

## GLAVNI PROJEKT TRGOVAČKOG CENTRA „PORTANOVA“ U OSIJEKU: BETONSKI DIJELOVI GRAĐEVINE

### Ivan Ivandić

*Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet Split, student*

### Tomislav Lovrić

*Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet Split, student*

### Alen Harapin

*Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet Split, prof.dr.sc.*

**Sažetak:** U radu je prikazan dio projekta konstrukcije trgovačkog centra Portanova u Osijeku. Cijela građevina obrađena je kroz nekoliko diplomskih radova koji zajedno sačinjavaju jednu cjelinu. U ovom članku prikazan je koncept cjelokupne konstrukcije i proračun betonskih dijelova građevine. Tlocrtna površina građevine je oko 24.000 m<sup>2</sup> (cca 285x80 m), a ukupna bruto površina oko 79.000 m<sup>2</sup>. Građevina se sastoji od jedne podzemne i tri nadzemne etaže. Podrum je u potpunosti izveden u armiranom betonu, a katovi su spregnuta konstrukcija – čelični nosači oslonjeni na betonske stupove. Projektni zahtjev je opterećenje od 10.0 kN/m<sup>2</sup> na ploči prizemlja – na mjestu Supermarketa i 5.0 kN/m<sup>2</sup> na ostalom dijelu. Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u VIII seizmičku zonu i I vjetrovnu zonu.

**Cljučne riječi:** trgovački centar, glavni projekt konstrukcije

**Abstract:** The paper presents structural system of the shopping mall Portanova in Osijek. The whole building was treated through a few theses that together constitute a complete work. This section presents the concept of structure and calculation of concrete parts of the building. Layout area of the building is approximately 24.000 m<sup>2</sup> (about 285x80 m) and a total gross area around 79.000 m<sup>2</sup>. The building is composed of one underground and three upper ground floors. Basement is fully constructed in reinforced concrete, and the floors are composite structures - steel beams supported on concrete columns. The project request is a load of 10.0 kN/m<sup>2</sup> on the board floor - in Supermarket and 5.0 kN/m<sup>2</sup> in other parts. The building is located in the VIII seismic zone and I wind zone.

**Key words:** shopping mall, main design of structure

## 1 Uvod

U radu je ukratko prikazan konstrukcijski sustav te detalji projektiranja i izvođenja trgovačkog centra Portanova u Osijeku. Tlocrtna površina građevine je oko 24.000 m<sup>2</sup>, a ukupna korisna površina oko 50.000 m<sup>2</sup>. Trgovački centar Portanova se visinski sastoji od jedne podzemne i tri nadzemne etaže. U podrumu zgrade projektirana je garaža, tehničke prostorije i spremišta. Nadzemne etaže predviđene su za razne trgovačke sadržaje, kino dvorane i sadržaje ugostiteljske namjene i zabavnog karaktera. Na dijelu drugog kata (krov 1. kata) projektirano je otvoreno parkiralište. Građevina se, u konstrukcijskom smislu, sastoji od 4 dilatacije koje su konstrukcijski potpuno odvojene, a nalaze se na zajedničkoj temeljnoj ploči. Dilatacije 1 i 2 su dvoetažne (garaža + dvije nadzemne etaže), dilatacija 3 je dijelom dvoetažna a dijelom troetažna, a dilatacija 4 je troetažna (garaža + tri nadzemne etaže) (slike 3, 5, 6, 7).

Podna ploča je armiranobetonska ploča, debljine 80 cm. Ova ploča je uglavnom neprekinuta, osim na mjestima početka travelatora/eskalatora gdje je izvedeno udubljenje od 1.1 m i na mjestima liftova gdje je izvedeno udubljenje od 1.5 m. Ploča je armirana šipkastom armaturom u obje zone. Debljina ploče služi ujednačavanju opterećenja na temeljnom tlu i eliminaciji mogućeg diferencijalnog slijeganja.

Konstrukcija ploče garaže je armiranobetonska monolitna konstrukcija koja se sastoji od armiranobetonskih ploča (d=22 cm) koje su povezane gredama 65x60 cm (smjer sjever-jug) i 60x60 cm (smjer istok-zapad). Na pojedinim mjestima izvedena je greda dimenzija 60/80 cm na koju se naslanjaju stupovi. Garaža je u djelomično ukopana i kao takva ukrućena obodnim zidovima i nasipom zemlje za horizontalna opterećenja. Usto, tlocrtna površina ima relativno jednoliko raspodijeljene jezgre (stubišta, liftovi, travelator). Vertikalni nosivi sustav su stupovi dimenzija 90x60 (na mjestima gdje se oni nastavljaju u prizemlju), tj. stupovi dimenzija 60x60 cm (na mjestima gdje završavaju na nivou prizemlja). Osim ovih stupova, na pojedinim mjestima su izvedeni stupovi 40x40 koji pridržavaju fasadu.

Za osnovni raster objekta na etažama predviđen je raster 16.20 x 8.10 m (svaki drugi stup iz garaže se ukida u smjeru sjever-jug). Kao međukatna konstrukcija predviđena je spregnuta konstrukcija čelik – beton (predmet drugog diplomskog rada).

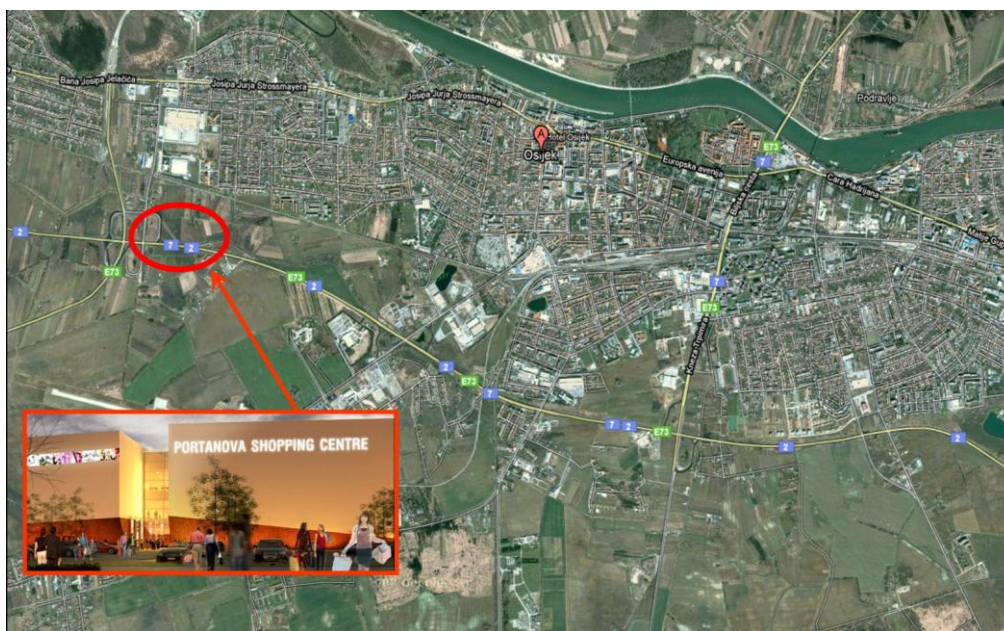
Materijal izrade je beton kvalitete C 30/37. Projektni zahtjev je opterećenje od 10.0 kN/m<sup>2</sup> na ploči prizemlja – na mjestu Supermarketa i 5.0 kN/m<sup>2</sup> na ostalom dijelu. Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u VIII seizmičku zonu i I vjetrovnu zonu.

Sudionici u građenju su:

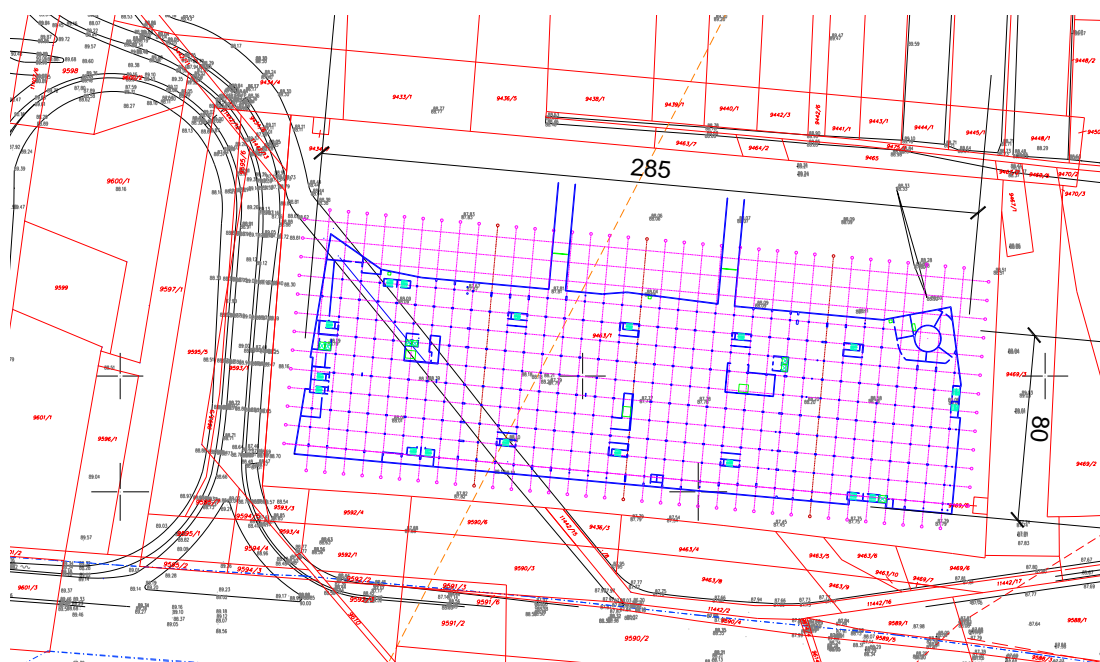
- investitor: Amplitudo d.o.o. Osijek
- koordinator projekta: Mace d.o.o., Beograd
- autori koncepta: Chapman Taylor Achitetti, Milano
- glavni projektant: Studio XXL, Zagreb
- projektant konstrukcije: Aspalathosoft d.o.o. Split
- glavni izvođač radova: Gradnja d.o.o. Osijek
- nadzor: Zavod za urbanizam i izgradnju d.d., Osijek.

## 2 Smještaj građevine

Građevina je smještena na jugozapadnom dijelu prostora Retfala-jug u Osijeku, na zemljištu površine cca 50.000,00 m<sup>2</sup>. Zemljište se nalazi na području Urbanističkog plana uređenja područja između južne obilaznice i željezničke pruge u Osijeku, „Retfala – jug“ – I. etapa zapadni dio (slika 1). Zemljište ima poslovno gospodarsku namjenu. Građevinska parcela poslovno trgovačkog centra formirana je na parceli 9463/1 k.o. Osijek. Novoformirana parcela je gotovo pravokutnog oblika, izduženog u smjeru istok-zapad. S južne strane parcele proteže se brza prometnica - južna obilaznica, sa zapadne strane odvojak s južne obilaznice (slika 2). Sjevernom i istočnom međom parcela graniči s prometnicama u izgradnji prema Urbanističkom planu. Tlocrtna površina građevine je oko 24.000 m<sup>2</sup> (cca 285x80 m), a ukupna bruto površina oko 79.000 m<sup>2</sup>.



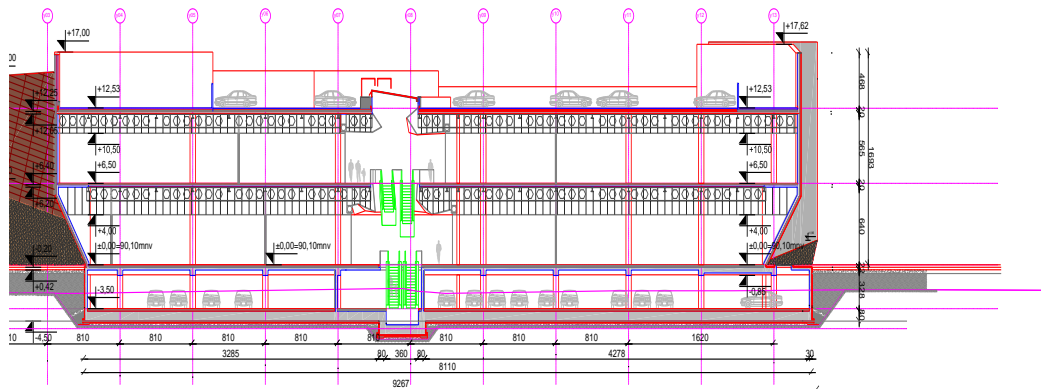
Slika 1 – Geografski položaj građevine



Slika 2 – Položaj građevine na situacijskom nacrtu i orijentacijske dimenzije građevine

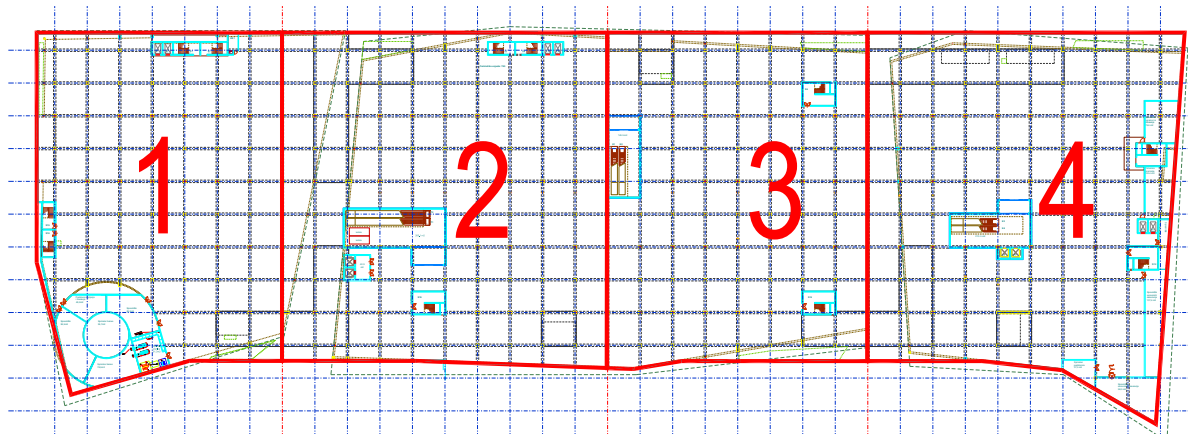
### 3 Izgled i oblik građevine

Centar se visinski sastoji od jedne podzemne i tri nadzemne etaže. U podrumu zgrade projektirana je garaža, tehničke prostorije i spremišta. Nadzemne etaže predviđene su za razne trgovačke sadržaje, kino dvorane i sadržaje ugostiteljske namjene i zabavnog karaktera. Na dijelu drugog kata (krov 1. kata) projektirano je otvoreno parkiralište (slika 3).



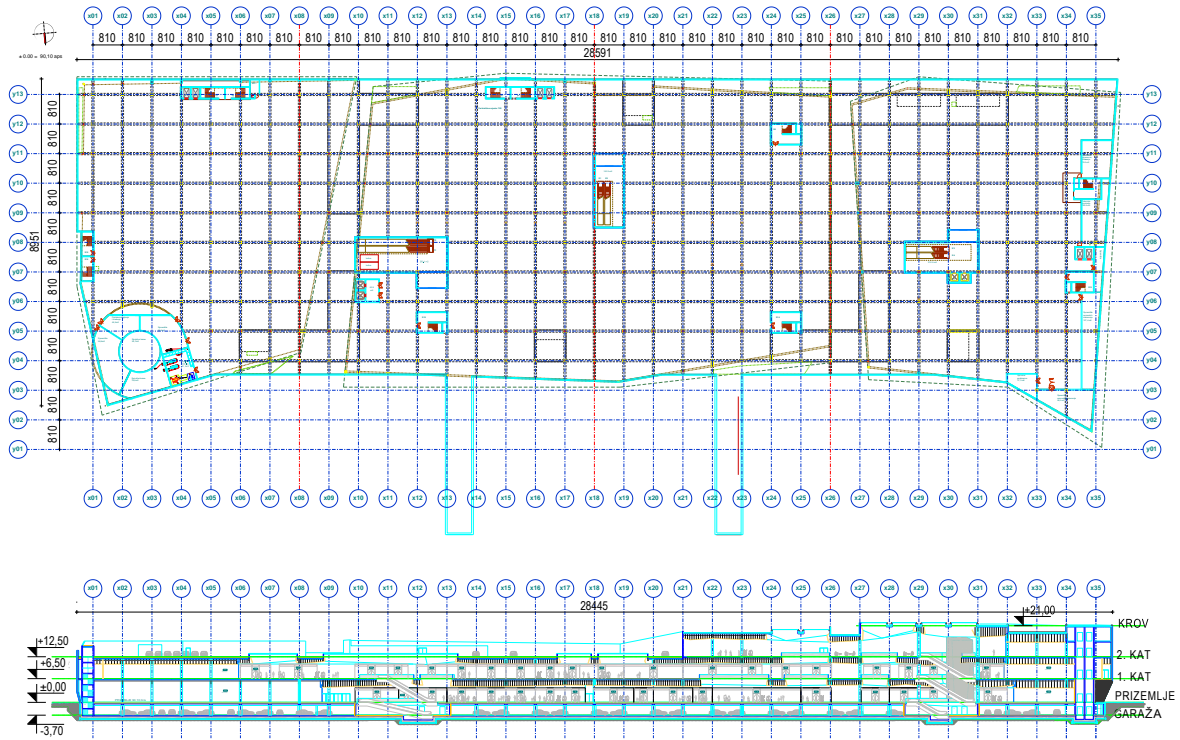
**Slika 3 – Poprečni presjek trgovačkog centra**

Građevina se, u konstrukcijskom smislu, sastoji od 4 dilatacijske jedinice koje su konstrukcijski potpuno odvojene, a nalaze se na zajedničkoj temeljnoj ploči (slika 4). Dilatacije 1 i 2 su dvoetažne (podrum + dvije nadzemne etaže), dilatacija 3 je dijelom dvoetažna a dijelom troetažna, a dilatacija 4 je troetažna (podrum + tri nadzemne etaže).



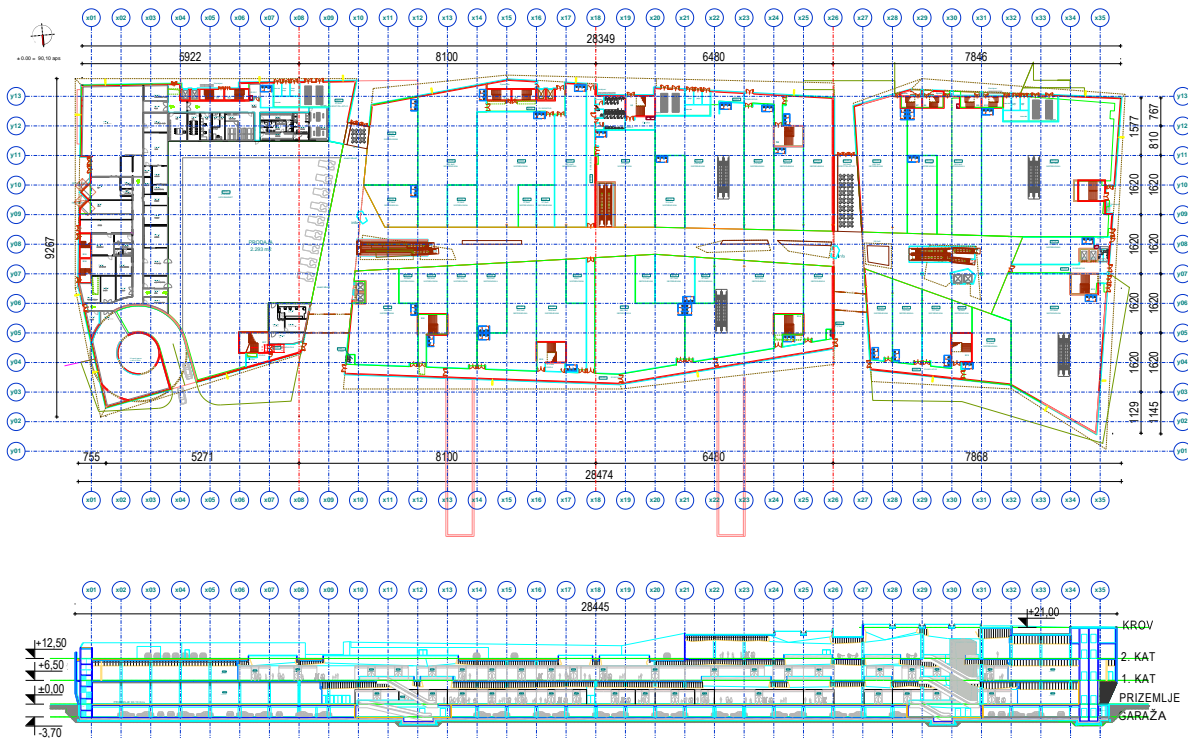
**Slika 4 – Prikaz dilatacijskih jedinica**

U podrumskom dijelu se nalazi garaža (slika 5).



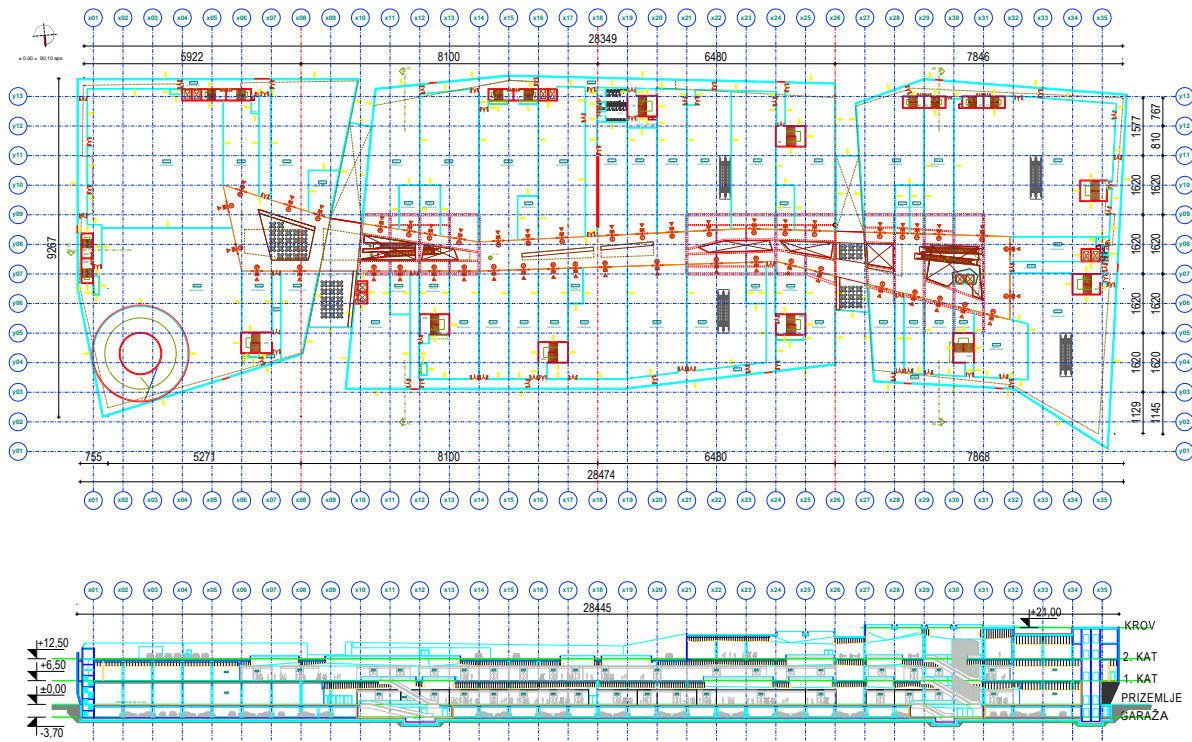
Slika 5 – Tlocrt podruma i uzdužni presjek

U prizemlju se nalazi supermarket i trgovački sadržaji (slika 6).



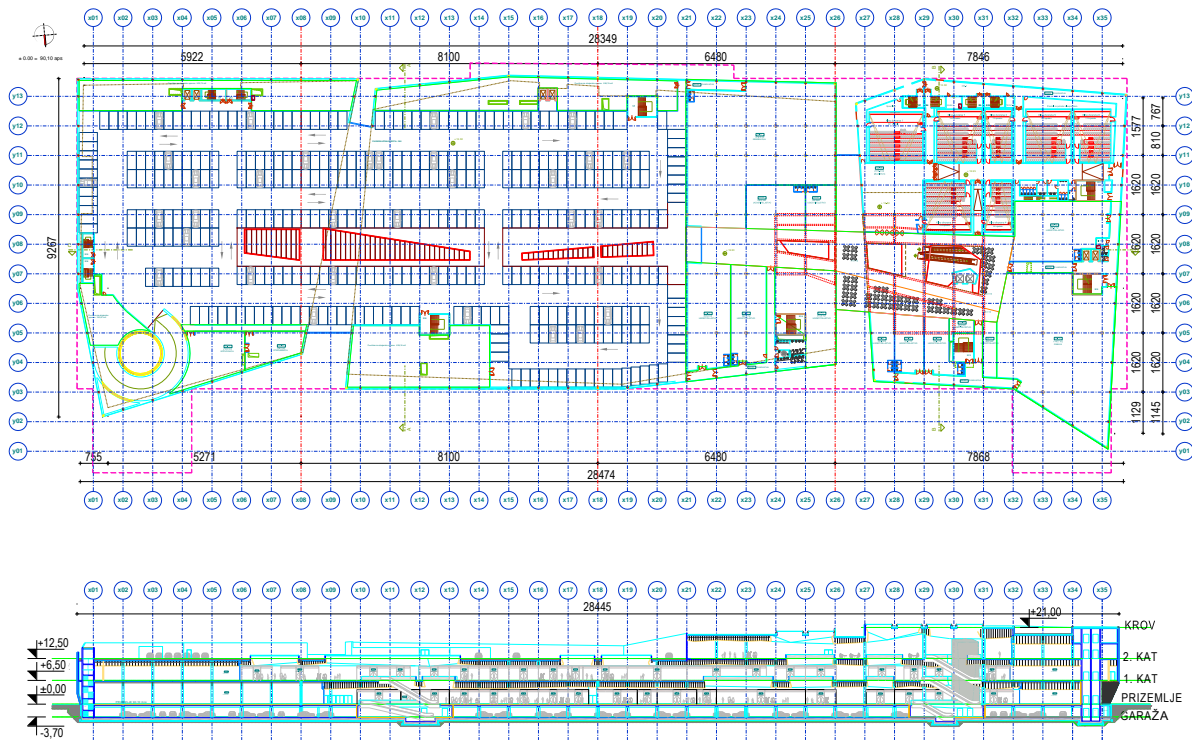
Slika 6 – Tlocrt prizemlja i uzdužni presjek

Na 1. katu se nalaze trgovački sadržaji (slika 7).



Slika 7 – Tlocrt 1. kata i uzdužni presjek

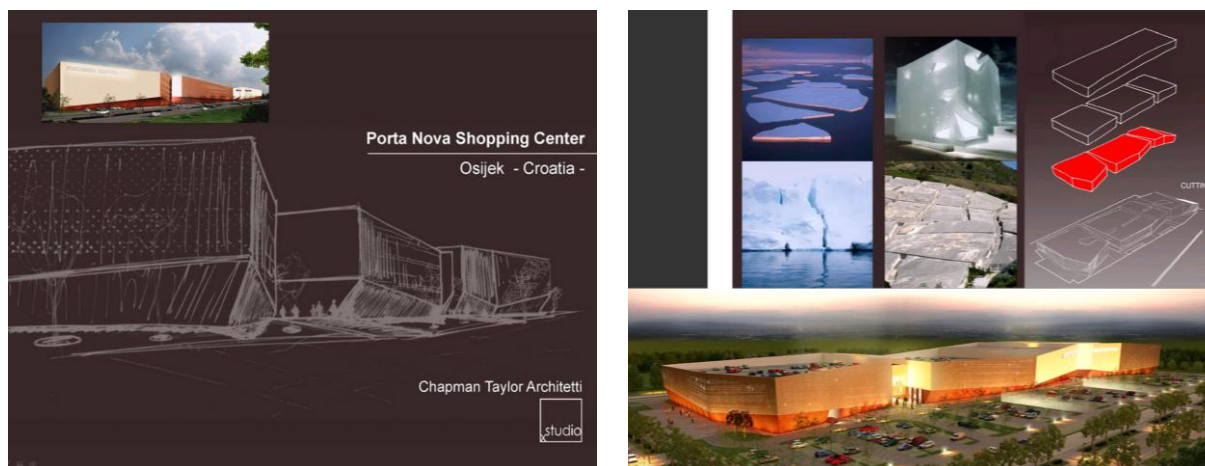
Na 2. katu se nalaze zabavni sadržaji: kino dvorane, ugostiteljski lokali, a na dijelu kata je parkiralište (slika 8).



Slika 8 – Tlocrt 2. kata i uzdužni presjek

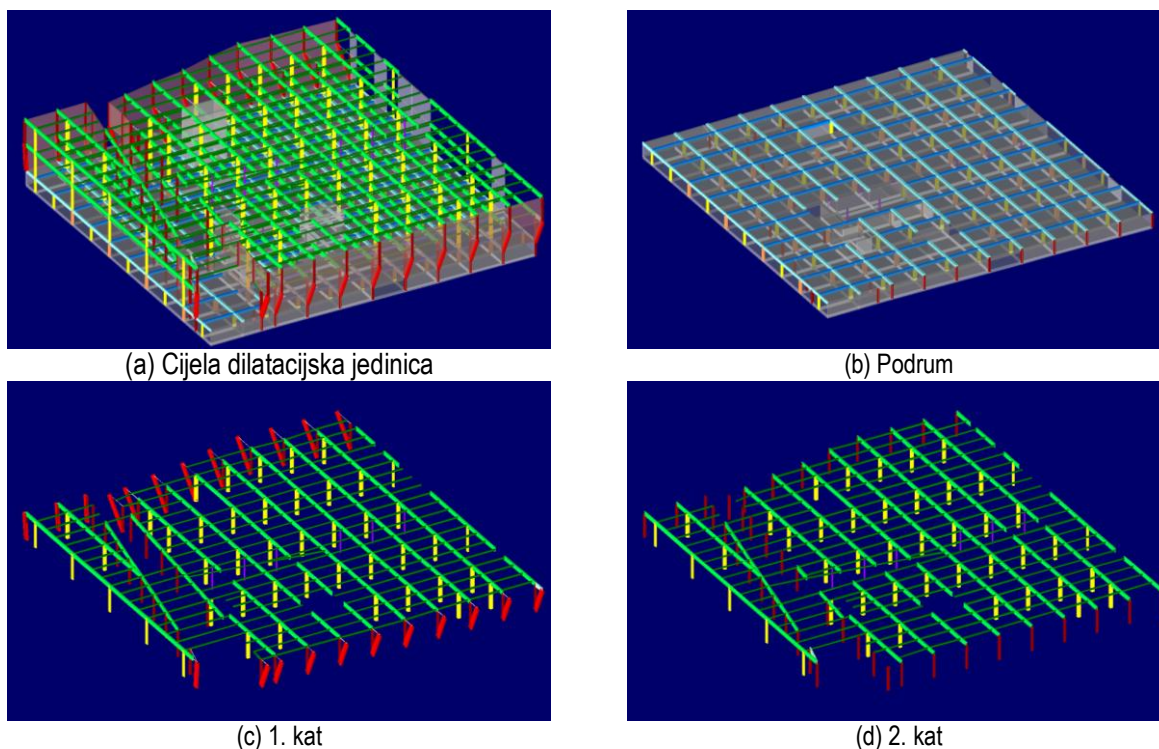
## 4 Koncept

Idejno arhitektonsko rješenje odraz je prirode i lokalnog okruženja. Građevina je zamišljena u obliku tri velike stijene koje se odmaraju na tlu. Iskrivljenost fasadnih ploha i nepravilnost (razvedenost) tlocrta doveli su do odabranog konstrukcijskog rješenja – spregnute konstrukcije (slika 9).



**Slika 9 – Neka razmišljanja pri odabiru arhitektonskog koncepta građevine**

Kao konstrukcijsko rješenje odabrana je monolitna betonska konstrukcija u podrumu i spregnuta konstrukcija na katovima. Ovo rješenje prikazano je na numeričkom modelu za dilataciju 2. Konstrukcija podruma je relativno pravilna: ab ploča oslonjena na sustav ab greda u oba smjera (slika 10-b). Konstrukcija 1. kata je također uglavnom pravilna (raster 16.2x8.1), a ispresijecana je kosim mall-ovima (slika 10-c). Na 2. katu nastavlja se tlocrt 1. kata – uglavnom pravilna konstrukcija ispresijecana kosim mall-ovima (slika 10-d).



**Slika 10 – Dilatacija D2 – potpuni render i render konstrukcijskih elemenata po katovima**

## 5 Materijali

Za izgradnju betonskog dijela građevine koristi se beton projektiranog sastava, razreda tlačne čvrstoće normalnog betona C 30/37, a sve prema "Tehničkim propisima za betonske konstrukcije" (NN 101/05; 74/06; 85/06; 64/07). Tehnički uvjeti za projektirana svojstva svježeg betona dani su u tablici 1.

Kao armatura koristi se betonski čelik B 500 (tip B, prema TPBK) za sve elemente, u obliku šipki ili mreža. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2.0 – 5.0 cm.

Tablica 1 – Svojstva svježeg i očvrstlog betona

NAMJENA	Podbeton	Temeljna ploča, šahte liftova i elevatora u tlu	Ploča nad garažom, unutarnji zidovi, grede, stubišta i veći stupovi ( $\geq 0.12 \text{ m}^3$ betona/ $\text{m}^2$ ili $\text{m}'$ )	Stupovi, ploče spregnute konstrukcije i ostali konstrukcijski elementi malog presjeka ( $\leq 0.12 \text{ m}^3$ betona/ $\text{m}^2$ ili $\text{m}'$ )	Ploča garaže na krovu, vanjski zidovi podruma
<b>TRAŽENA SVOJSTVA SVJEŽEG I OČVRSTLOG BETONA</b>					
Klasa	A	B	C	D	E
razred čvrstoće normalnog betona	C 16/20		C 30/37		
razred izloženosti	X0	XC3			XD2*
minimalna količina cementa (kg/ $\text{m}^3$ )	260	360			
max. vodocementni faktor (v/c)	0.60	0.45			
uz dodatak superplastifikatora	NE		DA		
razred slijeganja (slump) razred	S3 ili S4		S4		
maksimalno zrno agregata (mm)	16	32		16	32
zahtjev za vodonepropusnost	NE	DA ( $\leq 3 \text{ cm}$ )	NE		DA ( $\leq 3 \text{ cm}$ )
zahtjev za nisku hidratacijsku temp.	NE	DA	NE		
razred sadržaja klorida	Cl 0.20				
min. vrijeme obradivosti (min)	60	90			
temperatura svježeg betona (+ °C)	5 - 30				

\* NAPOMENA:

Prema pravilniku (TPBK) i pratećim normama elementi otvorenih garaža i sl. trebali bi pripadati klasi okoliša XD3. Kako je ploča garaže ipak zaštićena slojevima, a s druge strane u širem području predmetne lokacije je vrlo teško proizvesti beton kvalitete veće od C 30/37 u količinama koje traži predmetni objekt, izabran je beton nešto niže kvalitete, uz stroge dodatne zahtjeve (mali vodocementni faktor, vodonepropusnost i sl.).

## 6 Analiza opterećenja

### Stalno opterećenje (vlastita težina konstrukcijskih elemenata)

Uključeno je kroz numerički model.

### Dodatno stalno opterećenje (težine nekonstrukcijskih elemenata)

Tablica 2 - Dodatno stalno opterećenje za Supermarket

	d (m)	$\gamma$ (kN/ $\text{m}^3$ )	$d \times \gamma$
Završni sloj poda	0.025	25.0	0.60
AB estrih	0.08	25.0	2.00
Termoizolacija (prosj. 10.0 cm)	0.10	5.0	0.50
Hidroizolacija	0.02	20.0	0.40

Ukupno dodatno stalno opterećenje:  $\Delta g = 3.50 \text{ (kN/m}^2\text{)}$



c) pokretno opterećenje

$$q = 10.0 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (\text{Supermarket})$$

$$q = 5.0 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (\text{ostali prostori})$$

Nije vršena kombinacija opterećenja, tj. postavljanje pokretnog opterećenja u najkritičnije položaje, već je pokretno opterećenje uvećano za 20%.

### Snijeg

Osijek se nalazi na oko 94 m n.m. Prema prijedlogu NAD-a i istraživanja opterećenja snijegom na području republike Hrvatske [9], te preporukama europske norme ENV 1991-2-3:1995, uzima se karakteristično opterećenje snijegom (nadmorska visina do 100 m n.m.):  $s_0 = 1.10 \text{ kN/m}^2$ .

### Vjetar

Opterećenje vjetrom odabrano je prema: EC1, Dio 2-4: Djelovanja vjetra i europskoj prednormi ENV 1991-2-4: Djelovanja na konstrukcije opterećenje vjetrom, te Nacionalnom dokumentu za primjenu u Republici Hrvatskoj. Predmetna građevina se nalazi u Osijeku (Osječko-baranjska županija), na poziciji gdje je uglavnom nezaštićena od djelovanja vjetra. Prema navedenim normama, smještena je u I područje djelovanja vjetra te je osnovno djelovanje vjetra:

$$v_0 = 22.0 \text{ m/s}$$

$$C_{dir} = 1.0$$

$$C_{tem} = 1.0$$

$$C_{alt} = 1.0 + 0.001 \cdot a_s$$

$$a_s = 160 \text{ m n.m.}$$

$$C_{alt} = 1.0 + 0.001 \cdot a_s = 1.0 + 0.001 \cdot 160 = 1.16$$

$$v_{ref} = C_{dir} \cdot C_{tem} \cdot C_{alt} \cdot v_0 = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.16 \cdot 22.0 = 25.5 \text{ m/s}$$

$$w'_{ref} = \frac{\rho_{zr}}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1.25}{2} \cdot 25.5^2 = 406.4 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}^2} = 0.406 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho_{zr} = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

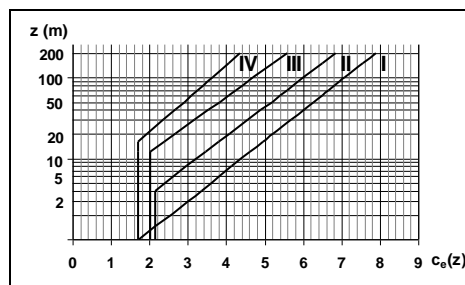
Djelovanje vjetra na visini 9 m iznad tla:

$$w_{ref} = c_r(z) \cdot c_t(z) \cdot w'_{ref} = [k_r \cdot \ln(z/z_0)] \cdot 1.0 \cdot 0.406 = [0.19 \cdot \ln(9.0/0.05)] \cdot 1.0 \cdot 0.406 =$$

$$= 0.987 \cdot 1.0 \cdot 0.406 = 0.400 \text{ kN/m}^2$$

Koeficijent sile:  $c_f = 1.00$

Dinamički koeficijent sile:  $c_d = 1.0$  (iz dijagrama) (slika 11).



Slika 11 – Dijagram za određivanje koeficijenta izloženosti vjetru u ovisnosti o visini iznad tla

Koeficijent položaja  $c_e(z)$  za kategoriju terena II i prosječnu visinu do 17 m iznad terena:  $c_e(z) = 3.6$

Rezultirajuće opterećenje vjetrom:  $w = w_{ref} \cdot c_e(z) \cdot c_d \cdot c_f = 0.40 \cdot 3.6 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 1.44 \text{ kN/m}^2$

### Temperatura

Temperaturno djelovanje zbog razlika u temperaturi kod montaže čelične konstrukcije (otvoreni objekt) uzeto je u proračunu konstrukcije preko jednolike temperature  $t_s = 50^\circ\text{C}$ .

### Potres

Potresne sile proračunate su pojednostavljenim postupkom proračuna. Građevina je smještena u 8. potresnoj zoni prema važećoj seizmičkoj karti. Usvojeno projektno ubrzanje tla je  $\alpha = 0.2g$ .

Građevina je temeljena na glinovitom tlu visoke plastičnosti nepoznate dubine, što odgovara klasi tla C („Duboke naslage dobro do srednje zbijenog pijeska, šljunka ili gline, debljine od nekoliko desetina do više stotina metara“), prema parametrima danim u geotehničkom elaboratu. Pretpostavlja se srednja klasa ponašanja: DCM (medium ductility)

$$\alpha = \frac{a_g}{g} = 0.2$$

$$S = 1.15$$

$$\beta_0 = 2.5$$

$$\eta = 1.0$$

$$T_B = 0.20 \quad ; \quad T_C = 0.6 \quad ; \quad T_D = 2.0$$

Faktor značaja:  $\gamma = 1.20$  (zgrada povećane seizmičke otpornosti).

Faktor ponašanja  $q$ :

$$q = q_0 \cdot k_d \cdot k_r \cdot k_w$$

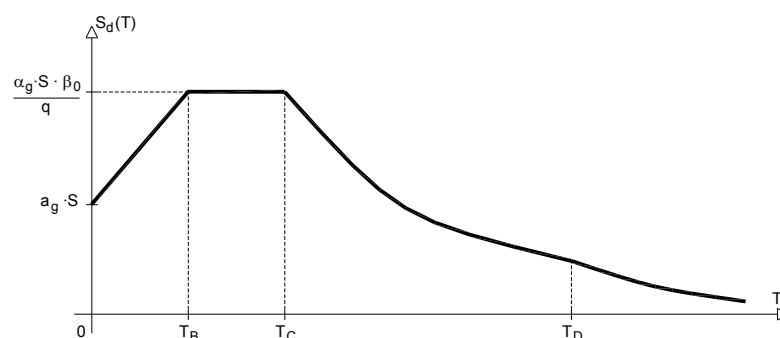
$q_0$  - osnovna vrijednost faktora ponašanja;  $q_0 = 5.0$  (okvirni sustav)

$k_d$  - faktor klase duktilnosti; uzima se srednja klasa duktilnosti (M);  $k_d = 0.75$

$k_r$  - faktor pravilnosti konstrukcije;  $k_r = 1.0$  - pravilna konstrukcija

$k_w$  - faktor loma,  $k_w = 1.0$  - okvirni sustav

$$q = 5.0 \cdot 0.75 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 3.75$$



**Slika 12 – Proračunski spektar ubrzanja prema EC8**

Za seizmički koeficijent bira se maksimalna vrijednost:  $T_B < T_i < T_C$ :

$$S_d(T_i) = \alpha \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} = 0.2 \cdot 1.15 \cdot \frac{2.5}{3.75} = 0.15$$

Građevina potresne sile preuzima obodnim zidovima, stupovima i gredama, te jezgrama.

### **Puzanje betona**

Vrijednost koeficijenta puzanja  $\varphi(t, t_0)$  prema Dodatku B HRN ENV 1992-1-1:

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

$\varphi_0$  je osnovni koeficijent puzanja. Pretpostavlja se da će se konstrukcija značajnije opteretiti 28 dana nakon stvrdnjavanja betona.

$$h_0 = 723 \text{ mm}$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

pri čemu je:

- $\varphi_{RH}$  - koeficijent koji uzima u obzir relativnu vlažnost
- $\beta(f_{cm})$  - koeficijent koji uzima u obzir čvrstoću betona
- $\beta(t_0)$  - koeficijent koji uzima u obzir starost betona u trenutku nanošenja opterećenja

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} = 1 + \frac{1 - 80/100}{0.1 \cdot \sqrt[3]{723}} = 1.223$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16.8}{\sqrt{30}} = 3.067$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = \frac{1}{(0.1 + 28^{0.20})} = 0.488$$

$$\varphi_0 = 1.223 \cdot 3.067 \cdot 0.488 = 1.830$$

## **7 Numerički model konstrukcije**

Za potrebe proračuna izrađeni su štapno-pločasti modeli. Modeli su proračunati programskim paketom “Aspalathos” – programom za analizu linijskih i pločastih sustava. Posebno su napravljeni modeli za svaku dilataciju, jer su one i fizički odvojene, osim na nivou temeljne ploče (slika 13). Na temeljnoj ploči je adekvatno podešenim rubnim uvjetima simuliran kontinuitet.

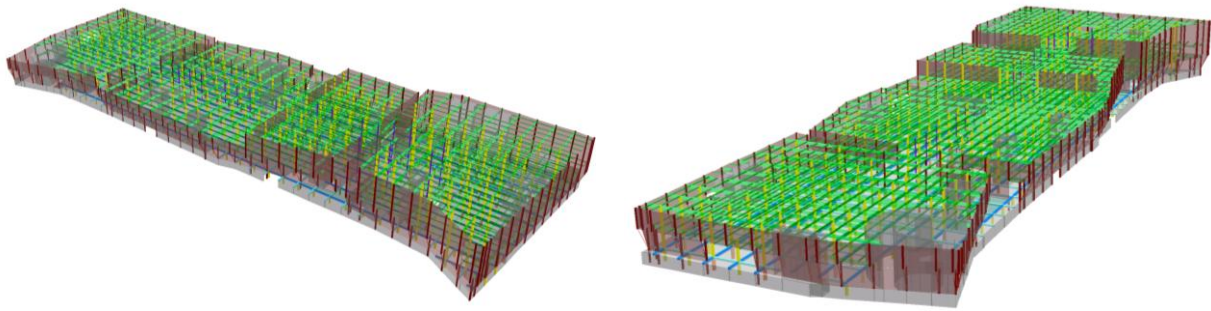
Model je opterećen stalnim opterećenjem (vlastita težina konstrukcije i nekonstrukcijskih elemenata) te korisnim opterećenjem, pri čemu su sva opterećenja zadana kao raspodijeljena opterećenja po pločama. Korisno opterećenje je uvećano za 20% (npr. u Supermarketu na: 12.0 kN/m<sup>2</sup>) da bi se izbjeglo postavljanje pokretnog opterećenja u najnepovoljnije položaje.

Rezultati numeričkog proračuna su prikazani za pojedinačne slučajeve opterećenja, kao i za računsko (granično, ultimativno) opterećenje. Uobičajena kombinacija opterećenja se dobiva kao kombinacija stalnog i pokretnog opterećenja te opterećenja snijega i vjetra, prema izrazu:

$$e = 1.35 g + 1.5 (q + s + w)$$

Izvanredna kombinacija opterećenja se dobiva kao kombinacija stalnog i pokretnog opterećenja te potresa, prema izrazu:

$$e = 1.0 g + 1.0 \psi_{02} q + 1.0 \Delta$$

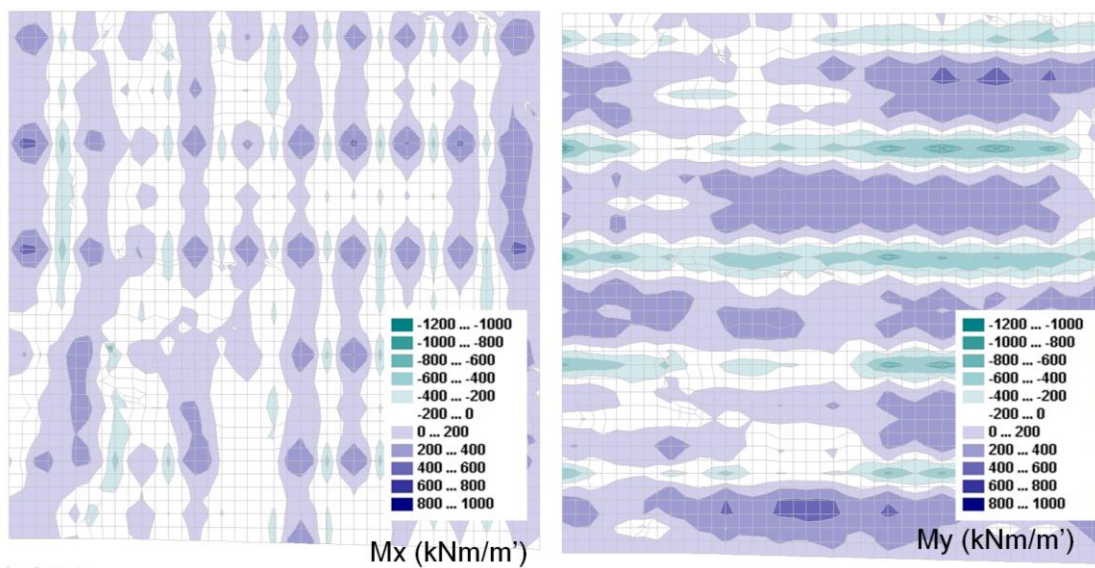


Slika 13 – Neki prikazi renderiranog numeričkog modela građevine

## 8 Proračun konstrukcije na vertikalna opterećenja

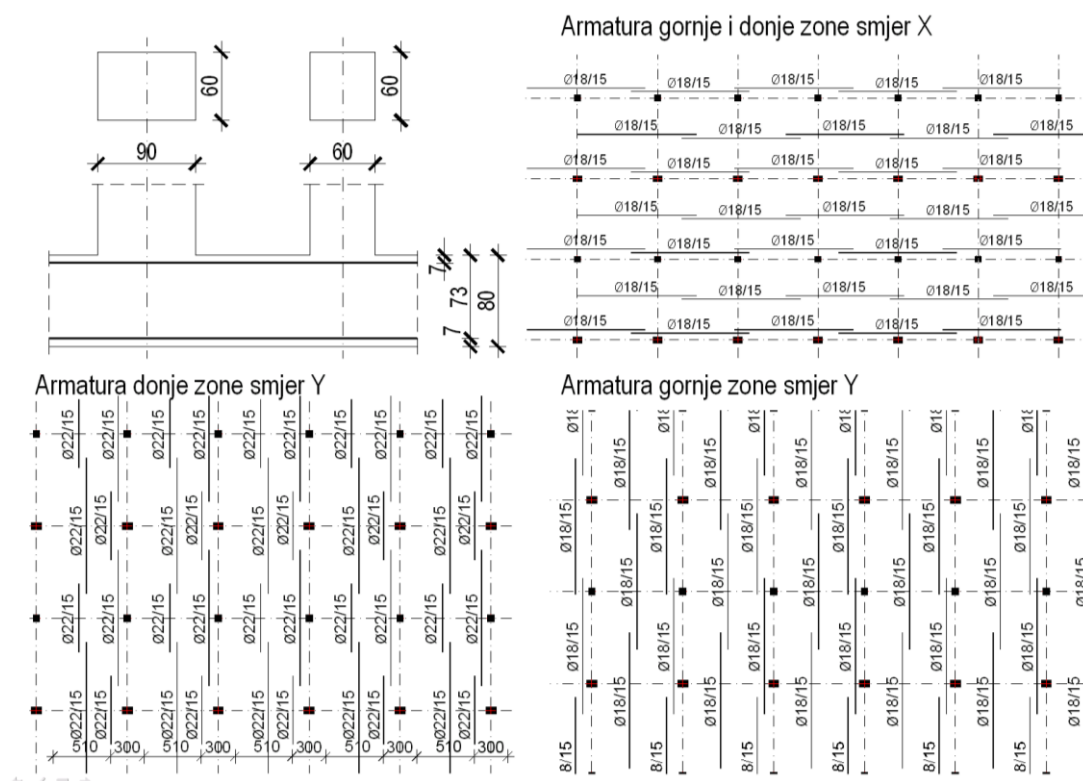
### 8.1 Temeljna ploča

Temeljna ploča je modelirana kao ploča na elastičnoj podlozi, u okviru globalnih modela dilatacija. Momenti u temeljnoj ploči dobiveni su kroz numerički model s koeficijentom reakcije podloge  $K = 2100,0 \text{ kN/m}^3$ . Na slici 14 je prikazan jedan dio temeljne ploče s relevantnim rezultatima.



Slika 14 – Prikaz momenata u temeljnoj ploči

Potrebna armatura i način postavljanja prikazan je na slici 15.



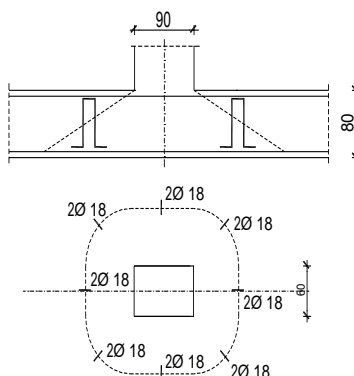
Slika 15 – Skica armature ploča

Iz modela su također očitane maksimalne uzdužne sile u stupovima pri dnu stupa u garaži. Za sve stupove kontroliran je proboj stupa kroz ploču. Kontrola proboja izvršena je za kombinaciju opterećenja:

$$e = 1.35 g + 0.7 1.35 q$$

Armatura protiv proboja izvedena je pomoću „jahača“ (armatura za pridržanje armature u gornjoj zoni) (slika 16):

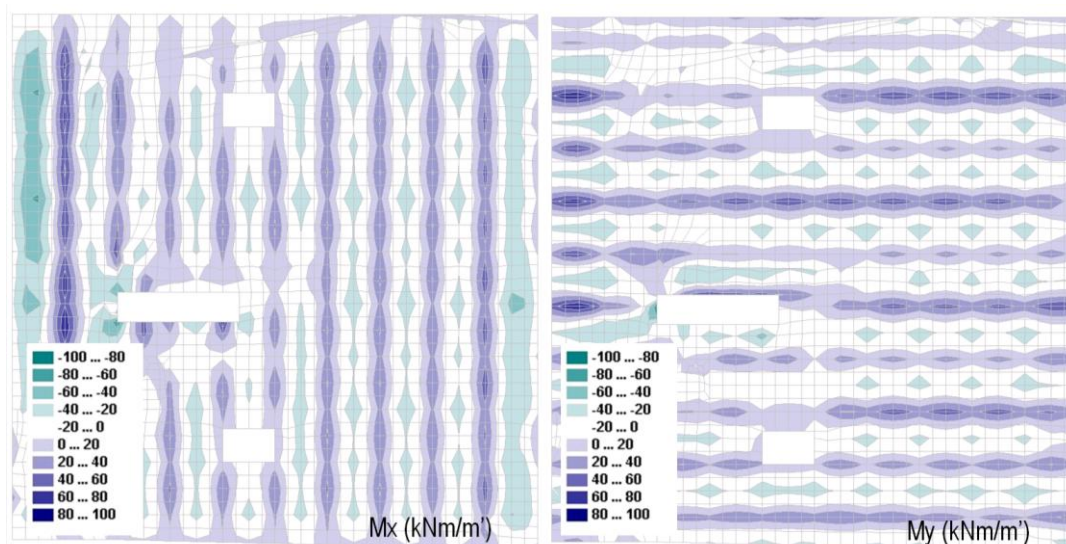
Stup	Dimenzije (cm)	b	Opseg $u_p$ (cm)	Sila $N_{ed}$ [kN]	Težina pl. $N_{ed}$ [kN]	Sila prob. $v_{ed}$ [kN/cm]	Armatura $A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	Odobrana Armatura Šipaka	Povr. [cm <sup>2</sup> ]	
y13	x01	60 x 60	1.1	928.0	2930.8	325.0	3.09			
y12	x01	60 x 60	1.1	928.0	1973.9	650.0	1.57			
y11	x01	60 x 90	1.1	988.0	3931.1	650.0	3.65			
y10	x01	60 x 60	1.1	928.0	2521.5	650.0	2.22			
y09	x01	60 x 90	1.1	988.0	3343.3	650.0	3.00			
y06	x01	60 x 60	1.1	928.0	518.2	650.0	-0.16			
y13	x02	60 x 60	1.1	928.0	4704.0	650.0	4.81	31.26	8Ø18	40.72
y12	x02	60 x 60	1.1	928.0	2094.5	1300.0	0.94			
y11	x02	60 x 90	1.1	988.0	5802.7	1300.0	5.01	39.96	8Ø18	40.72
y10	x02	60 x 60	1.1	928.0	3490.4	1300.0	2.60			
y09	x02	60 x 90	1.1	988.0	5583.9	1300.0	4.77	32.13	8Ø18	40.72
y08	x02	60 x 60	1.1	928.0	2104.3	1300.0	0.95			
y07	x02	60 x 90	1.1	988.0	5498.2	1300.0	4.67	29.06	8Ø18	40.72
y06	x02	60 x 200	1.1	1208.0	921.4	650.0	0.25			
y12	x03	60 x 60	1.1	928.0	2018.3	650.0	1.62			
y11	x03	60 x 90	1.1	988.0	5971.8	1300.0	5.20	46.01	8Ø18	40.72
y10	x03	60 x 60	1.1	928.0	1979.8	1300.0	0.81			
y09	x03	60 x 90	1.1	988.0	6072.2	1300.0	5.31	49.60	8Ø18	40.72
y08	x03	60 x 60	1.1	928.0	2062.6	1300.0	0.90			
y07	x03	60 x 90	1.1	988.0	5771.9	1300.0	4.98	38.86	8Ø18	40.72
y06	x03	60 x 200	1.1	1208.0	964.0	650.0	0.29			
y12	x04	60 x 60	1.1	928.0	1871.7	650.0	1.45			
y11	x04	60 x 90	1.1	988.0	6078.4	1300.0	5.32	49.82	8Ø18	40.72
y10	x04	60 x 60	1.1	928.0	1974.9	1300.0	0.80			
y09	x04	60 x 90	1.1	988.0	6177.6	1300.0	5.43	53.37	8Ø18	40.72
y08	x04	60 x 60	1.1	928.0	2021.2	1300.0	0.85			
y07	x04	60 x 90	1.1	988.0	6186.4	1300.0	5.44	53.69	8Ø18	40.72
y06	x04	60 x 60	1.1	928.0	1670.9	650.0	1.21			
y05	x04	60 x 90	1.1	988.0	4123.2	1300.0	3.14			
y04	x04	60 x 60	1.1	928.0	1571.3	650.0	1.09			
y12	x05	60 x 60	1.1	928.0	1744.9	650.0	1.30			
y11	x05	60 x 90	1.1	988.0	6138.2	1300.0	5.39	51.96	8Ø18	40.72
y10	x05	60 x 60	1.1	928.0	1971.0	1300.0	0.80			
y09	x05	60 x 90	1.1	988.0	6157.3	1300.0	5.41	52.64	8Ø18	40.72



Slika 16 – Primjer proračuna na proboj i skica armature protiv proboja

## 8.2 Ploča nad garažom

Ploča nad garažom modelirana je, skupa s pripadnim gredama, numeričkim programom. Primjer izlaznih rezultata za ploču prikazani su na slici 17.



Slika 17 – Prikaz momenata u ploči nad garažom

Ploča je dimenzionirana za momente savijanja, standardnim postupkom prema EC-2.

$$C\ 30/37 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1.5} = 20.0\ \text{MPa}; \quad f_{cd} = 2.0\ \text{kN/cm}^2$$

$$B\ 500 \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 435\ \text{MPa}; \quad f_{yd} = 43.5\ \text{kN/cm}^2$$

$$b=100\ \text{cm} \quad h=22\ \text{cm}; \quad d=19\ \text{cm}$$

$$\mu_{sds}^* = 0.235; \quad \zeta \approx 0.850 \quad \varepsilon_c / \varepsilon_s = 3.5/5.0$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{sds}^* b d^2 f_{cd} = 0.159 \cdot b d^2 f_{cd}$$

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

$$A_{s1,min} = 0.1\% b h = 0.001 \cdot 100 \cdot 22 = 2.2 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2.0\% b h = 0.020 \cdot 100 \cdot 22 = 44.0 \text{ cm}^2$$

U tablici 3 prikazani su ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu.

Tablica 3 - Ultimativni momenti nosivosti za odabranu mrežastu armaturu

Šipke	Površina $A_{s1}$	Moment nosivosti betona	Moment nosivosti armature	Postotak armature
	[ $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ]	$M_{Rd,c,lim}$ [kNm]	$M_{Rd,s,lim}$ [kNm]	
R/Q - 503	5.03	169.67	37.42	0.26
R/Q - 626	6.26	169.67	46.57	0.33
R/Q - 785	7.85	169.67	58.39	0.41

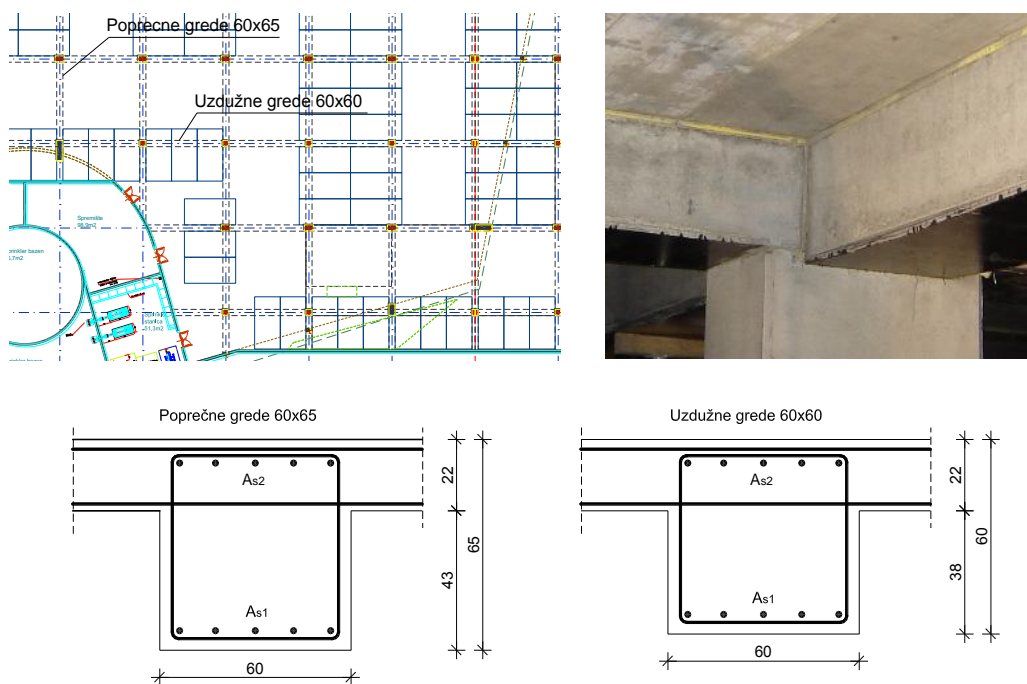
Zbog preraspodjele kod dugotrajnih efekata, sva armatura u polju je birana nešto veća od izračunate, a armatura na ležajevima u skladu s izračunatom. Skica armature prikazana je na slikama 18 i 19.

Slika 18 – Armaturni plan ploče nad garažom – donja zona – detalj

Slika 19 – Armaturni plan ploče nad garažom – gornja zona – detalj

### 8.3 Grede nad garažom

Kako je već naglašeno, konstrukcija ploče garaže je armiranobetonska monolitna konstrukcija koja se sastoji od armiranobetonskih ploča ( $d=22$  cm) koje su povezane gredama  $65 \times 60$  cm (smjer sjever-jug) i  $60 \times 60$  cm (smjer istok-zapad) (slika 20). Garaža je djelomično ukopana i ukrućena obodnim zidovima za horizontalna opterećenja.

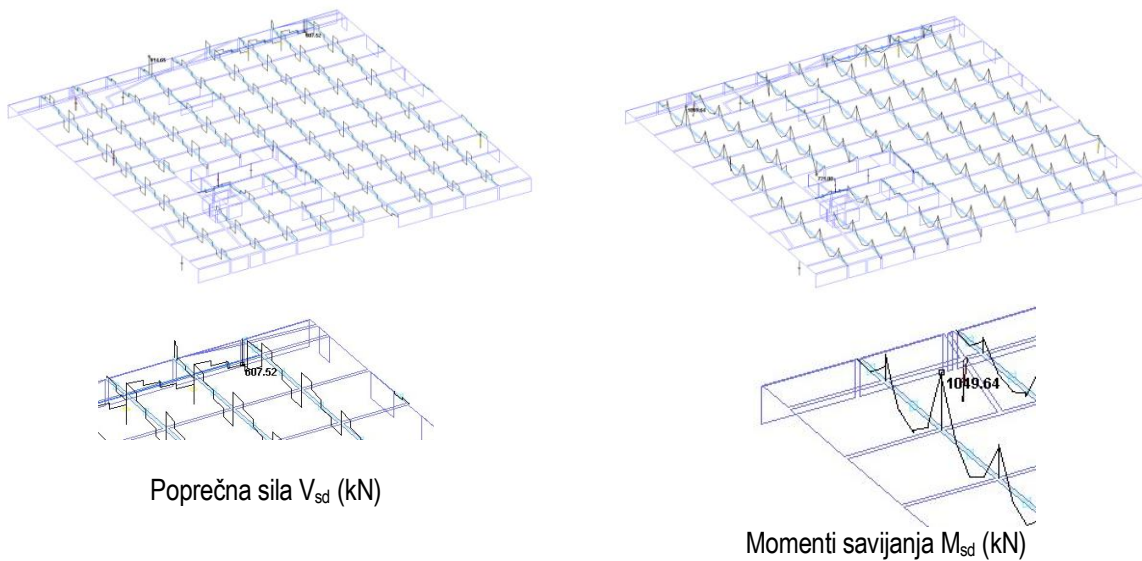


Slika 20 – Prikaz grede nad garažom – detalj





Pri modeliranju ploča nad garažom modelirana je, skupa s pripadnim gredama. Primjer izlaznih rezultata za neke grede prikazani su na slici 21.



Poprečna sila  $V_{sd}$  (kN)

Momenti savijanja  $M_{sd}$  (kNm)

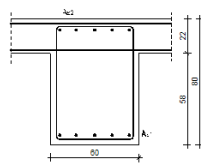
Slika 21 – Prikaz unutarnjih sila u gredama nad garažom

Grede su dimenzionirane na momente savijanja i poprečnu silu, standardnim postupkom prema EC-2 (slika 22).

*Proračun grede na savijanje - Greda 60x80 Poje i ležajev*

Grede su, kako je ranije naglašeno, modelirane skupa s pločom, numeričkim programom Aspalathos. Izlazni rezultati prikazani su u priložima.

U tablici su prikazani ultimativni momenti nosivosti za odabranu šipkastu armaturu, za dimenzije greda prema skici:



Postupak dimenzioniranja:

C 30/37  $f_{ck} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{30}{1.5} = 20.0 \text{ MPa}$ ;  $f_{ctd} = 2.0 \text{ kN/cm}^2$

B 500  $f_{yk} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 435 \text{ MPa}$ ;  $f_{sd} = 43.5 \text{ kN/cm}^2$

$b=80 \text{ cm}$   $h=80 \text{ cm}$ ;  $d=75 \text{ cm}$

$\mu_{rel} = 0.235$ ;  $\zeta \approx 0.850$ ;  $\epsilon_c / \epsilon_{yk} = 3.5/5.0$

$M_{Rd,lim} = \mu_{rel} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{ctd} = 0.159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{ctd}$

$M_{Rd,lim,z} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yk}$

$A_{s1min} = 0.1\% \cdot b \cdot h = 0.001 \cdot 60 \cdot 80 = 4.8 \text{ cm}^2$

$A_{s1max} = 2.0\% \cdot b \cdot h = 0.020 \cdot 100 \cdot 80 = 96.0 \text{ cm}^2$

Šipke	Površina $A_{s1}$ [cm <sup>2</sup> /m]	Moment nosivosti betona $M_{Rd,lim}$ [kNm]	Moment nosivosti armature $M_{Rd,lim}$ [kNm]	Postotak armature %
6 Ø 25	29.45	1586.25	864.80	0.65
6 Ø 28	36.95	1586.25	1084.80	0.82
7 Ø 25	34.36	1586.25	1008.93	0.76
7 Ø 28	43.10	1586.25	1265.80	0.96
8 Ø 25	39.27	1586.25	1153.06	0.87
8 Ø 28	49.26	1586.25	1446.40	1.09
9 Ø 25	44.18	1586.25	1297.20	0.98
9 Ø 28	55.42	1586.25	1627.20	1.23
10 Ø 25	49.09	1586.25	1441.33	1.09
10 Ø 28	61.68	1586.25	1808.00	1.37

U priložima numeričkog proračuna prikazani su momenti savijanja za svaku gredu i za svaki smjer. Odabrana armatura za sve grede i skica amiranja greda prikazani su u grafičkim priložima.

*Proračun grede na poprečnu silu - Greda 60x80*

C 30/37 (MB-40)  
 $b_w = 60 \text{ cm}$ ;  $d = h - 5 = 80 - 5 = 75 \text{ cm}$   
 $k = 1.6 - d = 1.6 - 0.75 < 1.0$   
 $f_{cd} = 30/1.5 = 20.0 \text{ MPa}$   
 $\tau_{Rd} = 0.34 \text{ MPa}$

$\rho_{l,req} \approx \frac{A_s}{A_c} = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{40.0}{60 \cdot 80} = 0.008$

$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0.0$

Računske poprečne sile:  
 $V_{Ed,max} = 580.0 \text{ kN}$   
 $V_{Ed,min} = 620.0 \text{ kN}$

$V_{Rd1} = [0.034 \cdot 1.0 \cdot (1.2 + 40 \cdot 0.008) + 0.15 \cdot 0.0] \cdot 60 \cdot 75 = 232.5 \text{ kN}$   
 $V_{Rd2} = 0.5 \cdot v \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot z$   
 $v = 0.7 \cdot \frac{f_{ck}}{200} = 0.7 \cdot \frac{30}{200} = 0.55$   
 $V_{Rd2} = 0.5 \cdot 0.55 \cdot 2.0 \cdot 60 \cdot (0.9 \cdot 75) = 2227.5 \text{ kN}$

$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd2}} \approx \frac{580.0}{2227.5} = 0.26$

Razmak spona:  $\leq 0.6 \cdot d = 45.0, 30.0 \text{ cm}$   $s_w = 25.0 \text{ cm}$

Minimalni profil spona:  $A_{s,sp,req} = \frac{V_{Ed} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.0011 \cdot 25 \cdot 60}{2} = 0.83 \text{ cm}^2$

Odabrane minimalne spone: Ø12/25 cm ( $A_{s,sp} = 1.13 \text{ cm}^2$ )

$V_{Rd3} = \frac{m \cdot A_{s,sp} \cdot f_{yk} \cdot z}{s_w} = \frac{2 \cdot 1.13 \cdot 43.48 \cdot 0.9 \cdot 75}{25} = 265.4 \text{ kN}$   
 $V_{Rd} = V_{Rd1} + V_{Rd3} = 232.5 + 265.4 = 497.9 \text{ kN}$

Spone: Ø12/20 cm ( $A_{s,sp} = 1.13 \text{ cm}^2$ )

$V_{Rd3} = \frac{m \cdot A_{s,sp} \cdot f_{yk} \cdot z}{s_w} = \frac{2 \cdot 1.13 \cdot 43.48 \cdot 0.9 \cdot 75}{20} = 331.8 \text{ kN}$   
 $V_{Rd} = V_{Rd1} + V_{Rd3} = 232.5 + 331.8 = 564.3 \text{ kN}$

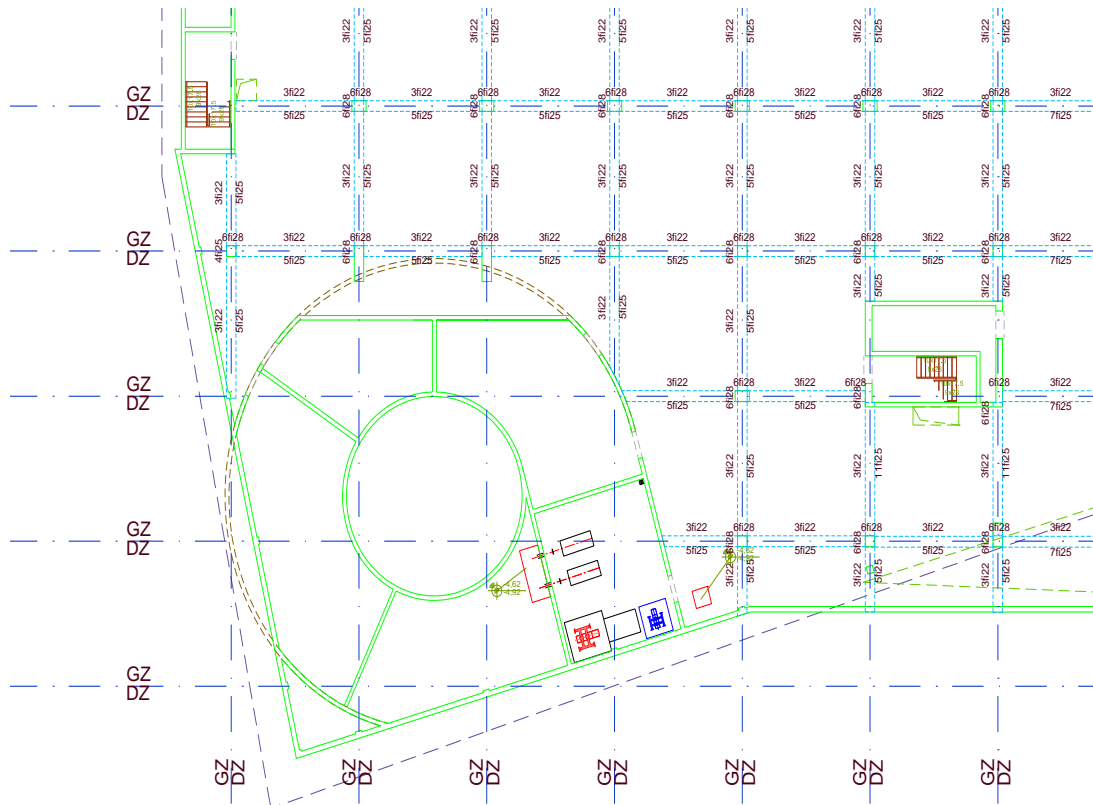
Spone: Ø12/15 cm ( $A_{s,sp} = 1.13 \text{ cm}^2$ )

$V_{Rd3} = \frac{m \cdot A_{s,sp} \cdot f_{yk} \cdot z}{s_w} = \frac{2 \cdot 1.13 \cdot 43.48 \cdot 0.9 \cdot 75}{15} = 442.4 \text{ kN}$   
 $V_{Rd} = V_{Rd1} + V_{Rd3} = 232.5 + 442.4 = 674.9 \text{ kN}$

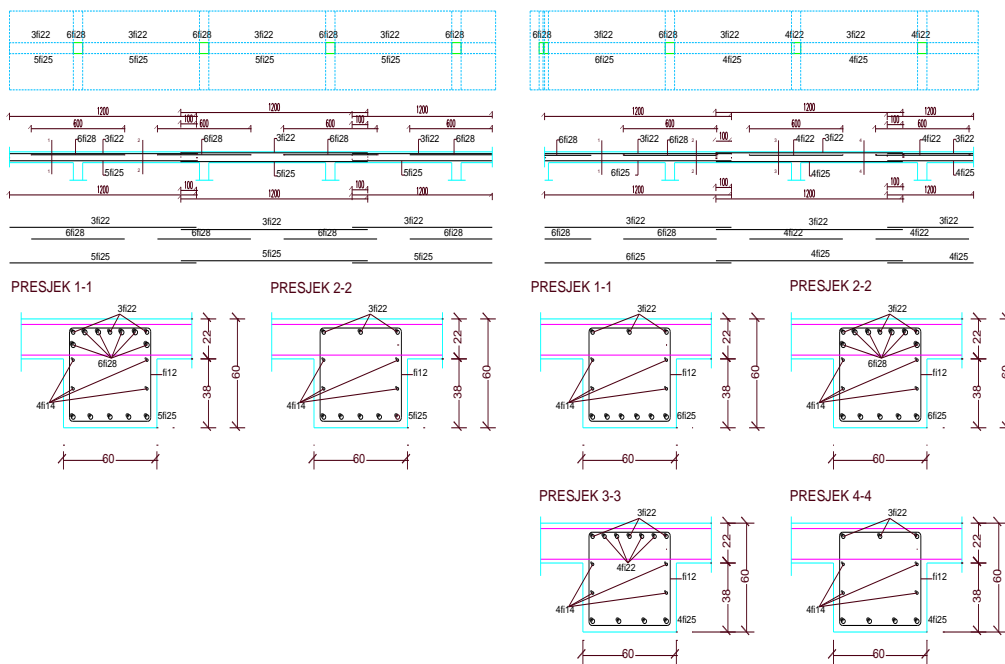
Odabrane spona u poju: Ø12/20 cm ( $A_{s,sp} = 1.13 \text{ cm}^2$ ),  $m=2$ . Vidljivo je da u većini slučajeva ove spona mogu u potpunosti preuzeti računsku poprečnu silu. U ostalim slučajevima spona se proglašavaju na 15 tj. na 10 cm. Skica amiranja greda prikazana je u grafičkim priložima.

Slika 22 – Izvadak iz rada – prikaz proračuna greda nad garažom

Prijedlog armiranja greda dan je na slikama 23 i 24.



Slika 23 – Skica armature u gredama



Slika 24 – Armaturni plan nekih greda nad garažom

Za izabrane (najopterećenije) grede također su kontrolirane širine pukotina postupkom propisanim prema EC-2 (slika 25), te progibi približnim postupkom (slika 26).

Dilatacije 2, 3 i 4 - Kontrola pukotina, ploča d=22 cm

Mjerodavni momenti u ploči su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja ( $e = 1.0 \cdot g + 1.0 \cdot q$ ).

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

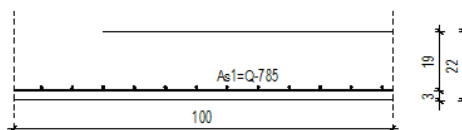
Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):

$$w_k = \beta \cdot s_{sm} \cdot \varepsilon_{sm} \leq w_g$$

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju:  $M_{ed} = 25.0 \text{ kNm}$

Armatura ploče donja zona: **Q-785**, preklap  $\geq 40 \text{ cm}$  ( $A_{s1} = 7.85 \cdot \frac{220+40}{220} = 9.28 \text{ cm}^2/\text{m}$ ).

Skica armature u polju:



$C_x = 0.181$	$C_c = 13.734$	$C_{s1} = 295.154$	$C_{s2} = -19.44$
$x = C_x \cdot h = 3.99 \text{ cm}$			
$\sigma_{c2} = C_{c2} \cdot M_{ed} / (b \cdot h^2) = 7.09 \text{ MN/m}^2$	$<$	$\sigma_{c,opp} = 13.50 \text{ MN/m}^2$	
$\sigma_{s1} = C_{s1} \cdot M_{ed} / (b \cdot h^2) = 152.46 \text{ MN/m}^2$			
$\sigma_{s2} = C_{s2} \cdot M_{ed} / (b \cdot h^2) = -10.04 \text{ MN/m}^2$			
$b = 100.0 \text{ cm}$	$d = 19.0 \text{ cm}$	$\beta = 1.7$	
$M_{ed} = 25.0 \text{ kNm}$	$h = 22.0 \text{ cm}$		
$A_{s1} = 9.28 \text{ cm}^2$	$A_{s2} = 0.00 \text{ cm}^2$		
$\sigma_s = 152.46 \text{ MN/m}^2$			
$f_{tk} = 30.0 \text{ MN/m}^2$	$f_{ctm} = 2.90 \text{ MN/m}^2$		
$M_{Cr} = 23.4 \text{ kNm}$		$\beta_1 = 1.00$	
$\sigma_{sr} = 142.48 \text{ MN/m}^2$	$E_s = 200.00 \text{ GN/m}^2$	$\beta_2 = 0.50$	
$\varepsilon_{sm} = 0.429 \text{ ‰}$			
$\emptyset = 10.0 \text{ mm}$	$\rho_r = 0.0124$	$k_1 = 0.80$	
$s_{sm} = 130.82 \text{ cm}$	$W_k = \beta \cdot \varepsilon_{sm} \cdot s_{sm} =$	$k_2 = 0.50$	
$w_k = \beta \cdot \varepsilon_{sm} \cdot s_{sm} = 0.095 \text{ mm}$	$<$	$w_g$	

Pukotine zadovoljavaju!

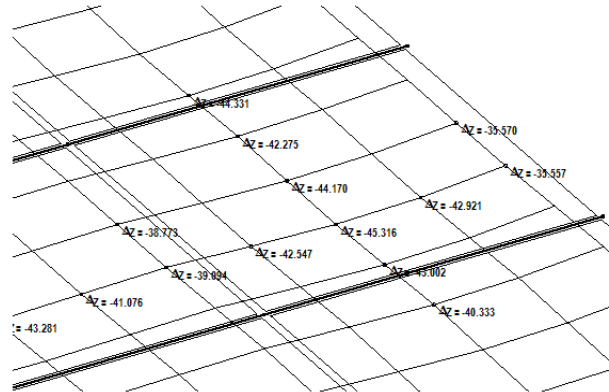
**Slika 25 – Izvadak iz rada – prikaz proračuna pukotina na gredama**

Dilatacija 1 - Kontrola progiba

Progibi ploča su također dobiveni kroz numerički model. Također se koriste rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja ( $q = 1.0 \cdot g + 1.0 \cdot p$ ).

U nastavku je izdvojen jedan dio dilatacije 1 s najvećim pomacima. Kako je cijela dilatacija računata na elastičnim podlozi, vidljivo je popuštanje (slijeganje) podloge u pomacima. Stvarni pomaci ploče (progib ploče) se može izračunati kao:

$$f_{ei} = 45.32 - \frac{39.09 + 35.56}{2} = 7.995 \text{ mm} = 0.80 \text{ cm}$$



Granična vrijednost progiba ploče u polju:  $f_{s,oop} = \frac{l_2}{250} = \frac{810}{250} = 3.24 \text{ cm}$

Kratkotrajni progib ploče (očitano iz modela):  $f_k = f_{ei} = 0.80 \text{ cm}$

Ukupni progib:

$$f_d = \varphi(\infty) \cdot f_k \cdot K_f$$

$\varphi(\infty)$  - konačni koeficijent puzanja, odabrano:  $\varphi(\infty) = 1.83$

$$K_f = 0.85 - 0.45 \frac{A_{s1}}{A_{s1}} = 0.85 - 0.45 \frac{0.0}{7.85} = 0.85$$

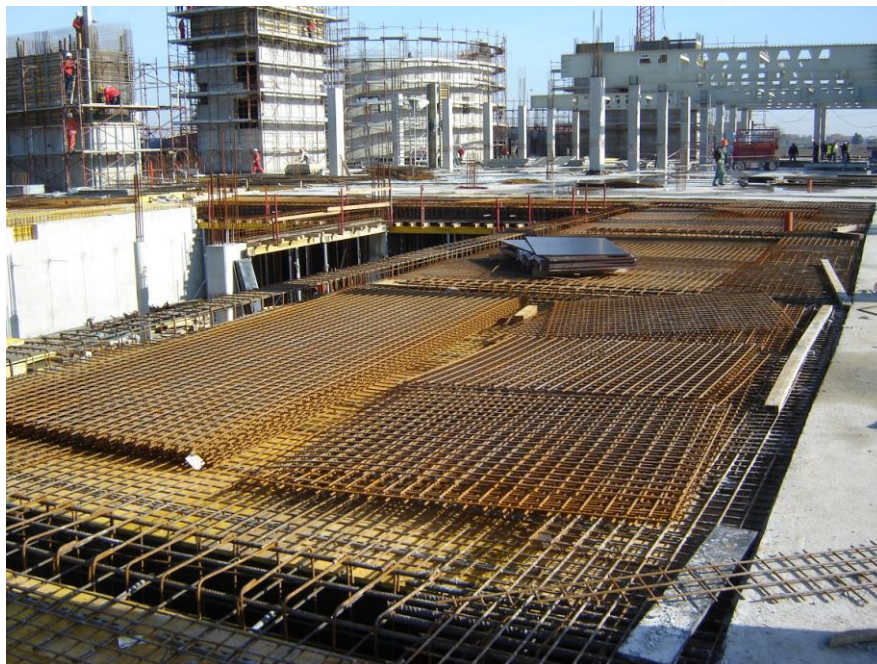
$$f_d = \varphi(\infty) \cdot f_k \cdot K_f = 1.83 \cdot 0.80 \cdot 0.85 = 1.24 \text{ cm}$$

$$f_d = f_k + f_s = 0.80 + 1.24 = 2.04 < f_{s,oop}$$

Ovakav proračun progiba je na strani sigurnosti.

Na ostalim dilatacijama je opterećenje na ploči znatno manje, pa je i ukupni progib manji. Iz estetskih razloga svim pločama pri izradi dati nadviseње od 2,0 cm u sredini.

**Slika 26 – Izvadak iz rada – prikaz proračuna progiba na gredama**

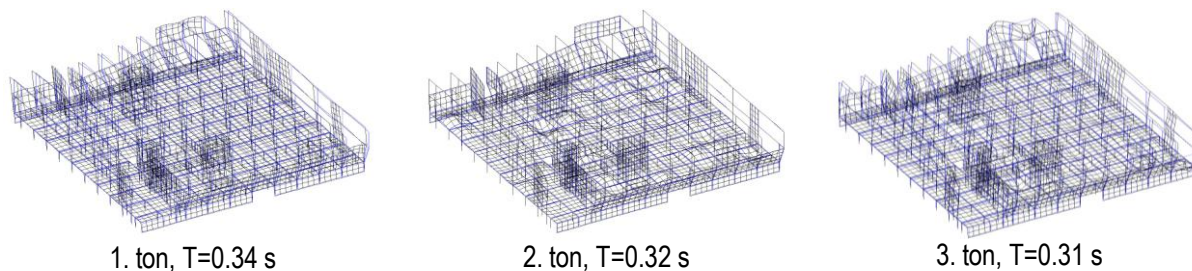


**Slika 27 – Detalji izvođenja greda i ploča nad garažom**

## 9 Proračun konstrukcije na horizontalna opterećenja

### 9.1 Numerički model

Svi elementi konstrukcije kontrolirani su i za horizontalna opterećenja. Kao mjerodavno horizontalno opterećenje pokazao se potres. Konstrukcija je na potres analizirana metodom spektralnog (višemodalnog) odgovora. Potresne sile proračunate su postupkom prema prednormi EC-8. Ukupne sile proračunate su CQC metodom. U nastavku su prikazani neki rezultati za odabranu dilatacijsku cjelinu (2. dilatacija).



Slika 28 – Prikaz tonova osciliranja konstrukcije

Detaljni rezultati modalnog proračuna sortirani su u tablici 4.

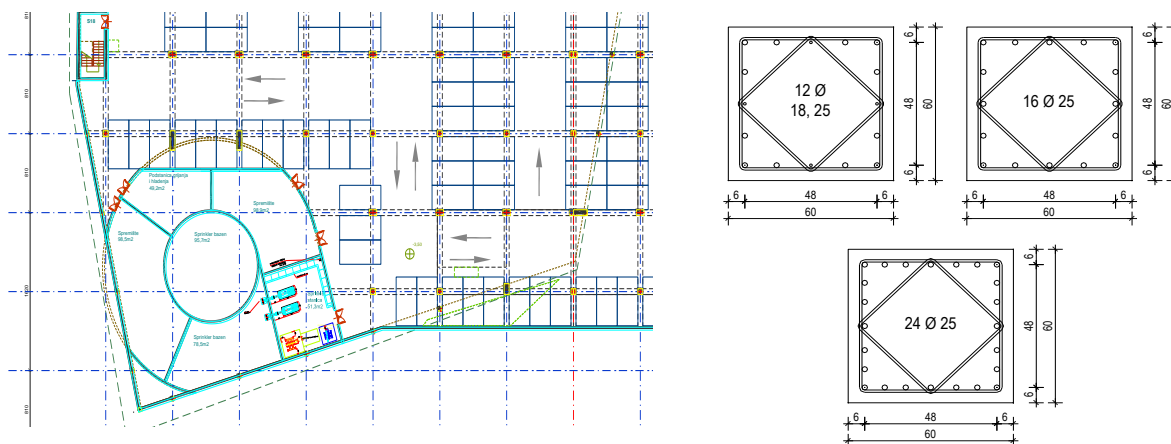
Tablica 4 – Prikaz perioda, frekvencija i aktivirane mase za prvih 20 tonova osciliranja

Mod	Period (s)	Frekvencija (1/s)	Aktivirana masa		
			x (%)	y (%)	z (%)
1	0.3444	2.9033	1.12	63.03	0.00
2	0.3185	3.1397	0.00	0.35	0.00
3	0.3122	3.2034	0.00	0.09	0.00
4	0.3069	3.2587	0.54	6.34	0.13
5	0.3065	3.2631	0.02	1.55	0.01
6	0.3043	3.2866	0.00	0.11	0.04
7	0.3003	3.3303	0.03	0.00	0.13
8	0.2966	3.3717	0.00	0.35	0.02
9	0.2922	3.4220	0.01	0.19	0.25
10	0.2907	3.4397	0.00	0.11	0.04
11	0.2829	3.5350	0.01	0.02	0.20
12	0.2778	3.6000	0.00	0.21	0.39
13	0.2739	3.6508	0.12	0.02	0.96
14	0.2658	3.7620	2.67	16.42	0.14
15	0.2601	3.8445	0.18	0.13	0.03
16	0.2535	3.9449	1.59	0.62	0.11
17	0.2449	4.0840	19.61	0.04	0.01
18	0.2370	4.2188	41.39	2.53	0.00
19	0.2319	4.3126	9.09	0.27	0.45
20	0.2243	4.4579	8.26	0.01	3.02
Suma			84.64	92.39	5.93

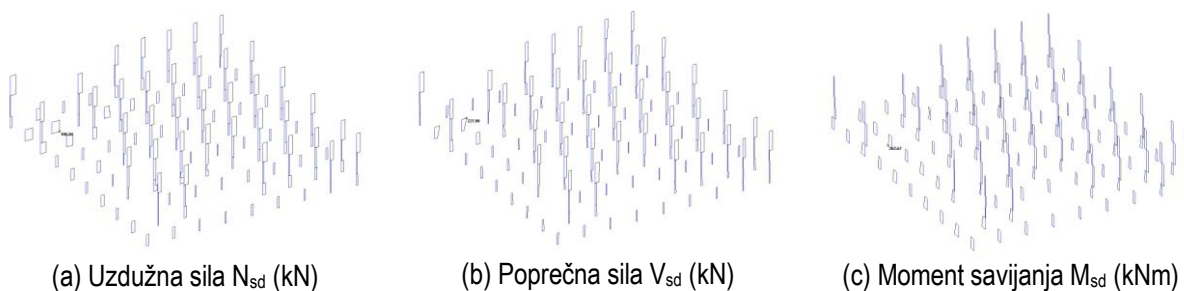
## 9.2 Dimenzioniranje stupova

Stupovi su predviđeni kao klasično armirani betonski elementi. Poprečni presjek glavnih stupova je 60×60 cm na svim nadzemnim etažama i 60×60 i 60×90 cm u garaži. Osim ovih stupova, prisutni su i stupovi 40×40 cm koji su uglavnom betonski, a na pojedinim mjestima su čelični, ispunjeni betonom. Također su korišteni i okrugli stupovi Ø300 mm (čelična cijev ispunjena betonom) koji na pojedinim mjestima podupiru fasadu ili konstrukcijske elemente na višim etažama. Također, na mjestima gdje su dva stupa vrlo bliska (orijentacijski, gdje im je svijetli razmak  $\leq 50$  cm), oba stupa su povezana u jedan jedinstveni stup koji tada ima geometriju zahtijevanu geometrijom same konstrukcije.

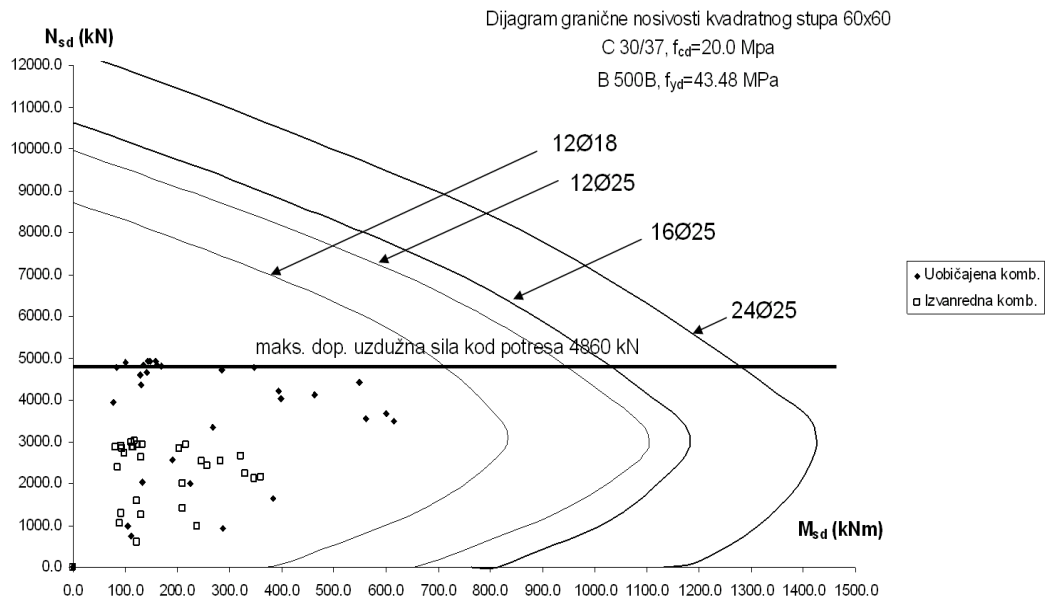
Stupovi se izvedu kao monolitni elementi lijevani u četverostranoj oplati na licu mjesta. Za sve stupove predviđen je beton C 30/37,  $\varnothing_{agr} \leq 32$  mm, te armatura B 500. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min. 3.5 cm (slika 32).



Slika 29 – Prikaz položaja stupova i poprečni presjek karakterističnog stupa 60x60 cm



Slika 30 – Prikaz reznih sila za stupove garaže (potresna – CQC kombinacija opterećenja)



Slika 31 – Dijagram nosivosti pravokutnog stupa 60x60 cm sa zadanom armaturom

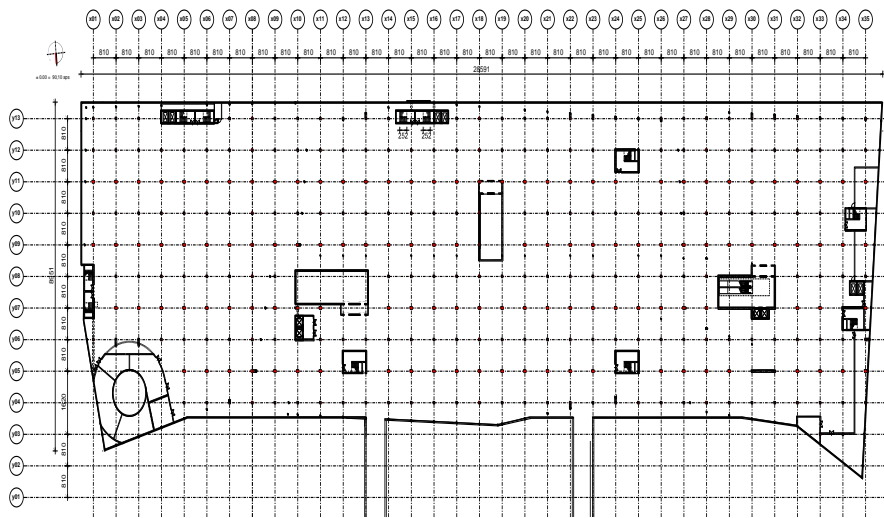


Slika 32 – Izvedba stupova

### 9.3 Dimenzioniranje zidova

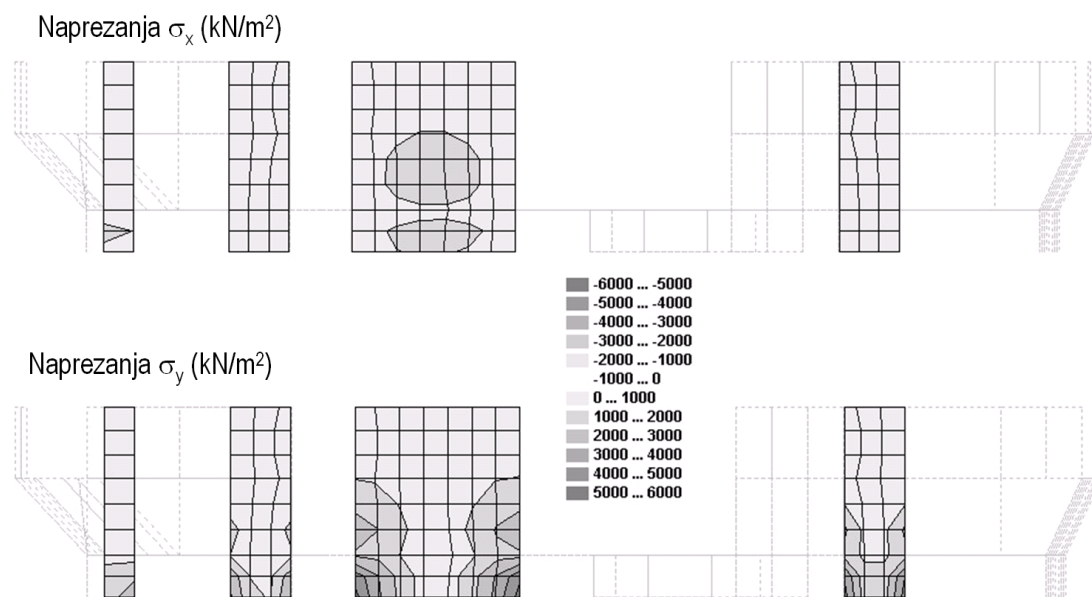
Dominantni konstrukcijski sustav za prijam horizontalnih sila je okvirni sustav (sustav stupova i greda) koji je ukrućen jezgama. U model su uključeni svi zidovi koji se kontinuirano protežu od prizemlja do vrha građevine, tj. oni koji su prikladno upeti u temeljnu ploču.

Ostali zidovi su „omekšani u modelu“ i ne služe prijenosu horizontalnih (potresnih) sila. Mjerodavno opterećenje je potresno opterećenje, tj. izvanredna kombinacija opterećenja. Zidovi su predviđeni kao klasično armirani betonski elementi. Debljina zidova je 42.5 i 25 cm. Izvode se kao monolitni elementi lijevani u dvostranoj oplati na licu mjesta. Za sve zidove predviđen je beton C 30/37,  $\varnothing_{agr} \leq 32$  mm, te armatura B 500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min. 2.5 cm.



Slika 33 – Prikaz položaja zidova

Iz globalnog (prostornog) modela dobivena su mjerodavna naprezanja u zidovima. Sumiranjem ovih naprezanja dobivaju se mjerodavne sile za svaki zid (slika 34).



Slika 34 – Prikaz rezultata u nekom zidu



Proračun zidova na savijanje i uzdužnu silu

Na savijanje i uzdužnu silu stupovi su proračunati kao gredni elementi. Pri tome nije uzeto u obzir povoljni utjecaj zidova koji se vezuju na njih, a što je znatno na strani sigurnosti. Dobiveni rezultati prikazani su tablično.

$$A_s = \frac{M_{sdb}}{\zeta \cdot d \cdot f_{cd}} - \frac{N_{sd}}{f_{cd}}$$

$$\zeta \approx 0.800$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{sdb}^* \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.235 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

Proračun zidova na poprečnu silu

Svi zidovi koji se uzimaju u obzir za prijenos horizontalnog opterećenja mogu se smatrati da su vitki zidovi.

Kritično područje:

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 2 \cdot l_w \\ h_s \end{cases} \leq \begin{cases} 2 \cdot (2.5 \div 8.5) \\ 4.5 \end{cases} \leq 4.5$$

za kritično područje odabire se ukupna visina prve nadzemne etaže.

Za svaki zid vrijedi:

$$V_{sd} = \varepsilon \cdot V_{ed}$$

$V_{ed}$  - korigirana poprečna sila

$V_{ed}$  - računska poprečna sila (iz proračuna)

$\varepsilon$  - korekcijski koeficijent  $\varepsilon \leq q$ , radi jednostavnosti usvaja se  $\varepsilon = q = 3.75$

Minimalna armatura u zidovima:

$$A_{z,min} = 0.15\% \cdot b_w \cdot 100 = 0.15\% \cdot 25.0 \cdot 100 = 3.75 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{z,min} = 0.15\% \cdot b_w \cdot 100 = 0.15\% \cdot 42.5 \cdot 100 = 6.38 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

tj. zidove za koje ne treba računski armatura armirati s Q-335 obostrano.

$$A_z = 2 \cdot 3.25 = 6.5 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Nosivost zidova na poprečne sile (s minimalnom armaturom):

Slom tlačne dijagonale

U kritičnom području]

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} = 0.4 \cdot (0.7 - f_{ck} / 200) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z$$

Van kritičnog područja:

$$V_{Rd2} = 0.5 \cdot (0.7 - f_{ck} / 200) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z$$

$$f_{ck} = 30.0 \text{ Mpa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = 20.0 \text{ Mpa}$$

$$b_w = 25.0 \text{ cm}; 42.5 \text{ cm}$$

$$z \approx 0.80 \cdot d$$

Slom vlačne dijagonale

$$\alpha_s = \frac{M_{sd}}{V_{sd} \cdot l_w}$$

Ako je  $\alpha_s \leq 1.3$  tada zidovi nose izrazito posmično i potrebno je da:

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = \left[ \rho_h \cdot f_{ywd} \cdot (\alpha_s - 0.3) + \rho_v \cdot f_{ywd} \cdot (1.3 - \alpha_s) \right] \cdot b_w \cdot z$$

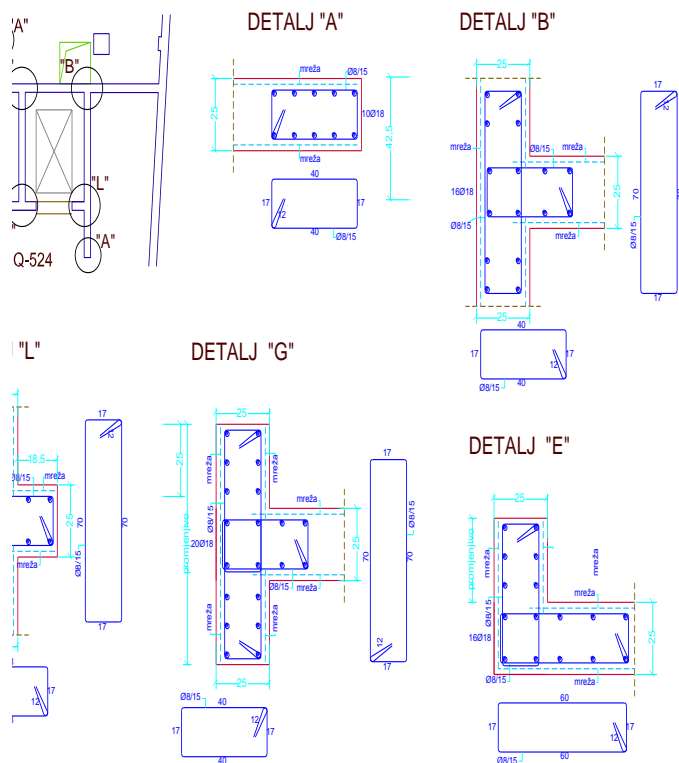
$$\rho_h = \rho_v = \frac{A_s}{A_c}$$

$$f_{ywd} = \frac{500.0}{1.15} = 434.8 \text{ Mpa}$$

$$b_w = 25.0 \text{ cm}$$

$$z \approx 0.8 \cdot d$$

Slika 35 – Izvadak iz rada – Prikaz procedure dimenzioniranja zida



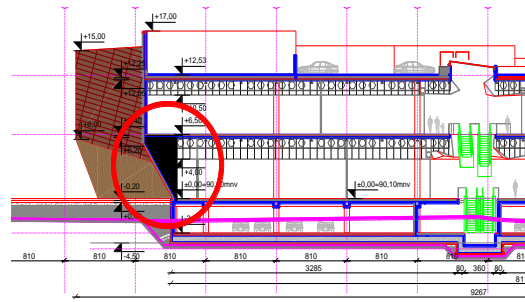
Slika 36 – Skica armature zidova



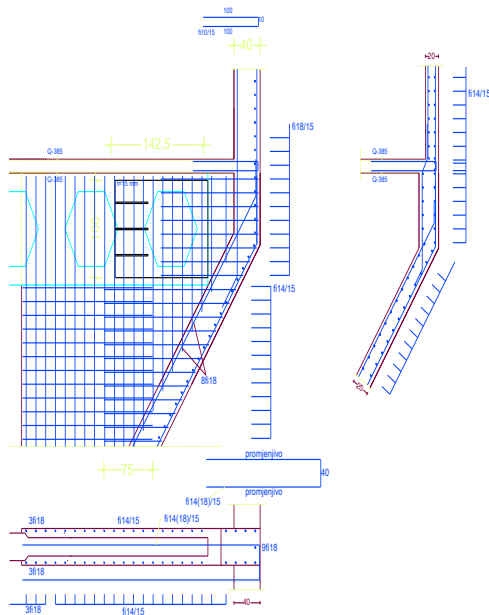
Slika 37 – Izvedba zidova

#### 9.4 Dimenzioniranje trapeznih i fasadnih zidova

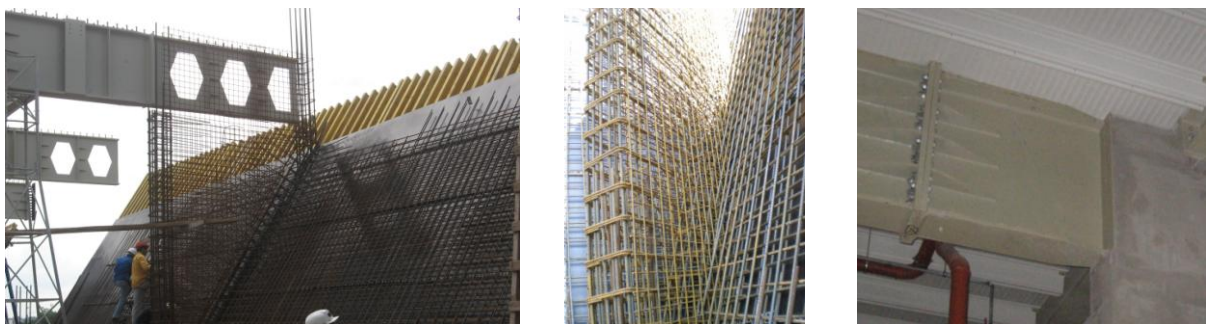
Zbog razvedenosti fasada i širenja građevine na prvom i drugom katu, u prizemlju su izvedeni tzv. trapezni zidovi koji imaju višestruku funkciju: oslonac za stupove na višim etažama, pridržanje kosih fasadnih zidova i oslonac čeličnog nosača nad prizemljem (slika 38). I ovi zidovi su obrađeni kroz numerički model te je izvršeno njihovo dimenzioniranje (određivanje potrebne površine armature) i kontrola pomaka i širine pukotina. Skica armature zidova dana je na slici 39, a neki detalji izvedbe na slikama 40 i 41.



Slika 38 – Trapezni zidovi



Slika 39 – Skica armature trapeznih i fasadnih zidova



Slika 40 – Izvedba zidova



Slika 41 – Izvedba zidova

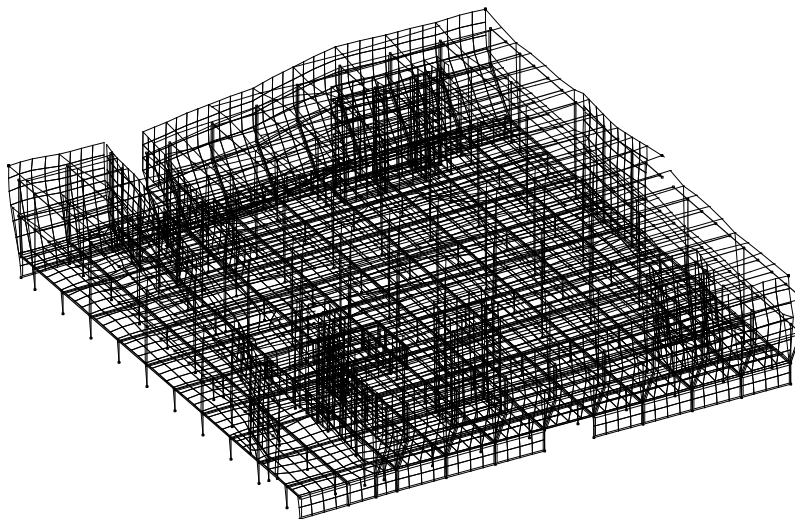
## 10 Globalna kontrola pomaka

Maksimalni horizontalni pomaci locirani su na svakoj dilataciji posebno (slika 42). Kao mjerodavni, uzeti su pomaci nastali potresnim opterećenjem koji su znatno veći od pomaka zbog vjetrovog opterećenja. Maksimalni pomaci sortirani su u priloženim tablicama. U tablici 5 su prikazani pomaci od anvelope opterećenja:  $1.0g+0.5q\pm 1.0s$ .

Kontrola je izvršena za sljedeće parametre:

$$q = 3.75$$

$$v = 0.5$$



Slika 42 – Pomaci

Tablica 5 – Pomaci - Dilatacija 2 - Linija Y03-X17

Pozicija	Visina [m]	Pomak kata prema linearnom proračunu $d_e$ [mm]	Računski pomak kata $d_s=q \cdot d_e$ [mm]	Visina kata $h$ [m]	Razlika pomaka $d_s \cdot v$ [mm]	Dozvoljeni pomak $0.005 \cdot h$ [mm]
2. kat	12,5	9,149	34,31	6,0	7,72	30,0
1. kat	6,5	5,033	18,87	6,5	7,87	32,5
Prizemlje	0,0	0,834	3,13	3,5	1,25	17,5
Garaža	-3,5	0	0,00			

## 11 Literatura

- [1] Poslovno trgovački centar Portanova Osijek – Glavni projekt – Projekt konstrukcija, Aspalathosoft d.o.o., Split, Oznaka projekta 2008-13/2, 2009. (6. knjiga), projektant konstrukcije: Slobodan Blanuša, dipl. ing. građ.
- [2] Poslovno trgovački centar Portanova Osijek – Arhitektonski projekt – CHAPMAN TAYLOR ARCHITETTI SRL, Studio d' Architettura, Piazzetta Pattari 1, Milano Italia, autor idejnog rješenja: Alessandro Stroligo dipl.ing.arh.
- [3] Poslovno trgovački centar Portanova Osijek – Arhitektonski projekt – STUDIO XXL doo, Ivana Lučića 2a, HR-10000 Zagreb, glavni projektant: Vedran Linke, dipl.ing.arh.
- [4] Aspalathos - program za linearnu statičku i modalnu analizu štapnih i pločastih konstrukcija, Uputstvo za upotrebu, Aspalathosoft d.o.o., Split, 2001.
- [5] HRN ENV 1991-1 – Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1: Opća djelovanja: gustoće, vlastite težine, korisna opterećenja
- [6] HRN ENV 1992-1 – Proračun betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade
- [7] HRN ENV 1994-1 – Proračun spregnutih konstrukcija čelik-beton – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade
- [8] HRN ENV 1998-1 – Proračun konstrukcija na potres – Dio 1-1: Opća pravila, seizmička djelovanja i pravila za zgrade
- [9] Zaninović, K.; Gajić-Čapka, M.; Andrić, B.; Džeba, I.; Dujmović, D.: Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom, Građevinar, 59, 6, 2001.