šipke mora se dobro ispuniti, naročito ako se radi o plohamo koje će biti izložene protjecanju vode. Ovakav način učvršćenja ne smije se upotrijebiti za vidljive plohe betona.

Žičane spojnice za pridržavanje oplate ne smiju prolaziti kroz vanjske plohe gdje bi bile vidljive. Radne reške moraju biti, gdje god je moguće, horizontalne ili vertikalne i moraju biti na istoj visini zadržavajući kontinuitet.

Pristup oplati i skeli radi čišćenja, kontrole i preuzimanja, mora biti osiguran. Oplata mora biti tako izrađena, naročito za nosače i konstrukcije izložene proticanju vode, da se skidanje može obaviti lako i bez oštećenja rubova i površine.

Površina oplate mora biti očišćena od inkrustacija i sveg materijala koji bi mogao štetno djelovati na izložene vanjske plohe. Kad se oplata premazuje uljem, mora se spriječiti prljanje betona i armature. Oplata, ukoliko je drvena, mora prije betoniranja biti natopljena vodom na svim površinama koje će doći u dodir s betonom i zaštićena od prianjanja za beton premazom

vapnom. Skidanje oplata se mora izvršiti čim je to provedivo, naročito tamo gdje oplata ne dozvoljava polijevanje betona, ali nakon što je beton dovoljno očvrstnuo. Svi popravci betona trebaju se izvršiti na predviđen način i to što je prije moguće. Oplata se mora skidati prema određenom redoslijedu, pažljivo i stručno, da se izbjegnju oštećenja. Moraju se poduzeti mjere predostrožnosti za slučaj neplaniranog kolapsa. Nadzorni inženjer će odrediti kad se mora, odnosno može, skidati oplata.

Sve skele (za oplatu, pomoćne i fasadne) moraju se izvesti od zdravoga drva ili čeličnih cijevi potrebnih dimenzija.

Sve skele moraju biti stabilne, ukružene dijagonalno u poprečnom i uzdužnom smislu, te solidno vezane sponama i kliještima. Mosnice i ograde trebaju biti također dovoljno ukružene. Skelama treba dati nadvišenje koje se određuje iskustveno u ovisnosti o građevini ili proračunski. Ako to traži nadzorni inženjer, vanjska skela, s vanjske strane, treba biti prekrivena tršćanim ili lanenim pletivom kako bi se uz općenitu zaštitu osigurala i kvalitetnija izvedba i zaštita fasadnog lica.

Skele moraju biti izrađene prema pravilima struke i propisima Pravilnika o higijenskim i tehničkim zaštitnim mjerama u građevinarstvu.

Nadzorni inženjer mora zabraniti izradu i primjenu oplata i skela koje prema njegovom mišljenju ne bi mogle osigurati traženu kvalitetu lica gotovog betona ili su neprihvatljive kvalitete ili sigurnosti. Prijem gotove skele ili oplata vrši se vizualno, geodetskom kontrolom i ostalom izmjerom. Pregled i prijem gotove skele, oplata i armature vrši nadzorni inženjer. Bez obzira na odobrenu primjenu skela, oplata i armature, izvođač snosi punu odgovornost za sigurnost i kvalitetu radova.

## **4.2. Transport i ugradnja betona**

S betoniranjem se može početi samo na osnovi pismene potvrde o preuzimanju podloge, skele, oplata i armature te po odobrenju programa betoniranja od nadzornog inženjera.

Beton se mora ugrađivati prema unaprijed izrađenom programu i izabranom sistemu.

Vrijeme transporta i drugih manipulacija sa svježim betonom ne smije biti duže od onog koje je utvrđeno u toku prethodnih ispitivanja (promjena konzistencije s vremenom pri raznim temperaturama).

Transportna sredstva ne smiju izazivati segregaciju smjese betona. U slučaju transporta betona auto-miješalicama, poslije pražnjenja auto-miješalice treba oprati bubanj, a prije punjenja treba provjeriti je li ispražnjena sva voda iz bubnja.

Zabranjeno je korigiranje sadržaja vode u gotovom svježem betonu bez prisustva tehnologa za beton. Dozvoljena visina slobodnog pada betona je 1,0 m. Nije dozvoljeno transportiranje betona po kosinama. Transportna sredstva se ne smiju oslanjati na oplatu ili armaturu kako ne bi dovela u pitanje njihov projektirani položaj.

Svaki započeti betonski odsjek, konstruktivni dio ili element objekta mora biti neprekidno izbetoniran u opsegu, koji je predviđen programom betoniranja, bez obzira na radno vrijeme, brze vremenske promjene ili isključenja pojedinih uređaja mehanizacije pogona. Ako dođe do neizbježnog, nepredvidljivog prekida rada, betoniranje mora biti završeno tako da se na mjestu prekida može izraditi konstruktivno i tehnološki odgovarajući radni spoj. Izrada takvog radnog spoja moguća je samo uz odobrenje nadzornog inženjera.

Svježi beton mora se ugrađivati vibriranjem u slojevima čija debljina ne smije biti veća od 70 cm. Sloj betona koji se ugrađuje mora vibriranjem biti dobro spojen s prethodnim donjim slojem betona. Ako dođe do prekida betoniranja, prije nastavka betoniranja površina donjeg sloja betona mora biti dobro očišćena ispuhivanjem i ispiranjem, a po potrebi i pjeskarenjem.

Beton treba ubaciti što bliže njegovom konačnom položaju u konstrukciji da bi se izbjegla segregacija. Smije se vibrirati samo oplatom uklješten beton. Nije dozvoljeno transportiranje betona pomoću pervibratora.

Ugrađeni beton ne smije imati temperaturu veću od 45 °C u periodu od 3 dana nakon ugradnje.

### **4.3. Betoniranje pri visokim vanjskim temperaturama**

Niska početna temperatura svježeg betona ima višestruko povoljan utjecaj na poboljšanje uvjeta za betoniranje masivnih konstrukcija. Stoga je sniženje temperature svježeg betona i održavanje



iste u propisanim granicama od posebnog značaja. Za održavanje temperature svježeg betona unutar dopuštenih 25 °C, neophodno je poduzeti sljedeće mjere:

- krupne frakcije agregata hladiti raspršivanjem vode po površini deponije, što se ne preporuča s frakcijama do 8 mm, zbog poteškoća s održavanjem konzistencije betona,
- deponije pijeska zaštititi nadstrešnicama,
- silose za cement, rezervoare, miješalicu, cijevi itd. zaštititi od sunca bojenjem u bijelo.

Ukoliko ovi postupci hlađenja nisu dostatni, daljnje sniženje temperature može se postići hlađenjem vode u posebnim postrojenjima (coolerima).

Za vrijeme visokih dnevnih temperatura (oko 30 °C), kada postoje poteškoće s održavanjem dozvoljene temperature svježeg betona, početak radova na betoniranju treba pomaknuti prema hladnijem dijelu dana (noć, jutro).

Vrijeme od spravljanja betona do ugradnje treba biti što kraće, kako bi se izbjegli problemi pri pražnjenju transportnih sredstava i ugradnji zbog smanjenja obradivosti.

Ugrađivanje se mora odvijati brzo i bez zastoja. Redoslijed betoniranja mora omogućiti povezivanje novog betona s prethodnim. U uvjetima vrućeg vremena najpogodnije je njegovanje vodom. Njegovanje treba početi čim beton počne očvršćivati. Ako je intenzitet isparavanja blizu kritične granice, površina se može finim raspršivanjem vode održavati vlažnom, bez opasnosti od ispiranja.

Čelične oplata treba rashlađivati vodom, a podloga prije betoniranja mora biti dobro nakvašena. Ukoliko se u svježem betonu pojave pukotine, treba ih zatvoriti revibriranjem.

Voda koja se upotrebljava za njegovanje ne smije biti mnogo hladnija od betona, kako razlike između temperature betona na površini i unutar jezgre ne bi prouzročile pojavu pukotina. Stoga je efikasan način njegovanja pokrivanje betona materijalima koji vodu upijaju i zadržavaju (juta, spužvasti materijal i sl.) te dodatno prekrivanje plastičnom folijom.

Prekrivanje povoljno djeluje i na utjecaj razlika temperatura noć - dan.

#### 4.4. Betoniranje pri niskim vanjskim temperaturama

Betoniranje pri temperaturama nižim od +5 °C moguće je uz pridržavanje mjera za zimsko betoniranje. Upotreba smrznutog agregata u mješavini nije dozvoljena, a zagrijavanje pijeska parom nije preporučljivo zbog poteškoća s održavanjem konzistencije betona.

Pri ugradnji svježi beton mora imati minimalnu temperaturu od +6 °C, koja se na nižim temperaturama zraka ( $0 < t < +5$  °C) može postići samo zagrijavanjem vode, pri čemu temperatura mješavine agregata i vode prije dodavanja cementa ne smije prijeći +25 °C. Temperatura svježeg betona u zimskom periodu na mjestu ugradnje mora biti od +6 °C do +15 °C. Da bi se omogućio normalni tok procesa stvrdnjavanja i spriječilo smrzavanje, odmah poslije ugradnje, beton se toplinski zaštićuje prekrivanjem otvorenih površina izolacijskim materijalima i izolacijom čeličnih oplata.

Toplinska izolacija betona mora biti takva da osigura postizanje najmanje 50 % projektirane čvrstoće na pritisak prije nego što beton bude izložen djelovanju mraza. Pri temperaturama zraka nižim od +5 °C, temperatura svježeg betona mjeri se najmanje jedanput u toku 2h.

#### 4.5. Obveze izvođača

Izvođač je dužan na svoj trošak otkloniti sve nedostatke koji se ukažu u dogovorenom roku. Investitor može priznati samo količine materijala koje su ugrađene. Sav neispravan ili nepropisan materijal ne smije se ugrađivati i mora se otkloniti sa gradilišta.

Po završetku svih radova izvođenja, treba izvršiti tehnički pregled i sastaviti zapisnik o nedostacima. Garantni rok za ispravnost ugrađenih materijala i izvršenih radova regulira se ugovorom o izvođenju radova. Za vrijeme garantnog roka izvođač je dužan da na poziv investitora otkloni sve nedostatke koji se u toku garantnog roka pojave.

Izvođač ne smije vršiti bušenje armirano – betonskih konstrukcija bez prethodnog odobrenja i uputstava nadzornog organa, što treba unijeti u građevinski dnevnik. Izvođač je dužan nabaviti sve ateste za sav ugrađeni materijal. Izvođač radova je obavezan da korisniku preda upute za rukovanje ugrađenom opremom.

## 5. NAČIN ZBRINJAVANJA GRAĐEVNOG OTPADA

Način zbrinjavanja građevnog otpada mora biti u skladu s propisima o otpadu. Osnovni propis iz tog područja je: Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13), koji u sebi sadrži sve ostale relevantne pravilnike: Pravilnik o vrstama otpada, Pravilnik o postupanju s otpadom, itd.

Prema navedenom zakonu građevni otpad spada u inertni otpad jer uopće ne sadrži ili sadrži malo tvari koje podliježu fizikalnoj, kemijskoj i biološkoj razgradnji pa ne ugrožavaju okoliš.

Nakon završetka radova gradilište treba očistiti od otpadaka i suvišnog materijala i okolni dio terena dovesti u prvobitno stanje.

Pravilnikom o vrstama otpada određeno je da je proizvođač otpada čija se vrijedna sredstva mogu iskoristiti dužan otpad razvrstavati na mjestu nastanka, odvojeno skupljati po vrstama i osigurati uvjete skladištenja za očuvanje kakvoće u svrhu ponovne obrade.

Taj pravilnik predviđa slijedeće moguće postupke s otpadom:

- kemijsko-fizikalna obrada
- biološka obrada
- termička obrada
- kondicioniranje otpada
- odlaganje otpada

Kemijsko-fizikalna obrada otpada je obrada kemijsko-fizikalnim metodama s ciljem mijenjanja njegovih kemijsko-fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti: neutralizacija, taloženje, ekstrakcija, redukcija, oksidacija, dezinfekcija, centrifugiranje, filtracija, sedimentacija, rezervna osmoza.

Biološka obrada je obrada biološkim metodama s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti: aerobna i anaerobna razgradnja.

Termička obrada je obrada termičkim postupkom. Provodi se s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti: spaljivanje, piroliza, isparavanje, destilacija, sinteriranje, žarenje, taljenje, zataljivanje u staklo.

Kondicioniranje otpada je priprema za određeni način obrade ili odlaganja, a može biti: usitnjavanje, ovlaživanje, pakiranje, odvodnjavanje, oprашivanje, očvršćivanje te postupci kojima se smanjuje utjecaj štetnih tvari koje sadrži otpad.

S građevnim otpadom treba postupiti u skladu s Pravilnikom o uvjetima za postupanje s otpadom.

Taj pravilnik predviđa moguću termičku obradu za slijedeći otpad:

-drvo

-plastiku

-asfalt koji sadrži katran

-katran i proizvodi koji sadrže katran

Kondicioniranjem se može obraditi slijedeći otpad:

-građevinski materijali na bazi azbesta

-asfalt koji sadrži katran

-asfalt (bez katrana)

-katran i proizvodi koji sadrže katran

-izolacijski materijal koji sadrži azbest

-miješani građevni otpad i otpad od rušenja

Najveći dio građevnog otpada (prethodno obrađen ili neobrađen) može se odvesti u najbliže javno odlagalište otpada: beton, cigle, pločice i keramika, građevinski materijali na bazi gipsa, drvo, staklo, plastika, bakar, bronca, mjed, aluminij, olovo, cink, željezo i čelik, kositar, miješani materijali, kablovi, zemlja i kamenje i ostali izolacijski materijali.

Nakon završetka radova gradilište treba očistiti od otpada i suvišnog materijala, postupiti prema iznesenom, a okolni dio terena dovesti u prvobitno stanje.

## 6. UVJETI ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK TRAJANJA

Razmatrana građevina ne zahtijeva poseban tretman održavanja.

Ipak, ukopanost u tlo zahtijeva povećanu mjeru opreza i pojačani nadzor nad svim elementima (konstruktivnim i nekonstruktivnim) građevina. Tehnološkim mjerama, koje su navedene u ovom projektu pokušalo se dobiti što kvalitetniju i trajniju konstrukciju. U tom smislu neophodno je poštovati mjere za postizanje kvalitete materijala i konstrukcija, kao i posebne tehničke uvjete.

Radnje u okviru održavanja betonskih konstrukcija treba provoditi prema odredbama Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije (NN 17/17) i pripadajućim normama.

Redoviti pregled predmetne građevine, od strane kvalificiranih osoba, a u svrhu održavanja konstrukcije za predmetnu građevinu treba provoditi najmanje svakih 5 godina (zgrade javne namjene). Izvanredne preglede građevine provoditi nakon nekog izvanrednog događaja (ekstremne vremenske neprilike, potres, požar, eksplozija i slično) ili prema zahtjevu inspekcije.

Osim ovih pregleda preporučuje se da korisnici građevine vrše godišnje preglede i ukoliko primijete neku nepravilnost na konstrukciji zatraže redoviti ili izvanredni pregled i prije roka predviđenog ovim projektom. Način obavljanja pregleda uključuje:

- vizualni pregled, u kojeg je uključeno utvrđivanje položaja i veličine napuklina i pukotina te drugih oštećenja bitnih za očuvanje mehaničke otpornosti i stabilnosti građevine,
- utvrđivanja stanja zaštitnog sloja armature, za betonske konstrukcije u umjereno ili jako agresivnom okolišu,
- utvrđivanje veličine progiba glavnih nosivih elemenata betonske konstrukcije za slučaj osnovnog djelovanja, ako se na temelju vizualnog pregleda sumnja u ispunjavanje bitnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti.

Nakon obavljenih pregleda konstrukcije potrebno je izraditi dokumentaciju o stanju konstrukcije nakon pregleda sa potrebnim mjerama i radovima na saniranju i održavanju konstrukcije. Ovu i drugu dokumentaciju o održavanju betonske konstrukcije dužan je trajno čuvati vlasnik građevine.

Manje nedostatke može ispraviti stručna osoba (zanatlija) na licu mjesta, a kod većih zahvata vlasnik (ili korisnici) građevine dužni su postupiti prema potrebnim zahtjevima i mjerama iz dokumentacije o stanju konstrukcije te izvesti neophodne radove održavanja, obnove i izmjene uređaja i dijelova te radove popravka, ojačanja i rekonstrukcije.

Sve radove pregleda i izvedbe radova na konstrukciji potrebno je povjeriti za to ovlaštenim osobama.

Norme za ispitivanje i održavanje građevina :

HRN ENV 13269	Održavanje – Smjernice za izradu ugovora o održavanju
HRN EN 13306	Nazivlje u održavanju
HRN ENV 13670-1:2002	Izvedba betonskih konstrukcija – 1. dio: Općenito (ENV 13670-1:2000)
HRN U.M1.047:1987	Ispitivanje konstrukcija visokogradnje pokusnim opterećenjem i ispitivanje do sloma
HRN EN 4866:1999	Mehaničke vibracije i udari – Vibracije građevina – Smjernice za mjerenje vibracija i ocjenjivanje njihova utjecaja na građevine (ISO 4866:1990+Dopuna 1:1994+Dopuna 2:1996)
prEN 13791:2003	Ocjena tlačne čvrstoće betona u konstrukcijama ili u konstrukcijskim elementima
HRN ISO 15686-1:2002	Zgrade i druge građevine – Planiranje vijeka uporabe – 1. dio: Opća načela (ISO 15686-1:2000)
HRN ISO 15686-2:2002	Zgrade i druge građevine – Planiranje vijeka uporabe – 2. dio: Postupci predviđanja vijeka uporabe (ISO 15686-2:2001)
HRN ISO 15686-3:2004	Zgrade i druge građevine – Planiranje vijeka uporabe – 3. dio: Neovisne ocjene (auditi) i pregledi svojstava (ISO 15686-3:2002)

HRN 12504-1:2000	Ispitivanje betona u konstrukcijama – 1. dio: Izvađeni uzorci – Uzimanje, pregled i ispitivanje tlačne čvrstoće (EN 12504-1:2000)
HRN 12504-2:2001	Svojstva betona u konstrukcijama – 2.dio: Nerozorno ispitivanje – Određivanje indeksa sklerometra (EN 12504-2:2001)
nHRN EN 12504-3	Ispitivanje betona u konstrukcijama – 3. dio: Određivanje sile čupanja (pull-out) (prEN 12504-3:2003)
HRN EN 12504-4:2004	Ispitivanje betona – 4. dio: Određivanje brzine ultrazvučnog impulsa (EN 12504-4:2004)
HRN EN 12390-1:2001	Ispitivanje očvrsloga betona – 1. dio: Oblik, dimenzije i drugi zahtjevi za uzorke i kalupe (EN 12390-1:2000)
HRN EN 12390-3:2002	Ispitivanje očvrsloga betona – 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka (EN 12390-3:2001)

Očekivani vijek trajanja građevina je 50 godina. Preduvjet za postizanje očekivanog vijeka trajanja je pravilna izvedba te pravilno održavanje u skladu s prethodno navedenim zahtjevima te zakonima i pravilima struke.

## **7. PLANOVI POZICIJA**

Planovi pozicija i relevantni tlocrti i presjeci prikazani su u grafičkim priložima.

Svi računalni proračuni izvršeni su računalnim programom *Scia Engineer 21.1*. Zbog opširnosti projekta prikazani su samo oni rezultati koji su smatrani relevantnim. Svi ulazni i izlazni podaci mogu se, na zahtjev, dobiti kod autora ovog projekta.

Svi ostali podaci i detalji relevantni za predmetni objekt dani su kroz projektna rješenja.



## 8. ANALIZA OPTEREĆENJA

Sva opterećenja uzeta prema:

- HRN ENV 1991-1 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 1. dio: Osnove projektiranja (ENV 1991-1:1994)
- HRN ENV 1991-2-1 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-1. dio: Djelovanja na konstrukcije – Prostorne težine, vlastite težine, uporabna opterećenja (ENV 1991-2-1:1995)
- HRN ENV 1991-2-2 Eurokod 1: Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije – 2-2. dio: Djelovanja na konstrukcije – Djelovanja na konstrukcije izložene požaru (ENV 1991-2-2:1995)
- HRN ENV 1991-2-3 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-3. dio: Djelovanja na konstrukcije – Opterećenje snijegom (ENV 1991-2-3:1995)
- HRN ENV 1991-2-4 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-4. dio: Djelovanja na konstrukcije – Opterećenje vjetrom (ENV 1991-2-4:1995)
- HRN ENV 1991-2-6 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-6. dio: Djelovanja na konstrukcije – Djelovanja tijekom izvedbe (ENV 1991-2-6:1997)
- HRN ENV 1991-2-7 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-7. dio: Djelovanja na konstrukcije – Izvanredna djelovanja prouzročena udarom i eksplozijom (ENV 1991-2-7:1998)
- HRN ENV 1998-1-1:2005 Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 1-1. dio: Opća pravila – Potresna djelovanja i opći zahtjevi za konstrukcije (ENV 1998-1-1:1994)

## 8.1. Vlastita težina

Vlastita težina svih konstruktivnih elementa je automatski uključena u programskom paketu Scia Engineer 21.1.

## 8.2. Dodatno stalno opterećenje

### a) Ploča krova

Tablica 8.1 – karakteristični iznos opterećenja slojeva kosog krova

Sloj:	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d x g(kN/m <sup>2</sup> )
Crijep + nosiva podkonstrukcija	0,03	20,0	0,6
Ventilirani sloj zraka	-	-	-
Paropropusna vodoodbojna folija	0,01	0,2	0,002
Kamena vuna	0,20	1,0	0,20
AB ploča	0,18	Uključena kroz program	

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 0,82 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

b) Ploča katova

Tablica 8.2 – karakteristični iznos opterećenja slojeva katova

Sloj:	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d x g(kN/m <sup>2</sup> )
Završni sloj	0,02	12,0	0,24
AB estrih	0,05	25,0	1,25
Toplinska izolacija	0,04	5,0	0,20
Hidroizolacija	0,005	18,0	0,09
AB ploča	0,20	Uključena kroz program	

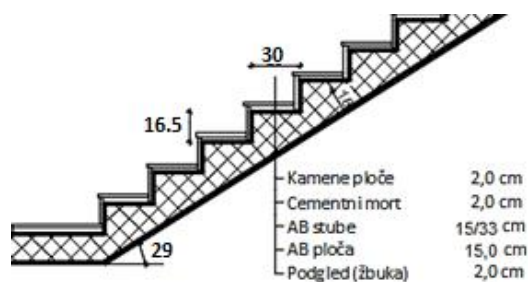
Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 1,78$  (kN/m<sup>2</sup>)

c) Ploča iznad garaže

Tablica 8.3 – karakteristični iznos opterećenja slojeva katova

Sloj:	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d x g(kN/m <sup>2</sup> )
Završni sloj	0,03	8,0	0,24
AB estrih	0,05	25,0	1,25
Toplinska izolacija	0,04	5,0	0,20
Hidroizolacija	0,005	18,0	0,09
AB ploča	0,25/30	Uključena kroz program	

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 1,78$  (kN/m<sup>2</sup>)

d) Stubište

Tablica 8.4 – karakteristični iznos opterećenja slojeva stubišta

Sloj:	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d x g(kN/m <sup>2</sup> )
Kamene ploče	0,02	28	0,56
Cementni mort	0,02	20	0,40
Stepenik	0,075	Uključen kroz program	
AB ploča	0,15	Uključena kroz program	
Žbuka	0,02	19	0,38

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 1,34$  (kN/m<sup>2</sup>)

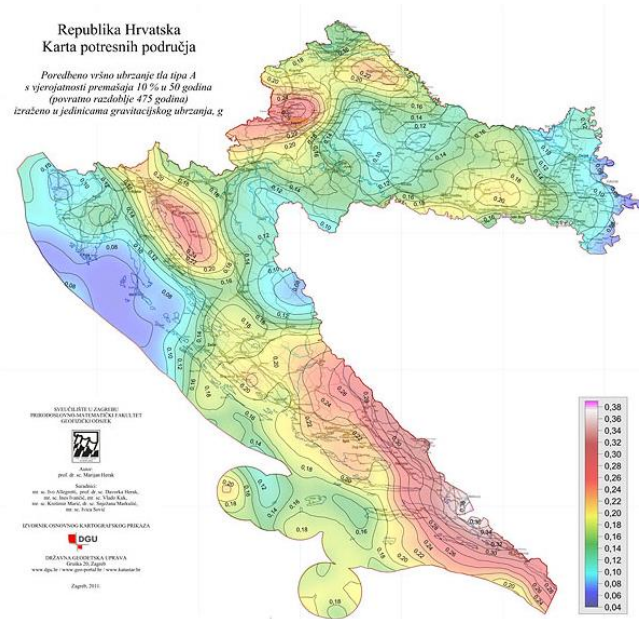
### **8.3. Pokretno opterećenje**

Za potrebe proračuna, a prema EC1991-1-1 korištena su sljedeća opterećenja:

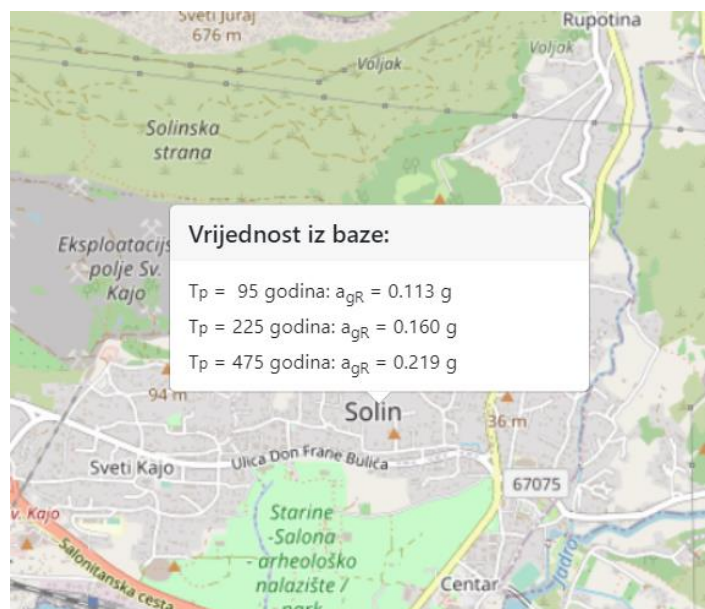
- Kosi krov:  $q = 1,0 \text{ kN/m}^2$
- Stambeni prostori:  $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- Stubište:  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$
- Pod iznad garaže:  $q = 5,0 \text{ kN/m}^2$
- Balkoni:  $q = 4,0 \text{ kN/m}^2$

## 8.4. Potresno opterećenje

Potresne sile proračunate su pojednostavljenim postupkom. Za proračun potresnog opterećenja korištena je višemodalna spektralna analiza. Građevina se nalazi na području Splita gdje poredbeno vršno ubrzanje tla iznosi  $a_{gR} = 0,219g$  prema seizmološkoj karti Republike Hrvatske. Računsko ubrzanje je očitano za povratni period 475 godina.



Slika 8.1 Seizmološka karta Republike Hrvatske



Slika 8.2 Parametar vršnog ubrzanja tla za promatranu lokaciju

Građevina je temeljena na tlu klase A, a pretpostavlja se srednja klasa (DCM) duktilnog ponašanja građevine.

Klasa tla	A
Računsko ubrzanje tla $a_g$	0,219g
Koeficijent računskog ubrzanja tla $\alpha = a_{gR}/g$	0,219
Faktor tla S za klasu tla A	1
Donja vrijednost faktora horizontalnog spektra odziva $\beta$	0,2
Granični periodi osciliranja za klasu tla A	$T_B=0,15s$ $T_C=0,40s$ $T_D=2,0s$

#### Proračun faktora ponašanja

- faktor ponašanja za klasu DCM

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

- osnovni faktor ponašanja:  $q_0 = 3 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} \rightarrow$  za zidni sustav

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,0 \rightarrow \text{za tlocrtno nepravilne sustave}$$

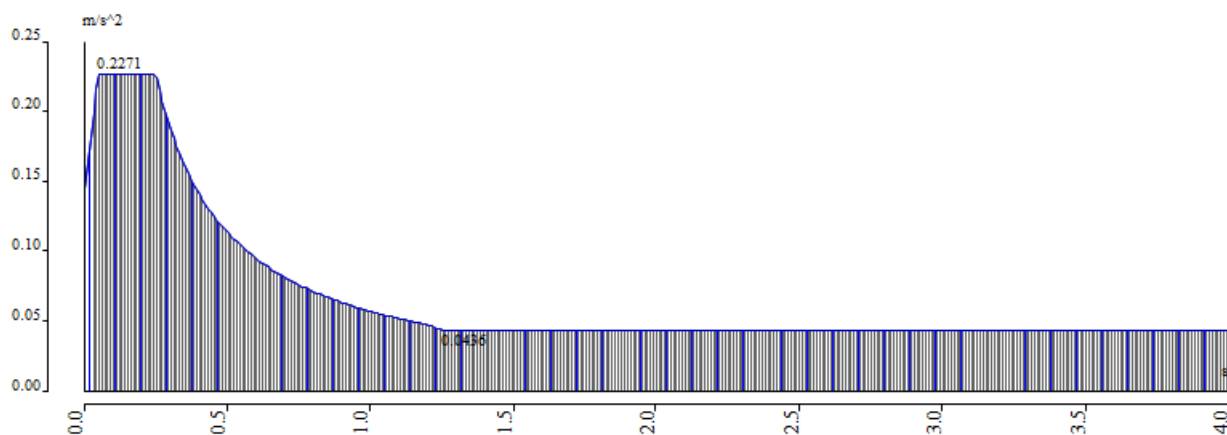
$$q_0 = 3 \cdot 1 = 3,0$$

- faktor prevladavajućeg sloma:  $k_w = \frac{1+\alpha_0}{3}$  uz uvjet  $0,5 \leq k_w \leq 1$ ;  $\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}}$

$$k_w = 1 \text{ za smjer } x \text{ i } y$$

- za zgrade nepravilne po visini faktor ponašanja se umanjuje za 20%

$$q = 0,8 \cdot q_0 \cdot k_w = 0,8 \cdot 3 \cdot 1 = 2,4$$



Slika 8.3 Normirani računski spektar odgovora

Za proračun seizmičkog opterećenja korištena je višemodalna spektralna analiza. Pri izračunu masa korištena je kombinacija stalnog opterećenja (težina konstrukcije i dodatno stalno opterećenje) i 30% pokretnog opterećenja. Broj oblika ( modova ) osciliranja za predmetnu zgradu iznosi 20.

U nastavku su prikazani rezultati dinamičke analize iz razloga što dobivamo realniji uvid dinamičkog ponašanja.

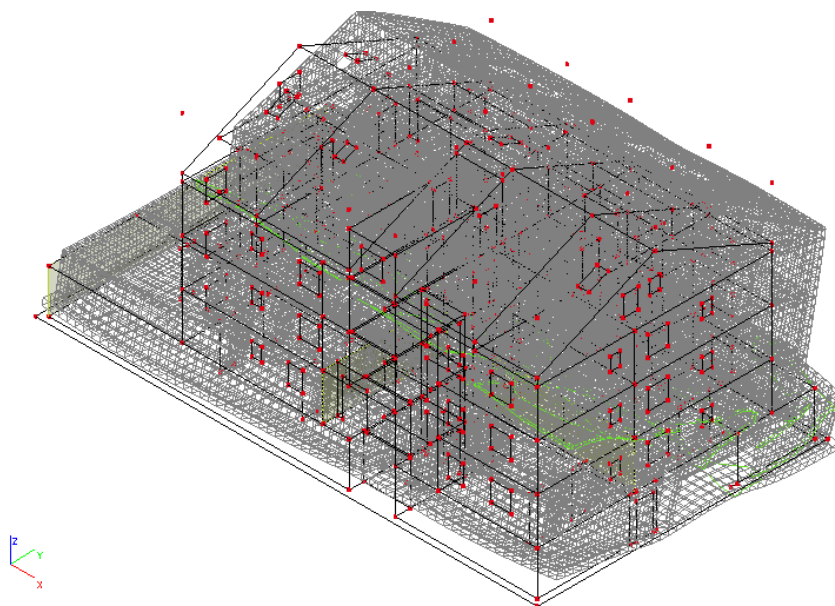


### 8.4.1. Rezultati dinamičke analize

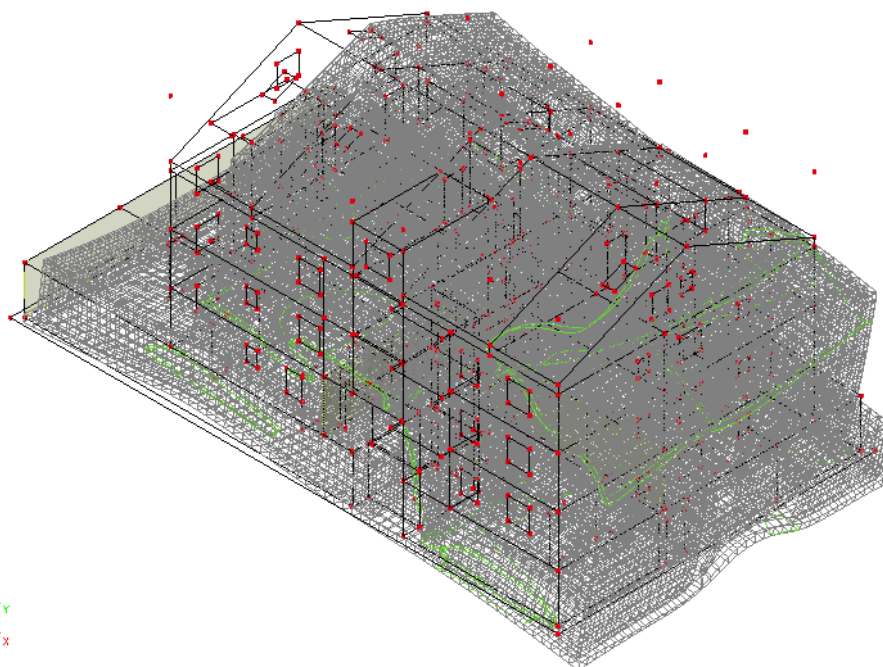
a) Aktivirana masa pri djelovanju potresa

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{xi}/W_{xtot}$	$W_{yi}/W_{ytot}$	$W_{zi}/W_{ztot}$	$W_{xi\_R}/W_{xtot\_R}$	$W_{yi\_R}/W_{ytot\_R}$	$W_{zi\_R}/W_{ztot\_R}$
1	36.2521	0.17	5.77	0.0029	0.7221	0.0049	0.2023	0.0011	0.0187
2	43.9227	0.14	6.99	0.7328	0.0044	0.0009	0.0008	0.1632	0.0019
3	62.1928	0.10	9.90	0.0008	0.0004	0.0575	0.0042	0.0002	0.7520
4	64.4431	0.10	10.26	0.0226	0.0333	0.5328	0.0166	0.0073	0.0878
5	82.1072	0.08	13.07	0.0494	0.0502	0.0036	0.1785	0.1467	0.0046
6	85.5888	0.07	13.62	0.1050	0.0017	0.0610	0.0095	0.3450	0.0002
7	90.74	0.07	14.44	0.0029	0.0901	0.0882	0.3085	0.0220	0.0073
8	91.2201	0.07	14.52	0.0001	0.0060	0.0053	0.0200	0.0009	0.0006
9	105.498	0.06	16.79	0.0080	0.0122	0.0174	0.0146	0.0233	0.0007
10	106.566	0.06	16.96	0.0069	0.0213	0.0101	0.0248	0.0108	0.0109
11	123.391	0.05	19.64	0.0348	0.0000	0.0003	0.0168	0.0002	0.0618
12	130.015	0.05	20.69	0.0000	0.0010	0.0250	0.0001	0.0370	0.0013
13	134.072	0.05	21.34	0.0063	0.0077	0.0009	0.0106	0.0028	0.0061
14	136.05	0.05	21.65	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
15	150.009	0.04	23.87	0.0032	0.0001	0.0048	0.0000	0.0009	0.0217
16	161.905	0.04	25.77	0.0025	0.0000	0.0068	0.0025	0.0007	0.0079
17	170.835	0.04	27.19	0.0001	0.0001	0.0006	0.0203	0.0003	0.0016
18	196.22	0.03	31.23	0.0006	0.0032	0.0038	0.0032	0.0010	0.0001
19	203.005	0.03	32.31	0.0002	0.0413	0.0013	0.0655	0.0005	0.0050
20	241.801	0.03	38.48	0.0124	0.0015	0.0026	0.0034	0.0462	0.0004
				0.9917	0.9965	0.8279	0.9024	0.8100	0.9909

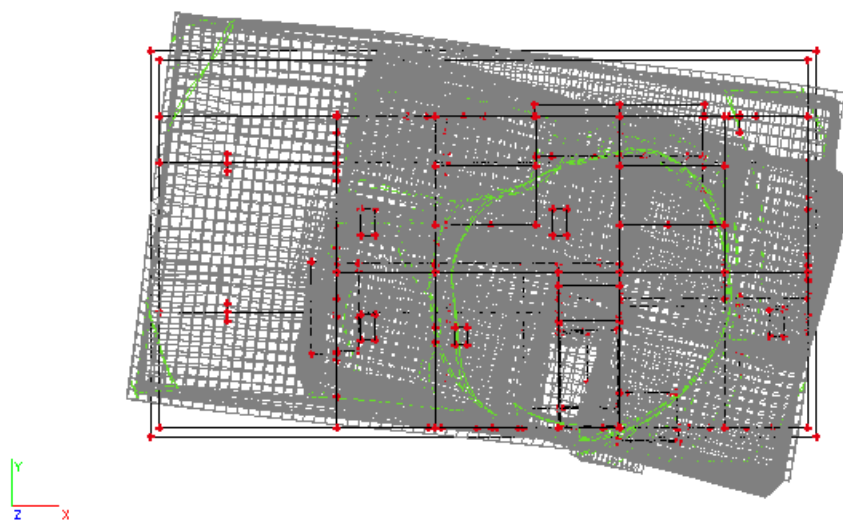
b) Grafički prikaz deformacija uslijed nekoliko karakterističnih modova osciliranja



*Slika 8.4 Prvi vlastiti vektor od djelovanja potresa na konstrukciju*



*Slika 8.5 Drugi vlastiti vektor od djelovanja potresa na konstrukciju*



Slika 8.6 Treći vlastiti vektor od djelovanja potresa na konstrukciju

## 9. NUMERIČKI MODEL

Za potrebe proračuna izrađen je štapno – pločasti model koji obuhvaća sve ploče, stupove, grede i zidove.

Model je opterećen stalnim opterećenjem (vlastita težina konstrukcije), dodatnim stalnim opterećenjem (nekonstruktivni slojevi konstrukcije), te korisnim opterećenjem, pri čemu su sva opterećenja zadana kao raspodijeljena opterećenja po pločama.

Za potrebe analize na potres izvršena je višemodalna spektralna analiza, pri čemu su rezultati svakog moda kombinirani SRSS metodom ( direktno obrađeno kroz program).

Rezultati numeričkog proračuna prikazani su za pojedinačne slučajeve opterećenja, kao i za računsko ( granično, ultimativno ) opterećenje. Uobičajena kombinacija opterećenja se dobiva kao kombinacija stalnog, dodatnog stalnog, pokretnog i potresnog opterećenja, prema izrazima navedenim u nastavku.

Za GSN:

Osnovne kombinacije djelovanja:

$$\text{GSN1: } 1,35 (g+\Delta g) + 1,8q$$

$$\text{GSN2: } 1,35 (g+\Delta g) + 1,5q$$

Seizmičke kombinacije djelovanja:

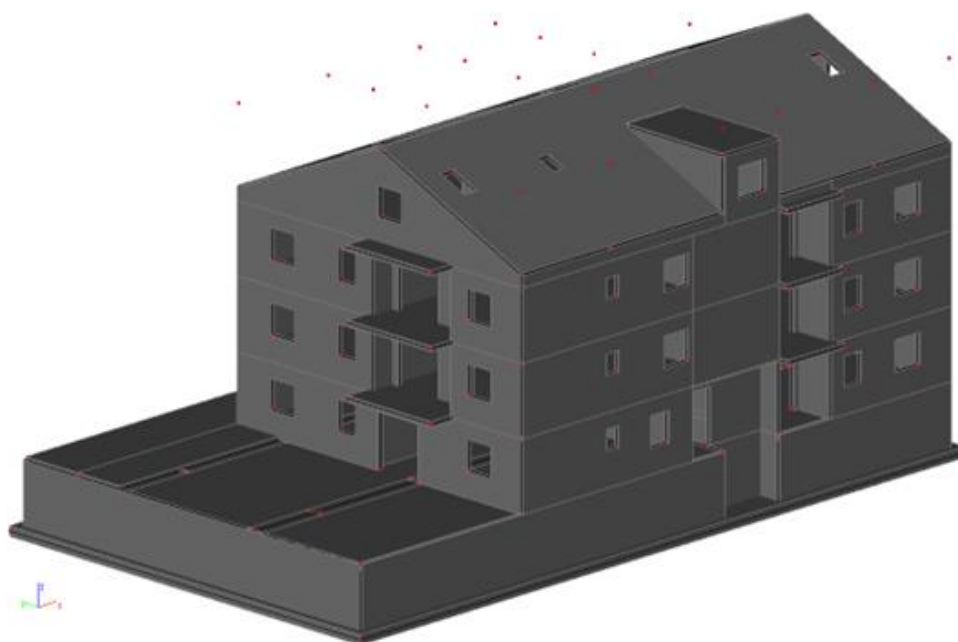
$$\text{KSX: } 1,0 (g+\Delta g) + 0,3q + 1,0S_x + 0,3S_y$$

$$\text{KSY: } 1,0 (g+\Delta g) + 0,3q + 1,0S_y + 0,3S_x$$

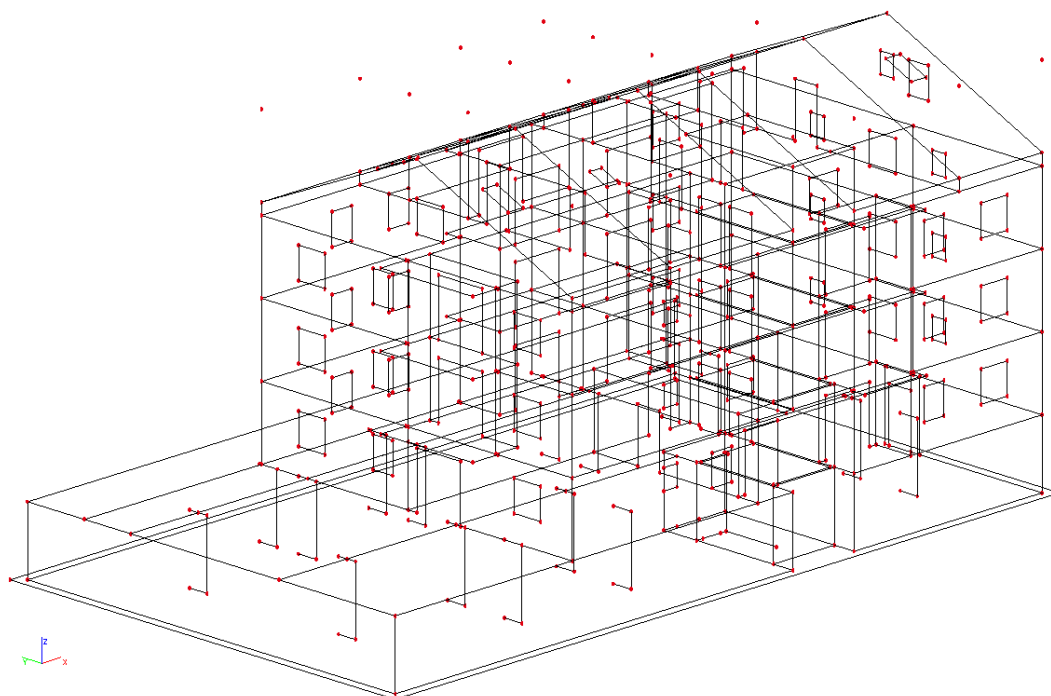
Za GSU:

$$\text{GSU: } 1,0 (g+\Delta g) + 1,0q$$

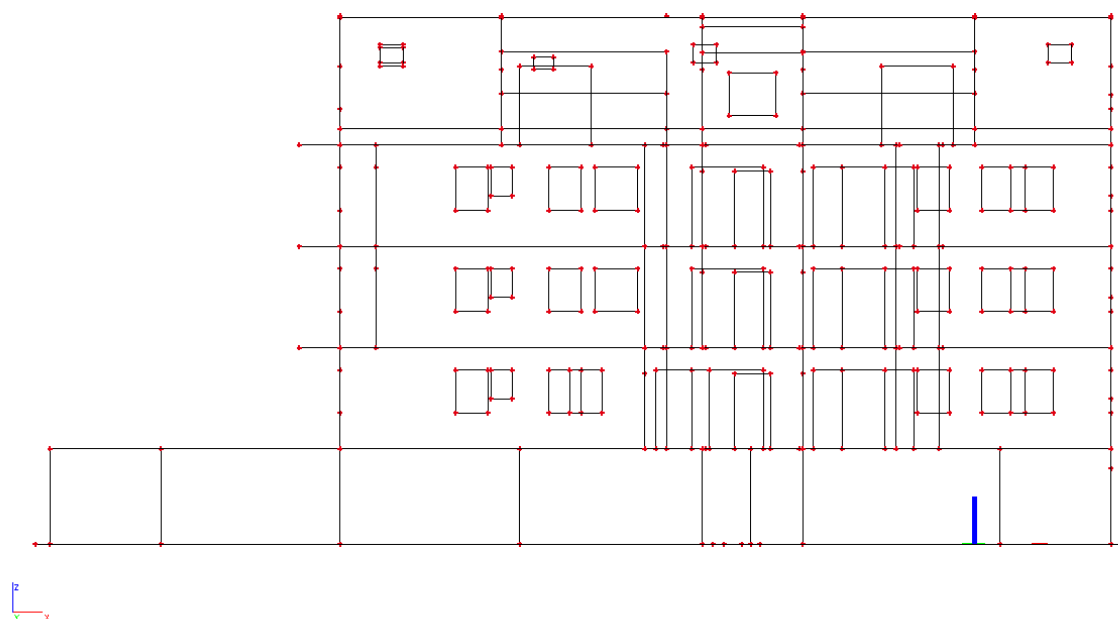
Numerički model je proračunat u računalnom programu Scia Engineer 21.1., program za linearnu analizu grednih i pločastih sustava.



Slika 9.1 Renderirani prikaz modela - aksonometrija



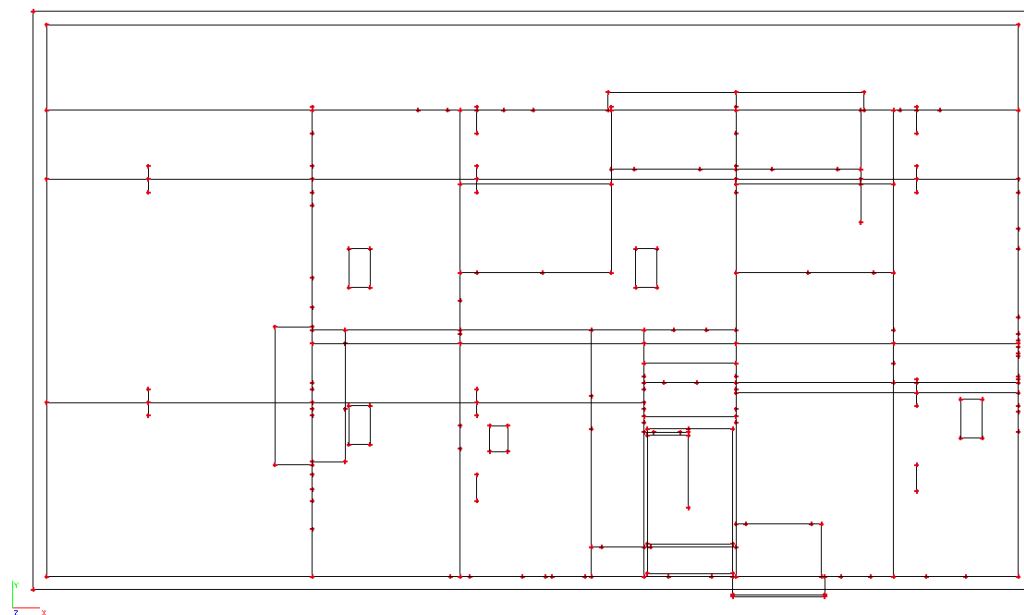
Slika 9.2 Model za proračun - aksonometrija



Slika 9.3 Model za proračun (pogled u x smjeru)



Slika 9.4 Model za proračun (pogled u y smjeru)



Slika 9.5 Model za proračun ( pogled u z smjeru )

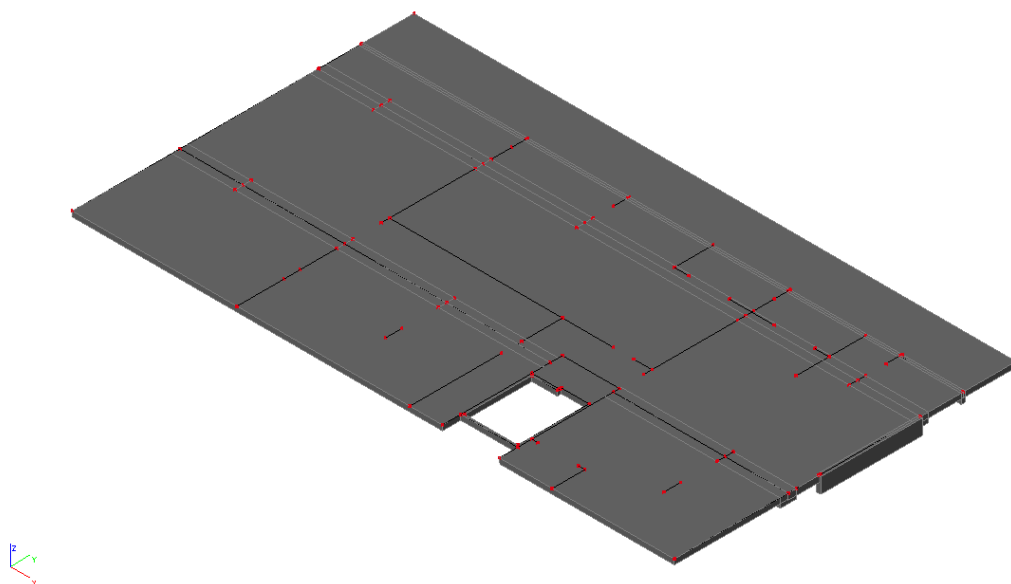
## 10. DIMENZIONIRANJE HORIZONTALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE

Proračun AB ploča proveden je prema EC-2 (Eurokod 2 : Projektiranje betonskih konstrukcija).

Za dimenzioniranje upotrijebljene su mjerodavne kombinacije (zasebno za vrijednosti u polju i na ležaju) za granično stanje nosivosti dok su za kontrolu pukotina i progiba korištene kombinacije graničnog stanja uporabljivosti.

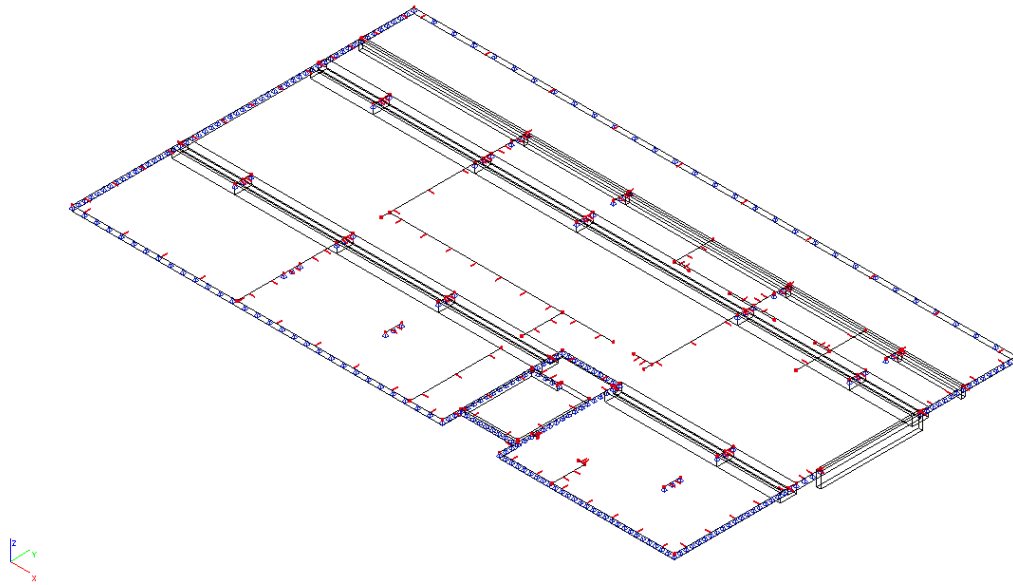
### 10.1. Proračun ploča

#### 10.1.1. Ploča pozicije 100 - ploča iznad garaže

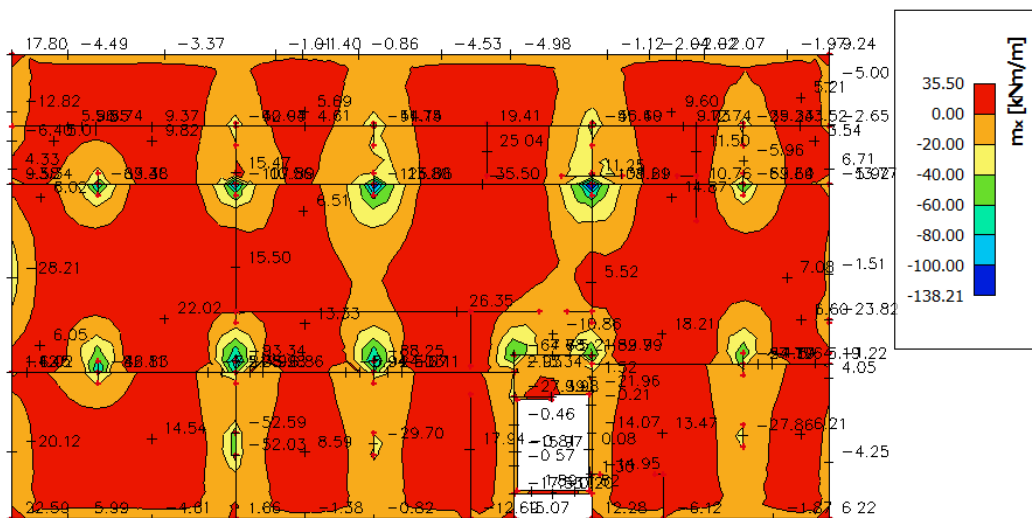


Slika 10.1 Prikaz pozicije 100

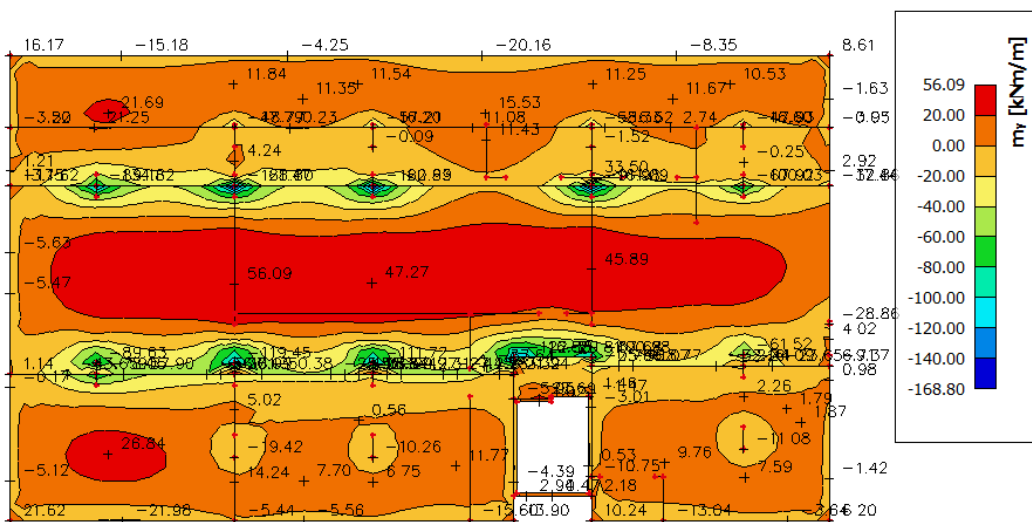




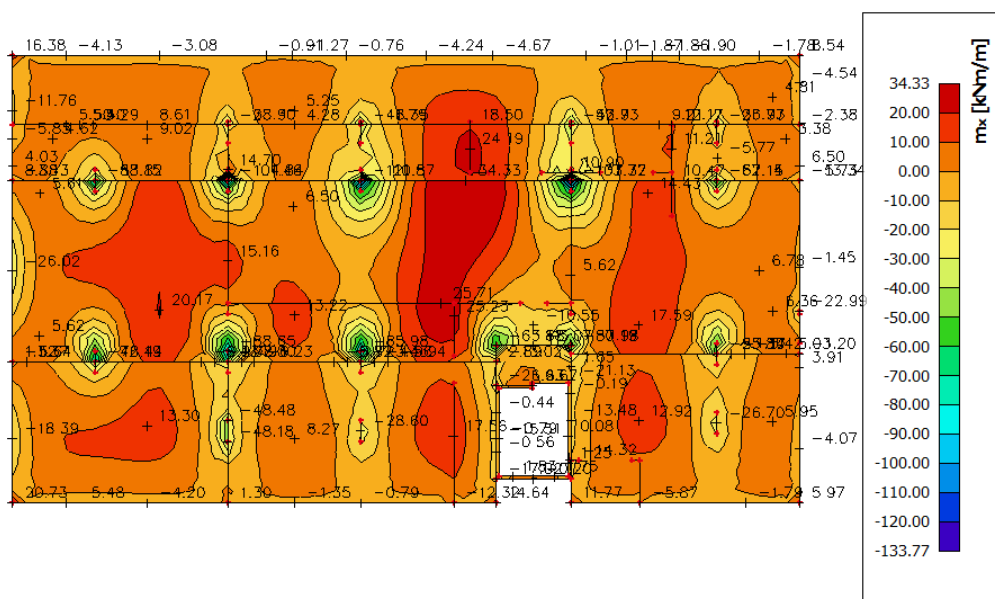
Slika 10.2 2D model ploče



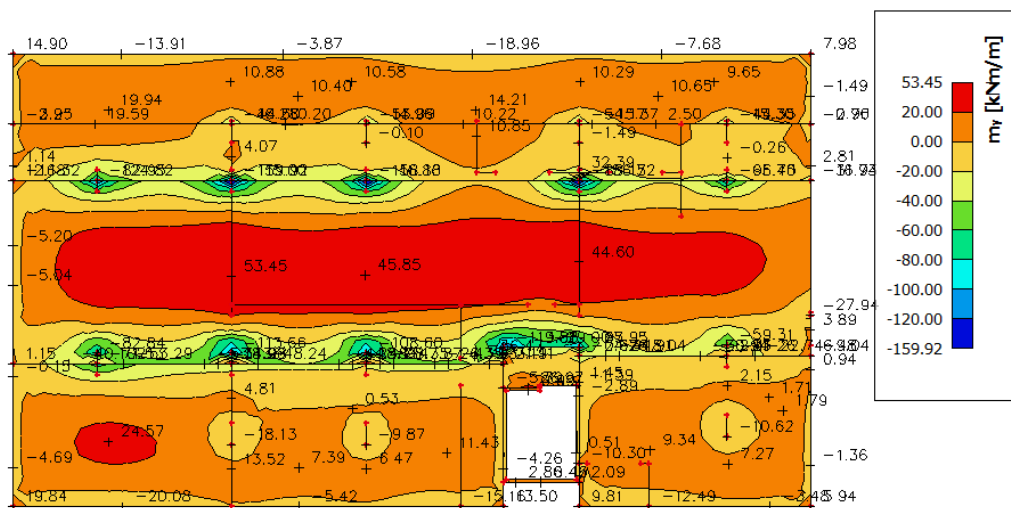
Slika 10.3 Prikaz momenata savijanja u polju  $m_x$  za kombinaciju GSN1



Slika 10.4 Prikaz momenata u polju  $m_y$  za kombinaciju GSN1



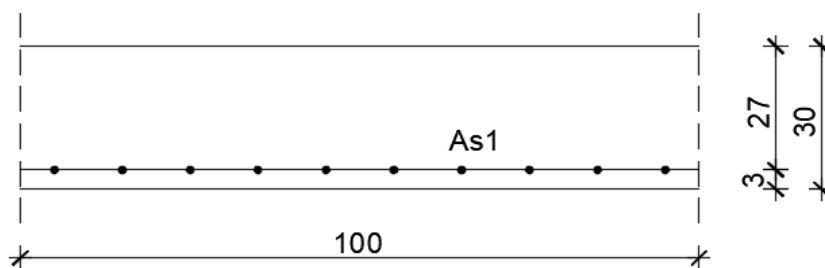
Slika 10.5 Prikaz momenata savijanja na ležajevima  $m_x$  za kombinaciju GSN2



Slika 10.6 Prikaz momenata na ležajevima  $m_y$  za kombinaciju GSN2

Ploča  $h=30$  cm

Dimenzioniranje na savijanje



Slika 10.7 – Skica armature ploče u polju

Postupak dimenzioniranja:

$$C\ 30/37 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20\ \text{MPa}; \quad f_{cd} = 2,0\ \text{kN/cm}^2$$

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

$b=100$  cm;  $h=30$  cm;  $d=27$  cm

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta \approx 0,9; \quad \varepsilon_c/\varepsilon_s = 3,5/10$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,c,lim}^* \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 30 = 3,0\ \text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 30 = 60,0\ \text{cm}^2$$

U sljedećoj tablici prikazani su ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu za dimenzije ploče prema prethodnoj slici:

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 335	3.35	231.82	35.41	0.11
R/Q	- 385	3.85	231.82	40.70	0.13
R/Q	- 424	4.24	231.82	44.82	0.14
R/Q	- 503	5.03	231.82	53.17	0.17
R/Q	- 524	5.24	231.82	55.39	0.17
R/Q	- 636	6.36	231.82	67.23	0.21
R/Q	- 785	7.85	231.82	82.98	0.26

Sva armatura je veća od minimalne i manja od maksimalne. Zbog preraspodjele kod dugotrajnih efekata armaturu u polju uvijek birati veću od izračunate, a armaturu na ležajevima u skladu s izračunatom. Skica armature prikazana je u grafičkim priložima. Ako se u obzir uzmu i preklopi

$$\geq 40 \text{ cm} \left( A'_{s1} = A_{s1} \cdot \frac{\text{širina mreže (215)} + \text{preklop(40)}}{\text{širina mreže(215)}} \right) :$$

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 257	3.05	231.82	32.22	0.10
R/Q	- 283	3.36	231.82	35.48	0.11
R/Q	- 335	3.97	231.82	42.00	0.13
R/Q	- 385	4.57	231.82	48.27	0.15
R/Q	- 424	5.03	231.82	53.16	0.17
R/Q	- 503	5.97	231.82	63.06	0.20
R/Q	- 524	6.21	231.82	65.69	0.21
R/Q	- 636	7.54	231.82	79.74	0.25
R/Q	- 785	9.31	231.82	98.42	0.31

Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 56,09 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5609}{100 \cdot 27^2 \cdot 2,0} = 0,038$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,2 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,962$      $\xi = 0,107$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5609}{0,962 \cdot 27 \cdot 43,48} = 4,97 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 503 + preklop 40 cm** ( $A_s = 5,97 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 97,95 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9795}{100 \cdot 27^2 \cdot 2,0} = 0,067$$

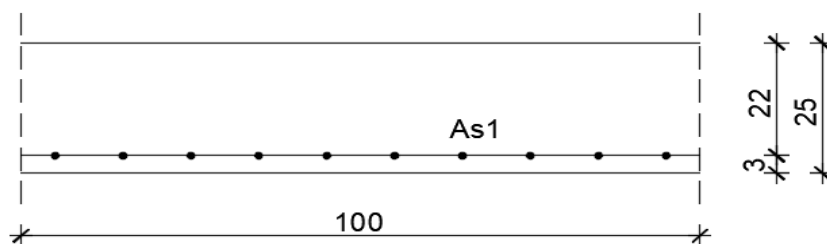
Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,7 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,947$      $\xi = 0,145$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9795}{0,947 \cdot 27 \cdot 43,48} = 8,81 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 785 + preklop 40 cm** ( $A_s = 9,31 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Ploča h= 25 cm

Dimenzioniranje na savijanje



Slika 10.8 – Skica armature ploče u polju

Postupak dimenzioniranja:

$$\text{C 30/37} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}; \quad f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

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

b=100 cm; h=25 cm; d=22 cm

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta \approx 0,9; \quad \varepsilon_c / \varepsilon_s = 3,5/10$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim}^* \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 25 = 2,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 25 = 50,0 \text{ cm}^2$$

U sljedećoj tablici prikazani su ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu za dimenzije ploče prema prethodnoj slici:

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 335	3.35	153.91	28.85	0.13
R/Q	- 385	3.85	153.91	33.16	0.15
R/Q	- 424	4.24	153.91	36.52	0.17
R/Q	- 503	5.03	153.91	43.32	0.20
R/Q	- 524	5.24	153.91	45.13	0.21
R/Q	- 636	6.36	153.91	54.78	0.25
R/Q	- 785	7.85	153.91	67.61	0.31

Sva armatura je veća od minimalne i manja od maksimalne. Zbog preraspodjele kod dugotrajnih efekata armaturu u polju uvijek birati veću od izračunate, a armaturu na ležajevima u skladu s izračunatom. Skica armature prikazana je u grafičkim priložima. Ako se u obzir uzmu i preklopi

$$\geq 40 \text{ cm} \left( A'_{s1} = A_{s1} \cdot \frac{\text{širina mreže (215)} + \text{preklop(40)}}{\text{širina mreže(215)}} \right) :$$

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 257	3.05	153.91	26.25	0.12
R/Q	- 283	3.36	153.91	28.91	0.13
R/Q	- 335	3.97	153.91	34.22	0.16
R/Q	- 385	4.57	153.91	39.33	0.18
R/Q	- 424	5.03	153.91	43.31	0.20
R/Q	- 503	5.97	153.91	51.38	0.24
R/Q	- 524	6.21	153.91	53.53	0.25
R/Q	- 636	7.54	153.91	64.97	0.30
R/Q	- 785	9.31	153.91	80.19	0.37



Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 26,84 \text{ kNm/m}'$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2684}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,028$$

Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,0 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,968$      $\xi = 0,091$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2684}{0,968 \cdot 22 \cdot 43,48} = 2,90 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 283 + preklop 40 cm** ( $A_s = 3,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 71,53 \text{ kNm/m}'$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7153}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,074$$

Očitano:  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,8 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,944$      $\xi = 0,153$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{7153}{0,944 \cdot 22 \cdot 43,48} = 7,92 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 785 + preklop 40 cm** ( $A_s = 9,31 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

## Kontrola pukotina

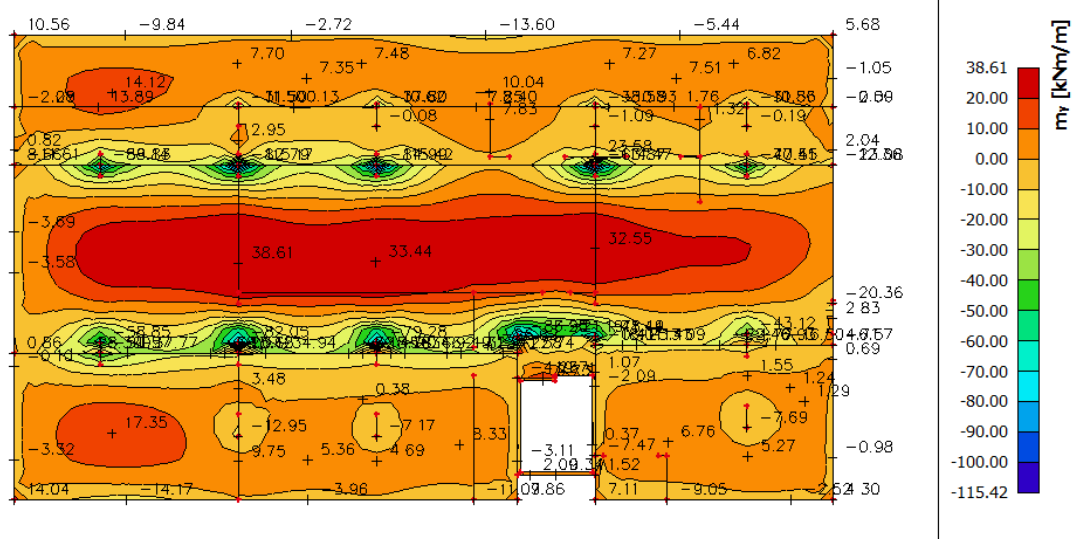
Ploča h= 30 cm

Mjerodavni momenti u ploči su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q

Prikazani su samo maksimalni radni momenti na ležaju i u polju (Slika).

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):  $w_k = S_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_g$

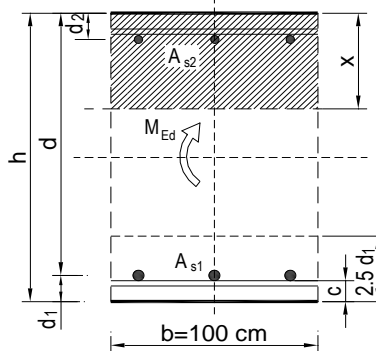


Slika 10.9 – Maksimalni momenti savijanja za kombinaciju GSU

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju :  $M_{Ed} = 38,61 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče donja zona: Q-503 + preklop 40 cm ( $A_s = 5,97 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

$b =$	100.0 cm	$d =$	27.0 cm	$h =$	30.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	5.97 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	38.61 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	252.25 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	4.08 cm	$r_{p,eff} =$	0.0080		
$(e_{sm}-e_{cm}) =$	0.000498 <	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000757		
$\emptyset =$	8.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	272.85 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm}-e_{cm}) = 0.206 \text{ mm} < w_g$					

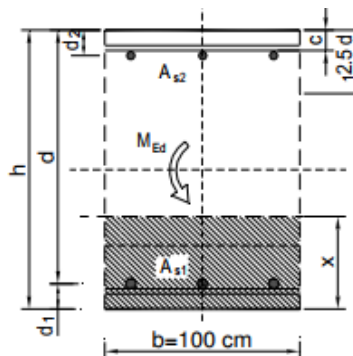


Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.206 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju :  $M_{Ed} = 79,28 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče gornja zona: R-785 + preklop 40 cm ( $A_{s1} = 9,31 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	79.28 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	336.13 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	5.00 cm	$r_{p,eff} =$	0.0124		
$(e_{sm}-e_{cm}) =$	0.001179 >	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.001008		
$\emptyset =$	10.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	238.95 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm}-e_{cm}) = 0.282 \text{ mm} < w_g$					



$$C_x = 0.167$$

$$C_c = 14.216$$

$$C_{s1} = 381.583$$

$$C_{s2} = -34.65$$

Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.282 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

## Kontrola pukotina

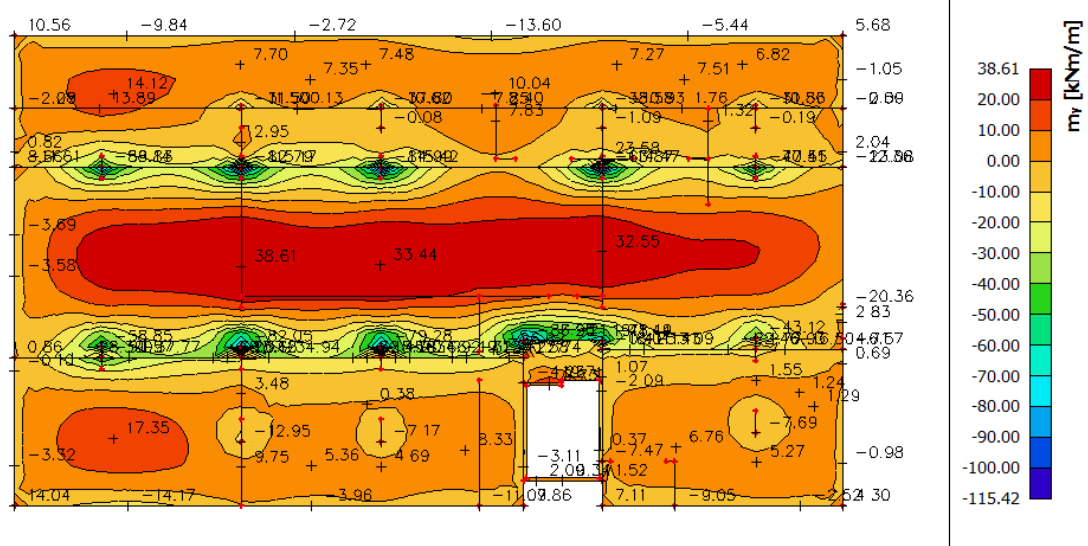
Ploča h= 25 cm

Mjerodavni momenti u ploči su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q

Prikazani su samo maksimalni radni momenti na ležaju i u polju (Slika).

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):  $w_k = S_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_g$

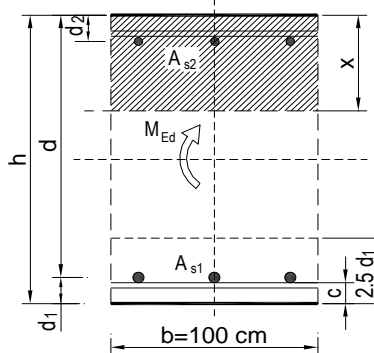


Slika 10.10 – Maksimalni momenti savijanja za kombinaciju GSU

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju :  $M_{Ed} = 17,35 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče donja zona: Q-283 + preklop 40 cm ( $A_s = 3,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

$b =$	100.0 cm	$d =$	22.0 cm	$h =$	25.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	3.36 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	17.35 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	245.13 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	2.80 cm	$r_{p,eff} =$	0.0045		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	-0.000103	$<$	$0.6 \cdot s_s / E_s =$	0.000735	
$\emptyset =$	6.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	329.68 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.242 mm	$<$	$w_g$		

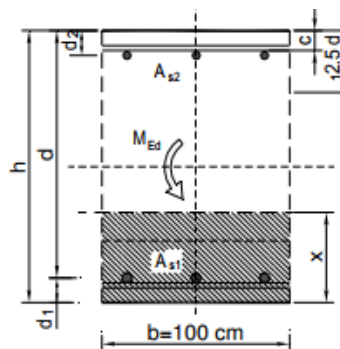


Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.242 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju :  $M_{Ed} = 59,14 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče gornja zona: R-785 + preklop 40 cm ( $A_{s1} = 9,31 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

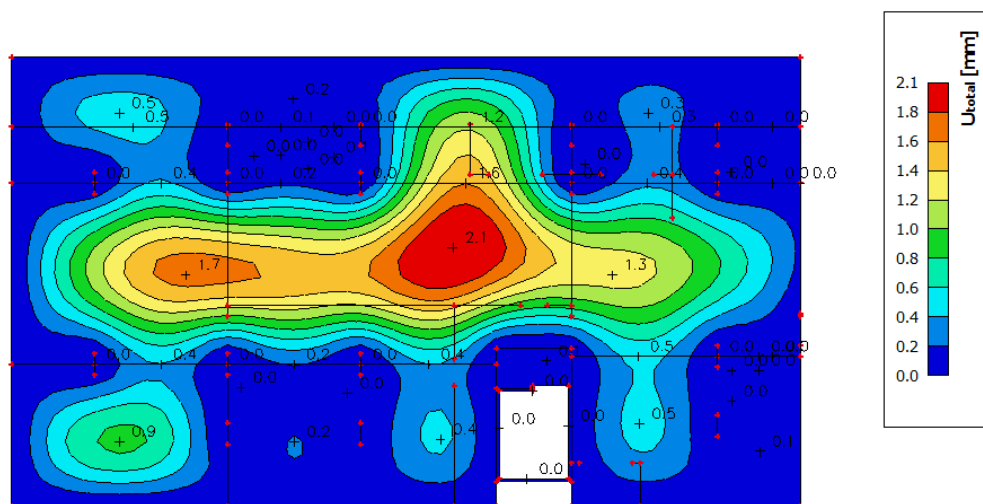
$b =$	100.0 cm	$d =$	22.0 cm	$h =$	25.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	9.31 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	59.14 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	309.68 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	4.46 cm	$r_{p,eff} =$	0.0124		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.001046	$>$	$0.6 \cdot s_s / E_s =$	0.000929	
$\emptyset =$	10.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	238.95 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.250 mm	$<$	$w_g$		



Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.250 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

## Kontrola progiba

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q



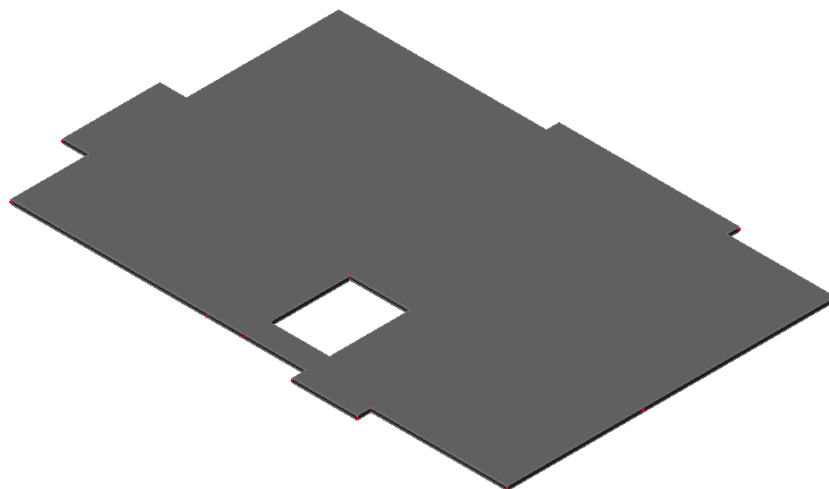
Slika 10.11 Prikaz progiba za ploču za kombinaciju GSU

Granična vrijednost progiba ploče u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{680}{250} = 2,72 \text{ cm}$

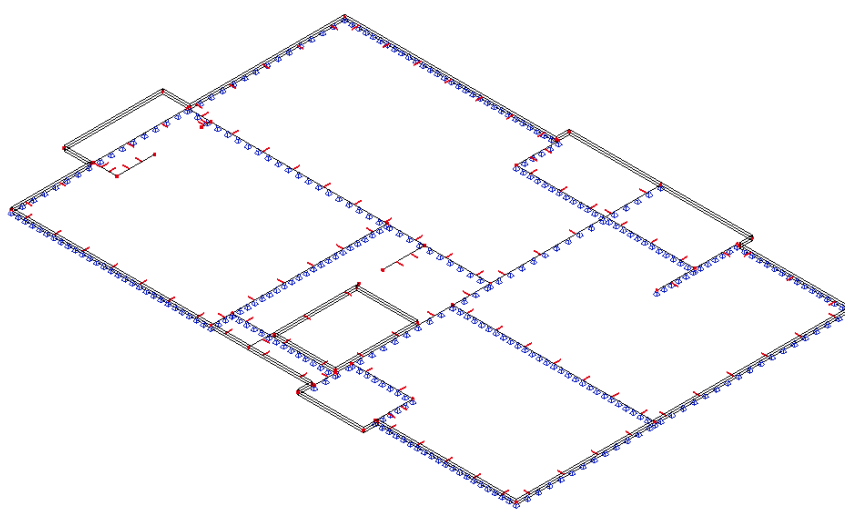
Kratkotrajni progib ploče (očitano iz modela):  $f_k = 0,21 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,21 = 0,63 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 2,72 \text{ cm}$

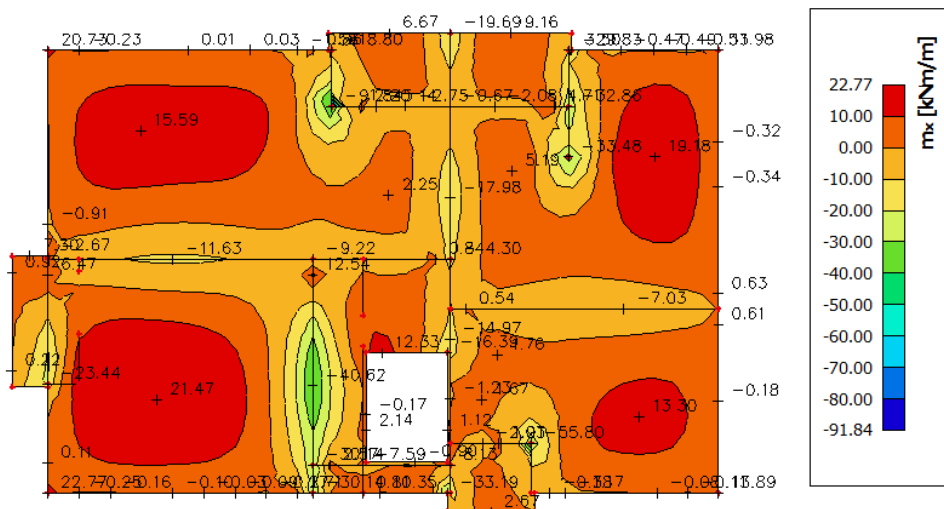
### 10.1.2. Ploča pozicije 200 - ploča 1. kata



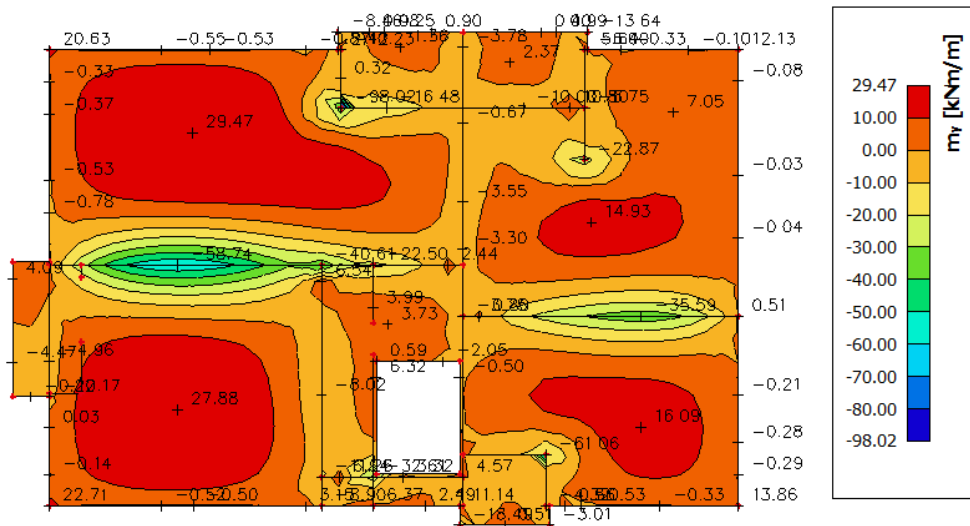
Slika 10.12 Prikaz pozicije 200



Slika 10.13 2D model ploče

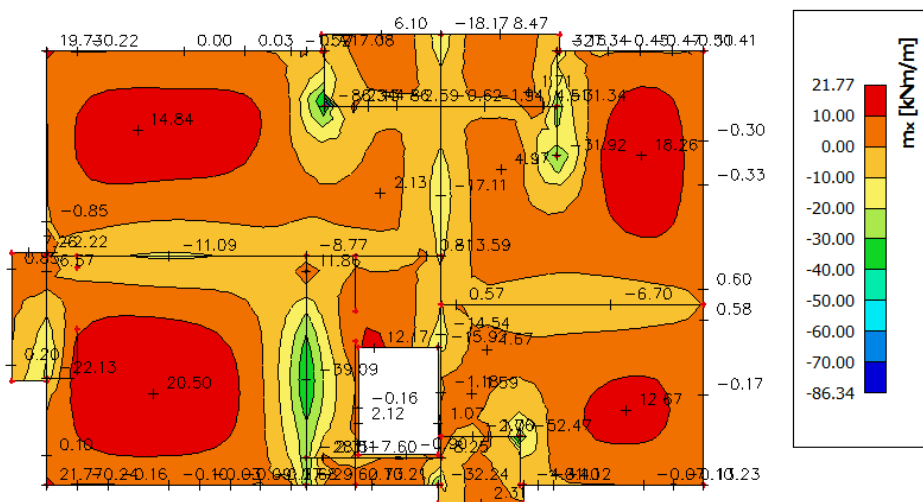


Slika 10.14 Prikaz momenata savijanja u polju  $m_x$  za kombinaciju GSN1

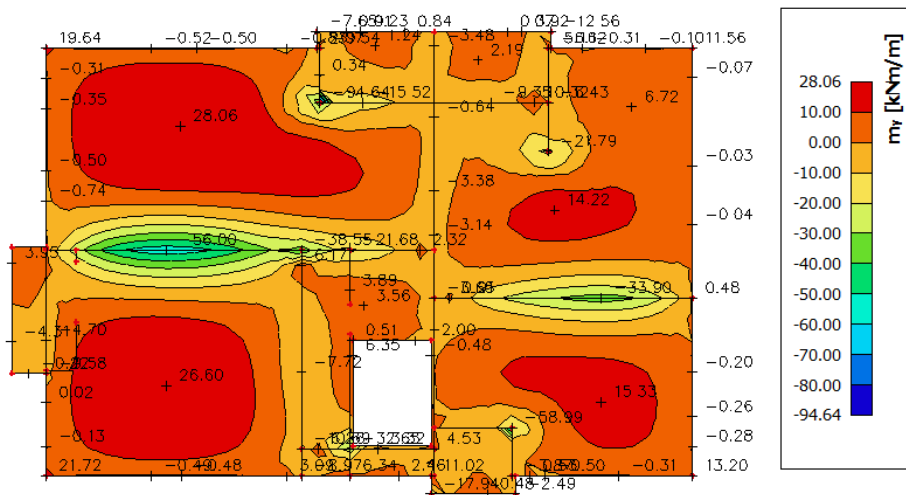


Slika 10.15 Prikaz momenata u polju  $m_y$  za kombinaciju GSN1



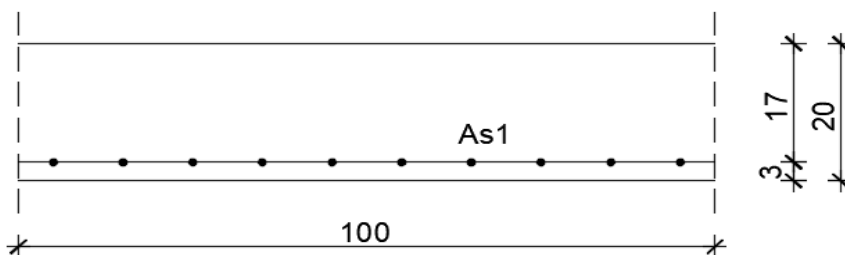


Slika 10.16 Prikaz momenata savijanja na ležajevima  $m_x$  za kombinaciju GSN2



Slika 10.17 Prikaz momenata na ležajevima  $m_y$  za kombinaciju GSN2

## Dimenzioniranje na savijanje



Slika 10.18 – Skica armature ploče u polju

Postupak dimenzioniranja:

$$C\ 30/37 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20\ \text{MPa}; \quad f_{cd} = 2,0\ \text{kN/cm}^2$$

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

$b=100\ \text{cm}; h=20\ \text{cm}; d=17\ \text{cm}$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \zeta \approx 0,9; \varepsilon_c/\varepsilon_s = 3,5/10$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim}^* \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 20 = 2,0\ \text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 20 = 40,0\ \text{cm}^2$$

U sljedećoj tablici prikazani su ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu za dimenzije ploče prema prethodnoj slici:

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 335	3.35	91.90	22.30	0.17
R/Q	- 385	3.85	91.90	25.62	0.19
R/Q	- 424	4.24	91.90	28.22	0.21
R/Q	- 503	5.03	91.90	33.48	0.25
R/Q	- 524	5.24	91.90	34.87	0.26
R/Q	- 636	6.36	91.90	42.33	0.32
R/Q	- 785	7.85	91.90	52.25	0.39

Sva armatura je veća od minimalne i manja od maksimalne. Zbog preraspodjele kod dugotrajnih efekata armaturu u polju uvijek birati veću od izračunate, a armaturu na ležajevima u skladu s izračunatom. Skica armature prikazana je u grafičkim priložima. Ako se u obzir uzmu i preklopi

$$\geq 40 \text{ cm} \left( A'_{s1} = A_{s1} \cdot \frac{\text{širina mreže (215)} + \text{preklop(40)}}{\text{širina mreže(215)}} \right) :$$

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 257	3.05	91.90	20.29	0.15
R/Q	- 283	3.36	91.90	22.34	0.17
R/Q	- 335	3.97	91.90	26.44	0.20
R/Q	- 385	4.57	91.90	30.39	0.23
R/Q	- 424	5.03	91.90	33.47	0.25
R/Q	- 503	5.97	91.90	39.71	0.30
R/Q	- 524	6.21	91.90	41.36	0.31
R/Q	- 636	7.54	91.90	50.20	0.38
R/Q	- 785	9.31	91.90	61.97	0.47

Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 29,47 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2947}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,051$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,4 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,956$      $\xi = 0,123$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2947}{0,956 \cdot 17 \cdot 43,48} = 4,17 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 424 + preklop 40 cm** ( $A_s = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 19,18 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1918}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,033$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,1 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,965$      $\xi = 0,099$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1918}{0,965 \cdot 17 \cdot 43,48} = 2,69 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 283 + preklop 40 cm** ( $A_s = 3,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 56,00 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5600}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,097$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 2,2 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,931$      $\xi = 0,180$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5600}{0,931 \cdot 17 \cdot 43,48} = 8,14 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 785 + preklop 40 cm** ( $A_s = 9,31 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 33,90 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3390}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,059$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,5 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,953$      $\xi = 0,130$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3390}{0,953 \cdot 17 \cdot 43,48} = 4,81 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 424 + preklop 40 cm** ( $A_s = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

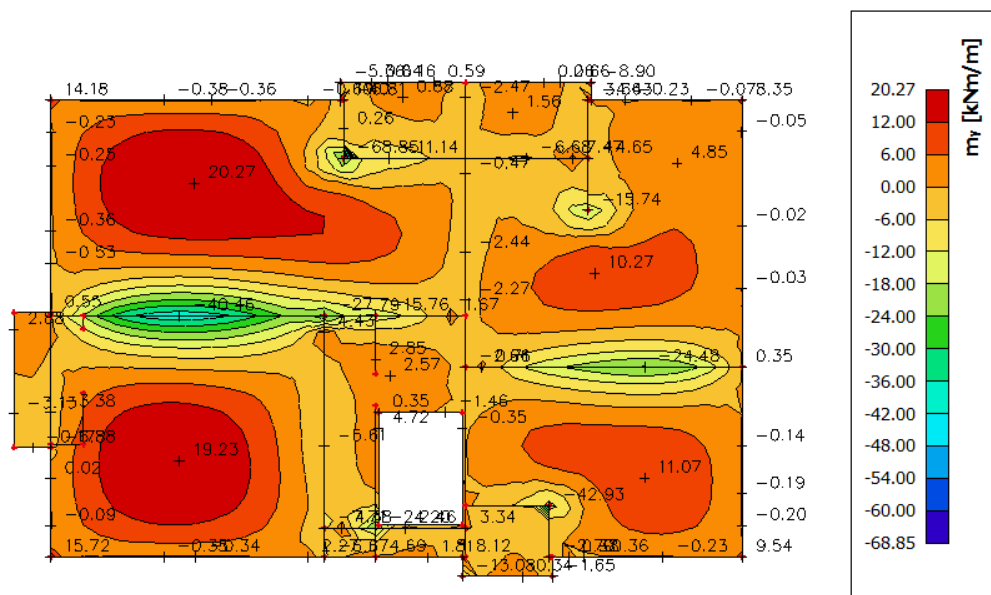
## Kontrola pukotina

Mjerodavni momenti u ploči su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q

Prikazani su samo maksimalni radni momenti na ležaju i u polju (Slika).

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):  $w_k = S_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_g$

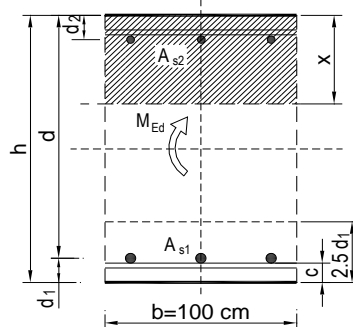


Slika 10.19 – Maksimalni momenti savijanja za kombinaciju GSU

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju :  $M_{Ed} = 20,27 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče donja zona: Q - 424 + preklop 40 cm ( $A_s = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

$b =$	100.0 cm	$d =$	17.0 cm	$h =$	20.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 $\text{MN/m}^2$	$f_{ctm} =$	2.90 $\text{MN/m}^2$	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	5.03 $\text{cm}^2$	$A_{s2} =$	0.00 $\text{cm}^2$	$d_1 = d_2 =$	3.0 cm
$E_s =$	200.00 $\text{GN/m}^2$	$E_{cm} =$	32.80 $\text{GN/m}^2$	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	20.27 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	251.53 $\text{MN/m}^2$				
$x =$	2.94 cm	$r_{p,eff} =$	0.0067		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000359	$< 0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000755		
$\emptyset =$	9.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	330.13 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.249 mm	$<$			

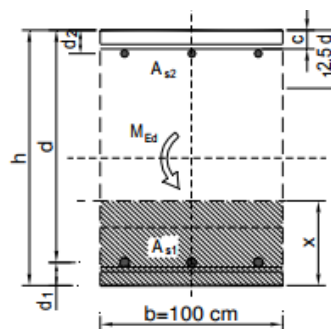


Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.249 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju :  $M_{Ed} = 40,46 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče gornja zona: R - 785 + preklop 40 cm ( $A_s = 9,31 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

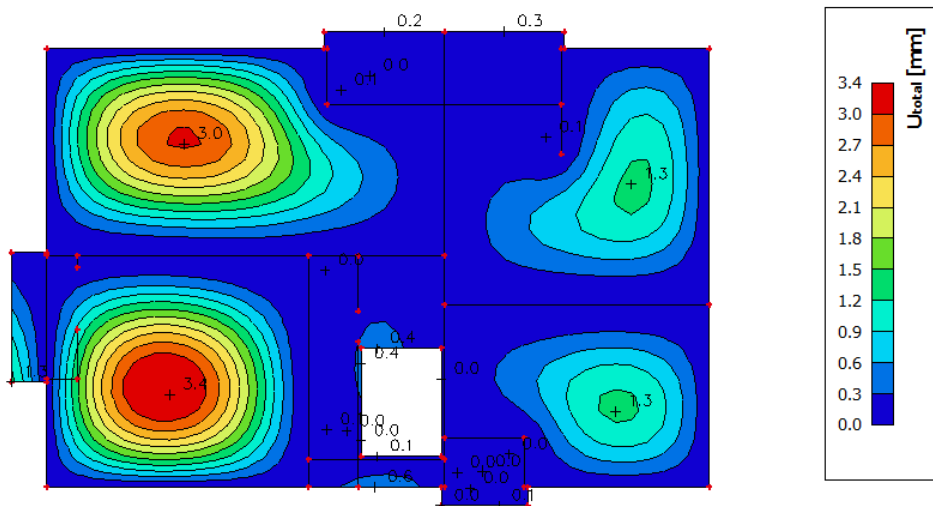
$b =$	100.0 cm	$d =$	17.0 cm	$h =$	20.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 $\text{MN/m}^2$	$f_{ctm} =$	2.90 $\text{MN/m}^2$	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	9.31 $\text{cm}^2$	$A_{s2} =$	0.00 $\text{cm}^2$	$d_1 = d_2 =$	3.0 cm
$E_s =$	200.00 $\text{GN/m}^2$	$E_{cm} =$	32.80 $\text{GN/m}^2$	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	40.46 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	276.58 $\text{MN/m}^2$				
$x =$	3.86 cm	$r_{p,eff} =$	0.0124		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000881	$>$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000830	
$\emptyset =$	10.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	238.95 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.210 mm	$<$			



Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.210 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

## Kontrola progiba

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q



Slika 10.20 Prikaz progiba za ploču za kombinaciju GSU

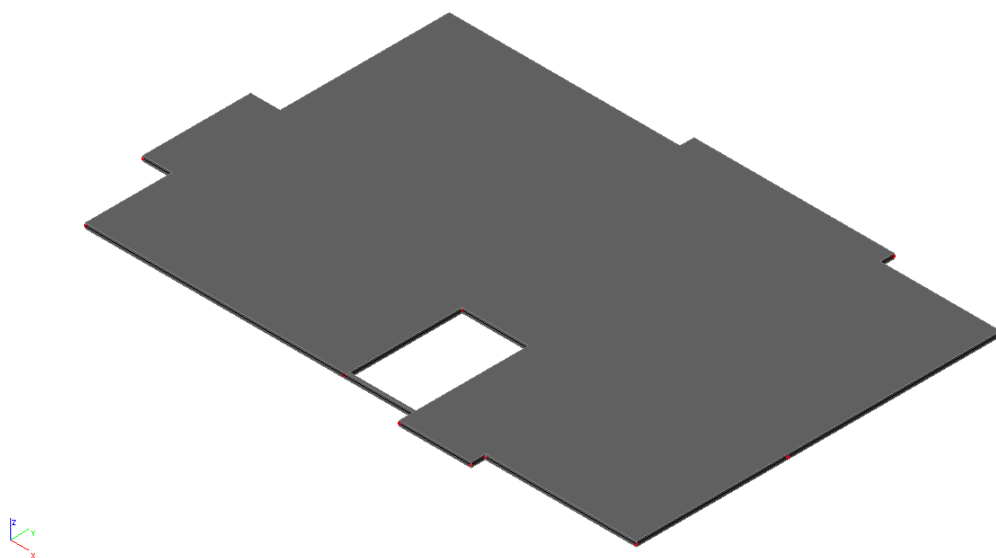
Granična vrijednost progiba ploče u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{750}{250} = 3,0 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib ploče (očitano iz modela):  $f_k = 0,34 \text{ cm}$

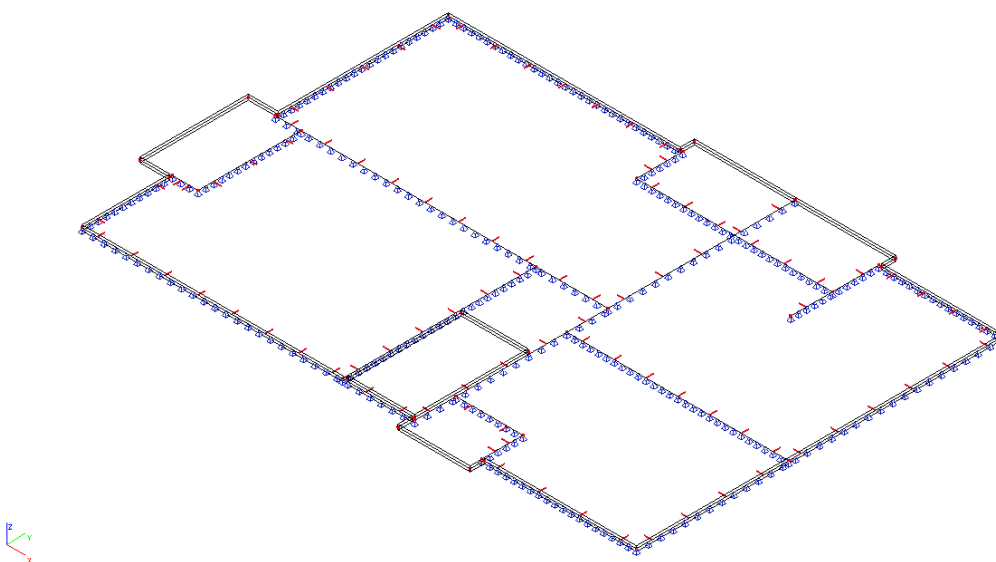
Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,34 = 1,02 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 3,0 \text{ cm}$



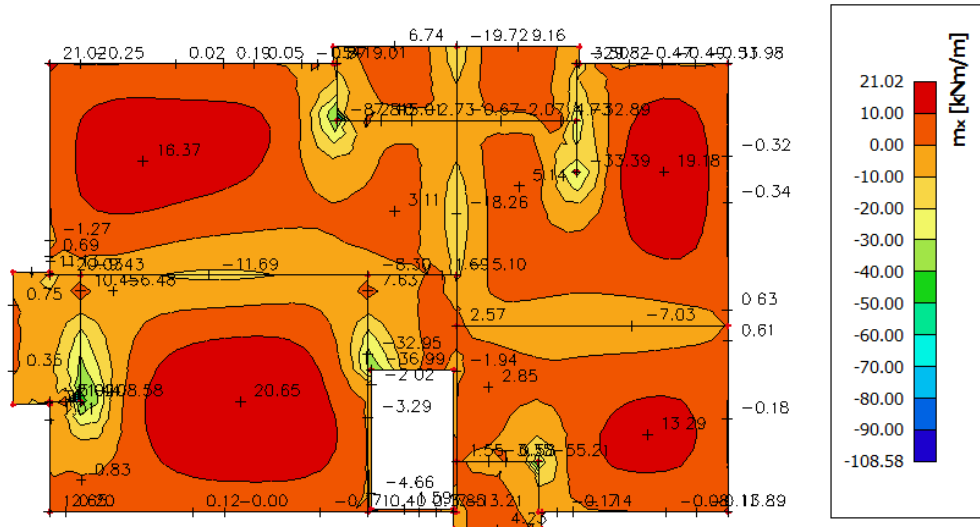
### 10.1.3. Ploča pozicije 300 - ploča 2. kata



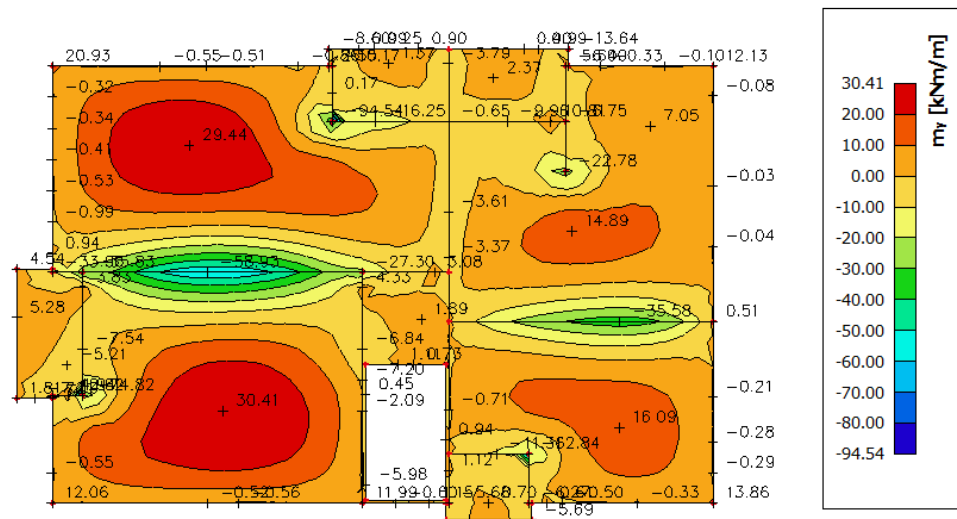
Slika 10.21 Prikaz pozicije 300



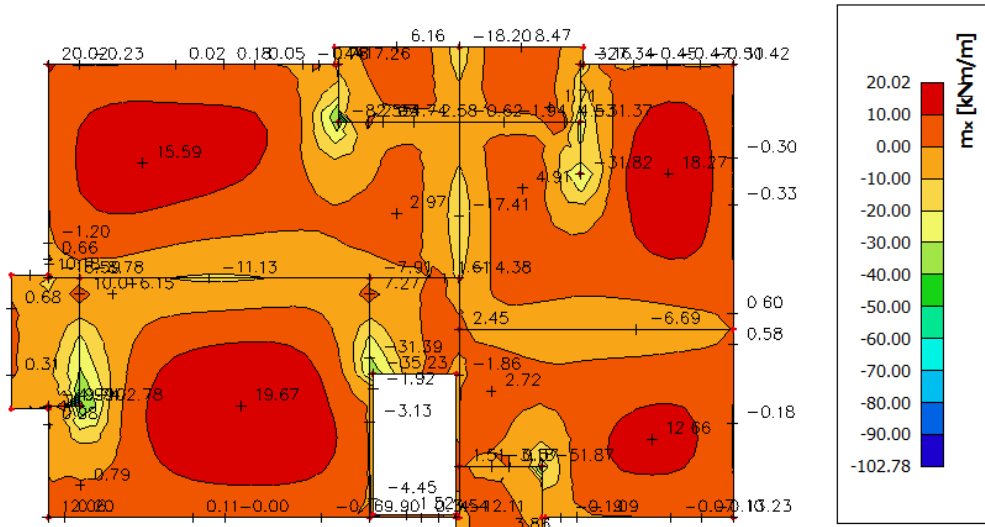
Slika 10.22 2D model ploče



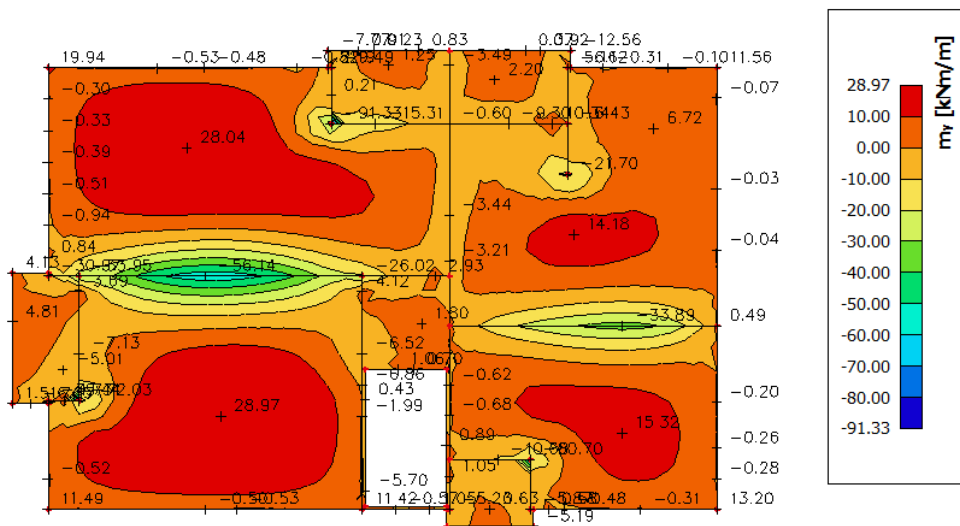
Slika 10.23 Prikaz momenata savijanja u polju  $m_x$  za kombinaciju GSN1



Slika 10.24 Prikaz momenata u polju  $m_y$  za kombinaciju GSN1

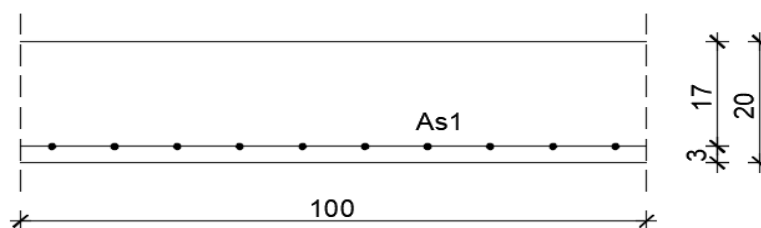


Slika 10.25 Prikaz momenata savijanja na ležajevima  $m_x$  za kombinaciju GSN2



Slika 10.26 Prikaz momenata na ležajevima  $m_y$  za kombinaciju GSN2

## Dimenzioniranje na savijanje



Slika 10.27 – Skica armature ploče u polju

Postupak dimenzioniranja:

$$C\ 30/37 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20\ \text{MPa}; \quad f_{cd} = 2,0\ \text{kN/cm}^2$$

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

$b=100\ \text{cm}$ ;  $h=20\ \text{cm}$ ;  $d=17\ \text{cm}$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta \approx 0,9; \quad \varepsilon_c/\varepsilon_s = 3,5/10$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim}^* \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 20 = 2,0\ \text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 20 = 40,0\ \text{cm}^2$$

U sljedećoj tablici prikazani su ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu za dimenzije ploče prema prethodnoj slici:

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 335	3.35	91.90	22.30	0.17
R/Q	- 385	3.85	91.90	25.62	0.19
R/Q	- 424	4.24	91.90	28.22	0.21
R/Q	- 503	5.03	91.90	33.48	0.25
R/Q	- 524	5.24	91.90	34.87	0.26
R/Q	- 636	6.36	91.90	42.33	0.32
R/Q	- 785	7.85	91.90	52.25	0.39

Sva armatura je veća od minimalne i manja od maksimalne. Zbog preraspodjele kod dugotrajnih efekata armaturu u polju uvijek birati veću od izračunate, a armaturu na ležajevima u skladu s izračunatom. Skica armature prikazana je u grafičkim priložima. Ako se u obzir uzmu i preklopi

$$\geq 40 \text{ cm} \left( A'_{s1} = A_{s1} \cdot \frac{\text{širina mreže (215)} + \text{preklop(40)}}{\text{širina mreže(215)}} \right) :$$

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 257	3.05	91.90	20.29	0.15
R/Q	- 283	3.36	91.90	22.34	0.17
R/Q	- 335	3.97	91.90	26.44	0.20
R/Q	- 385	4.57	91.90	30.39	0.23
R/Q	- 424	5.03	91.90	33.47	0.25
R/Q	- 503	5.97	91.90	39.71	0.30
R/Q	- 524	6.21	91.90	41.36	0.31
R/Q	- 636	7.54	91.90	50.20	0.38
R/Q	- 785	9.31	91.90	61.97	0.47

Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 30,41 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3041}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,053$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,4 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,956$      $\xi = 0,123$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3041}{0,956 \cdot 17 \cdot 43,48} = 4,3 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 424 + preklop 40 cm** ( $A_s = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 19,18 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1918}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,033$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,1 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,965$      $\xi = 0,099$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1918}{0,965 \cdot 17 \cdot 43,48} = 2,69 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 283 + preklop 40 cm** ( $A_s = 3,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 56,14 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5614}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,097$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 2,2 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,931$      $\xi = 0,180$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5614}{0,931 \cdot 17 \cdot 43,48} = 8,16 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 785 + preklop 40 cm** ( $A_s = 9,31 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 33,89 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3389}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,059$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,5 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,953$      $\xi = 0,130$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3389}{0,953 \cdot 17 \cdot 43,48} = 4,81 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 424 + preklop 40 cm** ( $A_s = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

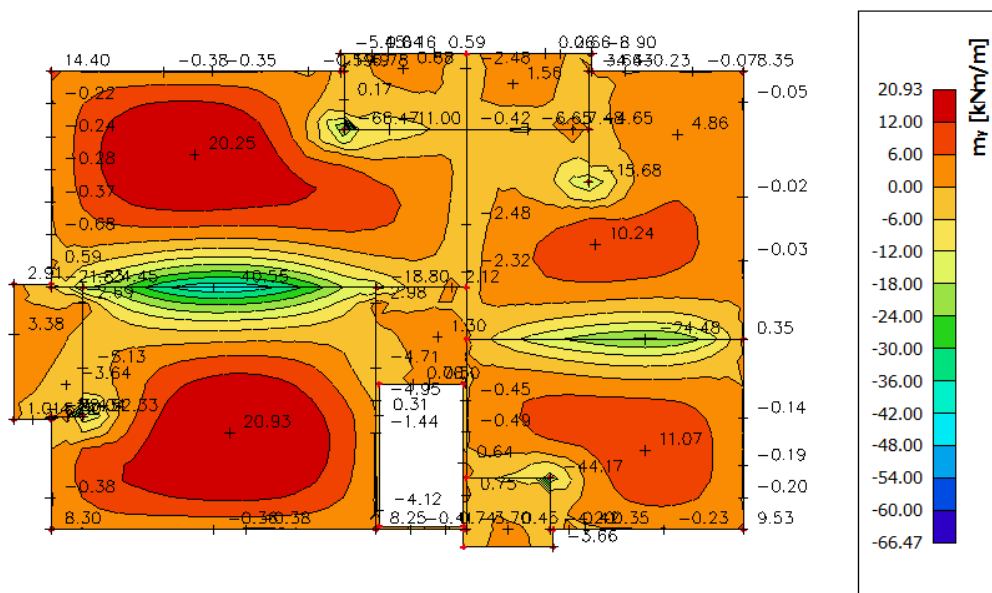
## Kontrola pukotina

Mjerodavni momenti u ploči su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q

Prikazani su samo maksimalni radni momenti na ležaju i u polju (Slika).

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):  $w_k = S_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_g$



Slika 10.28 – Maksimalni momenti savijanja za kombinaciju GSU

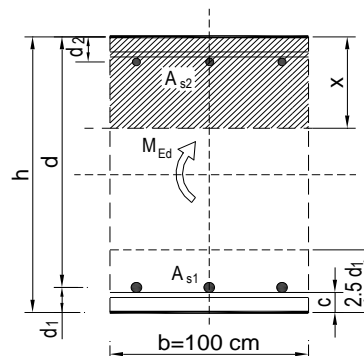


Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju :  $M_{Ed} = 20,93 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče donja zona: Q - 424 + preklop 40 cm ( $A_s = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

$b =$	100.0 cm	$d =$	17.0 cm	$h =$	20.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	5.03 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	20.93 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	259.72 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	2.94 cm	$r_{p,eff} =$	0.0067		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000400	$<$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000779	
$\emptyset =$	9.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	330.13 mm				

$$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) = 0.257 \text{ mm} < w_g$$



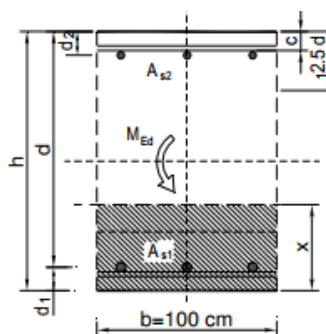
Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.257 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju :  $M_{Ed} = 40,55 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče gornja zona: R - 785 + preklop 40 cm ( $A_s = 9.31 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

$b =$	100.0 cm	$d =$	17.0 cm	$h =$	20.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	9.31 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	40.55 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	277.20 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	3.86 cm	$r_{p,eff} =$	0.0124		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000884	$>$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000832	
$\emptyset =$	10.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	238.95 mm				

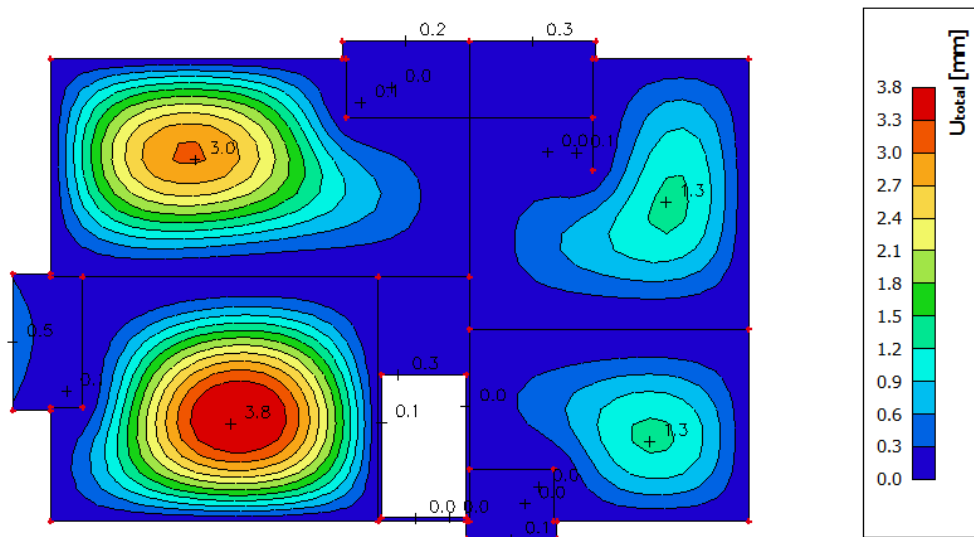
$$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) = 0.211 \text{ mm} < w_g$$



Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.211 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

## Kontrola progiba

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q



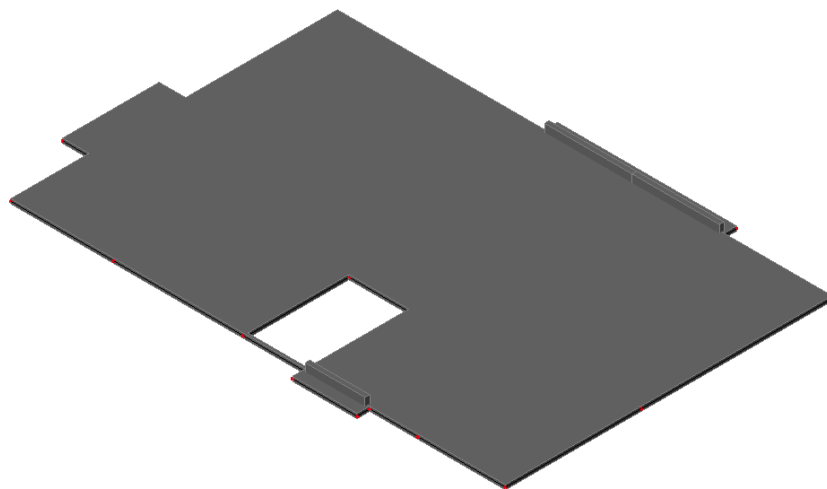
Slika 10.29 Prikaz progiba za ploču za kombinaciju GSU

Granična vrijednost progiba ploče u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{750}{250} = 3,0 \text{ cm}$

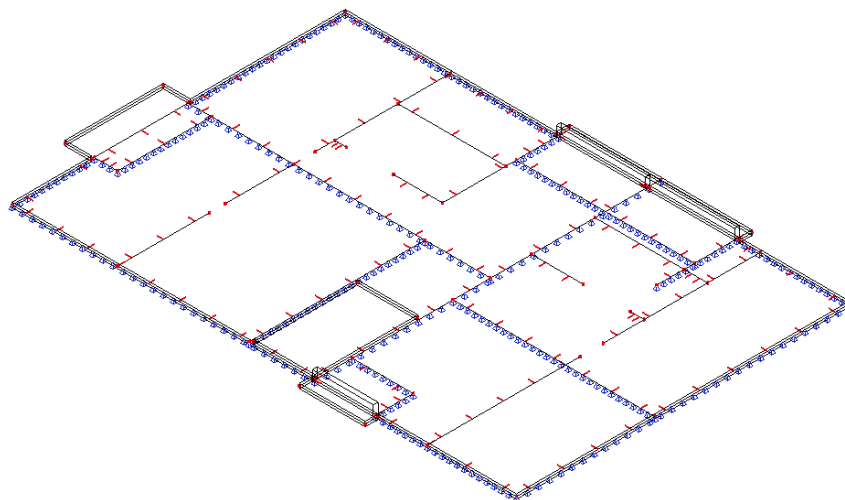
Kratkotrajni progib ploče (očitano iz modela):  $f_k = 0,38 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,38 = 1,14 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 3,0 \text{ cm}$

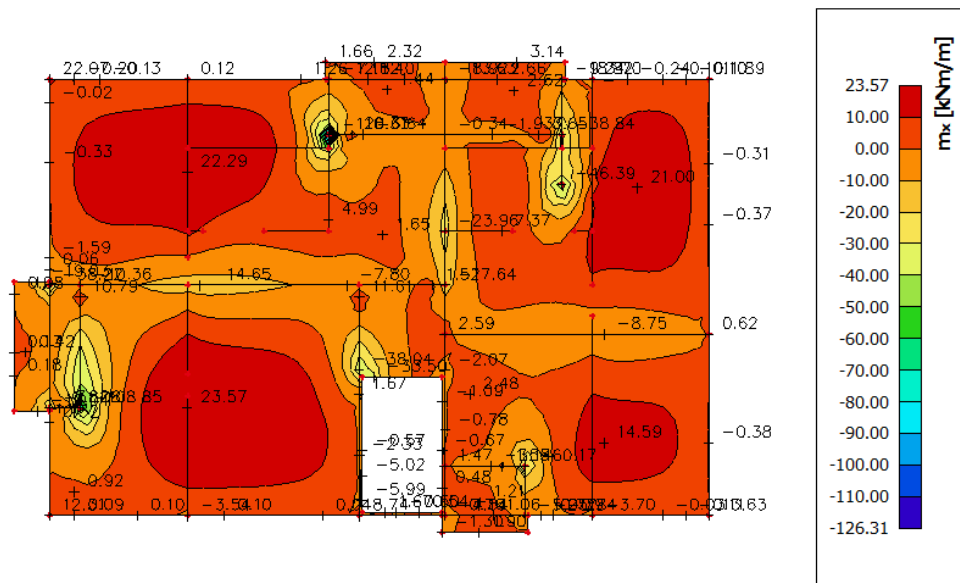
### 10.1.4. Ploča pozicije 400 - ploča 3. kata



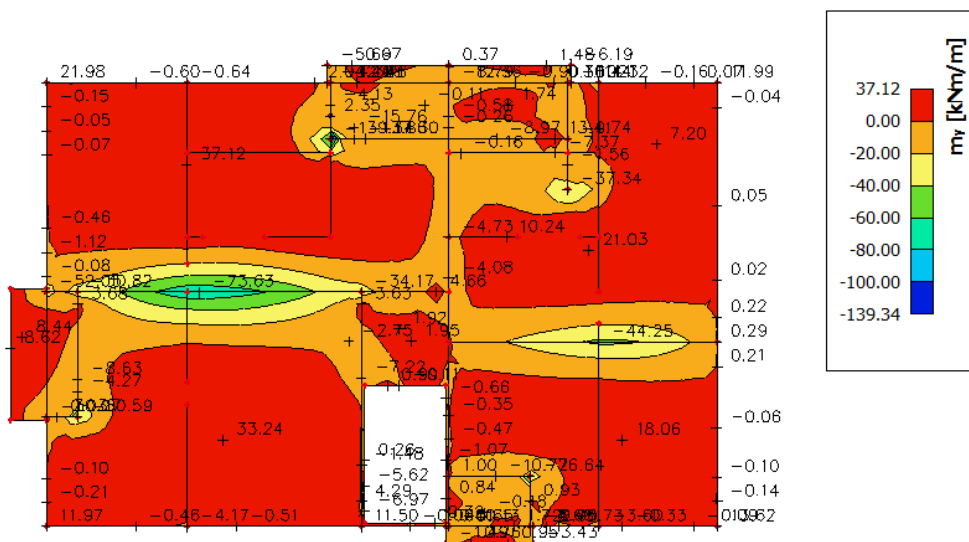
Slika 10.30 Prikaz pozicije 400



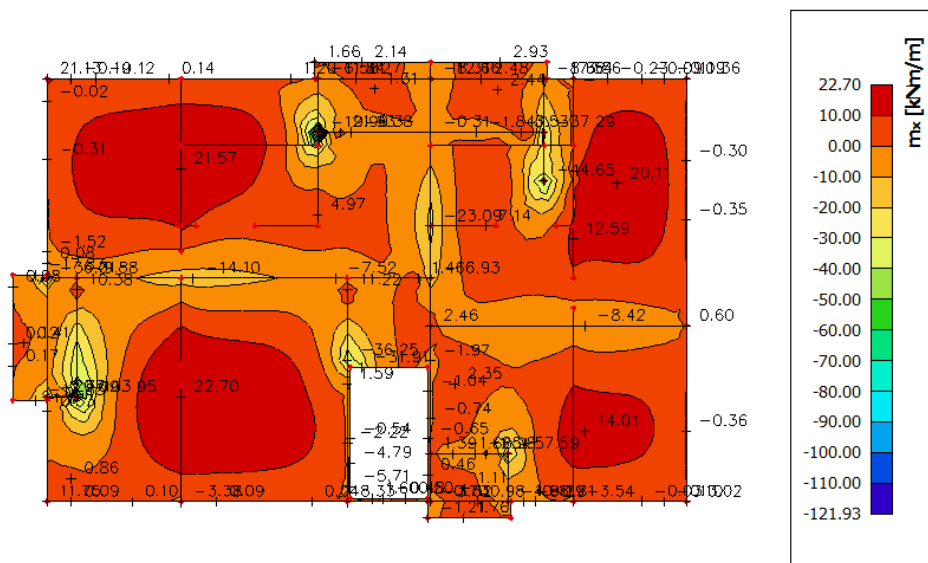
Slika 10.31 2D model ploče



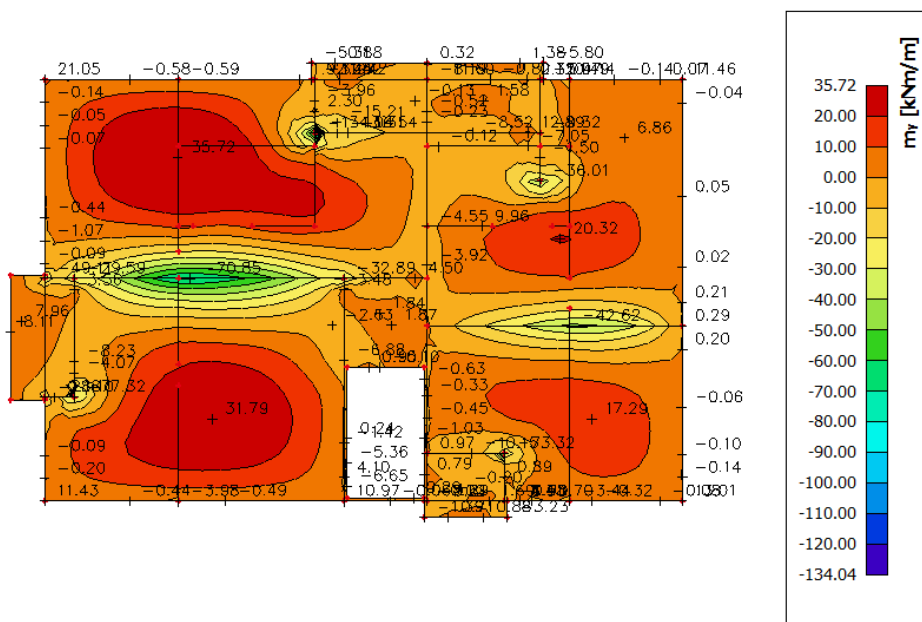
Slika 10.32 Prikaz momenata savijanja u polju  $m_x$  za kombinaciju GSN1



Slika 10.33 Prikaz momenata u polju  $m_y$  za kombinaciju GSN1

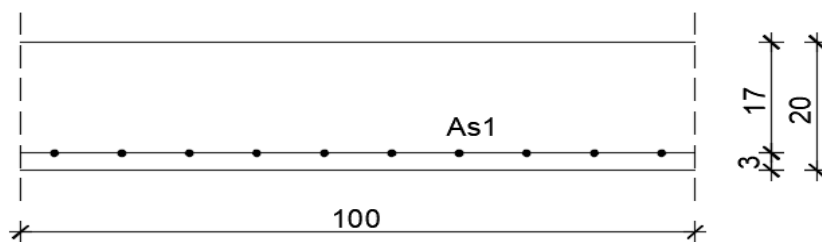


Slika 10.34 Prikaz momenata savijanja na ležajevima  $m_x$  za kombinaciju GSN2



Slika 10.35 Prikaz momenata na ležajevima  $m_y$  za kombinaciju GSN2

### Dimenzioniranje na savijanje



Slika 10.36 – Skica armature ploče u polju

Postupak dimenzioniranja:

$$C\ 30/37 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20\ \text{MPa}; \quad f_{cd} = 2,0\ \text{kN/cm}^2$$

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

$b=100\ \text{cm}; h=20\ \text{cm}; d=17\ \text{cm}$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \zeta \approx 0,9; \varepsilon_c/\varepsilon_s = 3,5/10$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim}^* \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 20 = 2,0\ \text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 20 = 40,0\ \text{cm}^2$$

U sljedećoj tablici prikazani su ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu za dimenzije ploče prema prethodnoj slici:

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 335	3.35	91.90	22.30	0.17
R/Q	- 385	3.85	91.90	25.62	0.19
R/Q	- 424	4.24	91.90	28.22	0.21
R/Q	- 503	5.03	91.90	33.48	0.25
R/Q	- 524	5.24	91.90	34.87	0.26
R/Q	- 636	6.36	91.90	42.33	0.32
R/Q	- 785	7.85	91.90	52.25	0.39

Sva armatura je veća od minimalne i manja od maksimalne. Zbog preraspodjele kod dugotrajnih efekata armaturu u polju uvijek birati veću od izračunate, a armaturu na ležajevima u skladu s izračunatom. Skica armature prikazana je u grafičkim priložima. Ako se u obzir uzmu i preklopi

$$\geq 40 \text{ cm} \left( A'_{s1} = A_{s1} \cdot \frac{\text{širina mreže (215)} + \text{preklop(40)}}{\text{širina mreže(215)}} \right) :$$

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 257	3.05	91.90	20.29	0.15
R/Q	- 283	3.36	91.90	22.34	0.17
R/Q	- 335	3.97	91.90	26.44	0.20
R/Q	- 385	4.57	91.90	30.39	0.23
R/Q	- 424	5.03	91.90	33.47	0.25
R/Q	- 503	5.97	91.90	39.71	0.30
R/Q	- 524	6.21	91.90	41.36	0.31
R/Q	- 636	7.54	91.90	50.20	0.38
R/Q	- 785	9.31	91.90	61.97	0.47

Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 37,12 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3712}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,064$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,6 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,950$      $\xi = 0,138$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3712}{0,950 \cdot 17 \cdot 43,48} = 5,29 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 503 + preklop 40 cm** ( $A_s = 5,97 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 21,03 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2103}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,036$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,1 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,965$      $\xi = 0,099$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2103}{0,965 \cdot 17 \cdot 43,48} = 2,95 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 283 + preklop 40 cm** ( $A_s = 3,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ )



Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 70,85 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7085}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,123$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 2,7 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,916$      $\xi = 0,213$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{7085}{0,916 \cdot 17 \cdot 43,48} = 10,46 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 785 + preklop 90 cm** ( $A_s = 11,14 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 42,62 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4262}{100 \cdot 17^2 \cdot 2,0} = 0,074$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,8 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,944$      $\xi = 0,153$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{4262}{0,944 \cdot 17 \cdot 43,48} = 6,11 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 524 + preklop 40 cm** ( $A_s = 6,21 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

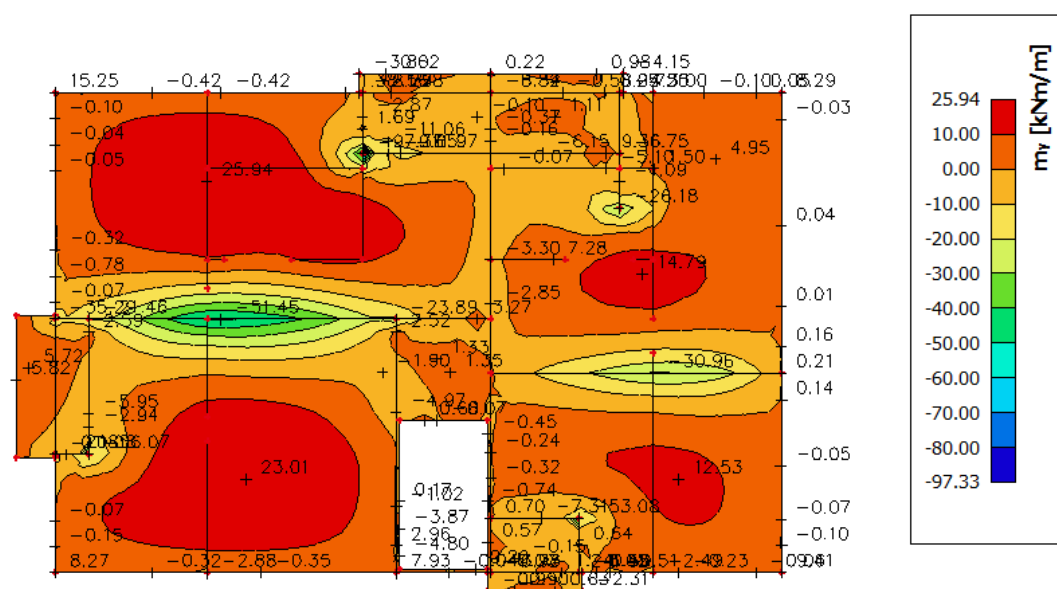
## Kontrola pukotina

Mjerodavni momenti u ploči su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q

Prikazani su samo maksimalni radni momenti na ležaju i u polju (Slika).

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):  $w_k = S_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_g$

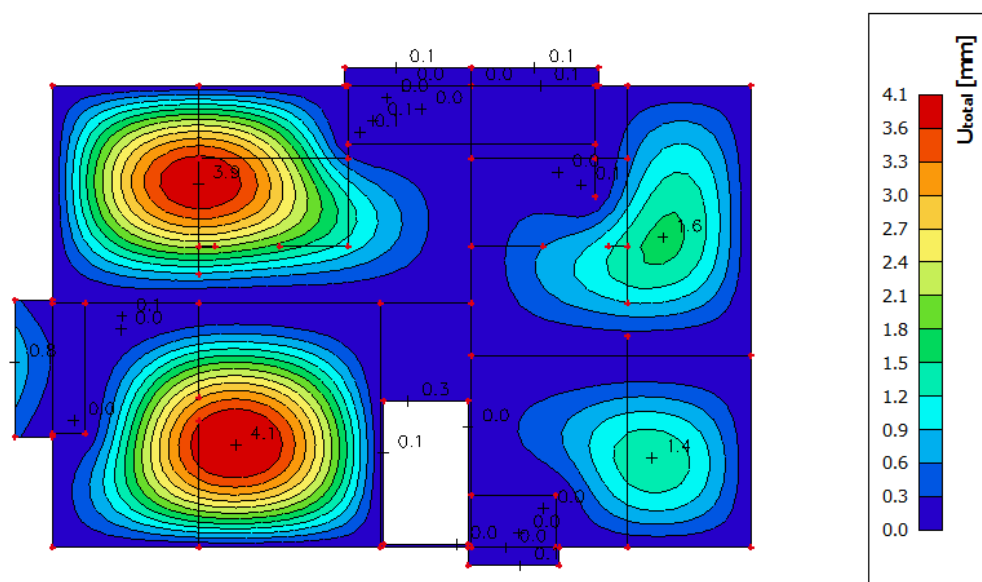


Slika 10.37 – Maksimalni momenti savijanja za kombinaciju GSU



## Kontrola progiba

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q



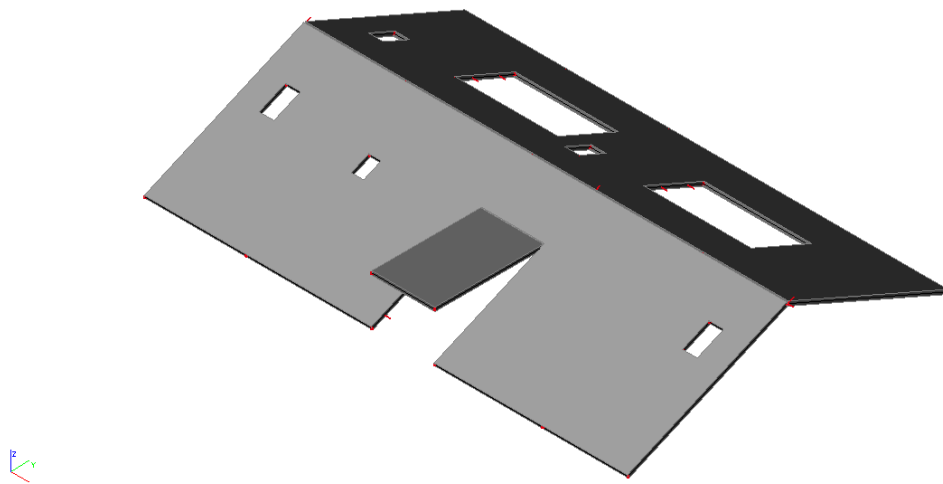
Slika 10.38 Prikaz progiba za ploču za kombinaciju GSU

Granična vrijednost progiba ploče u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{750}{250} = 3,0 \text{ cm}$

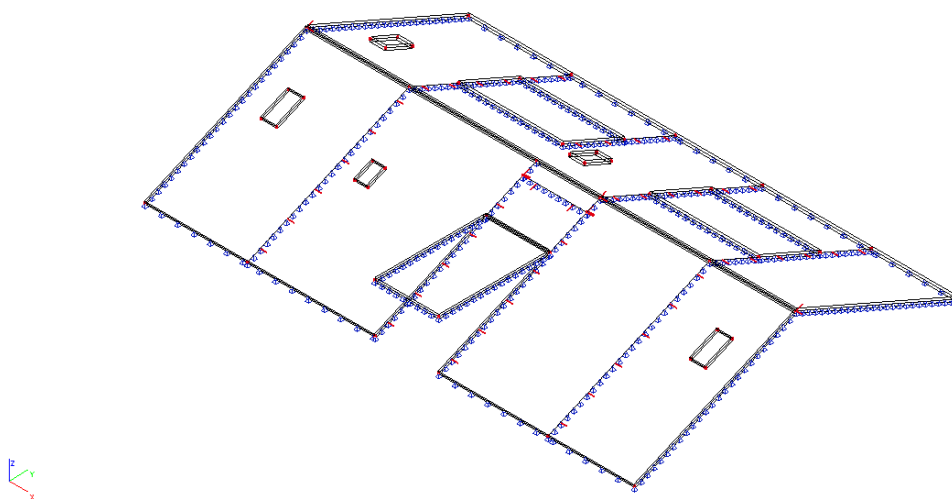
Kratkotrajni progib ploče (očitano iz modela):  $f_k = 0,41 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,41 = 1,23 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 3,0 \text{ cm}$

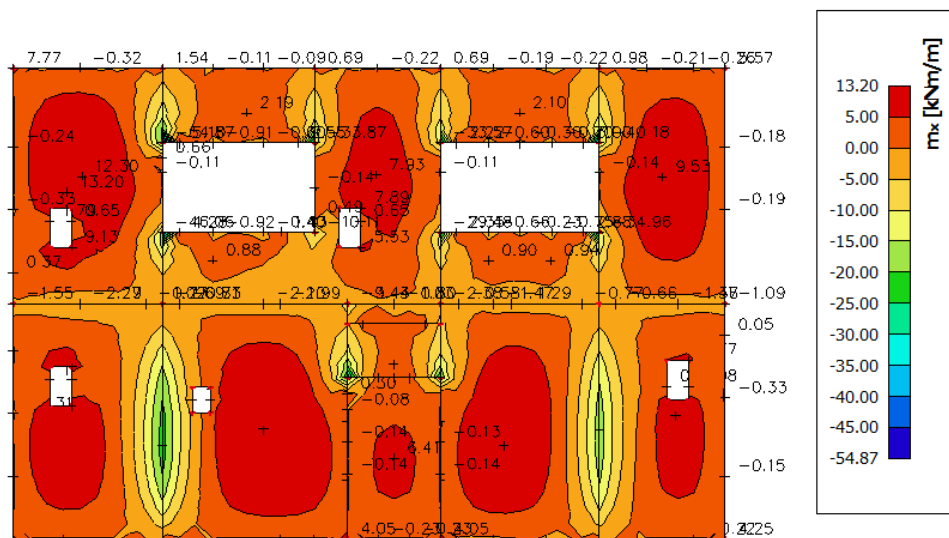
### 10.1.5. Ploča pozicije 500 – krovna ploča



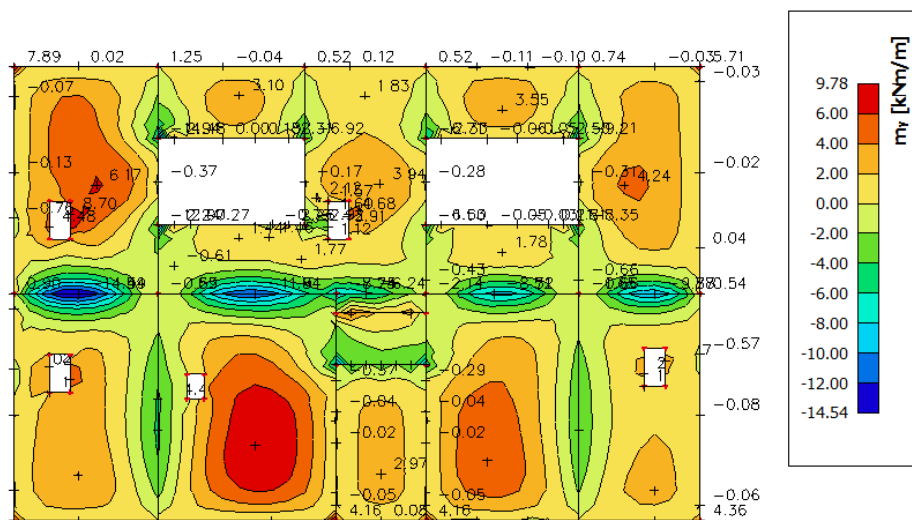
Slika 10.39 Prikaz pozicije 500



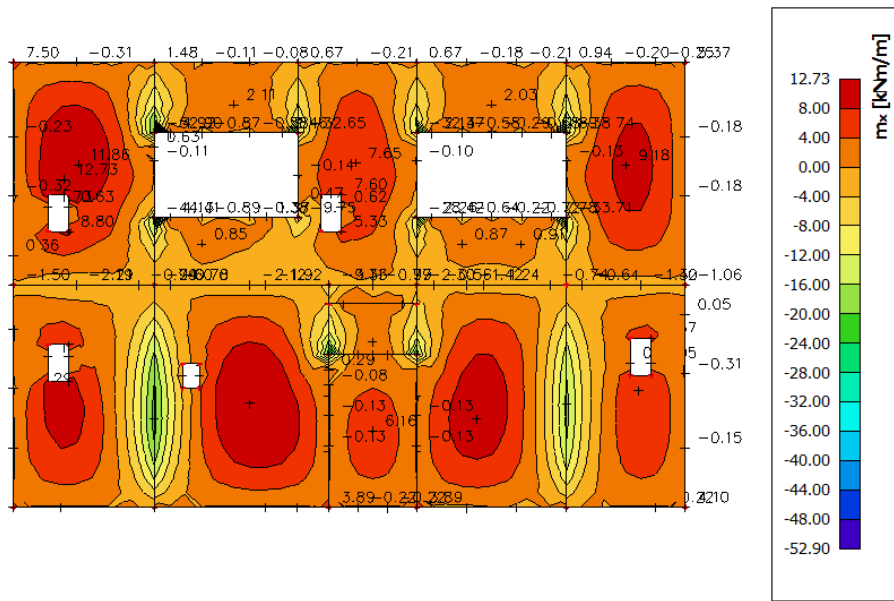
Slika 10.40 2D model ploče



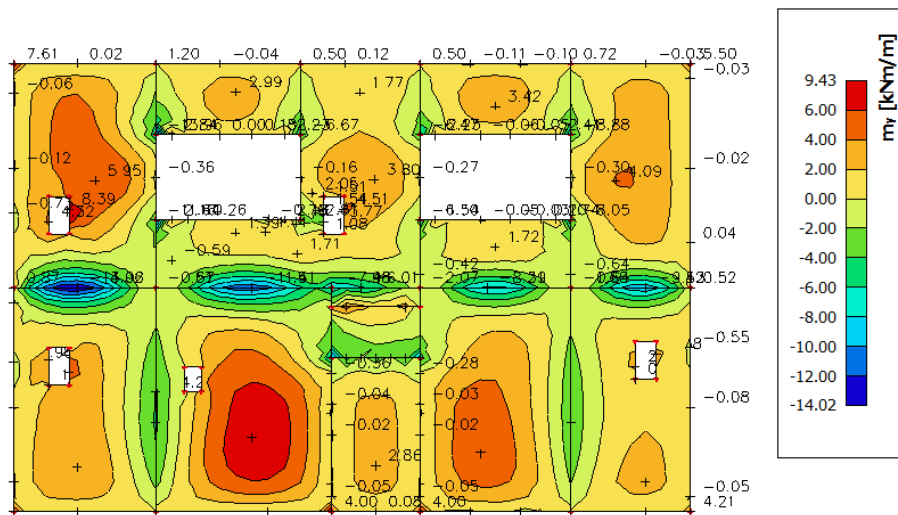
Slika 10.41 Prikaz momenata savijanja u polju  $m_x$  za kombinaciju GSN1



Slika 10.42 Prikaz momenata u polju  $m_y$  za kombinaciju GSN1

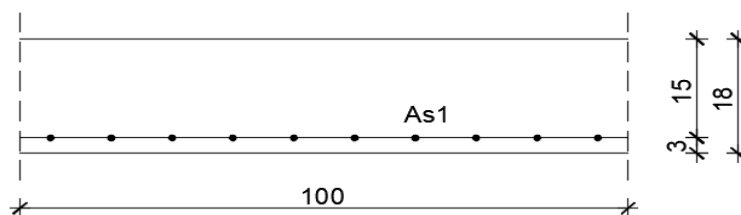


Slika 10.43 Prikaz momenata savijanja na ležajevima  $m_x$  za kombinaciju GSN2



Slika 10.44 Prikaz momenata na ležajevima  $m_y$  za kombinaciju GSN2

### Dimenzioniranje na savijanje



Slika 10.45 – Skica armature ploče u polju

Postupak dimenzioniranja:

$$C\ 30/37 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20\ \text{MPa}; \quad f_{cd} = 2,0\ \text{kN/cm}^2$$

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

$b=100\ \text{cm}; h=18\ \text{cm}; d=15\ \text{cm}$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \zeta \approx 0,9; \varepsilon_c / \varepsilon_s = 3,5/10$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,c,lim}^* \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 18 = 1,8\ \text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 18 = 36,0\ \text{cm}^2$$



U sljedećoj tablici prikazani su ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu za dimenzije ploče prema prethodnoj slici:

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 335	3.35	71.55	19.67	0.19
R/Q	- 385	3.85	71.55	22.61	0.21
R/Q	- 424	4.24	71.55	24.90	0.24
R/Q	- 503	5.03	71.55	29.54	0.28
R/Q	- 524	5.24	71.55	30.77	0.29
R/Q	- 636	6.36	71.55	37.35	0.35
R/Q	- 785	7.85	71.55	46.10	0.44

Sva armatura je veća od minimalne i manja od maksimalne. Zbog preraspodjele kod dugotrajnih efekata armaturu u polju uvijek birati veću od izračunate, a armaturu na ležajevima u skladu s izračunatom. Skica armature prikazana je u grafičkim priložima. Ako se u obzir uzmu i preklopi

$$\geq 40 \text{ cm} \left( A'_{s1} = A_{s1} \cdot \frac{\text{širina mreže (215)} + \text{preklop(40)}}{\text{širina mreže(215)}} \right) :$$

Mreža		Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[cm <sup>2</sup> /m <sup>1</sup> ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q	- 257	3.05	71.55	17.90	0.17
R/Q	- 283	3.36	71.55	19.71	0.19
R/Q	- 335	3.97	71.55	23.33	0.22
R/Q	- 385	4.57	71.55	26.82	0.25
R/Q	- 424	5.03	71.55	29.53	0.28
R/Q	- 503	5.97	71.55	35.03	0.33
R/Q	- 524	6.21	71.55	36.50	0.35
R/Q	- 636	7.54	71.55	44.30	0.42
R/Q	- 785	9.31	71.55	54.68	0.52

Donja zona ploče (polje):

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed,max} = 13,20 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1320}{100 \cdot 15^2 \cdot 2,0} = 0,029$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,0 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,968$      $\xi = 0,091$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1320}{0,968 \cdot 15 \cdot 43,48} = 2,10 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 283 + preklop 40 cm** ( $A_s = 3,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Gornja zona ploče (ležajevi):

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed,min} = 22,28 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2228}{100 \cdot 15^2 \cdot 2,0} = 0,050$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,4 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,956$      $\xi = 0,123$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2228}{0,956 \cdot 15 \cdot 43,48} = 3,57 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **R - 385 + preklop 40 cm** ( $A_s = 4,57 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

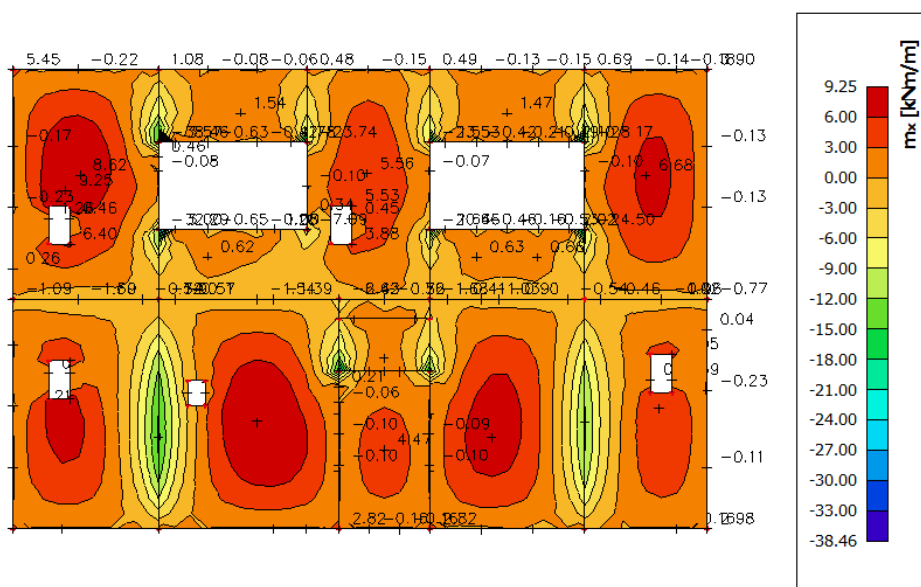
## Kontrola pukotina

Mjerodavni momenti u ploči su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q

Prikazani su samo maksimalni radni momenti na ležaju i u polju (Slika).

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):  $w_k = S_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_g$



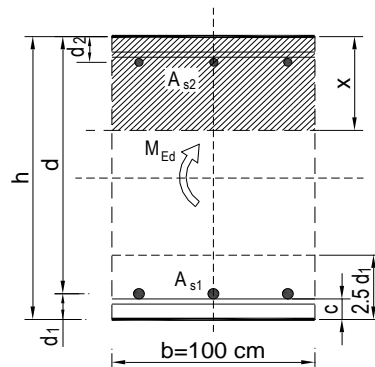
Slika 10.46 – Maksimalni momenti savijanja za kombinaciju GSU

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju :  $M_{Ed} = 9,25 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče donja zona: Q - 283 + preklop 40 cm ( $A_s = 3,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

$b =$	100.0 cm	$d =$	15.0 cm	$h =$	18.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	3.36 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	9.25 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	193.34 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	2.28 cm	$r_{p,eff} =$	0.0045		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	-0.000362	$<$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000580	
$\emptyset =$	6.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	329.68 mm				

$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) = 0.191 \text{ mm} < w_g$



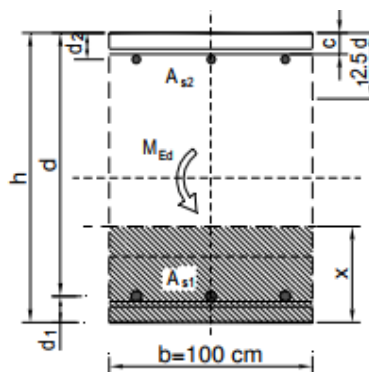
Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.191 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju :  $M_{Ed} = 15,62 \text{ kNm/m}$

Armatura ploče gornja zona: R - 385 + preklop 40 cm ( $A_s = 4,57 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	15.62 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	241.98 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	2.63 cm	$r_{p,eff} =$	0.0061		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000224	$<$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000726	
$\emptyset =$	7.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	297.30 mm				

$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) = 0.216 \text{ mm} < w_g$



$$C_x = 0.146$$

$$C_c = 17.470$$

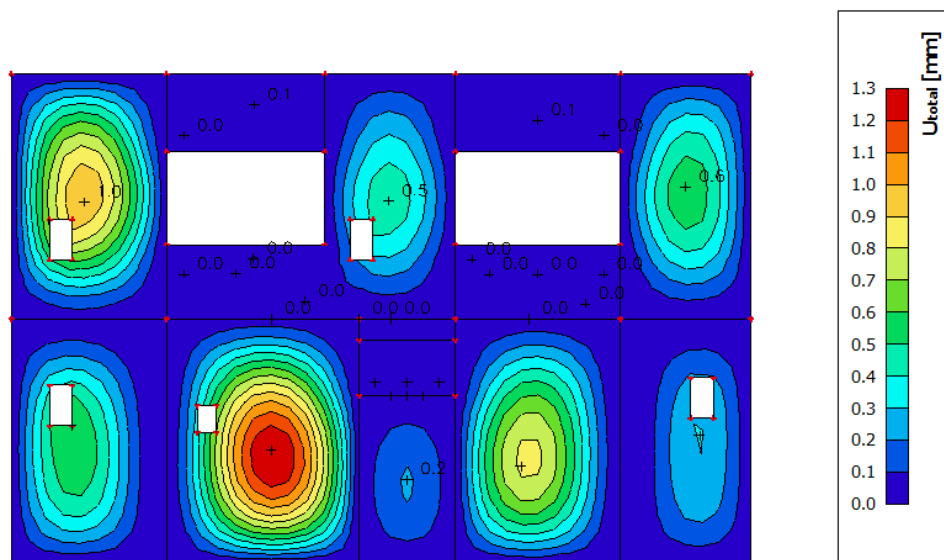
$$C_{s1} = 501.939$$

$$C_{s2} = 15.17$$

Dobivena karakteristična širina pukotine od 0.216 mm je manja od granične vrijednosti koja za AB konstrukcije iznosi 0.300 mm što znači da ugrađena armatura **zadovoljava**.

## Kontrola progiba

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (G+ΔG) + 1,0Q



Slika 10.47 Prikaz progiba za ploču za kombinaciju GSU

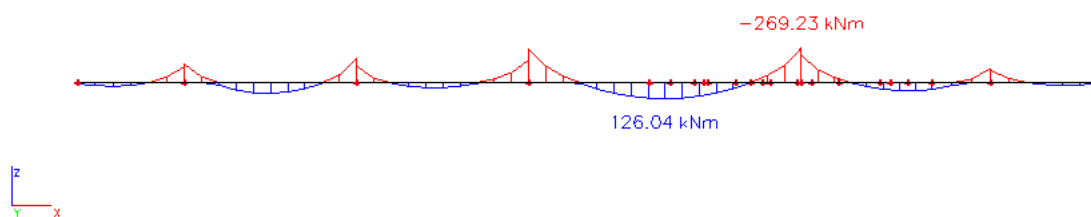
Granična vrijednost progiba ploče u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{560}{250} = 2,24 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib ploče (očitano iz modela):  $f_k = 0,13 \text{ cm}$

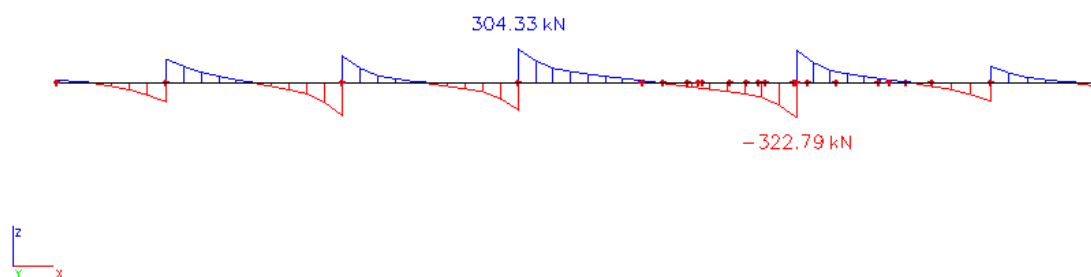
Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,13 = 0,39 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 2,24 \text{ cm}$

## 10.2. Proračun AB greda

### 10.2.1. Greda (G1) 80x45 cm



Slika 10.48 Maksimalni momenti savijanja  $M_y$



Slika 10.49 Maksimalna poprečna sila  $V_z$

**Dimenzioniranje na moment savijanja**

Beton: C 30/37  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}; \quad f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Armatura: B 500B  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}; \quad f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta = 0,892$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 80 \cdot 40 = 4,83 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot 80 \cdot 40 = 4,16 \text{ cm}^2$$

Maksimalna površina armature:

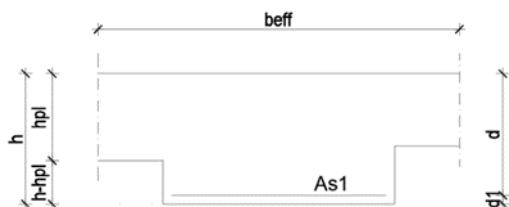
$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 80 \cdot 45 = 144,0 \text{ cm}^2$$

U tablici su prikazani ultimativni momenti nosivosti za odabranu uzdužnu armaturu, grede

80x45cm :

Šipke	Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
	[cm <sup>2</sup> /m']	[kNm]	[kNm]	%
4φ14	6.16	407.04	96.47	0.17
4φ16	8.04	407.04	125.91	0.22
5φ14	7.70	407.04	120.58	0.21
6φ14	9.24	407.04	144.70	0.26
4φ20	12.57	407.04	196.85	0.35
6φ20	18.85	407.04	295.19	0.52

## Proračun uzdužne armature u polju



$$b = 80 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$L = 790 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 45 - 5 = 40 \text{ cm}$$

Slika 10.50 Poprečni presjek grede

Širina tlačnog područja:

$$b_{eff} = b_w + \frac{0,85 \cdot L}{10} = 80 + \frac{0,85 \cdot 790}{10} = 148 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = 126,04 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12604}{148 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,027 \approx 0,031$$

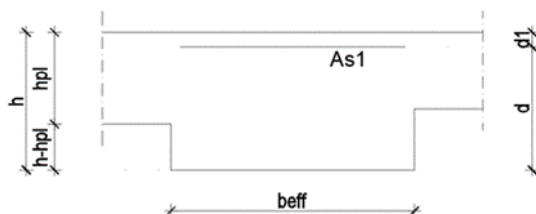
$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 1,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,968 \quad \xi = 0,091$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{12604}{0,968 \cdot 40 \cdot 43,48} = 7,49 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura u polju: **6Ø14** ( $A_{s1} = 9,24 \text{ cm}^2$ )



## Proračun uzdužne armature na ležaju



Slika 10.51 Poprečni presjek grede

$$b = 80 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$L = 790 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 45 - 5 = 40 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w = 80 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 269,23 \text{ kNm}$$

$$\mu_{\text{Sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{26923}{80 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,105$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 2,3 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,928 \quad \xi = 0,187$$

$$A_{s1} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{26923}{0,928 \cdot 40 \cdot 43,48} = 16,68 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura na ležaju: **6Ø20** ( $A_{s1} = 18,85 \text{ cm}^2$ )

**Dimenzioniranje na poprečnu silu**

Računska poprečna sila:

$$V_{Ed} = 322,79 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{400}} = 1,71 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,71$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \quad (N_{Ed} = 0)$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{28,09}{80 \cdot 40} = 0.009 \rightarrow \text{koef. armiranja uzdužnom armaturom}$$

$b_w = 800 \text{ mm} \rightarrow$  najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnoj zoni

$d = 400 \text{ mm} \rightarrow$  statička visina presjeka

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,71 \cdot (100 \cdot 0,009 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 800 \cdot 400 = 196992 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 196,99 \text{ kN} < V_{Ed} = 322,79 \text{ kN}$$

Potrebno je dokazati:

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,71^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,429$$

$$V_{Rd,c} = 196,99 \text{ kN} \geq 0,429 \cdot 800 \cdot 400 = 137280 \text{ N} = 137,28 \text{ kN} \quad (\text{uvjet je zadovoljen})$$

Maksimalna poprečna sila:

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

$$v = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{30}{250}\right) = 0.53$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.53 \cdot 800 \cdot 400 \cdot 20.0 = 1696000 \text{ N}$$

$$V_{Rd,max} = 1696.0 \text{ kN} > V_{Ed} = 322.79 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona ( $s_{w,max}$ ):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{322.79}{1696.0} \approx 0.2 \rightarrow V_{Ed} = 0.2 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0.75d; 30 \text{ cm}) = \min(30 \text{ cm}; 30 \text{ cm}) \rightarrow s_{w,max} = 30 \text{ cm}$$

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 80}{4} = 0.6 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø10/30 cm ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{4 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 40)}{322.79} = 15.32 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone Ø10/15 cm:

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

$$z \approx 0.9 \cdot d \text{ (krak unutrašnjih sila)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kut nagiba tlačnih dijagonala)}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{15} \cdot (0.9 \cdot 40) \cdot 43.48 \cdot 4 \cdot 1 = 329.75 \text{ kN} > V_{Ed} = 322.79 \text{ kN}$$

Postaviti spone **Ø10/15** ( $0.79 \text{ cm}^2$ )

## Kontrola pukotina

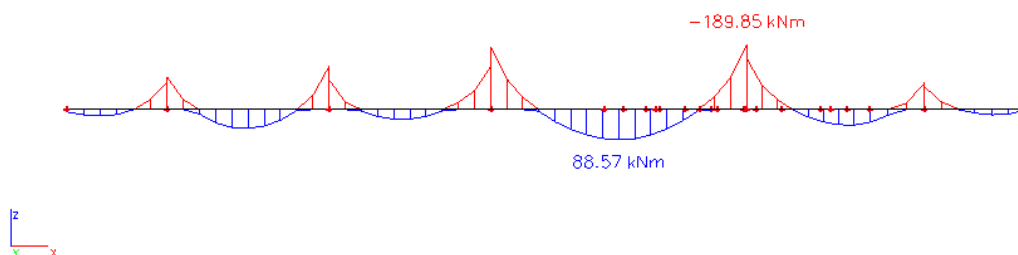
Mjerodavni momenti u gredi su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:

$$1,0 G + 1,0\Delta G + 1,0Q$$

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):

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



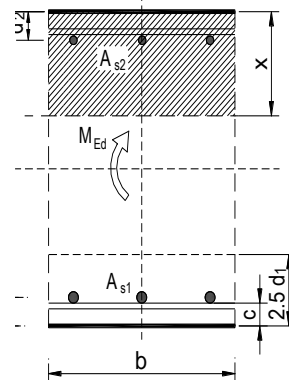
Slika 10.52 Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju  $M_y$

**Polje:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju:  $M_{Ed} = 88,57 \text{ kNm}$

Armatura grede u polju:  $6\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

$b =$	80.0 cm	$d =$	40.0 cm	$h =$	45.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	9.24 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	88.6 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	254.11 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	6.83 cm	$r_{p,eff} =$	0.0092		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000608	$<$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000762	
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	359.58 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.274 mm $<$ wg				



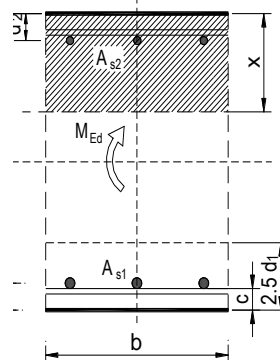
→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

**Ležaj:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju:  $M_{Ed} = 189,85 \text{ kNm}$

Armatura grede na ležaju:  $6\text{Ø}20$  ( $A_{s1} = 18,85 \text{ cm}^2$ )

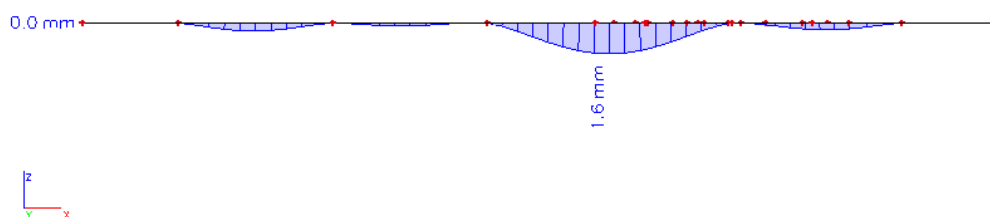
$b =$	80.0 cm	$d =$	40.0 cm	$h =$	45.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	18.85 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	189.9 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	273.14 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	9.38 cm	$r_{p,eff} =$	0.0189		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.001023	$>$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000819	
$\text{Ø} =$	20.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	282.37 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.289 mm $<$ wg				



→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

## Kontrola progiba

Progibi greda su također dobiveni kroz numerički model. Također se koriste rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:  $GSU 1 : 1,0G + 1,0\Delta G + 1,0Q$

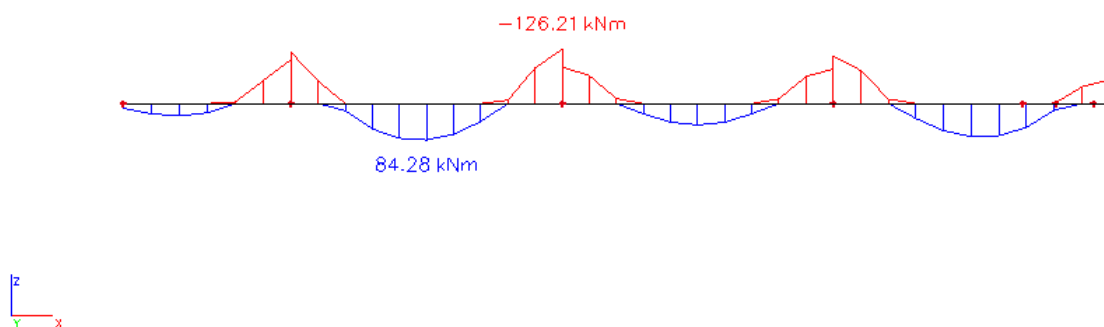
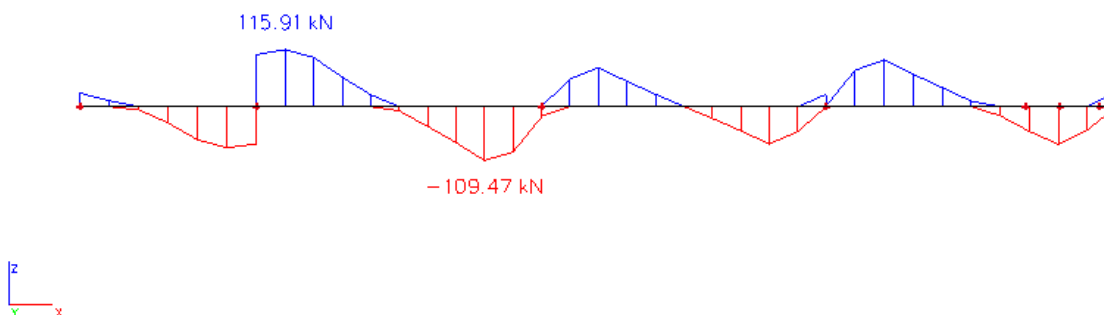


Slika 10.53 Dijagram progiba grede za GSU

Granična vrijednost progiba grede u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{790}{250} = 3,16 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib grede (očitano iz modela):  $f_k = 0,16 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,16 = 0,48 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 3,16 \text{ cm}$

**10.2.2. Greda (G2) 80x45 cm**Slika 10.54 Maksimalni momenti savijanja  $M_y$ Slika 10.55 Maksimalna poprečna sila  $V_z$

**Dimenzioniranje na moment savijanja**

$$\text{Beton: C 30/37} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}; \quad f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B 500B} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}; \quad f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta = 0,892$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 80 \cdot 40 = 4,83 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot 80 \cdot 40 = 4,16 \text{ cm}^2$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 80 \cdot 45 = 144,0 \text{ cm}^2$$

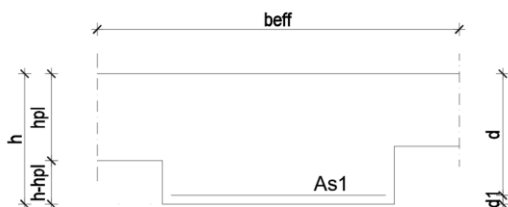
U tablici su prikazani ultimativni momenti nosivosti za odabranu uzdužnu armaturu, grede

80x45cm :

Šipke	Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
	[cm <sup>2</sup> /m']	[kNm]	[kNm]	%
4φ14	6.16	407.04	96.47	0.17
4φ16	8.04	407.04	125.91	0.22
5φ14	7.70	407.04	120.58	0.21
6φ14	9.24	407.04	144.70	0.26
4φ20	12.57	407.04	196.85	0.35
6φ20	18.85	407.04	295.19	0.52



## Proračun uzdužne armature u polju



$$b = 80 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$L = 500 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 45 - 5 = 40 \text{ cm}$$

Slika 10.56 Poprečni presjek grede

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w + \frac{0,85 \cdot L}{10} = 80 + \frac{0,85 \cdot 500}{10} = 123 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 84,28 \text{ kNm}$$

$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{8428}{123 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,021$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{\text{s1}} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{\text{c2}} = 0,8 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,974 \quad \xi = 0,074$$

$$A_{\text{s1}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{8428}{0,974 \cdot 40 \cdot 43,48} = 4,98 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura u polju: **6Ø14** ( $A_{\text{s1}} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

## Proračun uzdužne armature na ležaju



Slika 10.57 Poprečni presjek grede

$$b = 80 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$L = 500 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 45 - 5 = 40 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w = 80 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 126,21 \text{ kNm}$$

$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{12621}{80 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,049 \approx 0,054$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{\text{s1}} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{\text{c2}} = 1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,956 \quad \xi = 0,123$$

$$A_{\text{s1}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{12621}{0,956 \cdot 40 \cdot 43,48} = 7,59 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura na ležaju: **6Ø14** ( $A_{\text{s1}} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

**Dimenzioniranje na poprečnu silu**

Računska poprečna sila:

$$V_{Ed} = 115,91 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{400}} = 1,71 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,71$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \quad (N_{Ed} = 0)$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{18,48}{80 \cdot 40} = 0.006 \rightarrow \text{koef. armiranja uzdužnom armaturom}$$

$b_w = 800 \text{ mm} \rightarrow$  najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnoj zoni

$d = 400 \text{ mm} \rightarrow$  statička visina presjeka

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,71 \cdot (100 \cdot 0,006 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 800 \cdot 400 = 172088 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 172,09 \text{ kN} > V_{Ed} = 115,91 \text{ kN}$$

Potrebno je dokazati:

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,71^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,429$$

$$V_{Rd,c} = 172,09 \text{ kN} \geq 0,429 \cdot 800 \cdot 400 = 137280 \text{ N} = 137,28 \text{ kN} \quad (\text{uvjet je zadovoljen})$$

Maksimalna poprečna sila:

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

$$v = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{30}{250}\right) = 0.53$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.53 \cdot 800 \cdot 400 \cdot 20.0 = 1696000 \text{ N}$$

$$V_{Rd,max} = 1696.0 \text{ kN} > V_{Ed} = 115.91 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona ( $s_{w,max}$ ):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{115.91}{1696.0} \approx 0.07 \rightarrow V_{Ed} = 0.07 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0.75d; 30 \text{ cm}) = \min(30 \text{ cm}; 30 \text{ cm}) \rightarrow s_{w,max} = 30 \text{ cm}$$

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 80}{4} = 0.6 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø10/30 cm ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{4 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 40)}{115.91} = 42.67 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone Ø10/30 cm:

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

$$z \approx 0.9 \cdot d \text{ (krak unutrašnjih sila)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kut nagiba tlačnih dijagonala)}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 40) \cdot 43.48 \cdot 4 \cdot 1 = 164.88 \text{ kN} > V_{Ed} = 115.91 \text{ kN}$$

Postaviti spone **Ø10/30** ( $0.79 \text{ cm}^2$ )

## Kontrola pukotina

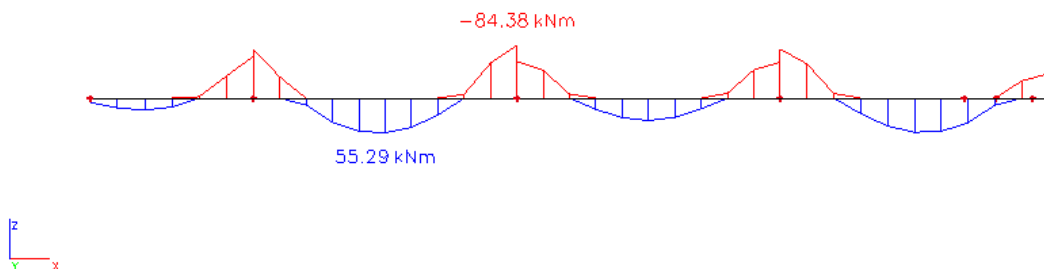
Mjerodavni momenti u gredi su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:

$$1,0 G + 1,0\Delta G + 1,0Q$$

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):

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



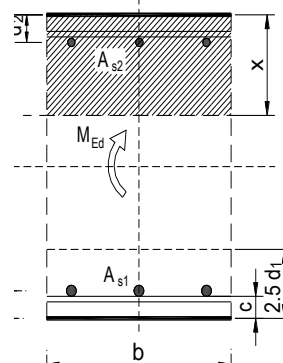
Slika 10.58 Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju  $M_y$

**Polje:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju:  $M_{Ed} = 55,29 \text{ kNm}$

Armatura grede u polju:  $6\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

$b =$	80.0 cm	$d =$	40.0 cm	$h =$	45.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	9.24 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	55.3 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	158.63 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	6.83 cm	$r_{p,eff} =$	0.0092		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000131	$< 0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000476		
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	359.58 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.171 mm $< w_g$				



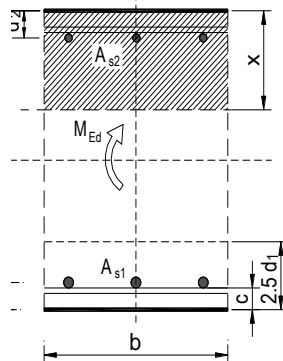
→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

**Ležaj:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju:  $M_{Ed} = 84,38 \text{ kNm}$

Armatura grede na ležaju:  $6\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

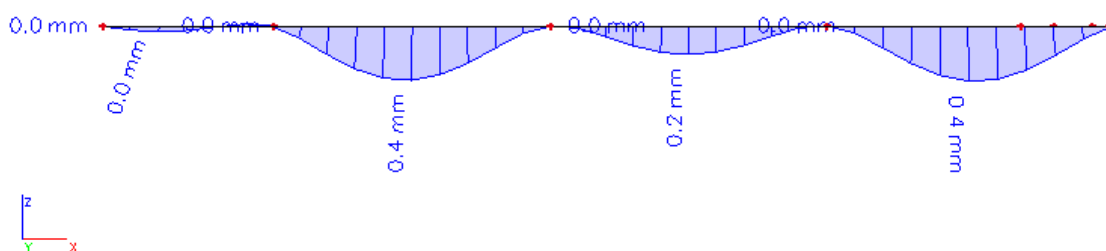
$b =$	80.0 cm	$d =$	40.0 cm	$h =$	45.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	9.24 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	84.4 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	242.09 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	6.83 cm	$r_{p,eff} =$	0.0092		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000548	$< 0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000726		
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	359.58 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.261 mm $< w_g$				



→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

## Kontrola progiba

Progibi greda su također dobiveni kroz numerički model. Također se koriste rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0G + 1,0ΔG + 1,0Q

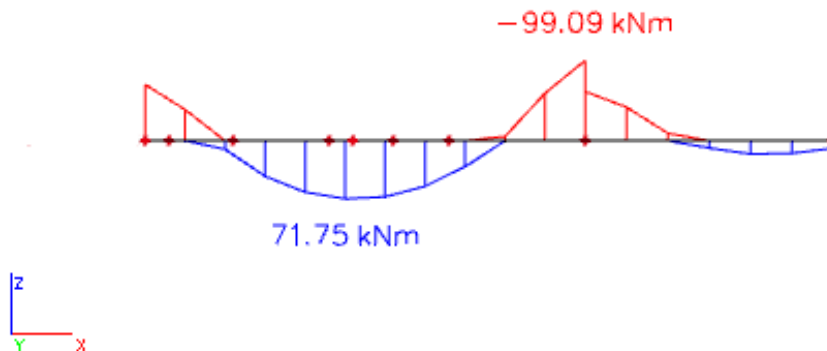
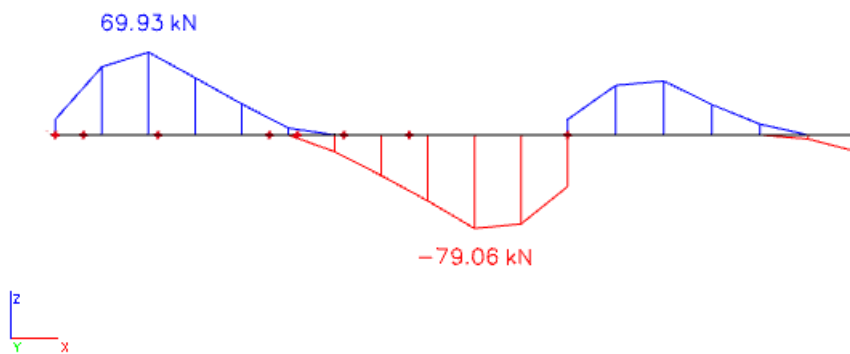


Slika 10.59 Dijagram progiba grede za GSU

Granična vrijednost progiba grede u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{500}{250} = 2,0 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib grede (očitano iz modela):  $f_k = 0,04 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,04 = 0,12 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 2,0 \text{ cm}$

**10.2.3. Greda (G3) 80x45 cm**Slika 10.60 Maksimalni momenti savijanja  $M_y$ Slika 10.61 Maksimalna poprečna sila  $V_z$



**Dimenzioniranje na moment savijanja**

$$\text{Beton: C 30/37} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}; \quad f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B 500B} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}; \quad f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta = 0,892$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 80 \cdot 40 = 4,83 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot 80 \cdot 40 = 4,16 \text{ cm}^2$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 80 \cdot 45 = 144,0 \text{ cm}^2$$

U tablici su prikazani ultimativni momenti nosivosti za odabranu uzdužnu armaturu, grede

80x45cm :

Šipke	Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
	[cm <sup>2</sup> /m']	[kNm]	[kNm]	%
4φ14	6.16	407.04	96.47	0.17
4φ16	8.04	407.04	125.91	0.22
5φ14	7.70	407.04	120.58	0.21
6φ14	9.24	407.04	144.70	0.26
4φ20	12.57	407.04	196.85	0.35
6φ20	18.85	407.04	295.19	0.52

## Proračun uzdužne armature u polju



$$b = 80 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$L = 550 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 45 - 5 = 40 \text{ cm}$$

Slika 10.62 Poprečni presjek grede

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w + \frac{0,85 \cdot L}{10} = 80 + \frac{0,85 \cdot 550}{10} = 127 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 71,75 \text{ kNm}$$

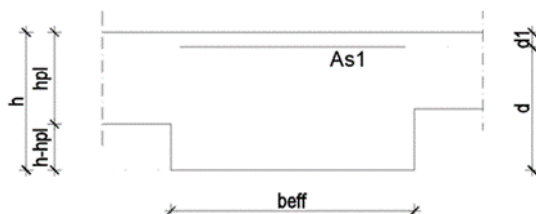
$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{7175}{127 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,018 \approx 0,021$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 0,8 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,974 \quad \xi = 0,074$$

$$A_{s1} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{7175}{0,974 \cdot 40 \cdot 43,48} = 4,24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura u polju: **6Ø14** ( $A_{s1} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

## Proračun uzdužne armature na ležaju



Slika 10.63 Poprečni presjek grede

$$b = 80 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$L = 550 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 45 - 5 = 40 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w = 80 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 99,09 \text{ kNm}$$

$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{9909}{80 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,039 \approx 0,042$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{\text{s1}} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{\text{c2}} = 1,2 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,962 \quad \xi = 0,107$$

$$A_{\text{s1}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{9909}{0,962 \cdot 40 \cdot 43,48} = 5,92 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura na ležaju: **6Ø14** ( $A_{\text{s1}} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

**Dimenzioniranje na poprečnu silu**

Računska poprečna sila:

$$V_{Ed} = 79,06 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{400}} = 1,71 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,71$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \quad (N_{Ed} = 0)$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{18,48}{80 \cdot 40} = 0.006 \rightarrow \text{koef. armiranja uzdužnom armaturom}$$

$b_w = 800 \text{ mm} \rightarrow$  najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnoj zoni

$d = 400 \text{ mm} \rightarrow$  statička visina presjeka

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,71 \cdot (100 \cdot 0,006 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 800 \cdot 400 = 172088 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 172,09 \text{ kN} > V_{Ed} = 79,06 \text{ kN}$$

Potrebno je dokazati:

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,71^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,429$$

$$V_{Rd,c} = 172,09 \text{ kN} \geq 0,429 \cdot 800 \cdot 400 = 137280 \text{ N} = 137,28 \text{ kN} \quad (\text{uvjet je zadovoljen})$$

Maksimalna poprečna sila:

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

$$v = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{30}{250}\right) = 0.53$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.53 \cdot 800 \cdot 400 \cdot 20.0 = 1696000 \text{ N}$$

$$V_{Rd,max} = 1696.0 \text{ kN} > V_{Ed} = 79.06 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona ( $s_{w,max}$ ):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{79.06}{1696.0} \approx 0.05 \rightarrow V_{Ed} = 0.05 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0.75d; 30 \text{ cm}) = \min(30 \text{ cm}; 30 \text{ cm}) \rightarrow s_{w,max} = 30 \text{ cm}$$

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 80}{4} = 0.6 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø10/30 cm ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{4 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 40)}{79.06} = 62.56 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone Ø10/30 cm:

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

$$z \approx 0.9 \cdot d \text{ (krak unutrašnjih sila)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kut nagiba tlačnih dijagonala)}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 40) \cdot 43.48 \cdot 4 \cdot 1 = 164.88 \text{ kN} > V_{Ed} = 79.06 \text{ kN}$$

Postaviti spone **Ø10/30** ( $0.79 \text{ cm}^2$ )

## Kontrola pukotina

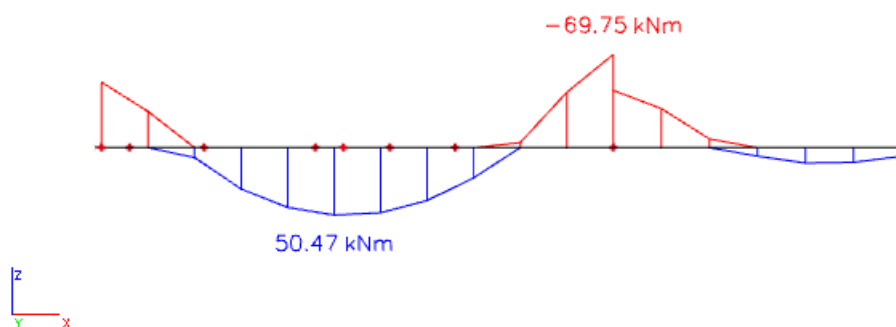
Mjerodavni momenti u gredi su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:

$$1,0 G + 1,0\Delta G + 1,0Q$$

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):

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



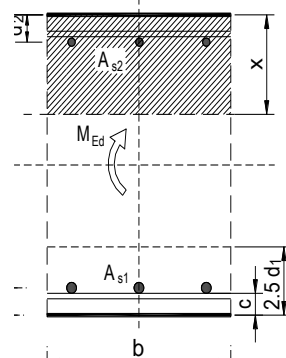
Slika 10.64 Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju  $M_y$

**Polje:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju:  $M_{Ed} = 50,47 \text{ kNm}$

Armatura grede u polju:  $6\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

$b =$	80.0 cm	$d =$	40.0 cm	$h =$	45.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	9.24 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	50.5 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	144.80 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	6.83 cm	$r_{p,eff} =$	0.0092		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000062	$<$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000434	
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	359.58 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.156 mm	$<$	$w_g$		



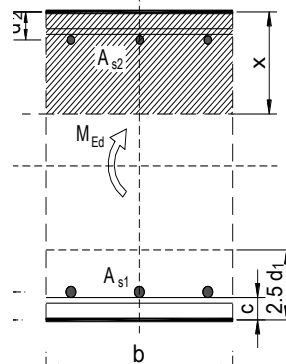
→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

**Ležaj:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju:  $M_{Ed} = 69,75 \text{ kNm}$

Armatura grede na ležaju:  $6\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 9,24 \text{ cm}^2$ )

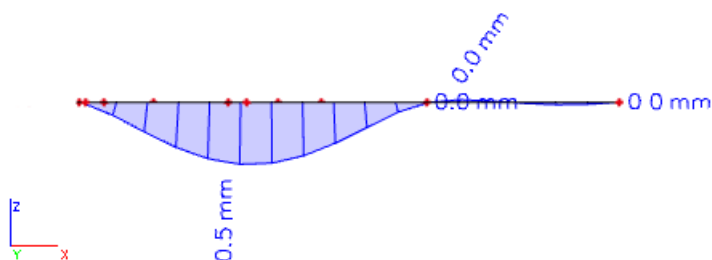
$b =$	80.0 cm	$d =$	40.0 cm	$h =$	45.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	9.24 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	69.8 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	200.12 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	6.83 cm	$r_{p,eff} =$	0.0092		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000338	$<$	$0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000600	
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	359.58 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.216 mm	$<$	$w_g$		



→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

## Kontrola progiba

Progibi grede su također dobiveni kroz numerički model. Također se koriste rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:  $GSU 1 : 1,0G + 1,0\Delta G + 1,0Q$



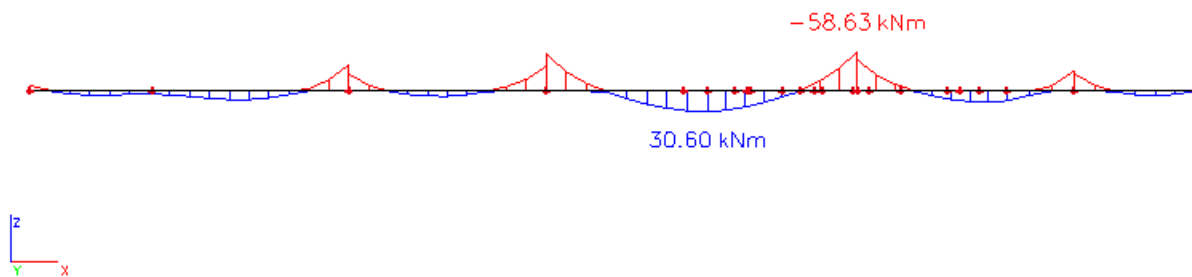
Slika 10.65 Dijagram progiba grede za GSU

Granična vrijednost progiba grede u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{550}{250} = 2,2 \text{ cm}$

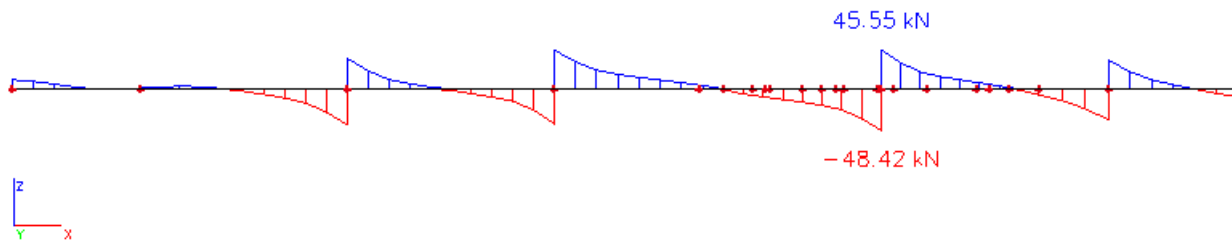
Kratkotrajni progib grede (očitano iz modela):  $f_k = 0,05 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,05 = 0,15 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 2,2 \text{ cm}$



**10.2.4. Greda (G4) 20x48 cm**

Slika 10.66 Maksimalni momenti savijanja  $M_y$



Slika 10.67 Maksimalna poprečna sila  $V_z$

**Dimenzioniranje na moment savijanja**

$$\text{Beton: C 30/37} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}; \quad f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B 500B} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}; \quad f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta = 0,892$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 20 \cdot 43 = 1,30 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot 20 \cdot 43 = 1,12 \text{ cm}^2$$

Maksimalna površina armature:

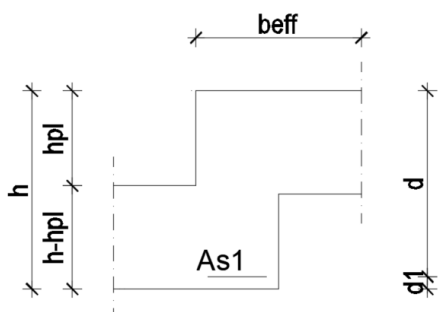
$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 20 \cdot 43 = 34,4 \text{ cm}^2$$

U tablici su prikazani ultimativni momenti nosivosti za odabranu uzdužnu armaturu, grede

20x48cm :

Šipke	Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
	[cm <sup>2</sup> /m']	[kNm]	[kNm]	%
3φ14	4.62	117.60	77.78	0.48
3φ16	6.03	117.60	101.51	0.63
4φ14	6.16	117.60	103.70	0.64
4φ16	8.04	117.60	135.35	0.84
4φ18	10.18	117.60	171.38	1.06
4φ20	12.57	117.60	211.61	1.31

## Proračun uzdužne armature u polju



Slika 10.68 Poprečni presjek grede

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 48 \text{ cm}$$

$$L = 790 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 48 - 5 = 43 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w + \frac{0,7 \cdot L}{10} = 20 + \frac{0,7 \cdot 790}{10} = 75 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 30,60 \text{ kNm}$$

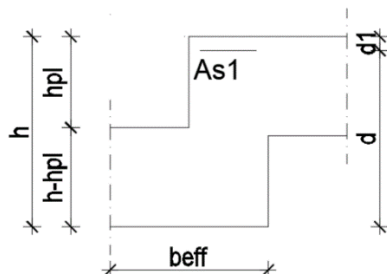
$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{3060}{75 \cdot 43^2 \cdot 2,0} = 0,011$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{\text{s1}} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{\text{c2}} = 0,6 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,981 \quad \xi = 0,057$$

$$A_{\text{s1}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{3060}{0,981 \cdot 43 \cdot 43,48} = 1,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura u polju: **3Ø14** ( $A_{\text{s1}} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

## Proračun uzdužne armature na ležaju



Slika 10.69 Poprečni presjek grede

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 48 \text{ cm}$$

$$L = 790 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 48 - 5 = 43 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w + \frac{0,7 \cdot L}{10} = 20 + \frac{0,7 \cdot 790}{10} = 75 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 58,63 \text{ kNm}$$

$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{5863}{75 \cdot 43^2 \cdot 2,0} = 0,021$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 0,8 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,974 \quad \xi = 0,074$$

$$A_{s1} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{5863}{0,974 \cdot 43 \cdot 43,48} = 3,22 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura na ležaju: **3Ø14** ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

**Dimenzioniranje na poprečnu silu**

Računska poprečna sila:

$$V_{Ed} = 48,42 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{430}} = 1,68 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,68$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \quad (N_{Ed} = 0)$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{9,24}{20 \cdot 43} = 0.011 \rightarrow \text{koef. armiranja uzdužnom armaturom}$$

$b_w = 200 \text{ mm} \rightarrow$  najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnoj zoni

$d = 430 \text{ mm} \rightarrow$  statička visina presjeka

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,68 \cdot (100 \cdot 0,011 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 200 \cdot 430 = 55611 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 55,61 \text{ kN} > V_{Ed} = 48,42 \text{ kN}$$

Potrebno je dokazati:

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,71^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,429$$

$$V_{Rd,c} = 55,61 \text{ kN} \geq 0,429 \cdot 200 \cdot 430 = 36894 \text{ N} = 36,89 \text{ kN} \quad (\text{uvjet je zadovoljen})$$

Maksimalna poprečna sila:

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

$$v = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{30}{250}\right) = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,53 \cdot 200 \cdot 430 \cdot 20,0 = 455800 \text{ N}$$

$$V_{Rd,max} = 455,8 \text{ kN} > V_{Ed} = 48,42 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona ( $s_{w,max}$ ):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{48,42}{455,8} \approx 0,11 \rightarrow V_{Ed} = 0,11 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0,75d; 30 \text{ cm}) = \min(32,25 \text{ cm}; 30 \text{ cm}) \rightarrow s_{w,max} = 30 \text{ cm}$$

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 30 \cdot 20}{2} = 0,3 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spona: Ø10/30 cm ( $A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$ )

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 43)}{48,42} = 54,9 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spona Ø10/30 cm:

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

$$z \approx 0,9 \cdot d \text{ (krak unutrašnjih sila)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kut nagiba tlačnih dijagonala)}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,79}{30} \cdot (0,9 \cdot 43) \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 88,62 \text{ kN} > V_{Ed} = 48,42 \text{ kN}$$

Postaviti spona **Ø10/30** ( $0,79 \text{ cm}^2$ )

## Kontrola pukotina

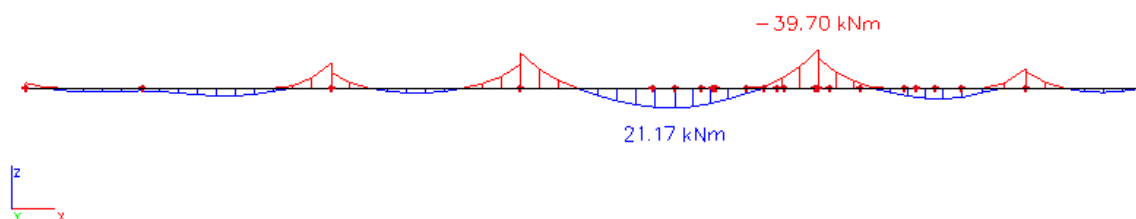
Mjerodavni momenti u gredi su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:

$$1,0 G + 1,0\Delta G + 1,0Q$$

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):

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



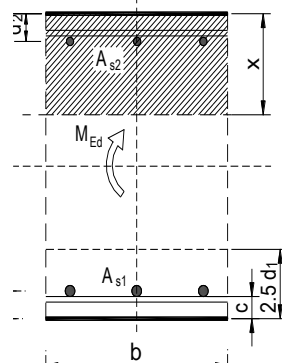
Slika 10.70 Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju  $M_y$

**Polje:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju:  $M_{Ed} = 21,17 \text{ kNm}$

Armatura grede u polju:  $3\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

$b =$	20.0 cm	$d =$	43.0 cm	$h =$	48.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	4.62 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	21.2 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	115.22 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	9.69 cm	$r_{p,eff} =$	0.0185		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000227	$<$	$0.6 \cdot s_s / E_s =$	0.000346	
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	230.79 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.080 mm	$<$	$w_g$		



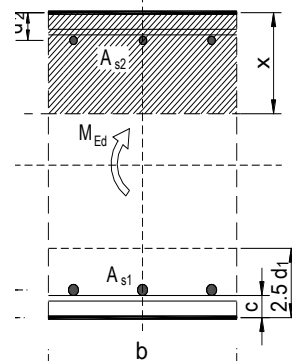
→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

**Ležaj:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju:  $M_{Ed} = 39,70 \text{ kNm}$

Armatura grede na ležaju:  $3\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

$b =$	20.0 cm	$d =$	43.0 cm	$h =$	48.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	4.62 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	39.7 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	216.06 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	9.69 cm	$r_{p,eff} =$	0.0185		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000732	$>$	$0.6 \cdot s_s / E_s =$	0.000648	
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	230.79 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.169 mm	$<$	$w_g$		

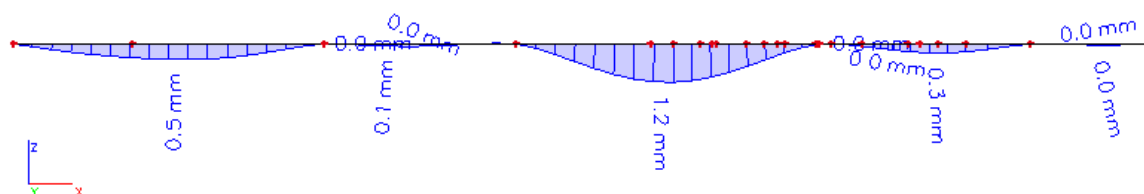


→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.



## Kontrola progiba

Progibi greda su također dobiveni kroz numerički model. Također se koriste rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:  $GSU 1 : 1,0G + 1,0\Delta G + 1,0Q$



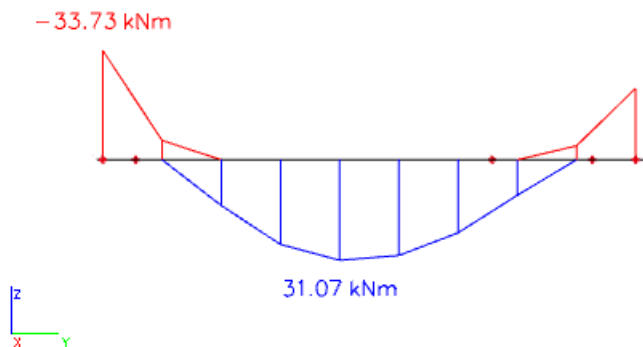
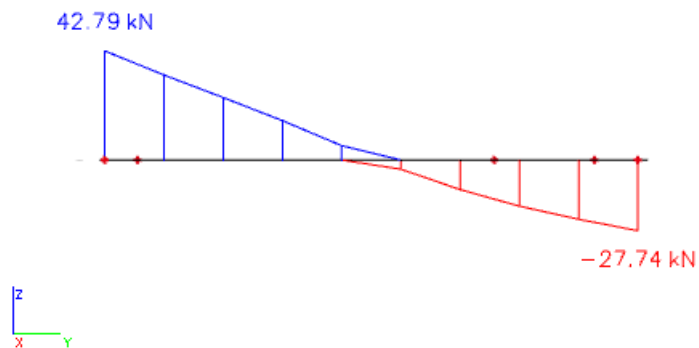
Slika 10.71 Dijagram progiba grede za GSU

Granična vrijednost progiba grede u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{790}{250} = 3,16 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib grede (očitano iz modela):  $f_k = 0,12 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,12 = 0,36 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 3,16 \text{ cm}$

## 10.2.5. Greda (G5) 20x75 cm

Slika 10.72 Maksimalni momenti savijanja  $M_y$ Slika 10.73 Maksimalna poprečna sila  $V_z$

**Dimenzioniranje na moment savijanja**

$$\text{Beton: C 30/37} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}; \quad f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B 500B} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}; \quad f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta = 0,892$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 20 \cdot 70 = 2,11 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot 20 \cdot 70 = 1,82 \text{ cm}^2$$

Maksimalna površina armature:

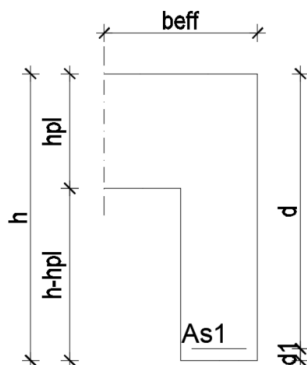
$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 20 \cdot 70 = 56 \text{ cm}^2$$

U tablici su prikazani ultimativni momenti nosivosti za odabranu uzdužnu armaturu, grede

20x75cm :

Šipke	Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
	[cm <sup>2</sup> /m']	[kNm]	[kNm]	%
3φ14	4.62	117.60	77.78	0.48
3φ16	6.03	117.60	101.51	0.63
4φ14	6.16	117.60	103.70	0.64
4φ16	8.04	117.60	135.35	0.84
4φ18	10.18	117.60	171.38	1.06
4φ20	12.57	117.60	211.61	1.31

## Proračun uzdužne armature u polju



$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 75 \text{ cm}$$

$$L = 490 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 75 - 5 = 70 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w + \frac{0,7 \cdot L}{10} = 20 + \frac{0,7 \cdot 490}{10} = 55 \text{ cm}$$

Slika 10.74 Poprečni presjek grede

$$M_{\text{Ed}} = 31,07 \text{ kNm}$$

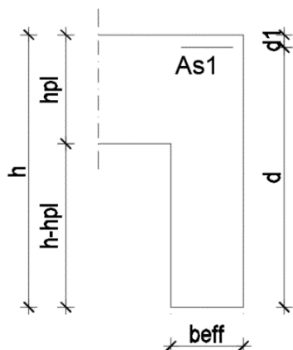
$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{3107}{55 \cdot 70^2 \cdot 2,0} = 0,006$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 0,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,987 \quad \xi = 0,038$$

$$A_{s1} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{3107}{0,987 \cdot 70 \cdot 43,48} = 1,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura u polju: **3Ø14** ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

## Proračun uzdužne armature na ležaju



Slika 10.75 Poprečni presjek grede

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 75 \text{ cm}$$

$$L = 490 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 75 - 5 = 70 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w = 20 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 33,73 \text{ kNm}$$

$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{3373}{20 \cdot 70^2 \cdot 2,0} = 0,017$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{\text{s1}} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{\text{c2}} = 0,7 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977 \quad \xi = 0,065$$

$$A_{\text{s1}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{3373}{0,977 \cdot 70 \cdot 43,48} = 1,13 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura na ležaju: **3Ø14** ( $A_{\text{s1}} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

**Dimenzioniranje na poprečnu silu**

Računska poprečna sila:

$$V_{Ed} = 42,79 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{700}} = 1,53 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,53$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \quad (N_{Ed} = 0)$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{9,24}{20 \cdot 70} = 0.007 \rightarrow \text{koef. armiranja uzdužnom armaturom}$$

$b_w = 200 \text{ mm} \rightarrow$  najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnoj zoni

$d = 700 \text{ mm} \rightarrow$  statička visina presjeka

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,53 \cdot (100 \cdot 0,007 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 200 \cdot 700 = 70915 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 70,92 \text{ kN} > V_{Ed} = 42,79 \text{ kN}$$

Potrebno je dokazati:

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,71^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,429$$

$$V_{Rd,c} = 70,92 \text{ kN} \geq 0,429 \cdot 200 \cdot 700 = 60060 \text{ N} = 60,06 \text{ kN} \quad (\text{uvjet je zadovoljen})$$

Maksimalna poprečna sila:

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

$$v = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{30}{250}\right) = 0.53$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.53 \cdot 200 \cdot 700 \cdot 20.0 = 742000 \text{ N}$$

$$V_{Rd,max} = 742.0 \text{ kN} > V_{Ed} = 42.79 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona ( $s_{w,max}$ ):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{42.79}{742.0} \approx 0.06 \rightarrow V_{Ed} = 0.06 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0.75d; 30 \text{ cm}) = \min(52.5 \text{ cm}; 30 \text{ cm}) \rightarrow s_{w,max} = 30 \text{ cm}$$

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 20}{2} = 0.3 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø10/30 cm ( $A_{sw} = 0.79 \text{ cm}^2$ )

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 70)}{42.79} = 101.86 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone Ø10/30 cm:

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

$$z \approx 0.9 \cdot d \text{ (krak unutrašnjih sila)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kut nagiba tlačnih dijagonala)}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 70) \cdot 43.48 \cdot 2 \cdot 1 = 144.27 \text{ kN} > V_{Ed} = 42.79 \text{ kN}$$

Postaviti spone **Ø10/30** ( $0.79 \text{ cm}^2$ )

## Kontrola pukotina

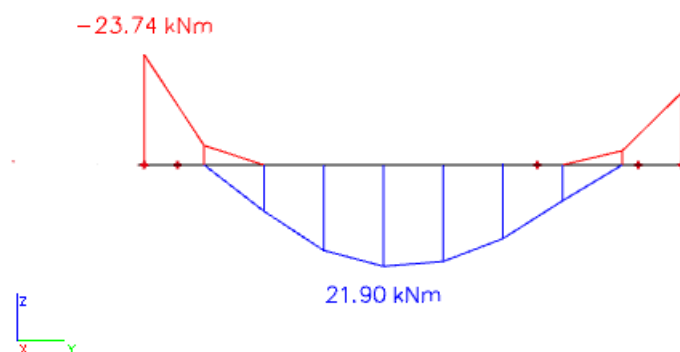
Mjerodavni momenti u gredi su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:

$$1,0 G + 1,0\Delta G + 1,0Q$$

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):

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



Slika 10.76 Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju  $M_y$

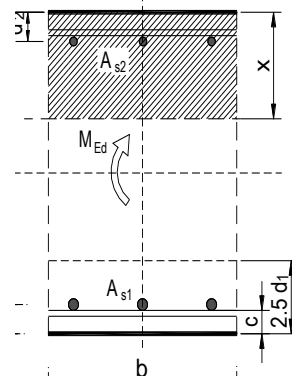


**Polje:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju:  $M_{Ed} = 21,90 \text{ kNm}$

Armatura grede u polju:  $3\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

$b =$	20.0 cm	$d =$	70.0 cm	$h =$	75.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	4.62 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	21.9 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	72.08 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	12.70 cm	$r_{p,eff} =$	0.0185		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000012	$<$	$0.6 \cdot s_s / E_s =$	0.000216	
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	230.79 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.050 mm $<$ $w_g$				



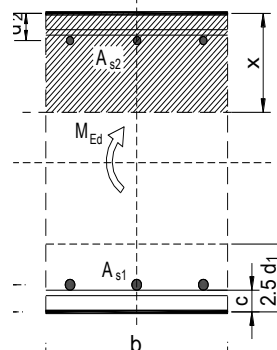
→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

**Ležaj:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju:  $M_{Ed} = 23.74 \text{ kNm}$

Armatura grede na ležaju:  $3\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

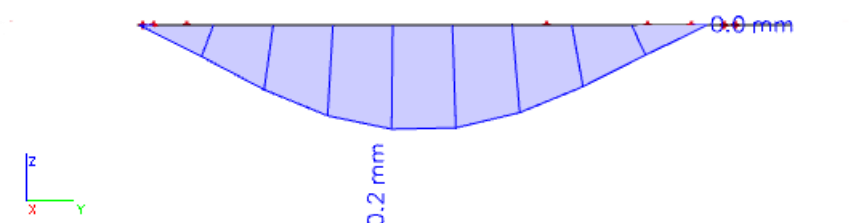
$b =$	20.0 cm	$d =$	70.0 cm	$h =$	75.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	4.62 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	23.7 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	78.13 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	12.70 cm	$r_{p,eff} =$	0.0185		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	0.000042	$<$	$0.6 \cdot s_s / E_s =$	0.000234	
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	230.79 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.054 mm $<$ $w_g$				



→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

## Kontrola progiba

Progibi grede su također dobiveni kroz numerički model. Također se koriste rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:  $GSU 1 : 1,0G + 1,0\Delta G + 1,0Q$



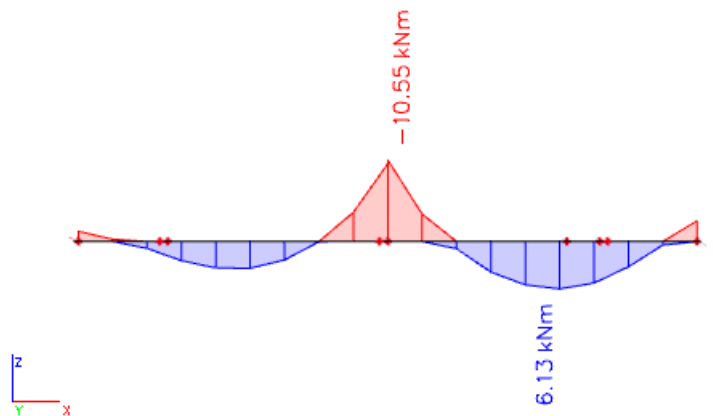
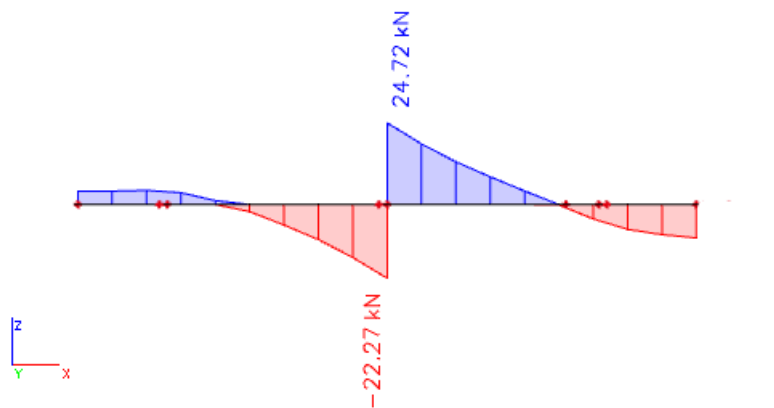
Slika 10.77 Dijagram progiba grede za GSU

Granična vrijednost progiba grede u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{490}{250} = 1,96 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib grede (očitano iz modela):  $f_k = 0,02 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,02 = 0,06 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 1,96 \text{ cm}$

## 10.2.6. Greda (KG1) 20x43 cm

Slika 10.78 Maksimalni momenti savijanja  $M_y$ Slika 10.79 Maksimalna poprečna sila  $V_z$

**Dimenzioniranje na moment savijanja**

Beton: C 30/37  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}; \quad f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Armatura: B 500B  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}; \quad f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta = 0,892$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 20 \cdot 38 = 1,15 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot 20 \cdot 38 = 0,99 \text{ cm}^2$$

Maksimalna površina armature:

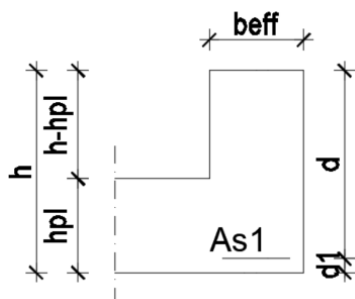
$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 20 \cdot 38 = 30,4 \text{ cm}^2$$

U tablici su prikazani ultimativni momenti nosivosti za odabranu uzdužnu armaturu, grede

20x43cm :

Šipke	Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
	[cm <sup>2</sup> /m']	[kNm]	[kNm]	%
3φ14	4.62	117.60	77.78	0.48
3φ16	6.03	117.60	101.51	0.63
4φ14	6.16	117.60	103.70	0.64
4φ16	8.04	117.60	135.35	0.84
4φ18	10.18	117.60	171.38	1.06
4φ20	12.57	117.60	211.61	1.31

## Proračun uzdužne armature u polju



$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 43 \text{ cm}$$

$$L = 380 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 43 - 5 = 38 \text{ cm}$$

Slika 10.80 Poprečni presjek grede

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w = 20 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 6,13 \text{ kNm}$$

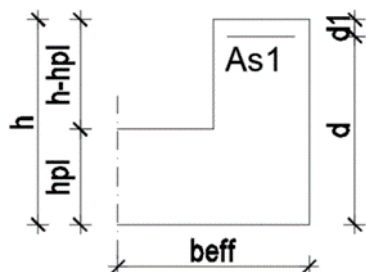
$$\mu_{\text{Sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{613}{20 \cdot 38^2 \cdot 2,0} = 0,011 \approx 0,013$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{\text{s1}} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{\text{c2}} = 0,6 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,981 \quad \xi = 0,057$$

$$A_{\text{s1}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{613}{0,981 \cdot 38 \cdot 43,48} = 0,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura u polju: **3Ø14** ( $A_{\text{s1}} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

## Proračun uzdužne armature na ležaju



Slika 10.81 Poprečni presjek grede

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 43 \text{ cm}$$

$$L = 380 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 43 - 5 = 38 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w + \frac{0,7 \cdot L}{10} = 20 + \frac{0,7 \cdot 380}{10} = 47 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 10,55 \text{ kNm}$$

$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1055}{47 \cdot 38^2 \cdot 2,0} = 0,008 \approx 0,009$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{\text{s1}} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{\text{c2}} = 0,5 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,984 \quad \xi = 0,048$$

$$A_{\text{s1}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{1055}{0,984 \cdot 38 \cdot 43,48} = 0,65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura na ležaju: **3Ø14** ( $A_{\text{s1}} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

Dimenzioniranje na poprečnu silu

Računska poprečna sila:

$$V_{Ed} = 24,72 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{380}} = 1,73 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,73$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \quad (N_{Ed} = 0)$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{9,24}{20 \cdot 38} = 0.012 \rightarrow \text{koef. armiranja uzdužnom armaturom}$$

$b_w = 200 \text{ mm} \rightarrow$  najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnoj zoni

$d = 380 \text{ mm} \rightarrow$  statička visina presjeka

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,73 \cdot (100 \cdot 0,012 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 200 \cdot 380 = 52096 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 52,10 \text{ kN} > V_{Ed} = 24,72 \text{ kN}$$

Potrebno je dokazati:

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,71^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,429$$

$$V_{Rd,c} = 52,10 \text{ kN} \geq 0,429 \cdot 200 \cdot 380 = 32604 \text{ N} = 32,60 \text{ kN} \quad (\text{uvjet je zadovoljen})$$

Maksimalna poprečna sila:

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

$$v = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{30}{250}\right) = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,53 \cdot 200 \cdot 380 \cdot 20,0 = 402800 \text{ N}$$

$$V_{Rd,max} = 402,8 \text{ kN} > V_{Ed} = 24,72 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona ( $s_{w,max}$ ):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{24,72}{402,8} \approx 0,06 \rightarrow V_{Ed} = 0,06 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0,75d; 30 \text{ cm}) = \min(28,5 \text{ cm}; 30 \text{ cm}) \rightarrow s_{w,max} = 28,5 \text{ cm}$$

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 28,5 \cdot 20}{2} = 0,3 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø10/25 cm ( $A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$ )

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 38)}{24,72} = 95,04 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone Ø10/25 cm:

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

$$z \approx 0,9 \cdot d \text{ (krak unutrašnjih sila)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kut nagiba tlačnih dijagonala)}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,79}{25} \cdot (0,9 \cdot 38) \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 93,98 \text{ kN} > V_{Ed} = 24,72 \text{ kN}$$

Postaviti spone **Ø10/25** ( $0,79 \text{ cm}^2$ )



## Kontrola pukotina

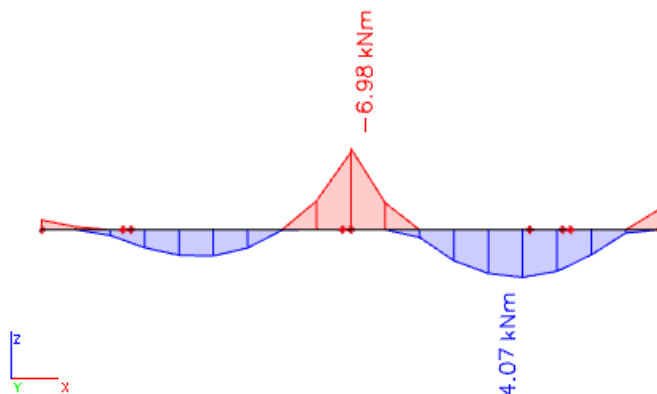
Mjerodavni momenti u gredi su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:

$$1,0 G + 1,0\Delta G + 1,0Q$$

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):

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



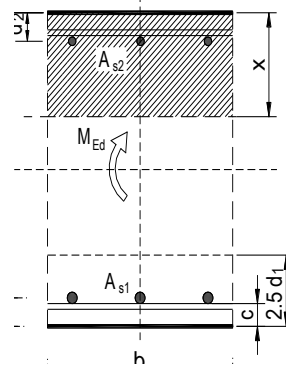
Slika 10.82 Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju  $M_y$

**Polje:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju:  $M_{Ed} = 4,07 \text{ kNm}$

Armatura grede u polju:  $3\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

$b =$	20.0 cm	$d =$	38.0 cm	$h =$	43.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	4.62 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	4.1 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	25.18 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	9.03 cm	$r_{p,eff} =$	0.0185		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	-0.000223	$< 0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000076		
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	230.79 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.017 mm	$< w_g$			



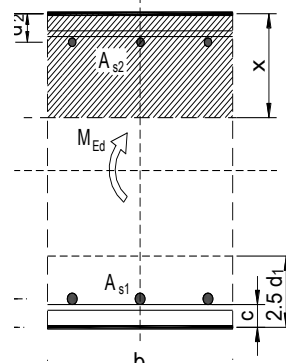
→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

**Ležaj:**

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju:  $M_{Ed} = 6,98 \text{ kNm}$

Armatura grede na ležaju:  $3\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

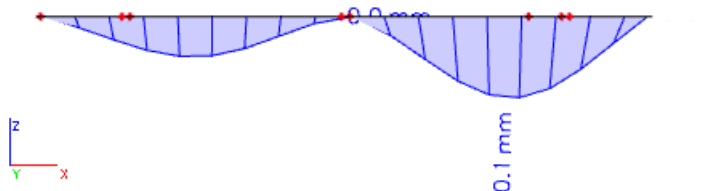
$b =$	20.0 cm	$d =$	38.0 cm	$h =$	43.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	4.62 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	7.0 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	43.18 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	9.03 cm	$r_{p,eff} =$	0.0185		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	-0.000133	$< 0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000130		
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	230.79 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.030 mm	$< w_g$			



→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

## Kontrola progiba

Progibi grede su također dobiveni kroz numerički model. Također se koriste rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:  $GSU 1 : 1,0G + 1,0\Delta G + 1,0Q$



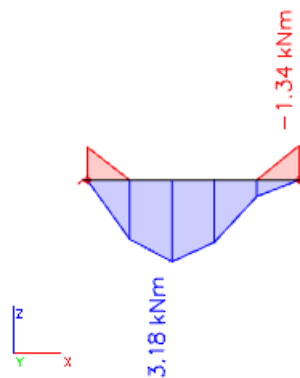
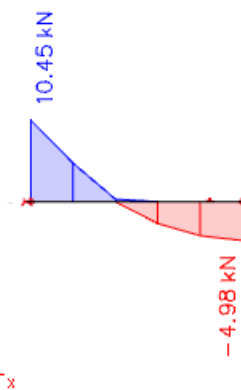
Slika 10.83 Dijagram progiba grede za GSU

Granična vrijednost progiba grede u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{380}{250} = 1,52 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib grede (očitano iz modela):  $f_k = 0,01 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,01 = 0,03 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 1,52 \text{ cm}$

## 10.2.7. Greda (KG2) 20x43 cm

Slika 10.84 Maksimalni momenti savijanja  $M_y$ Slika 10.85 Maksimalna poprečna sila  $V_z$

**Dimenzioniranje na moment savijanja**

Beton: C 30/37  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}; \quad f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Armatura: B 500B  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}; \quad f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta = 0,892$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} \geq 0,26 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 20 \cdot 38 = 1,15 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot 20 \cdot 38 = 0,99 \text{ cm}^2$$

Maksimalna površina armature:

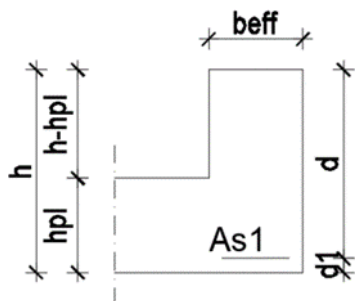
$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 20 \cdot 38 = 30,4 \text{ cm}^2$$

U tablici su prikazani ultimatívni momenti nosivosti za odabranu uzdužnu armaturu, grede

20x43cm :

Šipke	Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
	[cm <sup>2</sup> /m']	[kNm]	[kNm]	%
3φ14	4.62	117.60	77.78	0.48
3φ16	6.03	117.60	101.51	0.63
4φ14	6.16	117.60	103.70	0.64
4φ16	8.04	117.60	135.35	0.84
4φ18	10.18	117.60	171.38	1.06
4φ20	12.57	117.60	211.61	1.31

## Proračun uzdužne armature u polju



$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 43 \text{ cm}$$

$$L = 380 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 43 - 5 = 38 \text{ cm}$$

Slika 10.86 Poprečni presjek grede

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w = 20 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 3,18 \text{ kNm}$$

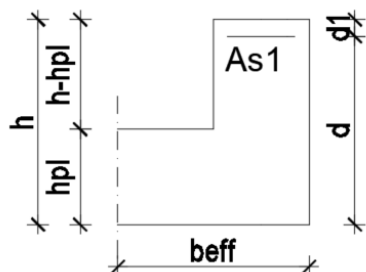
$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{318}{20 \cdot 38^2 \cdot 2,0} = 0,006$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{\text{s1}} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{\text{c2}} = 0,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,987 \quad \xi = 0,038$$

$$A_{\text{s1}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{318}{0,987 \cdot 38 \cdot 43,48} = 0,20 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura u polju: **3Ø14** ( $A_{\text{s1}} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

## Proračun uzdužne armature na ležaju



Slika 10.87 Poprečni presjek grede

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 43 \text{ cm}$$

$$L = 380 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 43 - 5 = 38 \text{ cm}$$

Širina tlačnog područja:

$$b_{\text{eff}} = b_w + \frac{0,7 \cdot L}{10} = 20 + \frac{0,7 \cdot 260}{10} = 39 \text{ cm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 1,34 \text{ kNm}$$

$$\mu_{\text{sd}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{134}{39 \cdot 38^2 \cdot 2,0} = 0,001 \approx 0,002$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 0,2 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,993 \quad \xi = 0,020$$

$$A_{s1} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{134}{0,993 \cdot 38 \cdot 43,48} = 0,08 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura na ležaju: **3Ø14** ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

**Dimenzioniranje na poprečnu silu**

Računska poprečna sila:

$$V_{Ed} = 10,45 \text{ kN}$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{380}} = 1,73 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,73$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \quad (N_{Ed} = 0)$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{9,24}{20 \cdot 38} = 0.012 \rightarrow \text{koef. armiranja uzdužnom armaturom}$$

$b_w = 200 \text{ mm} \rightarrow$  najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnoj zoni

$d = 380 \text{ mm} \rightarrow$  statička visina presjeka

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,73 \cdot (100 \cdot 0,012 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 200 \cdot 380 = 52096 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 52,10 \text{ kN} > V_{Ed} = 10,45 \text{ kN}$$

Potrebno je dokazati:

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,71^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,429$$

$$V_{Rd,c} = 52,10 \text{ kN} \geq 0,429 \cdot 200 \cdot 380 = 32604 \text{ N} = 32,60 \text{ kN} \quad (\text{uvjet je zadovoljen})$$



Maksimalna poprečna sila:

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

$$v = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.6 \cdot \left(1.0 - \frac{30}{250}\right) = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,53 \cdot 200 \cdot 380 \cdot 20,0 = 402800 \text{ N}$$

$$V_{Rd,max} = 402,8 \text{ kN} > V_{Ed} = 10,45 \text{ kN}$$

Maksimalni razmak spona ( $s_{w,max}$ ):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{10,45}{402,8} \approx 0,03 \rightarrow V_{Ed} = 0,03 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{w,max} = \min(0,75d; 30 \text{ cm}) = \min(28,5 \text{ cm}; 30 \text{ cm}) \rightarrow s_{w,max} = 28,5 \text{ cm}$$

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{w,min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 28,5 \cdot 20}{2} = 0,3 \text{ cm}^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø10/25 cm ( $A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$ )

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 38)}{10,45} = 224,83 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti odabrane spone Ø10/25 cm:

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

$$z \approx 0,9 \cdot d \text{ (krak unutrašnjih sila)}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kut nagiba tlačnih dijagonala)}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,79}{25} \cdot (0,9 \cdot 38) \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 93,98 \text{ kN} > V_{Ed} = 10,45 \text{ kN}$$

Postaviti spone **Ø10/25** ( $0,79 \text{ cm}^2$ )

## Kontrola pukotina

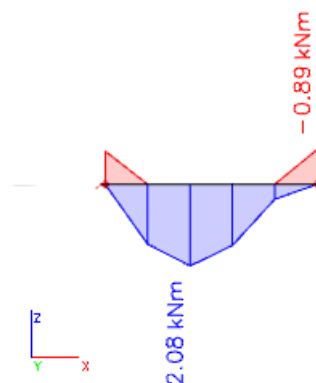
Mjerodavni momenti u gredi su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:

$$1,0 G + 1,0\Delta G + 1,0Q$$

Granična vrijednost širine pukotine:  $w_g = 0.3 \text{ mm}$  (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):

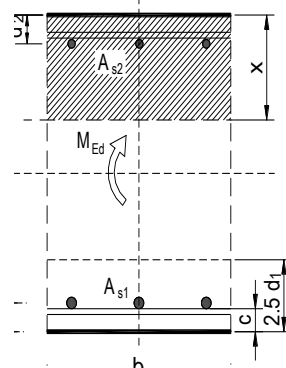
$$w_k = S_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_g$$



Slika 10.88 Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju  $M_y$

**Polje:**Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju:  $M_{Ed} = 2,08 \text{ kNm}$ Armatura grede u polju:  $3\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

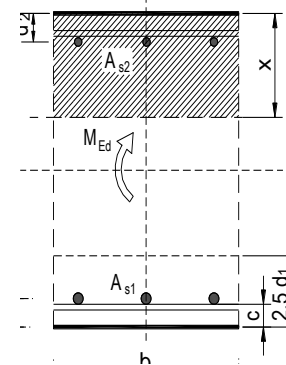
$b =$	20.0 cm	$d =$	38.0 cm	$h =$	43.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	4.62 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	2.1 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	12.87 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	9.03 cm	$r_{p,eff} =$	0.0185		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	-0.000284	$< 0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000039		
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	230.79 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.009 mm $< w_g$				



→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

**Ležaj:**Maksimalni eksploatacijski (radni) moment na ležaju:  $M_{Ed} = 0,89 \text{ kNm}$ Armatura grede na ležaju:  $3\text{Ø}14$  ( $A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$ )

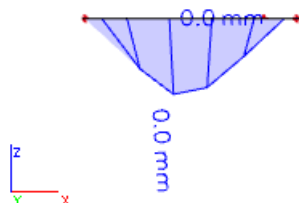
$b =$	20.0 cm	$d =$	38.0 cm	$h =$	43.0 cm
$f_{ck} =$	30.0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2.90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0.30 mm
$A_{s1} =$	4.62 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0.00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5.0 cm
$E_s =$	200.00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32.80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6.10
$M_{Ed} =$	0.9 kNm	$k_t =$	0.40		
$s_s =$	5.51 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	9.03 cm	$r_{p,eff} =$	0.0185		
$(e_{sm} - e_{cm}) =$	-0.000321	$< 0.6 \cdot s_s/E_s =$	0.000017		
$\text{Ø} =$	14.0 mm	$c =$	3.00 cm		
$k_1 =$	0.8	$k_2 =$	0.50		
$k_3 =$	3.4	$k_4 =$	0.43		
$s_{r,max} =$	230.79 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (e_{sm} - e_{cm}) =$	0.004 mm $< w_g$				



→ Odabrana armatura zadovoljava u pogledu širine pukotine.

## Kontrola progiba

Progibi grede su također dobiveni kroz numerički model. Također se koriste rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja:  $GSU 1 : 1,0G + 1,0\Delta G + 1,0Q$



Slika 10.89 Dijagram progiba grede za GSU

Granična vrijednost progiba grede u polju:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{260}{250} = 1,04 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib grede (očitano iz modela):  $f_k = 0 \text{ cm}$

## **11. DIMENZIONIRANJE VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE**

### **11.1. Proračun stupova u garaži**

Proračun stupova napravljen je na temelju prostornog modela predmetne građevine.

Stupovi u garaži su predviđeni kao klasično armirano betonski elementi.

Stupovi se izvode kao monolitni elementi lijevani u četverostranoj oplati na licu mjesta. Za sve stupove predviđen je beton C 30/37 te armatura B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min 3,5 cm.

Proračun i dimenzioniranje stupova predmetne građevine napravljen je na temelju uobičajenih i izvanrednih kombinacija. Uobičajene kombinacije predstavljaju kombinaciju stalnog i korisnog opterećenja. Izvanredne kombinacije čine stalno i korisno opterećenje zajedno sa djelovanjem potresa.

### 11.1.1. Proračun stupova na savijanje i uzdužnu silu

Utjecaj vitkosti stupova obuhvaćen je inženjerskom metodom povećanja momenta.

Rezultati reznih sila za svaki pojedini tip stupa, proračunati računalnim programom Scia Engineer 21.1, prikazani su u nastavku. Dijagram nosivosti betonskog presjeka s odabranom armaturom dobiven je pomoću računalnog programa Aspalathos Section Design.

Povećanje momenta zbog vitkosti stupa provedeno je približnim postupkom prema EC-2:

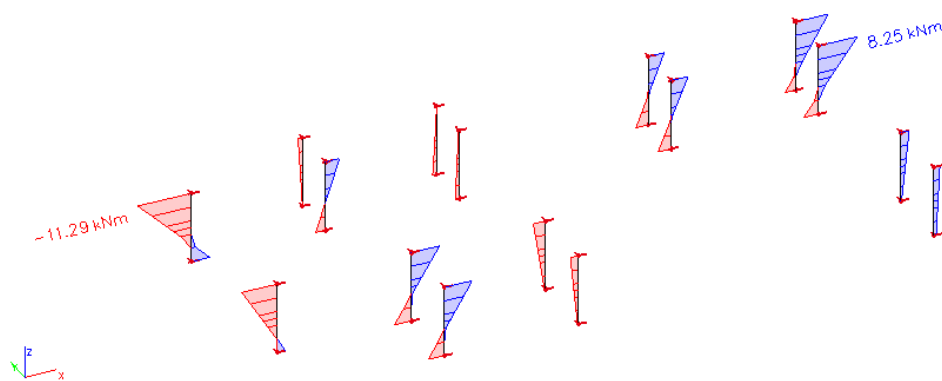
$$M_{Ed, rac} = \psi \cdot M_{sd} \quad ; \quad \psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} \quad ; \quad C_m = 1.0 \quad ; \quad \gamma = 1.5$$

$$N_e = \pi^2 \frac{E_\phi \cdot I}{\ell_i^2} \quad ; \quad E_\phi = \frac{E}{\phi}$$

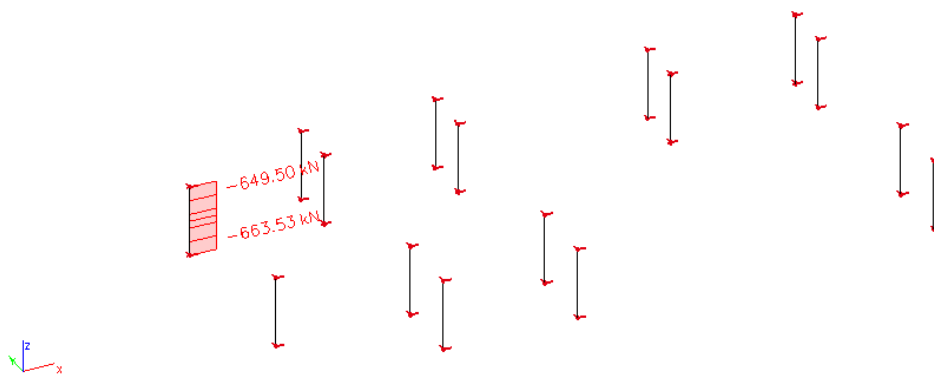
Mjerodavne rezne sile su očitane i dimenzioniranje je izvršeno za najkritičniji presjek.

## 11.2. Proračun stupova 20x80 cm

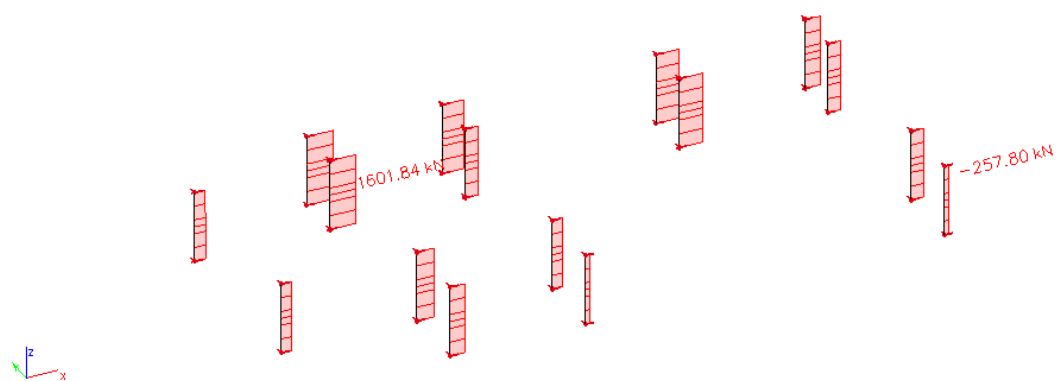
### 11.2.1. Rezultati proračuna



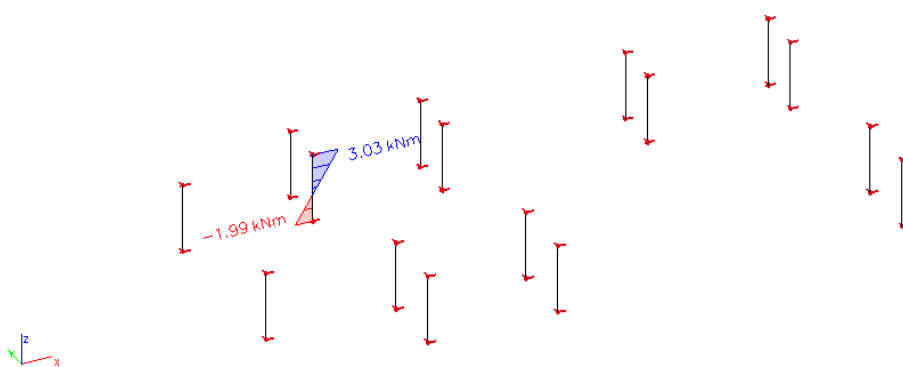
Slika 11.1 Maksimalni moment savijanja za kombinaciju GSN2



Slika 11.2 Pripadna uzdužna sila za kombinaciju GSN2

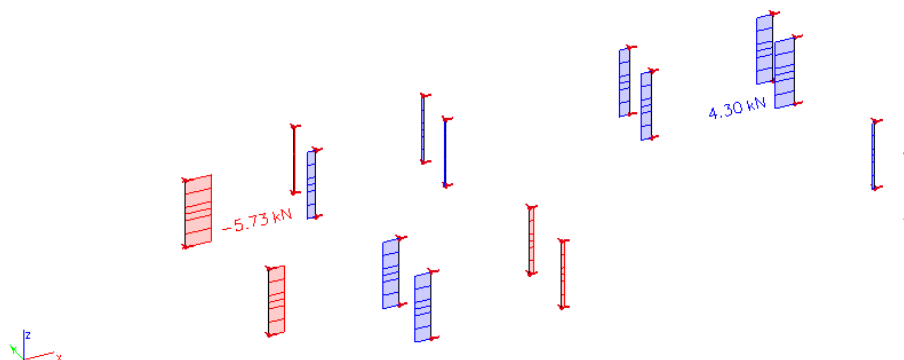


Slika 11.3 Maksimalna uzdužna sila za kombinaciju GSN2



Slika 11.4 Pripadni moment savijanja za kombinaciju GSN2





Slika 11.5 Maksimalna poprečna sila za kombinaciju GSN2

### Postupak povećanja početnog momenta savijanja

Maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila za kombinaciju:

$$M_{Ed}^I = 11,29 \text{ kNm} \quad N = 663,53 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^{II} = \psi \cdot M_{Ed}^I \quad ; \quad \psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} \quad ; \quad C_m = 1.0 \quad ; \quad \gamma = 1.5$$

$$N_e = \pi^2 \frac{E_\phi \cdot I}{l_0^2} \quad ; \quad E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{32000}{1 + 1} = 16000 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,0102 \text{ m}^4$$

$$l_0 = 1,4 \cdot 2,65 = 3,71 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \frac{16.000.000,00 \cdot 0,0102}{3,71^2} = 117023,23 \text{ kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} = \frac{1.0}{1 - \frac{1.5 \cdot 663,53}{117023,23}} = 1,01$$

$$M_{Ed}^{II} = 1,01 \cdot 11,29 = 11,40 \text{ kNm}$$

Maksimalni uzdužna sila i pripadajući moment za kombinaciju:

$$M_{Ed}^I = 3,03 \text{ kNm} \quad N = 1601,84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^{II} = \psi \cdot M_{Ed}^I \quad ; \quad \psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} \quad ; \quad C_m = 1.0 \quad ; \quad \gamma = 1.5$$

$$N_e = \pi^2 \frac{E_\phi \cdot I}{l_0^2} \quad ; \quad E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{32000}{1 + 1} = 16000 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,0102 \text{ m}^4$$

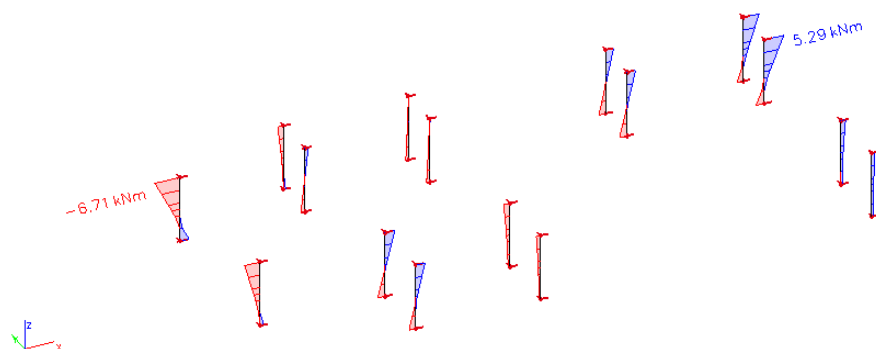
$$l_0 = 1,4 \cdot 2,65 = 3,71 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \frac{16.000.000,00 \cdot 0,0102}{3,71^2} = 117023,23 \text{ kN}$$

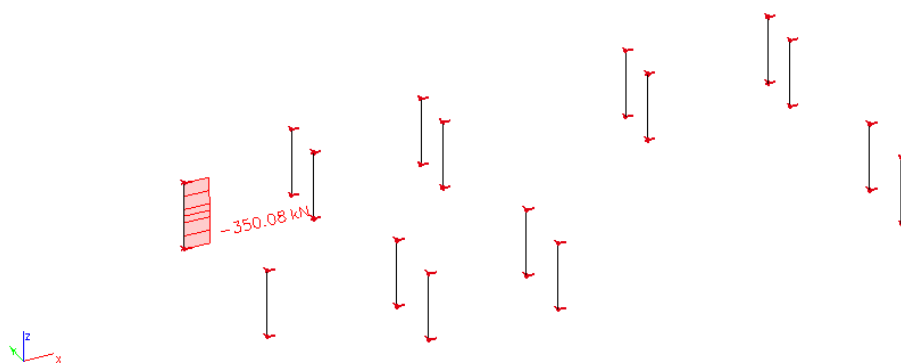
$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} = \frac{1.0}{1 - \frac{1.5 \cdot 1601,84}{117023,23}} = 1,02$$

$$M_{Ed}^{II} = 1,02 \cdot 3,03 = 3,10 \text{ kNm}$$

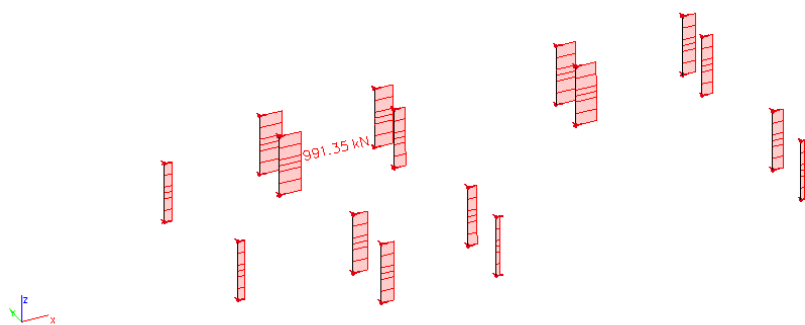
## Seizmička kombinacija



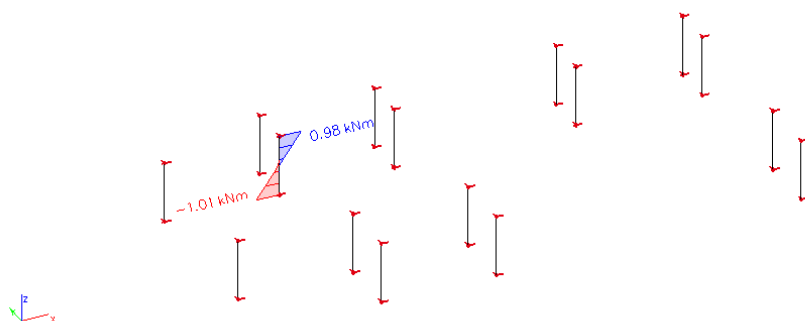
Slika 11.6 Maksimalni moment savijanja za seizmičku kombinaciju KSX



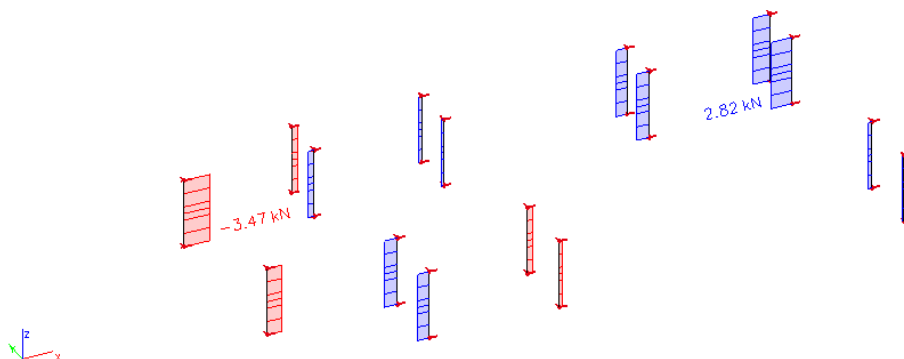
Slika 11.7 Pripadna uzdužna sila za seizmičku kombinaciju KSX



Slika 11.8 Maksimalna uzdužna sila za seizmičku kombinaciju KSX



Slika 11.9 Pripadni moment savijanja za seizmičku kombinaciju KSX



Slika 11.10 Maksimalna poprečna sila za seizmičku kombinaciju KSX

### Postupak povećanja početnog momenta savijanja

Maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila za kombinaciju:

$$M_{Ed}^I = 6,71 \text{ kNm} \quad N = 350,08 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^{II} = \psi \cdot M_{Ed}^I \quad ; \quad \psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} \quad ; \quad C_m = 1.0 \quad ; \quad \gamma = 1.5$$

$$N_e = \pi^2 \frac{E_\phi \cdot I}{l_0^2} \quad ; \quad E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{32000}{1 + 1} = 16000 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,0102 \text{ m}^4$$

$$l_0 = 1,4 \cdot 2,65 = 3,71 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \frac{16.000.000,00 \cdot 0,0102}{3,71^2} = 117023,23 \text{ kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 350,08}{117023,23}} = 1,0$$

$$M_{Ed}^{II} = 1,0 \cdot 6,71 = 6,71 \text{ kNm}$$

Maksimalni uzdužna sila i pripadajući moment za kombinaciju:

$$M_{Ed}^I = 1,01 \text{ kNm} \quad N = 991,35 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^{II} = \psi \cdot M_{Ed}^I \quad ; \quad \psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} \quad ; \quad C_m = 1.0 \quad ; \quad \gamma = 1.5$$

$$N_e = \pi^2 \frac{E_\phi \cdot I}{l_0^2} \quad ; \quad E_\phi = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{32000}{1 + 1} = 16000 \text{ MPa}$$

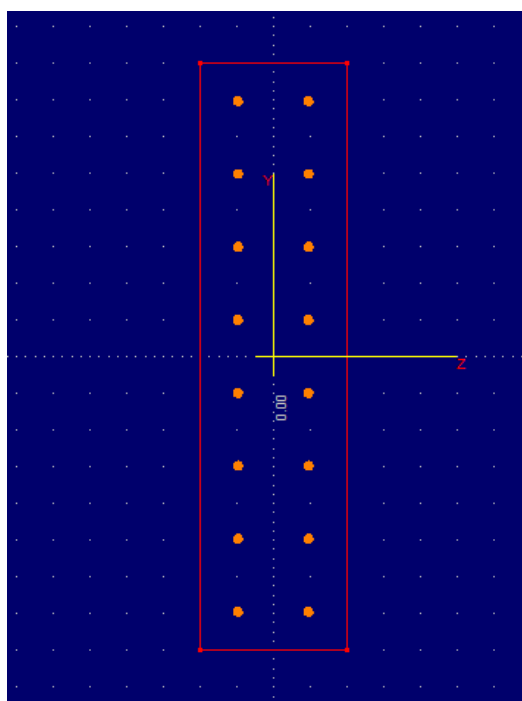
$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,0102 \text{ m}^4$$

$$l_0 = 1,4 \cdot 2,65 = 3,71 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \frac{16.000.000,00 \cdot 0,0102}{3,71^2} = 117023,23 \text{ kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}} = \frac{1.0}{1 - \frac{1.5 \cdot 991,35}{117023,23}} = 1,01$$

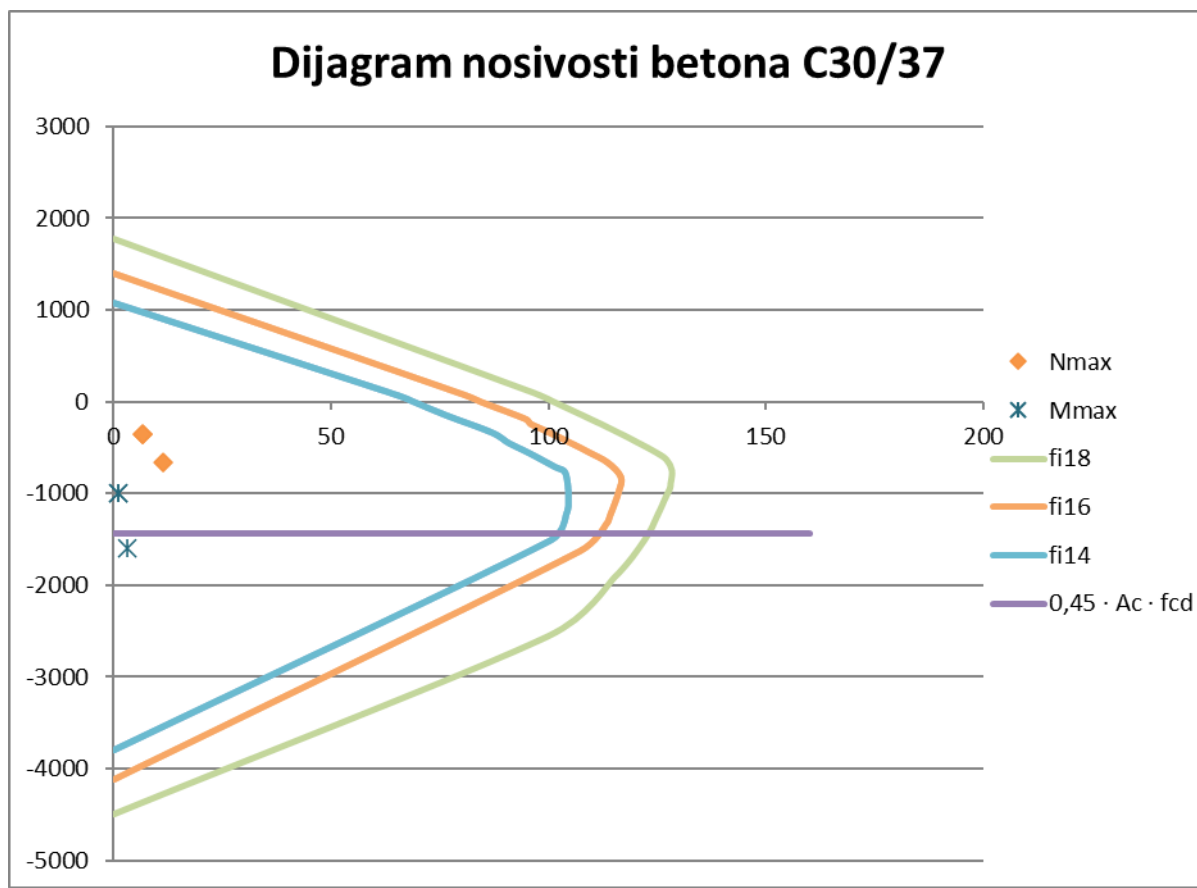
$$M_{Ed}^{II} = 1,01 \cdot 1,01 = 1,02 \text{ kNm}$$



Slika 11.11 Poprečni presjek stupa s armaturom (Aspalathos Section Design)

Tablica 11.1 Rezne sile u stupovima

KOMBINACIJA	MJERODAVNE REZNE SILE			
	M MAX	N PRIP	N MAX	M PRIP
	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)
OSNOVNA	3.1	-1601.84	-663.53	11.29
SEIZMIČKA	1.02	-991.35	-350.08	6.71



Slika 11.12 Dijagram nosivosti za stupove u garaži

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot a \cdot b = 0,001 \cdot 80 \cdot 20 = 1,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot a \cdot b = 0,02 \cdot 80 \cdot 20 = 32 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 16Φ14 ( $A_{s1} = 24,64 \text{ cm}^2$ )



## 11.2.2. Proračun na poprečnu silu

<p>C 30/37</p> <p><math>f_{cd}=30/1.5=20,0</math> MPa</p> <p>Računska poprečna sila:</p> <p><math>V_{Ed,max}= 5,73</math> kN</p> <p>Računska uzdužna sila:</p> <p><math>N_{Ed}= 1601,84</math> kN</p>	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$ $V_{Rd,c,min} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$ $V_{Rd,c,mjer} = \max(V_{Rd,c}, V_{Rd,c,min})$ $V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = 0.5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$ $V_{wd} = \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z}{s_w}$ <hr/> $k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ [mm]}$ $k_1 = 0.15$ $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0 \leq 0,2 \cdot f_{cd}$ $\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c}$ $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$ $v_{min} = 0.035 \cdot k^2 \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$ $V_{Rd,max} = 0.5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$ $v = 0.6 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$ $A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_w \cdot b_w}{m}$ $V_{Rd} = V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta$
---	---

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

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

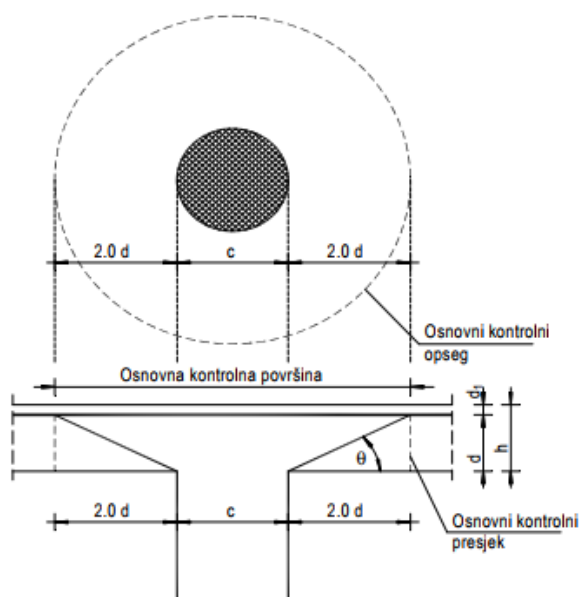
$$s_w \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}}$$

$b_w$	20.00	cm	<b>C 30/37</b>		
$h$	80.00	cm	$f_{ck}$	30.00	Mpa
$d_1 (d_2)$	3.50	cm	$f_{cd}$	2.00	kN/cm <sup>2</sup>
$d$	76.50	cm	$f_{yd}, f_{yw,d}$	43.48	kN/cm <sup>2</sup>
$A_{sl}$	24.64	cm <sup>2</sup>	$\tau_{Rd}$	0.34	kN/cm <sup>2</sup>
$V_{Ed,max}$	5.73	kN	<b>Konstruktivna armatura</b>		
$N_{sd}$	1601.84	kN	$\rho_{min}$	0.0010	
$k$	1.51		$m$	2	
$\rho_l$	0.0161		$V_{Ed,max}/V_{Rd2}$	0.01	
$v_{min}$	0.36		$s_{w,max}$	30.0	cm
$\sigma_{cp}$	0.40	kN/cm <sup>2</sup>	$A_{sw,min}$	0.300	cm <sup>2</sup>
$V_{Rd,c}$	110.2	kN	Odabrano:	<b>Ø10 / 15</b>	
$V_{Rd,c,min}$	63.7	kN	$A_{sw,od}$	0.79	cm <sup>2</sup>
$V_{Rd,c,mjer}$	110.2	kN	$V_{wd}$	313.49	kN
$v$	0.528				
$V_{Rd2}$	807.8	kN			

Po sredini stupa povećati razmak na **Ø10/20** cm

Detalji armiranja prikazani su u nacrtima

### 11.2.3. Kontrola stupa na proboj ploče



Slika 11.13 Proboj ploče

Uvjet nosivosti ploče na proboj:  $U_{Ed} \leq V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$

Ako je gornji uvjet nosivosti na proboj zadovoljen, potrebno je kontrolirati je li ugrađena armatura zadovoljava ili je potrebno ploču dodatno armirati na proboj.

Armatura za osiguravanje od proboj neće biti potrebna ako je zadovoljen uvjet

$$U_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}]$$

$$U_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d}$$

gdje je:

$\beta$  – korekcijski faktor kojim se uzima u obzir ekscentrično djelovanje sile proboja u odnosu na kritični presjek

$\beta = 1,15$  za unutrašnje stupove  $\rightarrow$  stup je unutrašnji

$\beta = 1,4$  za stupove na rubu i stupove uz otvore

$\beta = 1,5$  za stupove u kutu

**Ploča h= 30 cm**

$V_{Ed}$  – maksimalna sila u kritičnom opsegu ( $V_{Ed} = 1601,84$  kN)

$u_i$  – osnovni kontrolni opseg

$d$  – statička visina ploče ( $d = 27$  cm)

$$u_i = 2 \cdot (a + b) + 2 \cdot 2d \cdot \pi = 2 \cdot (20 + 80) + 2 \cdot 2 \cdot 27 \cdot \pi = 539,29 \text{ cm}$$

$$U_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{1601,84}{539,29 \cdot 27} = 0,13 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,22 \text{ MPa}$$

$$U_{Ed} = 1,3 \text{ MPa} < V_{Rd,max} = 4,22 \text{ MPa}$$

Uvjet nosivosti ploče na proboj je zadovoljen.

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \geq \left[ v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right]$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{270}} = 1,86 < 2,0$$

Donja zona: odabrana armatura: Q - 503 + preklop 40 cm ( $A_s = 5,97$  cm<sup>2</sup>)

Gornja zona: odabrana armatura: R - 785 + preklop 40 cm ( $A_s = 9,31$  cm<sup>2</sup>)

$$\rho_{l,x} = \rho_{l,y} = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{5,97 + 9,31}{100 \cdot 27} = 0,0057$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}} = \sqrt{0,0057^2} = 0,0057$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,86^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,49$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,86 \cdot (100 \cdot 0,0057 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] \geq [0,49 + 0]$$

$$V_{Rd,c} = 0,58 \text{ MPa} > 0,49 \text{ MPa}$$

$$U_{Ed} = 1,3 \text{ MPa} > V_{Rd,c} = 0,58 \text{ MPa}$$

Potrebno je postaviti armaturu za proboj:

$$A_{sw} = (U_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c}) \cdot \frac{d \cdot u}{f_{yd} \cdot \sin \alpha} =$$
$$= (0,13 - 0,75 \cdot 0,058) \cdot \frac{27 \cdot 539,29}{\frac{(250 + 0,25 \cdot 270)}{10} \cdot \sin 45} = 56,1 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura za proboj: **6Ø25 u oba smjera**  $A_s=59,9 \text{ cm}^2$

**Ploča h= 25 cm**

$V_{Ed}$  – maksimalna sila u kritičnom opsegu ( $V_{Ed} = 1601,84$  kN)

$u_i$  – osnovni kontrolni opseg

$d$  – statička visina ploče ( $d = 22$  cm)

$$u_i = 2 \cdot (a + b) + 2 \cdot 2d \cdot \pi = 2 \cdot (20 + 80) + 2 \cdot 2 \cdot 22 \cdot \pi = 476,46 \text{ cm}$$

$$U_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{1601,84}{476,46 \cdot 22} = 0,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot \nu \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0,6 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,22 \text{ MPa}$$

$$U_{Ed} = 1,8 \text{ MPa} < V_{Rd,max} = 4,22 \text{ MPa}$$

Uvjet nosivosti ploče na proboj je zadovoljen.

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \geq \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right]$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{220}} = 1,95 < 2,0$$

Donja zona: odabrana armatura: Q - 283 + preklop 40 cm ( $A_s = 3,36$  cm<sup>2</sup>)

Gornja zona: odabrana armatura: R - 785 + preklop 40 cm ( $A_s = 9,31$  cm<sup>2</sup>)

$$\rho_{l,x} = \rho_{l,y} = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3,36 + 9,31}{100 \cdot 22} = 0,0058$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}} = \sqrt{0,0058^2} = 0,0058$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,95^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,52$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,95 \cdot (100 \cdot 0,0058 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] \geq [0,52 + 0]$$

$$V_{Rd,c} = 0,61 \text{ MPa} > 0,52 \text{ MPa}$$

$$U_{Ed} = 1,8 \text{ MPa} > V_{Rd,c} = 0,61 \text{ MPa}$$

Potrebno je postaviti armaturu za proboj:

$$A_{sw} = (U_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c}) \cdot \frac{d \cdot u}{f_{yd} \cdot \sin \alpha} =$$
$$= (0,18 - 0,75 \cdot 0,61) \cdot \frac{22 \cdot 476,46}{\frac{(250 + 0,25 \cdot 220)}{10} \cdot \sin 45} = 65,25 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura za proboj: **7Ø25 u oba smjera**  $A_s=68,72 \text{ cm}^2$

### **11.3. Proračun zidova**

Zidovi su predviđeni kao klasično armirano-betonski elementi. Debljina zidova je 20 cm. Zidovi se izvedu kao monolitni elementi lijevani u dvostranoj oplati na licu mjesta. Za sve zidove predviđen je beton C 30/37 te armatura B 500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min 3 cm.

Rezne sile na zidovima očitane su iz numeričkog modela u računalnom programu Scia Engineer 21.1. U nastavku su prikazane vrijednosti za uzdužnu silu ( $N_{Ed}$ ), poprečnu silu ( $V_{Ed}$ ) i moment savijanja ( $M_{Ed}$ ). Unutarnje sile u zidovima prikazane su kao na 1D elementu i dobivene integriranjem naprezanja duž cijele duljine odabranog zida korištenjem opcije Integration strip u računalnom programu.

Dimenzionirani su karakteristični zidovi zgrade u x i y smjeru i karakteristični zid garaže. Armatura je izabrana što uniformnija zbog jednostavnosti izvedbe. U skicama armature zidova prikazani su detalji armiranja svakog zida i svih karakterističnih spojeva.



### 11.3.1. Proračun zidova na savijanje i uzdužnu silu

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{cd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{cd}}$$

$$\zeta \approx 0,892$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{sds}^* d^2 f_{cd} d^2 f_{cdRd,c,lim}$$

### 11.3.2. Proračun zidova na djelovanje poprečne sile

Svi zidovi koji se uzimaju u obzir za prijenos horizontalnog opterećenja mogu se smatrati da su vitki zidovi.

Kritično područje:

$$h_{cr} \leq 2h_s = 6,04 \text{ m}$$

Za svaki zid vrijedi:

$$V'_{Ed} = \varepsilon \cdot V_{Ed,i}$$

$V'_{Ed}$  - korigirana poprečna sila

$V_{Ed,i}$  - računaska poprečna sila (iz proračuna)

$\varepsilon$  - korekcijski koeficijent  $\varepsilon \leq q$ , radi jednostavnosti usvaja se  $\varepsilon = q = 2,4$

Minimalna armatura u zidovima:

$$A_{s,min} = 0,2\% \cdot 20,0 \cdot 100 = 4,00 \text{ cm}^2/m$$

tj. zidove za koje ne treba računaska armatura armirati s Q-283 obostrano.

$$A_s = 2 \cdot 2,83 = 5,66 \text{ cm}^2/m$$

### **Nosivost zidova na poprečne sile (s minimalnom armaturom)**

#### **Slom tlačne dijagonale**

U kritičnom području:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd2} = 0,5 \cdot \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z$$

Van kritičnog područja:

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$z \approx 0,9 \cdot d$$

**Slom vlačne dijagonale**

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w}$$

Ako je  $\alpha_s \leq 1.3$  tada zidovi nose izrazito posmično i potrebno je da:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3} = [\rho_h \cdot f_{ywd} \cdot (\alpha_s - 0,3) + \rho_v \cdot f_{ywd} \cdot (1,3 - \alpha_s)] \cdot b_w \cdot z$$

$$\rho_h = \rho_v = \frac{A_s}{A_c}$$

$$f_{ywd} = \frac{500,0}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

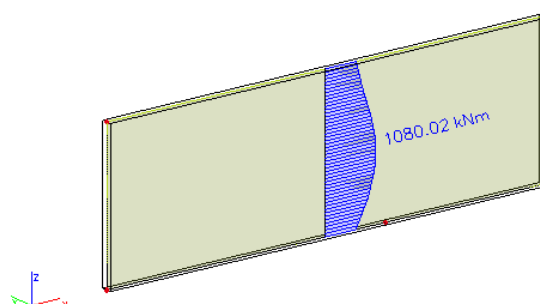
$$z \approx 0,9 \cdot d$$

NAPOMENA: Skica i način armiranja zidova prikazani su u grafičkim priložima.

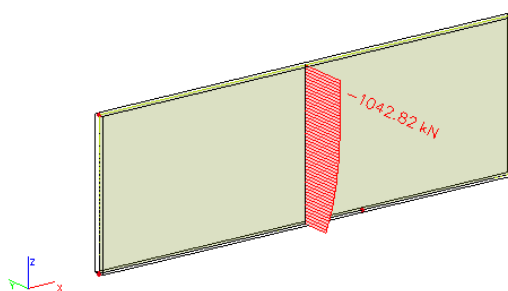
### 11.3.3. Rezultati proračuna karakterističnog zida zgrade (x smjer)

Glavni nosivi sustav objekta za prijenos horizontalnih opterećenja tvore stupovi i zidovi. Zidovi su analizirani na zadane kombinacije opterećenja. Prikazani su rezultati za seizmičku kombinaciju u smjeru zida.

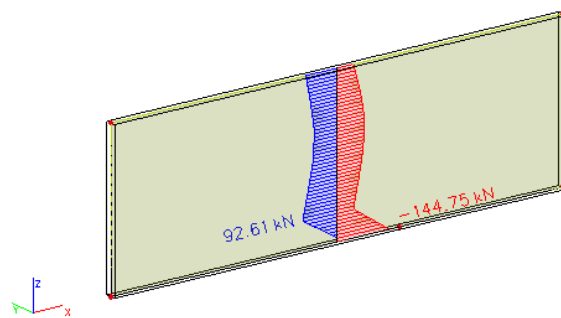
Rezultati reznih sila za svaki zid proračunati su računalnim programom Scia Engineer 21.1 te su prikazani u nastavku.



Slika 11.14 Maksimalni moment za seizmičku kombinaciju KSX



Slika 11.15 Maksimalna uzdužna sila za seizmičku kombinaciju KSX



Slika 11.16 Maksimalna poprečna sila za seizmičku kombinaciju KSX

**Proračun seizmičkog zida**

## GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE ZIDA:

$h_s$ - visina etaže	302	cm
$b_w$ - debljina zida	20	cm
$l_w$ - duljina zida	860	cm
$h_w$ - visina zida	302	cm
$n$ - broj etaža	3	

$d_1 =$	3	cm
$d =$	854	cm

DUKTILNOST:

DCM-srednja duktilnost

VITKI ZID ( $h_s/l_w > 2$ )FAKTOR PONAŠANJA  $q =$ 

3,0

Dužina rubnog serklaža:  $l_{c0} = \min \{0,15l_w; 1,50b_w\}$  $l_{c0} = 30,0$  cmUvjet za debljinu zida:  $b_{w0} \geq \min \{0,15 l_w; h_s/20\}$  $b_{w0} \geq 15,1$  cmVitkost zida:  $h_w/l_w = 0,35 < 2$ 

zid nije vitak

Visina kritične zone:  $h_{cr} = \max \{l_w; h_w/6\}$   $h_{cr} = 860$  cm

GRADIVO:

**Beton:**

Klasa:	C30/37	
$f_{ck} =$	30	MPa
$f_{cd} =$	20,0	MPa
$t_{Rd} =$	0,34	MPa

**Armatura:**

Tip:	B	
	500B	
$f_{yk} =$	500	MPa
$f_{yd} =$	434,78	MPa

**Koeficijenti sigurnosti materijala:** -

$g_c =$	1,50
$g_s =$	1,15

**Proračun nosivosti na uzdužnu silu i moment**

$$M_{Ed} = 1080,02 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1042,82 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 144,75 \text{ kN}$$

$$b = 20 \text{ cm} ; d = 854 \text{ cm}$$

Širina rubnog serklaža:

$$b_{w0} = \min \{0,15l_w; 1,50b_w\} = \min \{129,0 ; 30,0\} = 30,0 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) = 1080,02 + 1042,82 \cdot \left(8,54 - \frac{3,02}{2}\right) = 8411,04 \text{ kNm}$$

Moment nosivosti jednostruko armiranog presjeka:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 0,20 \cdot 8,54^2 \cdot 20000 = 46384,50 \text{ kNm/m} > M_{Ed}$$

Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8411,04 \cdot 100}{20 \cdot 854^2 \cdot 2,0} = 0,029$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}; \varepsilon_{c2} = 1,0\text{‰}; \xi = 0,091; \zeta = 0,968$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{8411,04 \cdot 100}{0,968 \cdot 854 \cdot 43,48} - \frac{1042,82}{43,48} = -0,58 \text{ cm}^2$$

Potrebna minimalna površina uzdužne vlačne armature u rubovima zida:

$$A_{s1,min} = 0,15\% \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 20 \cdot 854 = 25,62 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **8Ø22** ( $A_s = 30,41 \text{ cm}^2$ )



**Proračun armature na poprečnu silu**

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot V_{Ed}$$

$\varepsilon$ - korekcijski faktor

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{Rd} \cdot M_{Rd}}{q \cdot M_{Ed}} + 0,1 \cdot \left( \frac{s_e(T_c)}{s_e(T_1)} \right)^2} \leq q$$

Kako gornji izraz mora biti manji od  $q$  zbog jednostavnosti uzimamo  $\varepsilon = q = 2,4$

$$V_{Ed} = 2,4 \cdot 144,75 = 347,40 \text{ kN}$$

C 30/37  $f_{ck}=30 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

**Lom tlačne dijagonale u zidu**

$$V_{Ed} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot (0,7 - f_{ck}/200) \cdot f_{cd} \cdot b_{w0} \cdot z & \text{u kritičnoj zoni} \\ 0,5 \cdot (0,7 - f_{ck}/200) \cdot f_{cd} \cdot b_{w0} \cdot z & \text{van kritične zone} \end{cases}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot (0,7 - 3,0/200) \cdot 2,0 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 854 = 8423,86 \text{ kN} \\ 0,5 \cdot (0,7 - 3,0/200) \cdot 2,0 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 854 = 10529,82 \text{ kN} \end{cases}$$

$$V_{Ed} = 347,40 \text{ kN} \leq V_{Rd2}(8423,86; 10529,82) \text{ kN}$$

Zid zadovoljava na slom tlačne dijagonale.

**Lom vlačne dijagonale u zidu**

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3}$$

Ovisno o koeficijentu smicanja.

Postupak ovisi o koeficijentu  $\alpha_s$ :

$$\alpha_s = M_{Ed} / (V_{Ed} \cdot L_w) = 1080,02 / (347,40 \cdot 8,60) = 0,36$$

Primjenjuje se slijedeći postupak:

Ako je  $\alpha_s \leq 1,3$  koristi se izraz (i za vertikalnu i horizontalnu armaturu):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3} = \left[ \rho_h \cdot f_{yw,d} (\alpha_s - 0,3) + \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot (1,3 - \alpha_s) \right] \cdot b_{w0} \cdot z + V_{cd}$$

**NOSIVOST BETONA**

Ako je  $N_{Ed}$  vlačna:

$V_{cd} = 0$  u kritičnom području

$V_{cd}$  – prema izrazu za poprečnu silu van kritičnog područja

Ako je  $N_{Ed}$  tlačna:

$V_{cd} = \tau_{Rd} \cdot (1,2 + 40\rho_v) \cdot b_{w0} \cdot z$  u kritičnom području

$V_{cd}$  – prema izrazu za poprečnu silu van kritičnog područja

*Minimalna armatura:*  $A_{z,min} = 0,15\% \cdot d \cdot 100$

Zid debljine 20 cm :  $A_{s,min} = 0,0015 \cdot 20 \cdot 100 = 3,0 \text{ cm}^2$

Odabrano: **Q-283 obostrano (Ø10/15 cm – vilice)**

Koeficijent armiranja vertikalnom i horizontalnom armaturom:

$$\rho_v = \rho_h = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{5,66}{20 \cdot 100} = 0,00283$$

$$V_{wd} = \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{wd} = 0,00283 \cdot 43,48 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 854 = 1891,50 \text{ kN}$$

Nosivost betona i odabrane uzdužne armature:

$$V_{cd} = \tau_{rd} \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_v) \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{cd} = 0,034 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,00283) \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 854 = 686,34 \text{ kN}$$

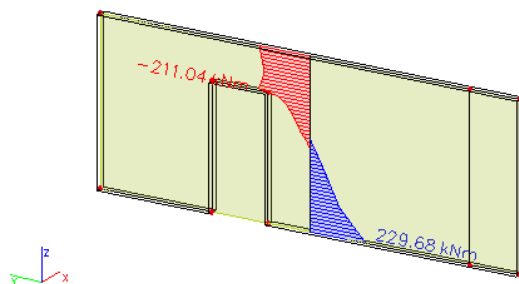
Ukupna nosivost vlačnih dijagonala hrpta:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 686,34 + 1891,50 = 2577,84 \text{ kN}$$

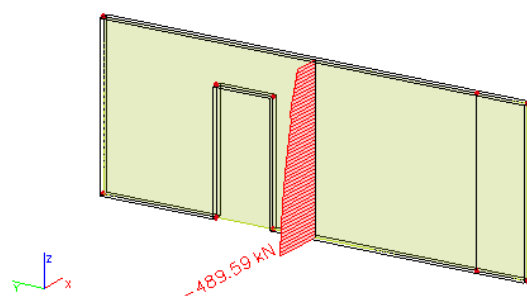
$$V_{Ed} = 347,40 \text{ kN} < V_{Rd3} = 2577,84 \text{ kN}$$

Zid zadovoljava na slom vlačne dijagonale.

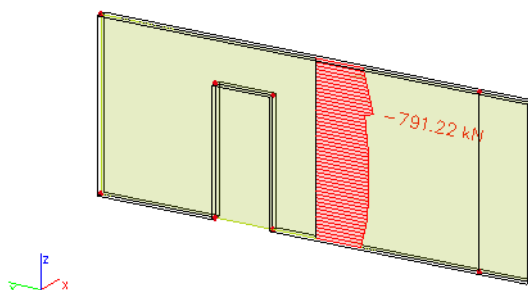
### 11.3.4. Rezultati proračuna karakterističnog zida zgrade (y smjer)



Slika 11.17 Maksimalni moment za seizmičku kombinaciju KSY



Slika 11.18 Maksimalna uzdužna sila za seizmičku kombinaciju KSY



Slika 11.19 Maksimalna poprečna sila za seizmičku kombinaciju KSY

**Proračun seizmičkog zida**

## GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE ZIDA:

$h_s$ - visina etaže	302	cm
$b_w$ - debljina zida	20	cm
$l_w$ - duljina zida	750	cm
$h_w$ - visina zida	302	cm
$n$ - broj etaža	1	

$d_1 =$	3	cm
$d =$	744	cm

DUKTILNOST:

DCM-srednja duktilnost

VITKI ZID ( $h_s/l_w > 2$ )FAKTOR PONAŠANJA  $q =$ 

3,0

Dužina rubnog serklaža:  $l_{c0} = \min \{0,15l_w; 1,50b_w\}$  $l_{c0} = 30,0$  cmUvjet za debljinu zida:  $b_{w0} \geq \min \{0,15 l_w; h_s/20\}$  $b_{w0} \geq 15,1$  cmVitkost zida:  $h_w/l_w = 0,35 < 2$ 

zid nije vitak

Visina kritične zone:  $h_{cr} = \max \{l_w; h_w/6\}$   $h_{cr} = 750$  cm

GRADIVO:

**Beton:**

Klasa:	C30/37	
$f_{ck} =$	30	MPa
$f_{cd} =$	20,0	MPa
$t_{Rd} =$	0,34	MPa

**Armatura:**

Tip:	B 500B	
$f_{yk} =$	500	MPa
$f_{yd} =$	434,78	MPa

**Koeficijenti sigurnosti materijala: -**

$g_c =$	1,50
$g_s =$	1,15

**Proračun nosivosti na uzdužnu silu i moment**

$$M_{Ed} = 229,68 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 489,59 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 791,22 \text{ kN}$$

$$b = 20 \text{ cm} ; d = 744 \text{ cm}$$

Širina rubnog serklaža:

$$b_{w0} = \min \{0,15l_w; 1,50b_w\} = \min \{112,5 ; 30,0\} = 30,0 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) = 229,68 + 489,59 \cdot \left(7,44 - \frac{3,02}{2}\right) = 3132,95 \text{ kNm}$$

Moment nosivosti jednostruko armiranog presjeka:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 0,20 \cdot 7,44^2 \cdot 20000 = 35204,89 \text{ kNm/m} > M_{Ed}$$

Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3132,95 \cdot 100}{20 \cdot 744^2 \cdot 2,0} = 0,014$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}; \varepsilon_{c2} = 0,7\text{‰}; \xi = 0,065; \zeta = 0,977$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{3132,95 \cdot 100}{0,977 \cdot 744 \cdot 43,48} - \frac{489,59}{43,48} = -1,35 \text{ cm}^2$$

Potrebna minimalna površina uzdužne vlačne armature u rubovima zida:

$$A_{s1,min} = 0,15\% \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 20 \cdot 744 = 22,32 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **8Ø20** ( $A_s = 25,13 \text{ cm}^2$ )

**Proračun armature na poprečnu silu**

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot V_{Ed}$$

$\varepsilon$ - korekcijski faktor

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{Rd} \cdot M_{Rd}}{q \cdot M_{Ed}} + 0,1 \cdot \left( \frac{s_e(T_c)}{s_e(T_1)} \right)^2} \leq q$$

Kako gornji izraz mora biti manji od  $q$  zbog jednostavnosti uzimamo  $\varepsilon = q = 3,0$

$$V_{Ed} = 2,4 \cdot 791,22 = 1898,93 \text{ kN}$$

C 30/37  $f_{ck}=30 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

**Lom tlačne dijagonale u zidu**

$$V_{Ed} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot (0,7 - f_{ck} / 200) \cdot f_{cd} \cdot b_{w0} \cdot z & \text{u kritičnoj zoni} \\ 0,5 \cdot (0,7 - f_{ck} / 200) \cdot f_{cd} \cdot b_{w0} \cdot z & \text{van kritične zone} \end{cases}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot (0,7 - 3,0/200) \cdot 2,0 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 744 = 7338,82 \text{ kN} \\ 0,5 \cdot (0,7 - 3,0/200) \cdot 2,0 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 744 = 9173,52 \text{ kN} \end{cases}$$

$$V_{Ed} = 1898,93 \text{ kN} \leq V_{Rd2}(7338,82; 9173,52) \text{ kN}$$

Zid zadovoljava na slom tlačne dijagonale.



**Lom vlačne dijagonale u zidu**

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3}$$

Ovisno o koeficijentu smicanja.

Postupak ovisi o koeficijentu  $\alpha_s$ :

$$\alpha_s = M_{Ed} / (V_{Ed} \cdot L_w) = 229,68 / (1898,93 \cdot 7,50) = 0,016$$

Primjenjuje se slijedeći postupak:

Ako je  $\alpha_s \leq 1,3$  koristi se izraz (i za vertikalnu i horizontalnu armaturu):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3} = \left[ \rho_h \cdot f_{yw,d} (\alpha_s - 0,3) + \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot (1,3 - \alpha_s) \right] \cdot b_{w0} \cdot z + V_{cd}$$

**NOSIVOST BETONA**

Ako je  $N_{Ed}$  vlačna:

$V_{cd} = 0$  u kritičnom području

$V_{cd}$  – prema izrazu za poprečnu silu van kritičnog područja

Ako je  $N_{Ed}$  tlačna:

$V_{cd} = \tau_{Rd} \cdot (1,2 + 40\rho_v) \cdot b_{w0} \cdot z$  u kritičnom području

$V_{cd}$  – prema izrazu za poprečnu silu van kritičnog područja

*Minimalna armatura:*  $A_{z,min} = 0,15\% \cdot d \cdot 100$

Zid debljine 20 cm :  $A_{s,min} = 0,0015 \cdot 20 \cdot 100 = 3,0 \text{ cm}^2$

Odabrano: **Q-283 obostrano (Ø10/15 cm – vilice)**

Koeficijent armiranja vertikalnom i horizontalnom armaturom:

$$\rho_v = \rho_h = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{5,66}{20 \cdot 100} = 0,00283$$

$$V_{wd} = \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{wd} = 0,00283 \cdot 43,48 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 744 = 1647,86 \text{ kN}$$

Nosivost betona i odabrane uzdužne armature:

$$V_{cd} = \tau_{rd} \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_v) \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{cd} = 0,034 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,00283) \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 744 = 597,94 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost vlačnih dijagonala hrpta:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 597,94 + 1647,86 = 2245,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1898,93 \text{ kN} < V_{Rd3} = 2245,8 \text{ kN}$$

Zid zadovoljava na slom vlačne dijagonale.

### 11.3.5. Rezultati proračuna karakterističnog zida garaže

Obodni zidovi u podzemnoj garaži dominantno su opterećeni aktivnim tlakom tla. Opterećen je aktivnim tlakom tla ( $p_a$ ), te dodatnim tlakom ( $p_0$ ).

Koeficijent tlaka mirovanja :  $K_0 = 0,4$

Horizontalni bočni tlak:  $\sigma_h = e_0 = \sigma_v \cdot K_0$

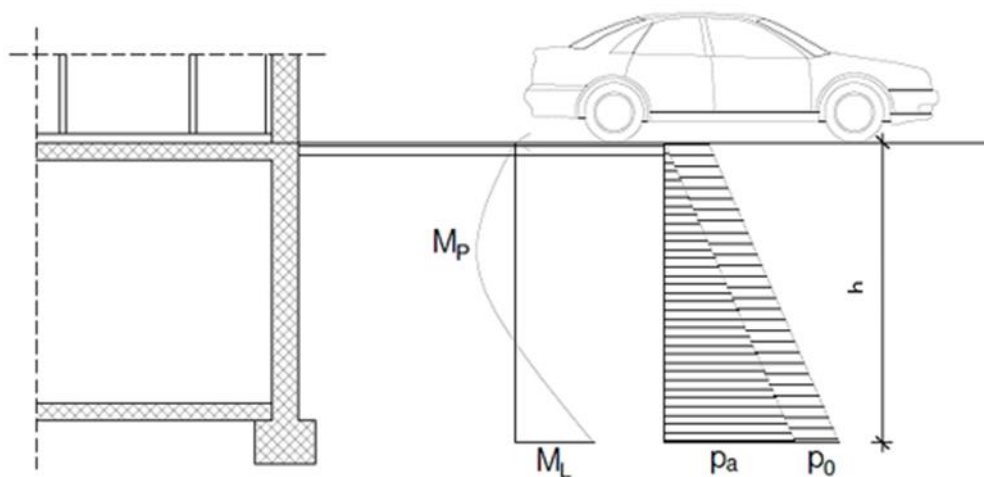
Dodatni tlak :  $p_0 = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Visina zida:  $h = 2,67 \text{ m}$

Specifična težina tla :  $\gamma_{zem} = 19,0 \text{ kN/m}^3$

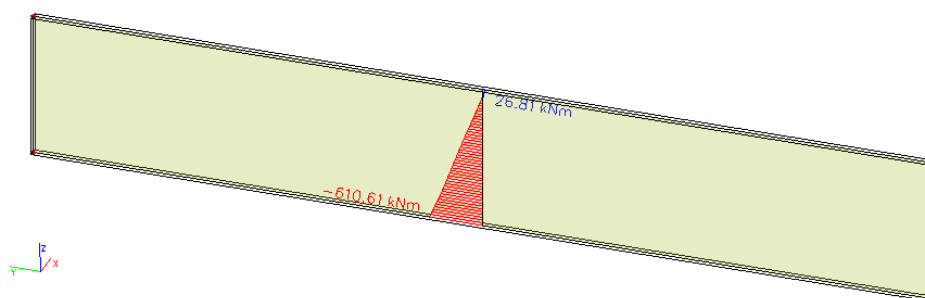
$p_a = \gamma_{zem} \cdot h \cdot K_0 = 19,0 \cdot 2,67 \cdot 0,4 = 20,292 \text{ kN/m}^2$

$p_a + p_0 = 20,292 + 2,0 = 22,292 \text{ kN/m}^2$

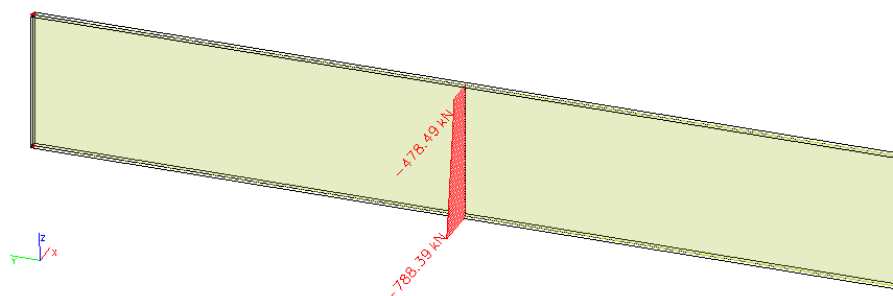


Slika 11.20 Skica opterećenja obodnog zida garaže

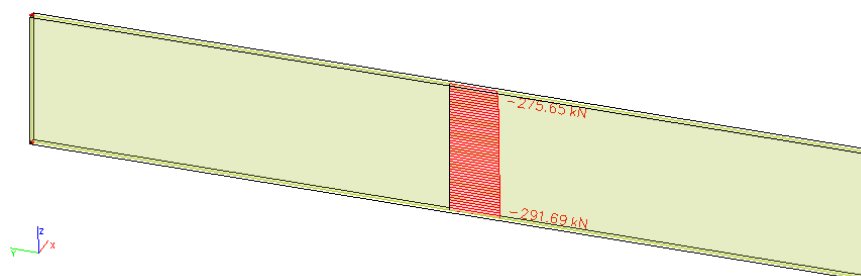
Rezultati reznih sila za svaki zid proračunati su računalnim programom Scia Engineer 21.1 te su prikazani u nastavku.



Slika 11.21 Maksimalni moment za kombinaciju  $1,35 \cdot (G + \Delta G) + 1,5Q + 1,35p_a + 1,35p_o$



Slika 11.22 Maksimalna uzdužna sila za kombinaciju  $1,35 \cdot (G + \Delta G) + 1,5Q + 1,35p_a + 1,35p_o$



Slika 11.23 Maksimalna poprečna sila za kombinaciju  $1,35 \cdot (G + \Delta G) + 1,5Q + 1,35p_a + 1,35p_o$

**Proračun zida**

## GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE ZIDA:

$h_s$ - visina etaže	267	cm
$b_w$ - debljina zida	20	cm
$l_w$ - duljina zida	1680	cm
$h_w$ - visina zida	306	cm
$n$ - broj etaža	1	

$d_1 =$	3	cm
$d =$	1674	cm

DUKTILNOST:

DCM-srednja duktilnost

VITKI ZID ( $h_s/l_w > 2$ )FAKTOR PONAŠANJA  $q =$ 

2,4

Dužina rubnog serklaža:  $l_{c0} = \min \{0,15l_w; 1,50b_w\}$  $l_{c0} = 30,0$  cmUvjet za debljinu zida:  $b_{w0} \geq \min \{0,15 l_w; h_s/20\}$  $b_{w0} \geq 13,35$  cmVitkost zida:  $h_w/l_w = 0,16 < 2$ 

zid nije vitak

Visina kritične zone:  $h_{cr} = \max \{l_w; h_w/6\}$   $h_{cr} = 1680$  cm

GRADIVO:

**Beton:**

Klasa:	C30/37	
$f_{ck} =$	30	MPa
$f_{cd} =$	20,0	MPa
$t_{Rd} =$	0,34	MPa

**Armatura:**

Tip:	B	
	500B	
$f_{yk} =$	500	MPa
$f_{yd} =$	434,78	MPa

**Koeficijenti sigurnosti materijala: -**

$g_c =$	1,50
$g_s =$	1,15

**Proračun nosivosti na uzdužnu silu i moment**

$$M_{Ed} = 610,61 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 788,39 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 291,69 \text{ kN}$$

$$b = 20 \text{ cm} ; d = 1674 \text{ cm}$$

Širina rubnog serklaža:

$$b_{w0} = \min \{0.15l_w; 1.50b_w\} = \min \{252,0; 30,0\} = 30,0 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) = 610,61 + 788,39 \cdot \left(16,74 - \frac{2,62}{2}\right) = 12775,47 \text{ kNm}$$

Moment nosivosti jednostruko armiranog presjeka:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 0,20 \cdot 16,74^2 \cdot 20000 = 178224,75 \text{ kNm/m} > M_{Ed}$$

Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12775,47 \cdot 100}{20 \cdot 1674^2 \cdot 2,0} = 0,011$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}; \varepsilon_{c2} = 0,6\text{‰}; \xi = 0,057; \zeta = 0,981$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{12775,47 \cdot 100}{0,981 \cdot 1674 \cdot 43,48} - \frac{788,39}{43,48} = -0,24 \text{ cm}^2$$

Potrebna minimalna površina uzdužne vlačne armature u rubovima zida:

$$A_{s1,min} = 0,15\% \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 20 \cdot 1674 = 50,22 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **12Ø25** ( $A_s = 58,90 \text{ cm}^2$ )

**Proračun armature na poprečnu silu**

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot V_{Ed}$$

$\varepsilon$ - korekcijski faktor

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{Rd} \cdot M_{Rd}}{q \cdot M_{Ed}} + 0,1 \cdot \left( \frac{s_e(T_c)}{s_e(T_1)} \right)^2} \leq q$$

Kako gornji izraz mora biti manji od  $q$  zbog jednostavnosti uzimamo  $\varepsilon = q = 2,4$

$$V_{Ed} = 2,4 \cdot 291,69 = 700,06 \text{ kN}$$

C 30/37  $f_{ck}=30 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

**Lom tlačne dijagonale u zidu**

$$V_{Ed} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot (0,7 - f_{ck} / 200) \cdot f_{cd} \cdot b_{w0} \cdot z & \text{u kritičnoj zoni} \\ 0,5 \cdot (0,7 - f_{ck} / 200) \cdot f_{cd} \cdot b_{w0} \cdot z & \text{van kritične zone} \end{cases}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot (0,7 - 3,0/200) \cdot 2,0 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 1674 = 16512,34 \text{ kN} \\ 0,5 \cdot (0,7 - 3,0/200) \cdot 2,0 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 1674 = 20640,42 \text{ kN} \end{cases}$$

$$V_{Ed} = 700,06 \text{ kN} \leq V_{Rd2}(16512,34; 20640,42) \text{ kN}$$

Zid zadovoljava na slom tlačne dijagonale.



**Lom vlačne dijagonale u zidu**

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3}$$

Ovisno o koeficijentu smicanja.

Postupak ovisi o koeficijentu  $\alpha_s$ :

$$\alpha_s = M_{Ed} / (V_{Ed} \cdot L_w) = 610,61 / (700,06 \cdot 16,80) = 0,05$$

Primjenjuje se slijedeći postupak:

Ako je  $\alpha_s \leq 1,3$  koristi se izraz (i za vertikalnu i horizontalnu armaturu):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3} = \left[ \rho_h \cdot f_{yw,d} (\alpha_s - 0,3) + \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot (1,3 - \alpha_s) \right] \cdot b_{w0} \cdot z + V_{cd}$$

**NOSIVOST BETONA**

Ako je  $N_{Ed}$  vlačna:

$V_{cd} = 0$  u kritičnom području

$V_{cd}$  – prema izrazu za poprečnu silu van kritičnog područja

Ako je  $N_{Ed}$  tlačna:

$V_{cd} = \tau_{Rd} \cdot (1,2 + 40\rho_v) \cdot b_{w0} \cdot z$  u kritičnom području

$V_{cd}$  – prema izrazu za poprečnu silu van kritičnog područja

*Minimalna armatura:*  $A_{z,min} = 0,15\% \cdot d \cdot 100$

Zid debljine 20 cm :  $A_{s,min} = 0,0015 \cdot 20 \cdot 100 = 3,00 \text{ cm}^2$

Odabrano: **Q-283 obostrano (Ø10/15 cm – vilice)**

Koeficijent armiranja vertikalnom i horizontalnom armaturom:

$$\rho_v = \rho_h = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{5,66}{20 \cdot 100} = 0,00283$$

$$V_{wd} = \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{wd} = 0,00283 \cdot 43,48 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 1674 = 3707,69 \text{ kN}$$

Nosivost betona i odabrane uzdužne armature:

$$V_{cd} = \tau_{rd} \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_v) \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

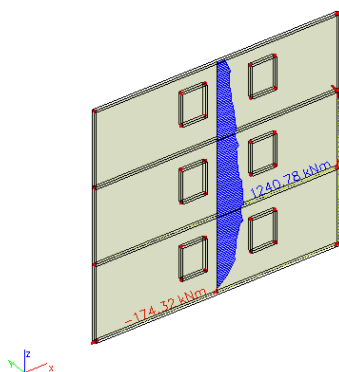
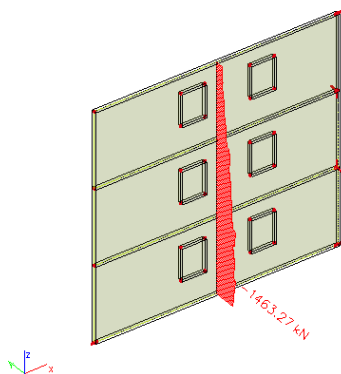
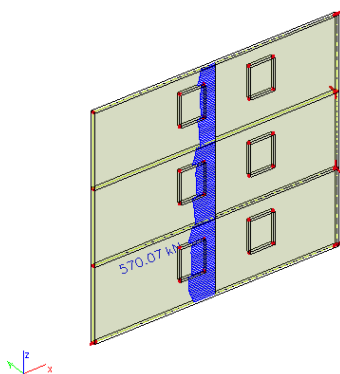
$$V_{cd} = 0,034 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,00283) \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 1674 = 1345,36 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost vlačnih dijagonala hrpta:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 1345,36 + 3707,69 = 5053,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 700,06 \text{ kN} < V_{Rd3} = 5053,05 \text{ kN}$$

Zid zadovoljava na slom vlačne dijagonale.

**11.3.6. Rezultati proračuna zidnog visokostijenog nosača (x smjer)**Slika 11.24 Moment savijanja  $M_z$ Slika 11.25 Uzdužna sila  $N$ Slika 11.26 Poprečna sila  $V_y$

**Geometrijske karakteristike zidnog nosača**

$h_s$ – visina etaže (cm)	302
$b_w$ - debljina zidnog nosača (cm)	20
$l_w$ – duljina zidnog nosača (cm)	910
$h_w$ – visina zidnog nosača (cm)	896

**Gradivo**

<b>Beton</b>	
Klasa	C30/37
$f_{ck}$ (MPa)	30
$f_{cd}$ (MPa)	20,0

<b>Armatura</b>	
Tip	B500B
$f_{yk}$ (MPa)	500
$f_{yd}$ (MPa)	434,78

**Proračun armature**

Krak unutarnjih sila:

$$z = 0,2 \cdot (L + 1,5 \cdot h) = 0,2 \cdot (910 + 2 \cdot 302) = 302,8 \text{ cm}$$

Potrebna vlačna armatura:

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{124078}{302,8 \cdot 43,48} = 9,42 \text{ cm}^2$$

Minimalna površina glavne armature:

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,15 \cdot 20 \cdot 302 \cdot \frac{2,90}{500} = 5,25 \text{ cm}^2$$

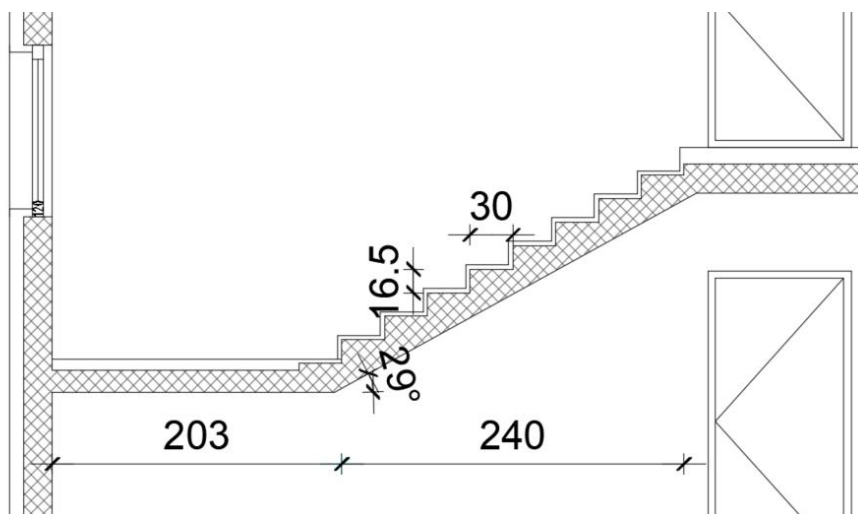
Odabrana armatura: 4Ø22 ( $A_s = 12,57 \text{ cm}^2$ )

Minimalna površina zidnih nosača:

$$A_{s,min} = 0,0015 \cdot b \cdot l = 0,0015 \cdot 20 \cdot 100 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m} > 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura: **Q-283** ( $A_{s,odabrano} = 5,66 \text{ cm}^2/\text{m}$  (**obostrano**))

## 12. PRORAČUN STUBIŠTA



Slika 12.1 Detalj stubišta

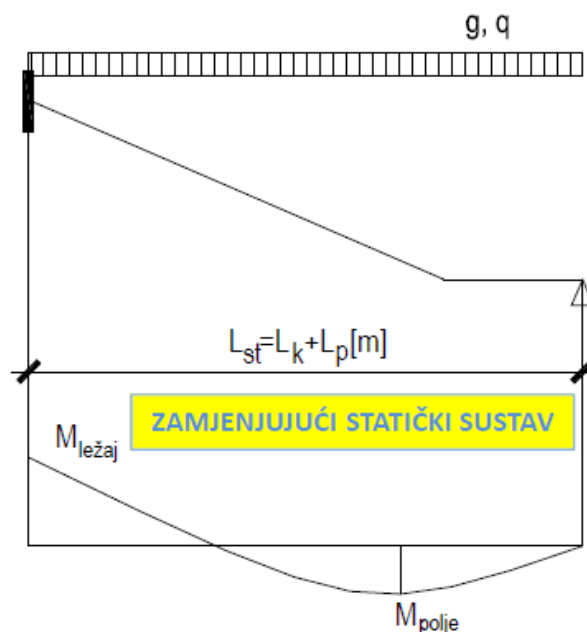
Opterećenja:

- vlastita težina

Napomena: Iako je vlastita težina podesta nešto manja od vlastite težine stubišnog kraka, za potrebe proračuna usvojena je vlastita težina stubišnog kraka na cijeloj duljini statičkog sustava.

$$g = 0,15 \cdot \left( \frac{1}{\cos 29} \right) \cdot 25 = 4,29 \text{ kN/m}^2$$

- dodatno stalno opterećenje  $\Delta g = 1,34 \text{ kN/m}^2$
- korisno (pokretno) opterećenje  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$

**Statički sustav:**

Slika 12.2 Prikaz statičkog sustava

**Polje:**

$$M_g = \frac{(g + \Delta g) \cdot l^2}{14} = \frac{(4,29 + 1,34) \cdot 4,43^2}{14} = 7,89 \text{ kNm}$$

$$M_q = \frac{q \cdot l^2}{14} = \frac{3,0 \cdot 4,43^2}{14} = 4,21 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = 1,35 \cdot M_g + 1,50 \cdot M_q = 1,35 \cdot 7,89 + 1,50 \cdot 4,21 = 16,97 \text{ kNm}$$

**Ležaj:**

$$M_g = -\frac{(g + \Delta g) \cdot l^2}{8} = -\frac{(4,29 + 1,34) \cdot 4,43^2}{8} = -13,81 \text{ kNm}$$

$$M_q = -\frac{q \cdot l^2}{8} = -\frac{3,0 \cdot 4,43^2}{8} = -7,36 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = 1,35 \cdot M_g + 1,50 \cdot M_q = 1,35 \cdot 13,81 + 1,50 \cdot 7,36 = 29,68 \text{ kNm}$$

**Dimenzioniranje na moment savijanja:**

$$h = 15 \text{ cm}, b = 100 \text{ cm}, d_1 = 3 \text{ cm}, d = h - d_1 = 15 - 3 = 12 \text{ cm}$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 12 = 1,2 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 12 = 24 \text{ cm}^2$$

**Polje:**

$$M_{Ed} = 16,97 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1697}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,059$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 1,5 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,953 \quad \xi = 0,130$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1697}{0,953 \cdot 12 \cdot 43,48} = 3,41 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: **Q – 424** ( $A_s = 4,24 \text{ cm}^2/\text{m}'$ )

**Ležaj:**

$$M_{Ed} = 29,68 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2968}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,103$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 2,3 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,928 \quad \xi = 0,187$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2968}{0,928 \cdot 12 \cdot 43,48} = 6,13 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: **R – 785** ( $A_s = 7,85 \text{ cm}^2/\text{m}'$ )



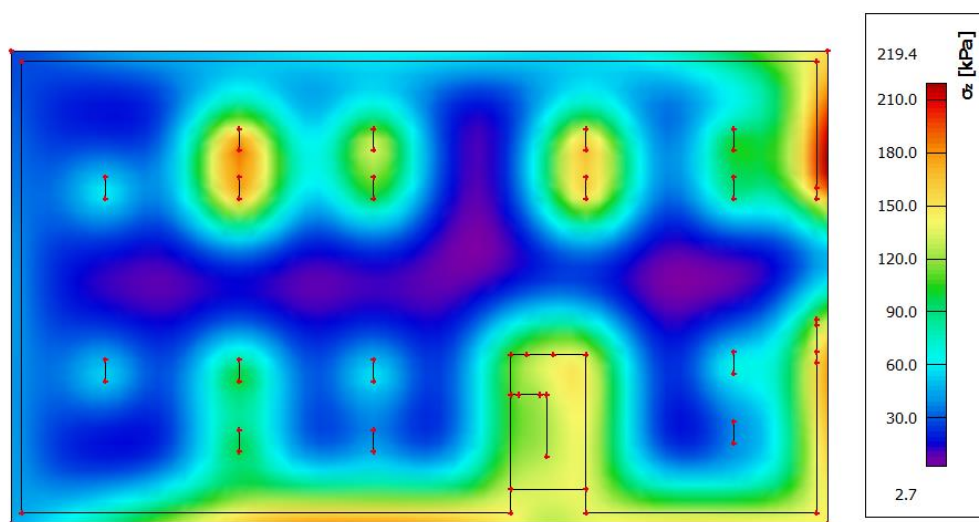
## 13. PRORAČUN TEMELJNE PLOČE

### 13.1. Rezultati proračuna

#### 13.1.1. Kontaktna naprezanja

Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja

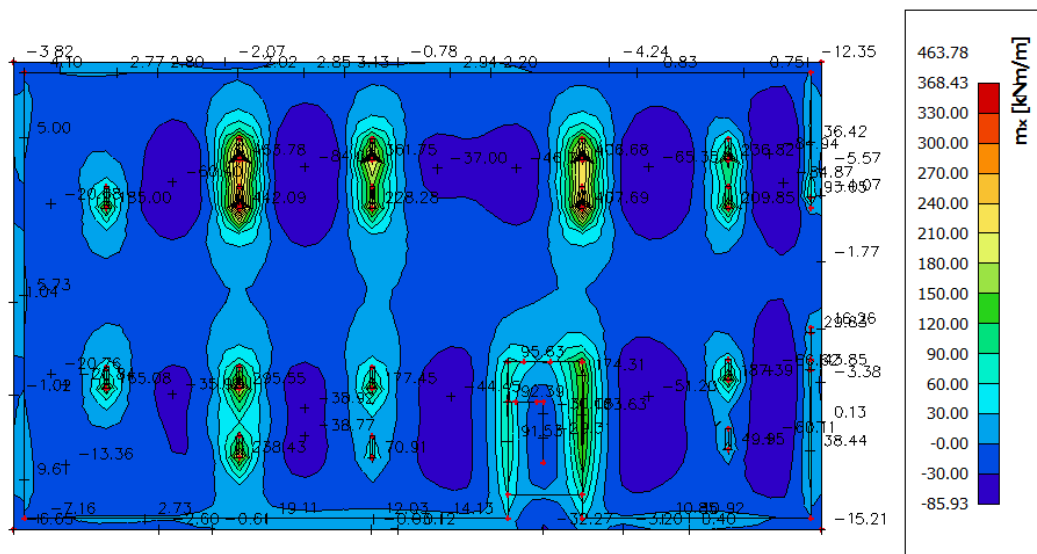
GSU:  $1,0g + 1,0\Delta g + 1,0q$



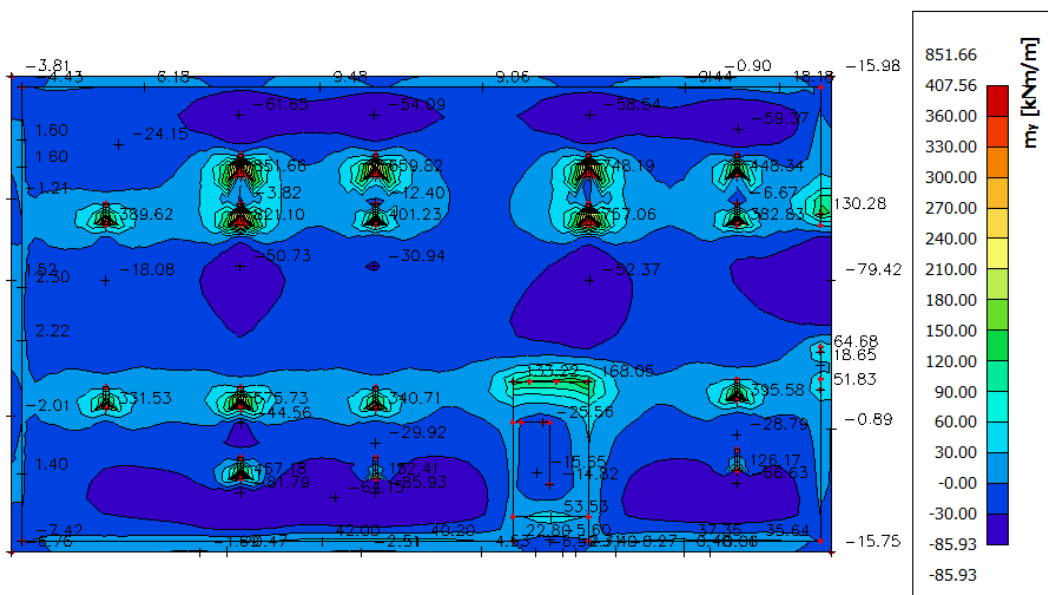
Slika 13.1 Prikaz kontaktnih naprezanja u temeljnoj ploči

Maksimalna naprezanja u tlu manja su od dopuštenih naprezanja ( $\sigma_{tla,max} < \sigma_{rd} = 500 \text{ kPa}$ )

### 13.1.2. Kombinacija GSN



Slika 13.2 Prikaz momenata savijanja  $m_x$  u temeljnoj ploči



Slika 13.3 Prikaz momenata savijanja  $m_y$  u temeljnoj ploči

### 13.2. Dimenzioniranje na savijanje

Postupak dimenzioniranja:

$$C\ 30/37 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20\ \text{MPa}; \quad f_{cd} = 2,0\ \text{kN/cm}^2$$

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

b=100 cm; h=40 cm; d=35 cm

$$\mu_{sds}^* = 0,159; \quad \zeta \approx 0,9; \quad \varepsilon_c/\varepsilon_s = 3,5/10$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,lim}^* \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd}$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 40 = 4,0\ \text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 30 = 80,0\ \text{cm}^2$$

U sljedećoj tablici prikazani su ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu za dimenzije ploče prema prethodnoj slici:

Mreža	Površina $A_{s1}$ [cm <sup>2</sup> /m']	Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[kNm]	[kNm]	%
R/Q - 335	3.35	389.55	45.90	0.08
R/Q - 385	3.85	389.55	52.75	0.10
R/Q - 424	4.24	389.55	58.10	0.11
R/Q - 503	5.03	389.55	68.92	0.13
R/Q - 524	5.24	389.55	71.80	0.13
R/Q - 636	6.36	389.55	87.15	0.16
R/Q - 785	7.85	389.55	107.56	0.20

Sva armatura je veća od minimalne i manja od maksimalne. Zbog preraspodjele kod dugotrajnih efekata armaturu u polju uvijek birati veću od izračunate, a armaturu na ležajevima u skladu s izračunatom. Skica armature prikazana je u grafičkim priložima. Ako se u obzir uzmu i preklopi

$$\geq 40 \text{ cm} \left( A'_{s1} = A_{s1} \cdot \frac{\text{širina mreže (215)} + \text{preklop(40)}}{\text{širina mreže(215)}} \right) :$$

Mreža	Površina $A_{s1}$		Moment nosivosti betona $M_{Rd,c,lim}$	Moment nosivosti armature $M_{Rd,s,lim}$	Postotak armature
		[ $\text{cm}^2/\text{m}'$ ]	[kNm]	[kNm]	%
R/Q - 257	3.05	389.55	41.77	0.08	
R/Q - 283	3.36	389.55	45.99	0.08	
R/Q - 335	3.97	389.55	54.44	0.10	
R/Q - 385	4.57	389.55	62.57	0.11	
R/Q - 424	5.03	389.55	68.91	0.13	
R/Q - 503	5.97	389.55	81.75	0.15	
R/Q - 524	6.21	389.55	85.16	0.16	
R/Q - 636	7.54	389.55	103.36	0.19	
R/Q - 785	9.31	389.55	127.58	0.23	

Armatura donje zone temeljne ploče na mjestu maksimalnog momenta:

→ pozitivni moment savijanja:  $M_{Ed} = 407,56 \text{ kNm/m}'$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{407,56 \cdot 100}{100 \cdot 35^2 \cdot 2,0} = 0,167$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 3,5 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,892$      $\xi = 0,259$

$$A_{s1} = \frac{M_{Rd,lim}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed} - M_{Rd,lim}}{(d - d_1) \cdot f_{yd}} = \frac{389,55 \cdot 100}{0,892 \cdot 35 \cdot 43,48} + \frac{(407,56 - 389,55) \cdot 100}{(35 - 5) \cdot 43,48} = 30,08 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - M_{Rd,lim}}{(d - d_1) \cdot f_{yd}} = \frac{(407,56 - 389,55) \cdot 100}{(35 - 5) \cdot 43,48} = 1,38 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 785 + preklop 40 cm + Ø25/20 cm** ( $A_s = 33,86 \text{ cm}^2$ )

Armatura gornje zone temeljne ploče na mjestu maksimalnog momenta:

→ negativni moment savijanja:  $M_{Ed} = 85,93 \text{ kNm/m}'$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{85,93 \cdot 100}{100 \cdot 35^2 \cdot 2,0} = 0,035$$

Očitano: :  $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$      $\varepsilon_{c2} = 1,1 \text{ ‰}$      $\zeta = 0,965$      $\xi = 0,099$

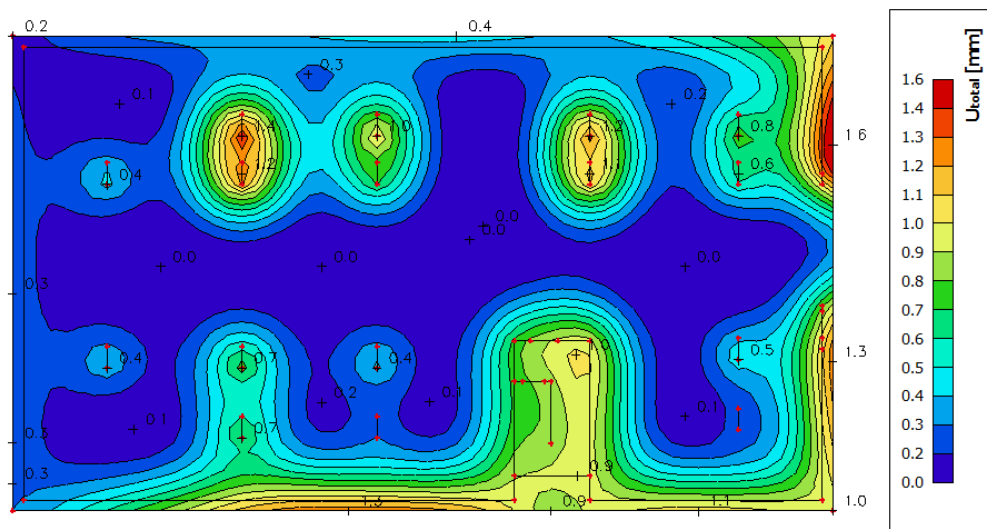
$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{85,93 \cdot 100}{0,965 \cdot 35 \cdot 43,48} = 5,85 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: **Q - 636 + preklop 40 cm** ( $A_s = 7,54 \text{ cm}^2$ )

## Kontrola graničnog stanja deformacija

Mjerodavni kratkotrajni progibi u ploči su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja

GSU:  $1,0g + 1,0\Delta g + 1,0q$



Slika 13.4 Prikaz progiba za temeljnu ploču

Granična vrijednost progiba ploče:  $f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{310}{300} = 1,03 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib ploče (očitano iz modela):  $f_k = 0,16 \text{ cm}$

Ukupni progib:  $f_d = 3,0 \cdot 0,16 = 0,48 \text{ cm} \leq f_{p,dop} = 1,03 \text{ cm}$

## 14. GRAFIČKI PRILOZI

Prilog 14.1. – Globalni plan pozicija – Presjek A-A, Presjek B-B, Presjek C-C.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.2. – Tlocrt garaže – Plan pozicija 000.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.3. – Tlocrt prizemlja – Plan pozicija 100.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.4. – Tlocrt 1. kata – Plan pozicija 200.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.5. – Tlocrt 2. kata – Plan pozicija 300.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.6. – Tlocrt 3. kata – Plan pozicija 400.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.7. – Tlocrt krova – Plan pozicija 500.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.8. – Skica armature temelja – Plan pozicija 000.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.9. – Skica armature ploče prizemlja – Plan pozicija 100.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.10. – Skica armature ploče 1. kata – Plan pozicija 200.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.11. – Skica armature ploče 2. kata – Plan pozicija 300.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.12. – Skica armature ploče 3. kata – Plan pozicija 400.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.13. – Skica armature ploče krova – Plan pozicija 500.....	MJ: 1 :200
Prilog 14.14. – Skica armature greda – Plan pozicija 100.....	MJ: 1 :20
Prilog 14.15. – Skica armature greda – Plan pozicija 400.....	MJ: 1 :20
Prilog 14.16. – Skica armature stupa – Plan pozicija 100.....	MJ: 1 :20
Prilog 14.17. – Skica armature zidova – Plan pozicija 300 .....	MJ: 1 :20
Prilog 14.18. – Skica armature stubišta.....	MJ: 1 :20

## **15. LITERATURA**

- [1] A. Harapin, J. Radnić: OSNOVE BETONSKIH KONSTRUKCIJA - Interna skripta, Split, 2020.
- [2] I. Tomičić: BETONSKE KONSTRUKCIJE – 3. Izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, 1996.
- [3] J. Radnić i suradnici: Betonske konstrukcije – Priručnik, Zagreb 2006.
- [4] EN 1991: Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukcije
- [5] EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija –Dio 1-1 :Opća pravila i pravila za zgrade
- [6] EN 1998:2008 Eurokod 8 –Projektiranje konstrukcija otpornih na potres-1.dio.

