

Proračun AB konstrukcije prema HR EN 1998-1:2011

Balić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:123:538218>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Balić

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Ivan Balić

Proračun AB kostrukcije prema HR EN 1998-1:2011

Diplomski rad

Split, 2018.

Proračun AB konstrukcije prema HR EN 1998-1:2011

Sažetak:

Armirano betonska konstrukcija smještena u Splitu proračunata je na potresno djelovanje prema HRN EN 1998-1:2011 modalnim proračunom primjenom spektra odziva. Konstrukcija zidnog sustava proračunata je za razred umjerene duktilnosti (DCM) i razred visoke duktilnosti (DCH). Provedeni proračun i dimenzioniranje prikazano je za karakteristični zid. Naglasak je stavljen na detaljiranje lokalne duktilnosti zida i odabir armature kritičnog područja zida.

Ključne riječi:

AB konstrukcija; zidni konstrukcijski sustav; modalni proračun primjenom spektra odziva; razred umjerene duktilnosti; razred visoke duktilnosti; detaljiranje lokalne duktilnosti.

Design od reinforced concrete building according to HRN EN 1998-1:2011

Abstract:

Reinforced concrete building located in Split was designed to a earthquake action. Calculation was preformed by modal response spectrum analyses all align towards rules of HRN EN 1998-1:2011. The building is wall system and calculation was done for the medium ductility class (DCM) and high ductility class (DCH). The calculation, design and reinforcement selection was estimated for a characteristic wall. Emphasis is placed on detailing of local ductility and reinforcement selection for critical area of the wall.

Keywords:

Modal response spectrum analysis; Wall system buliding; Medium ductility class; high ductility class ; Detailing of local ductility.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15.

STUDIJ:	SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI
KANDIDAT:	Ivan Balić
BROJ INDEKSA:	649
KATEDRA:	Katedra za teoriju konstrukcija
PREDMET:	Dinamika konstrukcija i potresno inženjerstvo

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Proračun AB konstrukcije prema HRN EN 1998-1:2011

Opis zadatka: U sklopu teme ovog rada analizirana je armirano betonska konstrukcija za koju je proveden proračun na najnepovoljnije potresno djelovanje prema HRN EN 1998-1:2011 modalnim proračunom primjenom spektra odziva. Konstrukcija je smještena u Splitu na tlu klase A s proračunskim ubrzanjem 0,22g. Proračun će se provesti za razred umjerene duktilnosti (DCM) i razred visoke duktilnosti (DCH). Na temelju proračuna provest će se dimenzioniranje karakterističnog zida. Poseban naglasak stavljen je na detaljiranje lokalne duktilnosti kao i odabir armature kritičnog područja zida. Dodatno je proveden proračun i dimenzioniranje karakteristične međukatne ploče i temeljne ploče.

U Splitu, 5. ožujka 2018.

Voditelj diplomskog rada:

Doc.dr.sc. Hrvoje Smoljanović

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:

Doc. dr. sc. Veljko Srzić

Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. TEHNIČKI OPIS	2
2.1 Općenito.....	2
3. KONSTRUKTIVNE POJEDINOSTI	7
3.1 Općenito.....	7
3.2 Lokacija konstrukcije.....	7
3.3. Norme za proračun AB konstrukcija.....	9
3.3.1. Pregled oznaka prema EC8	9
3.4. Materijali.....	12
3.4.1. Beton.....	12
3.4.1. Armatura.....	15
4. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	17
4.1. Podaci o djelovanjima na konstrukciju	17
4.1.1. Stalno djelovanje (G).....	17
4.1.2 Promjenjivo djelovanje (Q)	19
4.1.3. Opterećenje vjetrom.....	20
4.1.4. Opterećenje uslijed djelovanja potresa	23
4.1.5. Slučajni torzijski učinci	27
4.2. Proračun konstrukcije na potresno djelovanje za razred umjerene duktilnosti (DCM) metodom spektralne analize prema EC8-EN 1998- 1:2011 pomoću računalnog programa Scia Engineer 15.....	32
4.3. Proračun konstrukcije na potresno djelovanje za razred visoke duktilnosti (DCH) metodom spektralne analize prema EC8-EN 1998- 1:2011 pomoću računalnog programa Scia Engineer 15.....	32
4.4. Prikaz rezultata modalne analize.....	33
4.4.1. Vlastiti oblici uslijed potresnog djelovanja	34
4.5. Kombinacije djelovanja	37
4.5.1. Granično stanje uporabljivosti.....	37
4.5.2. Granično stanje nosivosti.....	37
4.5.3. Anvelopa kombinacija	38
4.6. Granični kriteriji progiba ploča.....	38
4.7. Horizontalni pomaci uslijed seizmičke kombinacije u smjeru y.....	40
5. PRORAČUN KARAKTERISTIČNE MEĐUKATNE PLOČE	42
5.1. Analiza opterećenja.....	42
5.2. Prikaz rezultata proračuna.....	43

5.3. Dimenzioniranje karakteristične ploče.....	46
6. DIMENZIONIRANJE ZIDA ZA RAZRED UMJERENE DUKTILNOSTI (DCM).....	49
6.1. Opći podaci za dimenzioniranje zida	49
6.2. Rezultati proračuna	51
6.3. Proračunska ovojnica momenata savijanja	52
6.4. Dimenzioniranje karakterističnog zida na savijanje	53
6.5. Vrijednosti normalizirane uzdužne sile.....	53
6.6. Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu silu – dijagram interakcije	54
6.6.1. Određivanje duljine rubnog elementa i razmještaja savojne armature	55
6.7. Proračunska ovojnica poprečnih sila.....	57
6.7.1. Dijagonalni tlačni slom hrpta zbog posmik	58
6.7.2. Dijagonalni vlačni slom hrpta zbog posmik	58
6.8. Izračun ovojne armature u rubnom elementu.....	59
6.8.1. Izračun ω_{wd} za usvojeni detalj ovojne armature	59
7. DIMENZIONIRANJE ZIDA ZA RAZRED VISOKE DUKTILNOSTI (DCH).....	61
7.1. Opći podaci	61
7.2. Rezultati proračuna	61
7.3. Proračunska ovojnica momenata savijanja	62
7.4. Dimenzioniranje karakterističnog zida na savijanje	63
7.5. Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu silu – dijagram interakcije	64
7.5.1. Proračunska otpornost zida na savijanje.....	65
7.6. Proračunska ovojnica poprečnih sila.....	65
7.6.1. Dimenzioniranje na poprečnu silu	66
7.7. Posmični slom klizanjem	68
7.8. Detaljiranje lokalne duktilnosti zida	69
8. DIMENZIONIRANJE ZIDA IZNAD KRITIČNOG PODRUČJA	74
9. DIMENZIONIRANJE TEMELJNE PLOČE.....	75
9.1. Rezultati proračuna	75
10. ZAKLJUČAK	78
11. LITERATURA.....	79

1. UVOD

Konstrukcija mora biti planirana, projektirana i izvedena na način da tijekom predviđenog vijeka trajanja uz zadovoljavajući stupanj pouzdanosti i na ekonomičan način ostane uporabiva za predviđenu namjenu i bude u stanju podnijeti sva predvidiva djelovanja i učinke tijekom izvedbe i uporabe. Eurocod kao centralna europska norma za projektiranje konstrukcija na području Europe propisuje 9 kodova za projektiranje konstrukcija. U konkretnom primjeru korišten je Eurocod EN 1990, EN 1991, EN 1992 i EN 1998.

Za projektiranje konstrukcija u potresnim područjima potrebno je u fazi projektiranja uzeti u obzir potresno djelovanje. Projektiranje konstrukcija otpornih na potres svodi se na dva temeljna zahtjeva koja moraju biti ispunjena u fazi gradnje kao i u uporabnom vijeku konstrukcije. Temeljni zahtjevi jesu temeljni zahtjev ograničenja oštećenja i temeljni zahtjev neprekoračenja nosivosti konstrukcije. Da bi se postigao balans između očekivanog potresnog djelovanja i potresne otpornosti konstrukcije potrebno je provesti proračun prema propisima za potresno opterećene konstrukcije.

Eurocod EN 1998 propisuje niz normi kojima se osigurava uporabljivost i nosivost konstrukcije u svim fazama životnog vijeka konstrukcije. U propisima postoje 4 osnovne metode proračuna konstrukcija na potresno djelovanje. Dvije metode su linearne, a dvije nelinearne. U većini slučajeva se proračun provodi prema linearnim metodama dok se nelinearno ponašanje konstrukcije uzima u obzir preko faktora ponašanja koji ovisi o nekoliko karakteristika konstrukcije. Linearne metode proračuna jesu metoda proračuna bočnih sila i metoda proračuna primjenom spektra odziva. Nelinearne metode su: nelinearni statički proračun postupnim naguravanjem i nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa. Osnovna značajka obiju metoda jesu projektiranje konstrukcija koje imaju sposobnost primanja i trošenja energije te duktilno ponašanje konstrukcije.

Ovim radom obuhvaćen je proračun konstrukcije na potresno djelovanje linearnom metodom proračuna primjenom reduciranog spektra odziva. Za klase umjerene i visoke duktilnosti proveden je proračun karakterističnog zida na potresno opterećenje prema normi HRN EN 1998-1:2011. Dodatno je proveden proračun karakteristične međukatne ploče i temeljne ploče prema EN 1992-1-1:2004. Kao zaključak prikazan je detalj armiranja rubnog područja zida za obe klase duktilnosti za koje je proveden proračun.

2. TEHNIČKI OPIS

2.1 Općenito

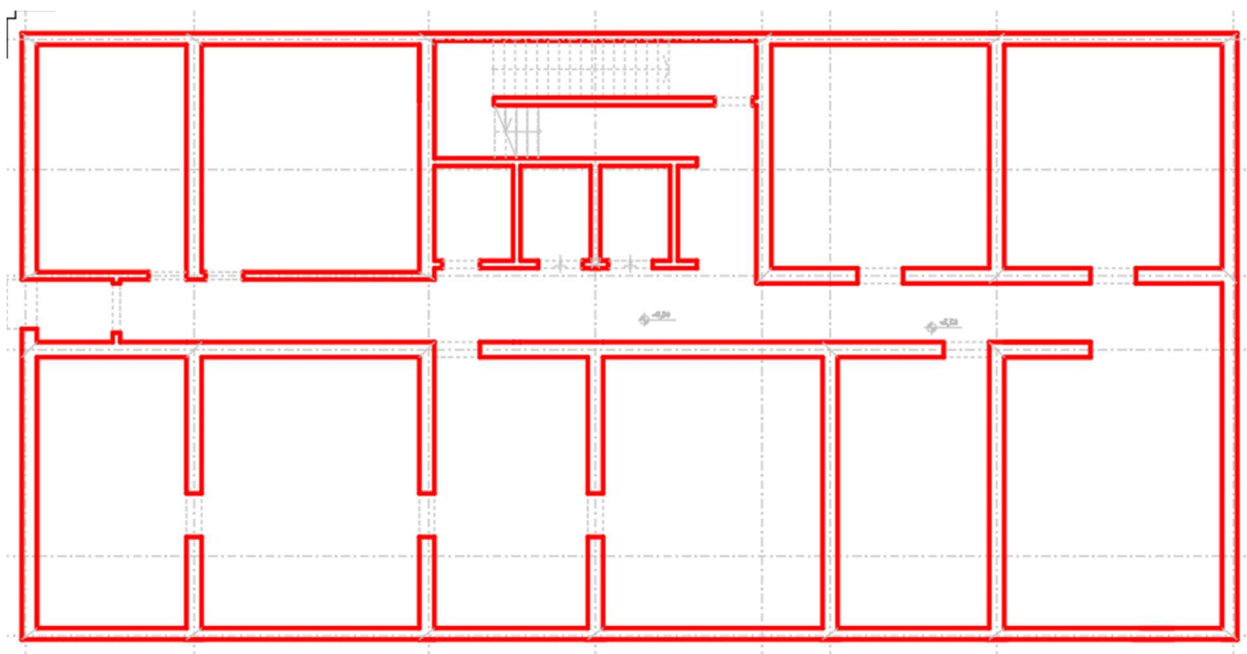
Zgrada tlocrtnih gabarita 32,10 x 16,00 je dio stambeno-poslovnog kompleksa čija je oznaka projekta „Kila 1“ koji se nalazi na području Kila u Splitu. Bruto površina zgrade iznosi 8217 m². Nosivu konstrukciju zgrade čine armiranobetonski zidovi i ploče. Zgrada se temelji na temeljnoj ploči. Raspored nosivih elemenata vidljiv je u priloženim nacrtima.



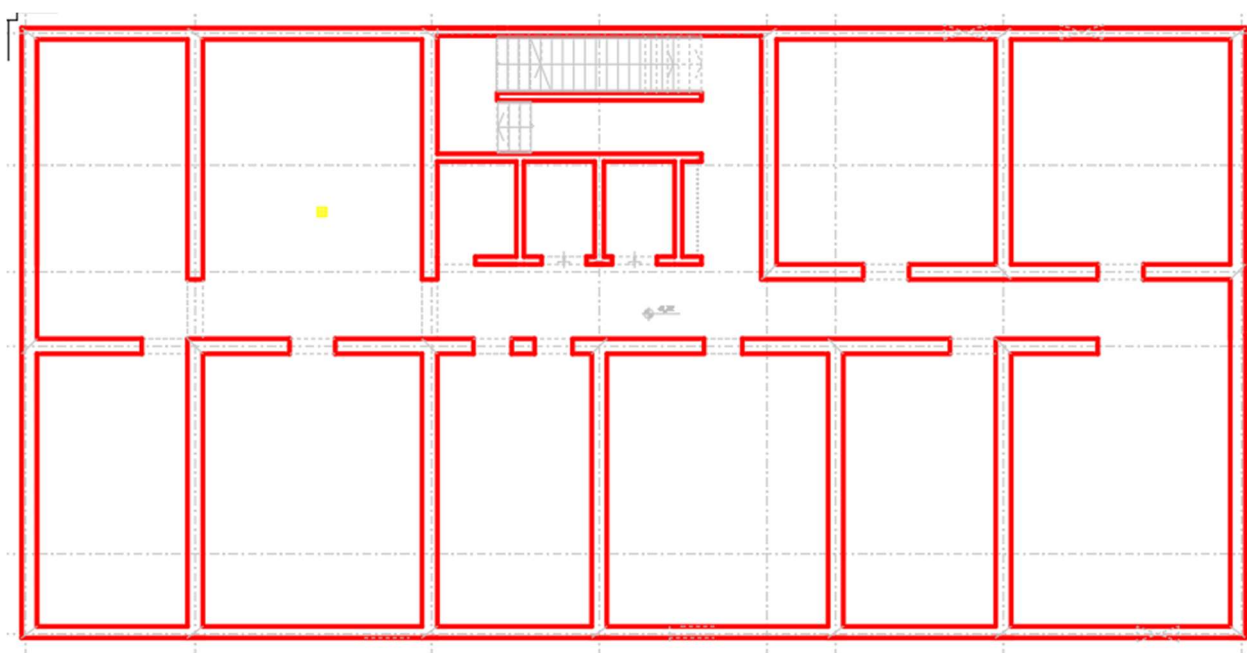
Slika 2.1. Situacija- položaj zgrade u odnosu na okolni teren



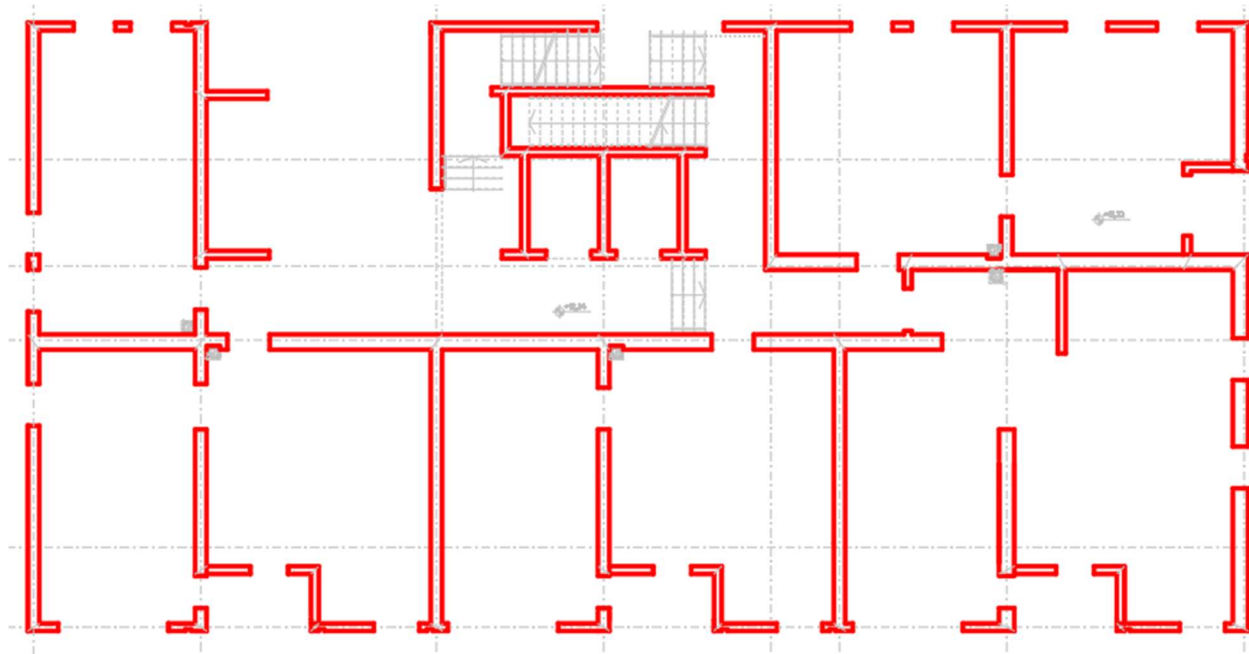
Slika 2.2. Prikaz stambeno-poslovnog sklopa „Kila 1“



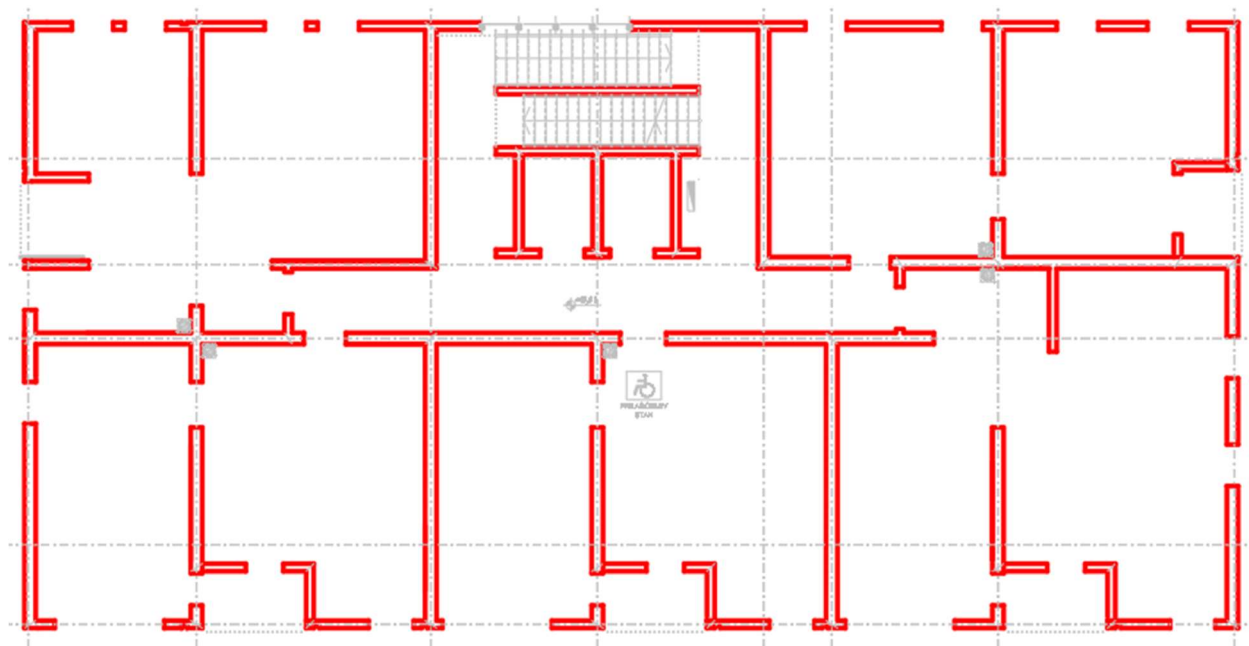
Slika 2.3. Sustav nosivih zidova etaže -2



Slika 2.4. Sustav nosivih zidova etaže -1

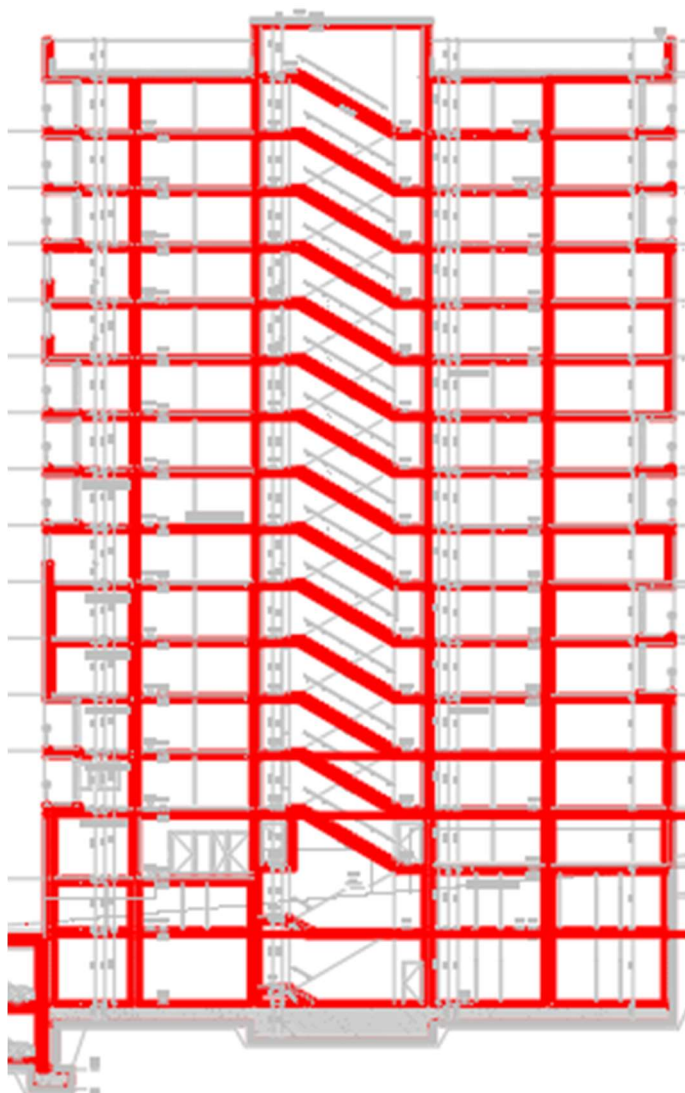


Slika 2.5. Sustav nosivih zidova etaže prizemlja



Slika 2.6. Sustav nosivih zidova etaže kata

Više etaže konstrukcije tlocrtno su jednake etaži prvog kata i kao takve nisu prikazane.



Slika 2.7. Presjek zgrade

3. KONSTRUKTIVNE POJEDINOSTI

3.1 Općenito

Nosivi skelet konstrukcije sačinjen je od armirano-betonskih zidova i ploča. Horizontalna i vertikalna opterećenja se preko zidova i ploča prenose do temeljne ploče i tla. Armirano- betonski zidovi su osnovni elementi za preuzimanje potresnih djelovanja na konstrukciju. Dimenzionirani su prema normi HRN EN 1998-1:2011. Konstrukcija se temelji u tlu razreda A na temeljnoj ploči debljine 100cm. Debljina nosivih armirano-betonskih zidova varira od 40cm za dva podzemna kata do 30cm i 20cm za ostale katove. Debljina međukatne konstrukcije varira od 22cm , 20cm i 16cm na višim etažama. Stubište je dvokrako te debljina kraka iznosi 20 cm dok je debljina podesta 16 cm. Pregradni zidovi nisu uzeti u proračunsku otpornost konstrukcije. Uključeni su kao dodatno opterećenje na pločama.

3.2 Lokacija konstrukcije

Zgrada se nalazi na području Splita te prema propisima spada u područje II opterećenja vjetrom gdje je osnovna brzina vjetra od 30m/s. Računsko ubrzanje tla prema karti iz HRN EN 1998-1:2012/NA za granično stanje nosivosti s povratnim periodom od 457 godina, iznosi 0,219 ag. Lokaciju na kojoj se nalazi zgrada karakterizira čvrsta stijena (razred temeljnog tla A). Faktor važnosti konstrukcije ovisi o ponašanju konstrukcije neposredno nakon potresa, u ovom slučaju je objekt II kategorije te je usvojena vrijednost $\gamma_1 = 1,0$. Projektno ubrzanje u tlu razreda A ima vrijednost:

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR}$$

$$a_g = 1.0 \cdot 0.22g$$

$$a_g = 0.22g$$



Slika 3.1. Horizontalno vršno ubrzanje tla prema karti iz HRN EN 1998-1:2012/NA

3.3. Norme za proračun AB konstrukcija

Cjelokupni rad uključujući oznake, proračun i dimenzioniranje je usklađen s važećim normama.

Osnovne norme korištene za proračun konstrukcije prikazane su u nastavku.

EC	Europske norme	Opis
EC0	EN 1990	Osnove proračuna
EC1	EN 1991	Opterećenja (djelovanja)
EC2	EN 1992	Betonske konstrukcije
EC7	EN 1997	Geomehanika
EC8	EN 1998	Seizmika

Tablica 3.1. Europske norme

3.3.1. Pregled oznaka prema EC8

Napomena: Prikazane su samo oznake koje se koriste u ovom radu. Za listu svih oznaka pogledati originalni EC2.

- A Izvanredno djelovanje; Ploština presjeka
- A_c Ploština presjeka betona
- E_s Ploština presjeka armature
- $A_{s,min}$ Najmanja ploština presjeka armature
- A_{sl} Ploština svih uzdužnih šipki
- A_{sw} Ploština poprečne armature (vilica; spona)
- b Ukupna širina presjeka ili stvarne pojasnice greda oblika T ili L
- b_w Širina hrpta I, T i Γ presjeka
- c Zaštitni sloj betona
- d Statička visina presjeka
- d_1 Udaljenost težišta vlačne armature od vlačnog ruba betona (ruba 1)
- d_2 Udaljenost težišta tlačne armature od tlačnog ruba betona (ruba 2)

Diplomski rad

E_{cd}	Proračunska vrijednost modula elastičnosti betona
E_s	Proračunska vrijednost modula elastičnosti čelika za armiranje
F	Djelovanje
f_{cd}	Računska čvrstoća betona
f_{ck}	Karakteristična čvrstoća betona (valjak)
f_{ct}	Vlačna čvrstoća betona
f_y	Granica popuštanja čelika
f_{yd}	Proračunska granica popuštanja armature
f_{ywd}	Proračunska granica popuštanja poprečne armature
G	Stalno djelovanje
M_{Ed}	Proračunska vrijednost djelujućeg momenta savijanja
M_{Rd}	Računski moment nosivosti
N_{sd}	Računska uzdužna sila
N_{Ed}	Proračunska vrijednost djelujuće uzdužne sile
Q	Promjenljivo djelovanje
V_{sd}	Računska poprečna sila
V_{Rd}	Računska nosivost na poprečne sile
V_{Rdc}	Računska nosivost na pop. sile koja se ostvaruje betonom i uzd. armaturom
V_{Rds}	Računska nosivost na poprečne sile tlačnih betonskih dijagonala
x	Položaj neutralne osi - udaljenost neutralne osi od tlačnog ruba presjeka
z	Krak unutrašnjih sila u presjeku
σ_s	Deformacija čelika
ξ	Koeficijent položaja neutralne osi
ρ	Koeficijent armiranja
ρ_w	Koeficijent armiranja poprečnom armaturom
μ_{sd}	Bezdimenzijska veličina za moment
ν_{sd}	Bezdimenzijska veličina za uzdužnu silu
σ_c	Naprezanje u betonu
σ_s	Naprezanje u armaturi
δ	Koeficijent kraka unutrašnjih sila
ω	Mehanički koeficijent armiranja

S	Faktor tla
a_g	Proračunsko ubrzanje temeljnog tla tipa A
g	Gravitacijsko ubrzanje
q	Faktor ponašanja
γ_I	Faktor važnosti
$\Psi_{2,i}$	Faktor kombinacije za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja i
T_1	Osnovni (prvi) period vibracije zgrade
d	Pomak
d_r	Proračunski međukatni pomak
h	Međukatni pomak
α	Omjer proračunskog ubrzanja temeljnog tla i gravitacijskog ubrzanja
ζ	Koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka
ΣA_{sj}	Zbroj ploština vertikalnih šipki u hrptu zida ili dodatnih šipki posebno raspoređenih u rubnim elementima zida za preuzimanje posmika klizanjem
b_i	Razmak između uzastopnih šipki u stupu obuhvaćenih u uglu sponom ili poprečnom sponom
b_0	Širina ovijene jezgre stupa ili rubnog elementa (do osi spona)
b_w	Širina ovijenih dijelova presjeka zida ili širina hrpta grede
b_{w0}	Širina hrpta zida
d	Proračunska visina presjeka
d_{bl}	Promjer uzdužne šipke
d_{bw}	Promjer spona
h_s	Svijetla visina kata
l_{cr}	Duljina kritičnog područja
q_0	Osnovna vrijednost faktora ponašanja
s	Razmak poprečne armature
ε_{cu}	Granična deformacija neovijenog betona
$\varepsilon_{cu2,c}$	Granična deformacija ovijenog betona
ω_{wd}	Mehanički obujamski omjer armiranja ovijenom armaturom

3.4. Materijali

Proračun AB konstrukcije proveden je na modelu sa smanjenom elastičnom krutosti pri savijanju i posmiku na 50% krutosti neraspucalih elemenata Točka 4.3.1 (7), HRN EN 1998-1:2011.

3.4.1. Beton

Za izvedbu nosive AB konstrukcije koristit će se slijedeće klase betona:

- * **temeljna ploča, temelji samci: C 30/37**
zaštitni sloj $c_{nom} = 50$ mm; (razred izloženosti: XC2)

- * **zidovi u dodiru s tlom** (zidovi garaža, kanali za odimljavanje): **C 25/30**
zaštitni sloj $c_{nom} = 30$ mm; (razred izloženosti: XC1)
Napomena: Obvezna je hidroizolacija ploha zidova u dodiru s tlom.

- * **unutarnji zidovi, zidna platna: C 25/30**
zaštitni sloj $c_{nom} = 20$ mm; (razred izloženosti: XC1)

- * **ostale međukatne ploče (između stanova): C 25/30**
zaštitni sloj $c_{nom} = 20$ mm; (razred izloženosti: XC0, XC1)

Razred tlačne čvrstoće betona je C25/30 za slučaj DCM (Ductility Class Medium) i DCH (High ductility class)

Code independent	
Material type	Concrete
Thermal expansion [m/mK]	0,00
Unit mass [kg/m ³]	2500,0
E modulus [MPa]	1,5750e+04
Poisson coeff.	0,2
Independent G modulus	☐
G modulus [MPa]	6,5625e+03
Log. decrement (non-uniform damping only)	0,2
Colour	
Specific heat [J/gK]	6,0000e-01
Thermal conductivity [W/mK]	4,5000e+01
Order in code	4
Material behaviour for nonlinear analysis	
Material behaviour	Elastic
EN 1992-1-1	
Characteristic compressive cylinder strength f _{ck} (28) [...]	25,00
Calculated depended values	☐
Mean compressive strength f _{cm} (28) [MPa]	33,00
f _{cm} (28) - f _{ck} (28) [MPa]	8,00
Mean tensile strength f _{ctm} (28) [MPa]	2,60
f _{ctk} 0,05(28) [MPa]	1,80
f _{ctk} 0,95(28) [MPa]	3,40
Design compressive strength - persistent (f _{cd} = f _{ck} / ...)	16,67
Design compressive strength - accidental (f _{cd} = f _{ck} / ...)	20,83
Strain at reaching maximum strength eps _{c2} [1e-4]	20,0
Ultimate strain eps _{cu2} [1e-4]	35,0
Strain at reaching maximum strength eps _{c3} [1e-4]	17,5
Ultimate strain eps _{cu3} [1e-4]	35,0
Stone diameter (d _g) [mm]	32
Cement class	N (normal hardening - CEM 32,5 R, CEM 42,5 N)
Measured values	
Measured values of mean compressive strength (inf...	☐
Stress-strain diagram	
Type of diagram	Bi-linear stress-strain diagram

Slika 3.3. Karakteristike razreda tlačne čvrstoće betona C25/30

Diplomski rad

Material type	Concrete
Thermal expansion [m/mK]	0,00
Unit mass [kg/m ³]	2500,0
Time dependency of unit mass	None ▼ ...
E modulus [MPa]	3,2800e+04
Poisson coeff.	0,2
Independent G modulus	☐
G modulus [MPa]	1,3667e+04
Log. decrement (non-uniform damping only)	0,2
Colour	
Specific heat [J/gK]	6,0000e-01
Temperature dependency of specific heat	None ▼ ...
Thermal conductivity [W/mK]	4,5000e+01
Temperature dependency of thermal conductivity	None ▼ ...
Order in code	5
EN 1992-1-1	
Characteristic compressive cylinder strength f _{ck} (28) [...]	30,00
Calculated depended values	☒
Mean compressive strength f _{cm} (28) [MPa]	38,00
f _{cm} (28) - f _{ck} (28) [MPa]	8,00
Mean tensile strength f _{ctm} (28) [MPa]	2,90
f _{ctk} 0,05(28) [MPa]	2,00
f _{ctk} 0,95(28) [MPa]	3,80
Design compressive strength - persistent (f _{cd} = f _{ck} / g...	20,00
Design compressive strength - accidental (f _{cd} = f _{ck} / ...	25,00
Strain at reaching maximum strength ε _{s2} [1e-4]	20,0
Ultimate strain ε _{cu2} [1e-4]	35,0
Strain at reaching maximum strength ε _{s3} [1e-4]	17,5

Slika 3.4. Karakteristike razreda tlačne čvrstoće betona C30/37

3.4.1. Armatura

Čelik za armiranje kod proračuna za razred umjerene duktilnosti (DCM)

šipkasta armatura - rebrasta: B500B

mrežasta armatura - rebrasta: B500B

Code independent	
Material type	Reinforcement steel
Thermal expansion [m/mK]	0,00
Unit mass [kg/m ³]	7850,0
E modulus [MPa]	1,0000e+05
Poisson coeff.	0,2
Independent G modulus	☐
G modulus [MPa]	4,1667e+04
Log. decrement (non-uniform damping only)	0,2
Colour	
Specific heat [J/gK]	6,0000e-01
Thermal conductivity [W/mK]	4,5000e+01
Bar surface	Ribbed ▼
Order in code	5
Material behaviour for nonlinear analysis	
Material behaviour	Elastic ▼
EN 1992-1-1	
Characteristic yield strength f_{yk} [MPa]	500,0
Calculated depended values	☒
Characteristic maximum tensile strength f_{tk} [MPa]	540,0
Coefficient $k = f_{tk} / f_{yk}$ [-]	1,08
Design yield strength - persistent ($f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$)	434,8
Design yield strength - accidental ($f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$)	500,0
Maximum elongation ϵ_{uk} [1e-4]	500,0
Class	B
Reinforcement type	Bars ▼
Fabrication	Hot rolled ▼
Stress-strain diagram	
Type of diagram	Bi-linear with an inclined top branch ▼
Picture of Stress-strain diagram	...

Slika 3.5. Karakteristike čelika za armiranje B500B (DCM)

Čelik za armiranje kod proračuna za razred visoke duktilnosti (DCH)

šipkasta armatura - rebrasta: B 450C

mrežasta armatura - rebrasta: B 450C

Code independent	
Material type	Reinforcement steel
Thermal expansion [m/mK]	0,00
Unit mass [kg/m ³]	7850,0
E modulus [MPa]	1,0000e+05
Poisson coeff.	0,2
Independent G modulus	☐
G modulus [MPa]	4,1667e+04
Log. decrement (non-uniform damping only)	0,2
Colour	
Specific heat [J/gK]	6,0000e-01
Thermal conductivity [W/mK]	4,5000e+01
Bar surface	Ribbed
Order in code	7
Material behaviour for nonlinear analysis	
Material behaviour	Elastic
EN 1992-1-1	
Characteristic yield strength f_{yk} [MPa]	450,0
Calculated depended values	☒
Characteristic maximum tensile strength f_{tk} [MPa]	517,5
Coefficient $k = f_{tk} / f_{yk}$ [-]	1,15
Design yield strength - persistent ($f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$)	391,3
Design yield strength - accidental ($f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$)	450,0
Maximum elongation ϵ_{uk} [1e-4]	750,0
Class	C
Reinforcement type	Bars
Fabrication	Hot rolled
Stress-strain diagram	
Type of diagram	Bi-linear with an inclined top branch
Picture of Stress-strain diagram	...

Slika 3.6. Karakteristike čelika za armiranje B450C (DCH)

4. ANALIZA OPTEREĆENJA

4.1. Podaci o djelovanjima na konstrukciju

Oznaka osnovnog djelovanja	Opis djelovanja
G	Stalno djelovanje. Djelovanje je podijeljeno na: G0 = Vlastita težina elemenata nosive konstrukcije (zidovi, ploče, grede, stupovi, stubišta) G1 = Ostalo stalno djelovanje: obloga (podovi), stalna oprema, itd. nanosi se kao dodatno opterećenje (plošno, linijsko ili koncentrirano) na proračunske modele.
Q1	Promjenjiva djelovanja: uporabno opterećenje, pokretna oprema i sl.
W	Vjetar. Djelovanje u smjeru globalne osi W_x i W_y
S	Potres: S_x - djelovanje u smjeru globalne osi X S_y - djelovanje u smjeru globalne osi Y T_x,T_y - uvrtnje (slučajni ekscentricitet)

Tablica 4.1. Osnovna opterećenja uzeta u proračunskom modelu

4.1.1. Stalno djelovanje (G)

Vlastita težina konstrukcije (G0)

Stalno opterećenje vlastitom težinom elemenata konstrukcije generirano je u proračunskom modelu u računalnom programu Scia engineer 2015 preko specifične težine betona koja iznosi 25 kN/m³ i dimenzija poprečnog presjeka pojedinog elementa.

Ostala stalna djelovanja (G1)**međukatne konstrukcije (stanovi)**

pregradni zidovi (gipskartonske ploče)	0.50 kN/m ²
završni sloj poda	0.50 kN/m ²
a-c estrih, $d \leq 7$ cm; $0.07 \times 22.0 =$	1.50 kN/m ²
<u>izolacije, instalacije, glet/žbuka</u>	<u>0.20 kN/m²</u>

$$g = 2.70 \text{ kN/m}^2$$

međukatne konstrukcije (skladište, samoposluga)

završni sloj poda	0.50 kN/m ²
a-c estrih, $d \leq 8$ cm; $0.08 \times 22.0 =$	1.80 kN/m ²
<u>izolacije, instalacije, glet/žbuka</u>	<u>0.40 kN/m²</u>

$$g = 2.70 \text{ kN/m}^2$$

stubište - podesti

završni sloj poda	0.60 kN/m ²
cem. mort, $d \leq 4$ cm; $0.04 \times 22.0 =$	0.90 kN/m ²
<u>glet/žbuka</u>	<u>0.20 kN/m²</u>

$$g = 1.70 \text{ kN/m}^2$$

stubište - krakovi

gazišta ($d \cong 6.5$ cm; 0.065×26.0)	1.70 kN/m ²
završni sloj poda	0.60 kN/m ²
cem. mort, $d \leq 4$ cm; $0.04 \times 22.0 =$	0.90 kN/m ²
<u>glet/žbuka</u>	<u>0.20 kN/m²</u>

$$g = 3.40 \text{ kN/m}^2$$

krovovi - terase

završna obloga – betonske ploče na podmetačima; $d_{\max} = 5$ cm; $0.05 \times 24.0 =$	1.20 kN/m ²
izolacije	0.20 kN/m ²
laki beton za pad; $d_{\text{sred}} = 8$ cm; $0.08 \times 12.0 \text{ kN/m}^3 =$	1.00 kN/m ²
<u>instalacije, glet/žbuka, ostali stalni teret</u>	<u>0.20 kN/m²</u>

$$g = 2.60 \text{ kN/m}^2$$

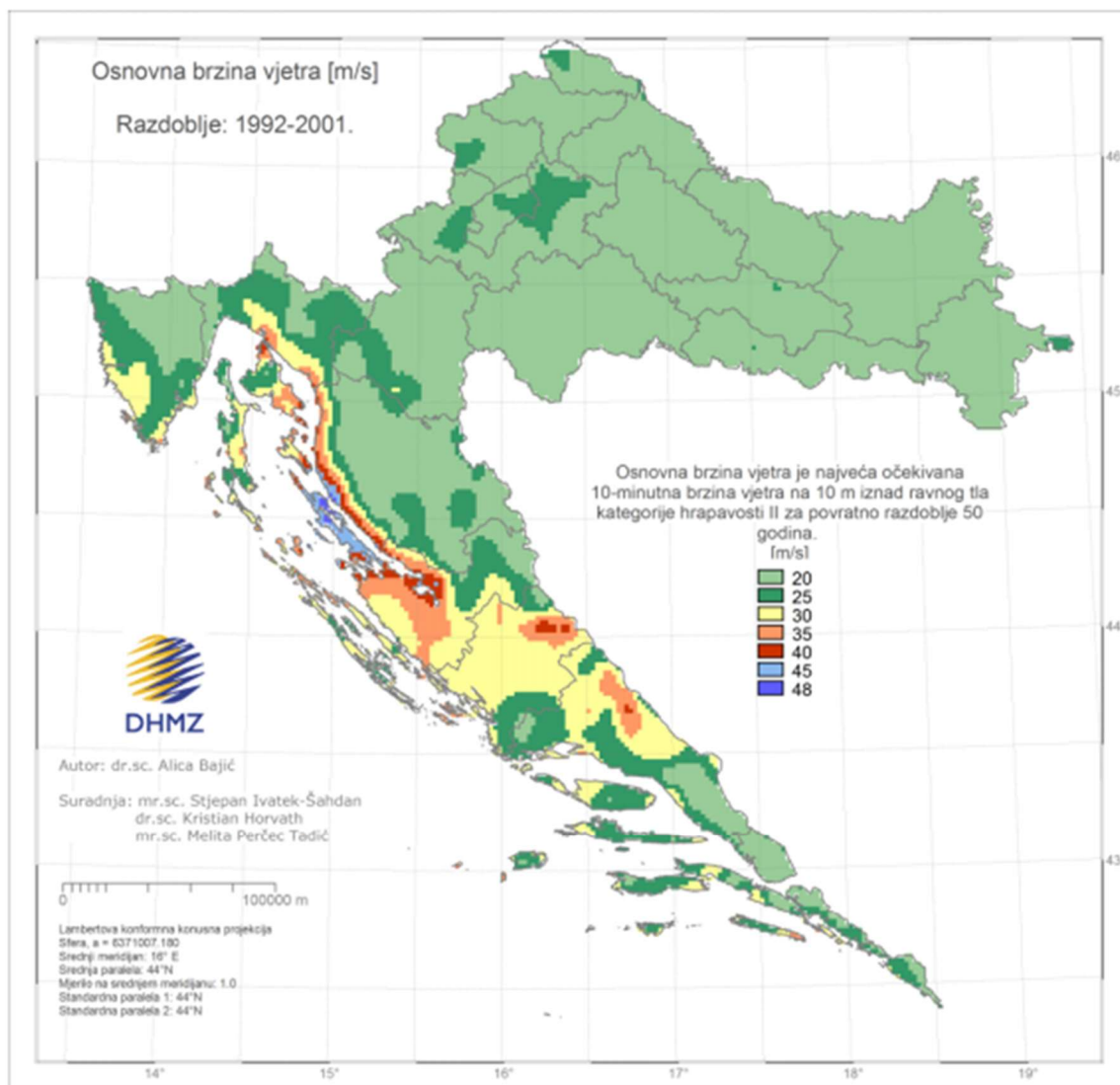
4.1.2 Promjenjivo djelovanje (Q)

Q: stanovi - unutarnji prostori; $\Psi_1=0.5$; $\Psi_2=0.3$ Kategorija A2 ($q_{\min}=1.5 \text{ kN/m}^2$)	$q_k=1.5 \text{ kN/m}^2$
Q: stubišta; $\Psi_1=0.5$; $\Psi_2=0.3$ Kategorija S1 ($q_{\min}=3.0 \text{ kN/m}^2$)	$q_k=3.0 \text{ kN/m}^2$
Q: uredi; $\Psi_1=0.5$; $\Psi_2=0.3$ Kategorija B2 ($q_{\min}=3.0 \text{ kN/m}^2$)	$q_k=3.0 \text{ kN/m}^2$
Q: neprohodni krovovi, $<20^\circ$; $\Psi_1=0.0$; $\Psi_2=0.0$ Kategorija H ($q_{\min}=0.6 \text{ kN/m}^2$)	$q_k=1.0 \text{ kN/m}^2$

Tablica 4.2. Promjenjiva opterećenja korištena u proračunskom modelu

4.1.3. Opterećenje vjetrom

Opći podaci:



Slika 4.1. Karta osnovne brzine vjetra za kopno prema DHMZ

Opterećenje vjetrom odabrano je prema: EC1, Dio 2-4: Djelovanja vjetra i Europskoj normi EN 1991-2-4: Djelovanja na konstrukcije opterećenje vjetrom, te Nacionalnom dokumentu za primjenu u Republici Hrvatskoj.

$v_{ref,0}$ - osnovna brzina vjetra ovisna o geografskom položaju objekta

$c_e(z)$ - koeficijent položaja

c_f - koeficijent sile – očitava se iz dijagrama za pojedine oblike i odnose dimenzija konstrukcije

c_d - dinamički koeficijent odgovora konstrukcije na udar vjetra – očitava se iz dijagrama za pojedine oblike konstrukcije;

Za krute konstrukcije je $c_d \leq 1.2$

($\Psi_0=0.6$; $\Psi_1=0.5$)

osnovna brzina vjetra: $v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$

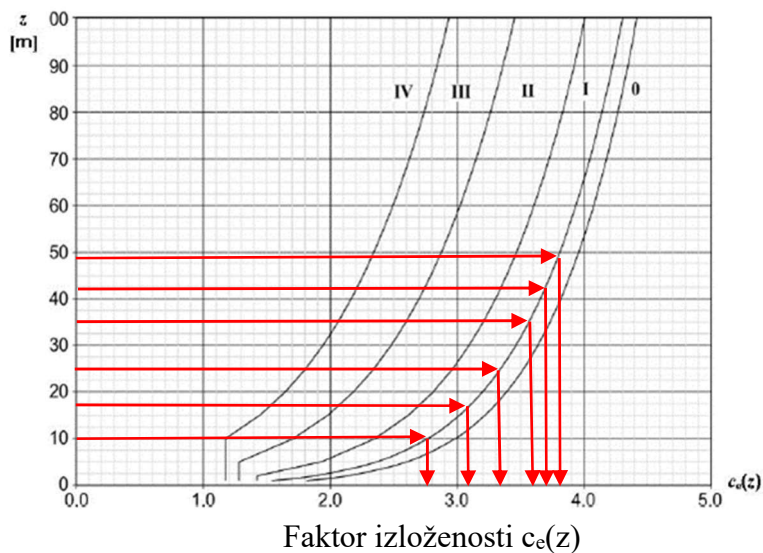
kategorija terena: **I.**

tlak pri osnovnoj brzini: $q_b = \rho_{zraka} * v^2 / 2 = 1.25 * (30^2) / 2 / 1000 =$ **$q_b = 0.56 \text{ kN/m}^2$**

tlak pri vršnoj brzini: $q_p(z) = c_e(z) * q_b$

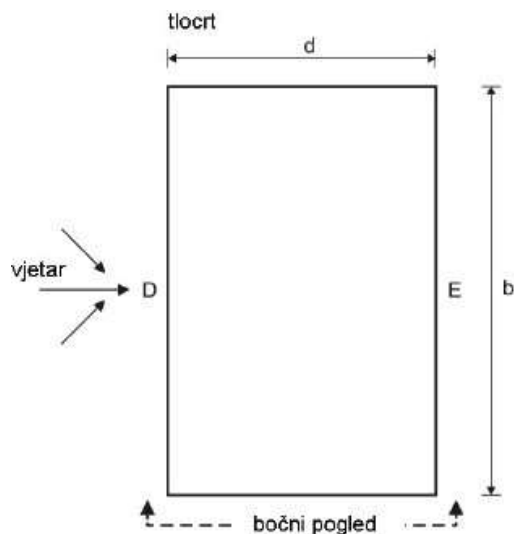
tlak vjetra na vanjske površine: $w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$

tlak vjetra na unutarnje površine: $w_i = q_p(z_i) * c_{pi}$



Slika 4.2. Koeficijent položaja $c_e(z)$ u ovisnosti o visini z iznad terena i kategorijama terena 0 do IV

c_{pe} = tlak vjetra na vanjske površine – prema skici:



Slika 4.3. Tlocrtna shema konstrukcije

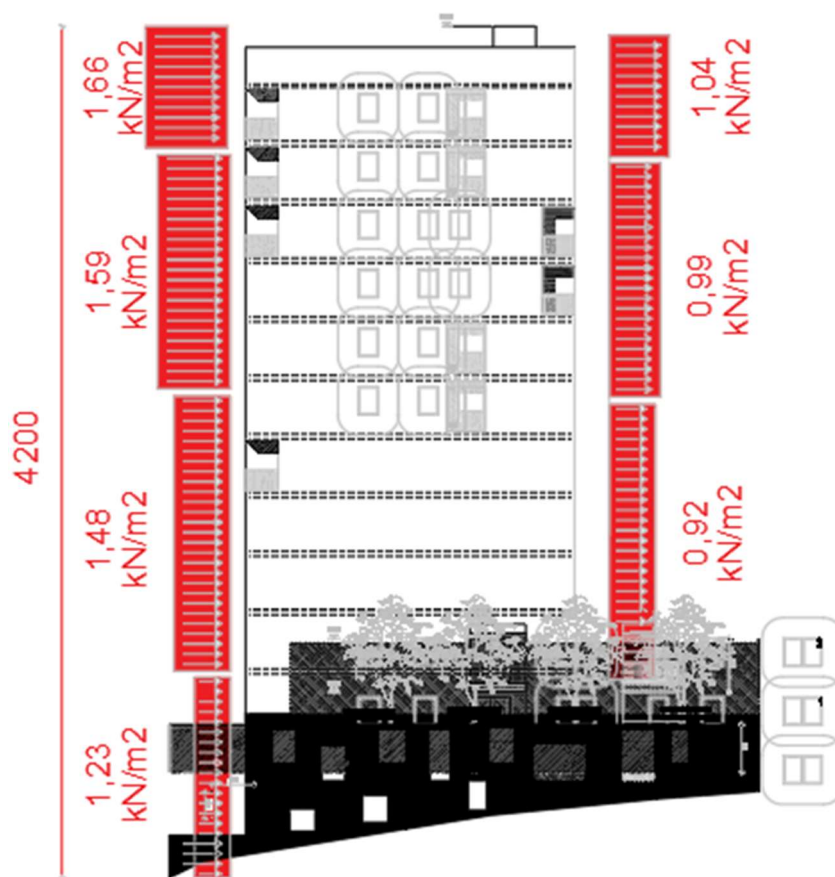
Opterećenje vjetrom na konstrukciju

Visina zgrade (iznad okolnog terena): 42.20 m

$q_b = 0.56 \text{ kN/m}^2$

		D		E	
$z_e \text{ [m]}$	$c_e(z)$	$c_{pe,10}$	$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$	$c_{pe,10}$	$w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$
$h \leq 10$	2.75	0.8	1.23	-0.5	-0.77
$10 < h < 24$	3.30	0.8	1.48	-0.5	-0.92
$24 < h < 36$	3.55	0.8	1.59	-0.5	-0.99
$36 < h < 42$	3.70	0.8	1.66	-0.5	-1.04

Tablica 4.3. Prikaz opterećenja vjetra po visini konstrukcije



Slika 4.4. Djelovanje vjetra na građevinu

4.1.4. Opterećenje uslijed djelovanja potresa

Računsko ubrzanje tla:

Granično stanje nosivosti:

(TNCR=475 godina; 50 godina; PNCR=10%): $a_{gr,GSN}=0.22\text{ g} = 2.00\text{ m/s}^2$

Granično stanje uporabljivosti:

(TNCR=95 godina; 10 godina; PNCR=10%): $a_{gr,GSU}=0.12\text{ g} = 1.10\text{ m/s}^2$

Faktor važnosti građevine: $\gamma_I=1.0$

Razred duktilnosti: **DCM**

Potresno opterećenje:

S_x potresno opterećenje u smjeru osi x (zadan spektar odgovora za smjer x + 30% spektra odgovora za smjer y)

S_y potresno opterećenje u smjeru osi y (zadan spektar odgovora za smjer y + 30% spektra odgovora za smjer x)

Određivanje faktora ponašanja:

Da bi se u proračunu izbjegao nelinearni proračun, uzima se u obzir kapacitet trošenja energije u konstrukciji putem duktilnog ponašanja njezinih elemenata i/ili drugih mehanizama te se provodi linearni proračun utemeljen na spektru odziva umanjenom u odnosu na elastični spektar. Taj se spektar naziva "proračunski spektar". To se umanjenje postiže uvođenjem faktora ponašanja q . Faktor ponašanja q približno je omjer potresnih sila kojima bi građevina bila izložena kad bi njezin odziv bio u cijelosti elastičan uz 5%-tno viskozno prigušenje i stvarnih potresnih sila koje bi se pojavile na promatranom sustavu

Faktor ponašanja q određen je sljedećim izrazom:

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1.5$$

gdje je:

q_0 osnovna vrijednost faktora ponašanja ovisna o vrsti konstrukcije, njezinoj duktilnosti i pravilnosti po visini (tablica 4.4.)

k_w faktor prevladavajućeg oblika sloma konstrukcijskih sustava s zidovima (tablica 4.5.)

Pri određivanju faktora ponašanja q_0 kvocijent α_u / α_1 (tablica 4.4.) predstavlja faktor uvećanja, gdje je:

α_1 vrijednost kojom je proračunsko horizontalno potresno djelovanje uvećano pri prvom dostizanju nosivosti na savijanje u bilo kojem elementu konstrukcije (pojava plastifikacije zglobova)

α_u vrijednost kojom je proračunsko horizontalno potresno djelovanje uvećano pri prelasku konstrukcije u mehanizam (pojava dovoljnog broja plastičnih zglobova)

Tip konstrukcije	Razred duktilnosti	
	DCM	DCH
Okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova	3,0 α_u / α_1	4,5 α_u / α_1
Sustav nepovezanih zidova	3,0	4,0 α_u / α_1
Torzijski savitljiv sustav	2,0	3,0
Sustav obrnutog njihala	1,5	2,0

Tablica 4.4. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za konstrukcije koje zadovoljavaju uvjet pravilnosti po visini

Vrsta konstrukcije	k_w
okvirne konstrukcije i njima istovrijedni dvojni sustavi	1,0
zidni sustavi sustavi istovrijedni zidnim sustavima torzijski savitljivi sustavi	$0,5 \leq (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1,0$

Tablica 4.5. Vrijednost faktora k_w

Koeficijent α_0 (tablica 4.6.) prevladavajući je koeficijent oblika zidova konstruktivnog sustava i određen je izrazom:

$$\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$$

gdje je:

$\sum h_{wi}$ Ukupna visina zida „i“ od podnožja (temelja ili krutog podruma) do najvišeg kata

$\sum l_{wi}$ Duljina presjeka zida „i“

Razred umjerene duktilnosti (DCH)

Prevladavajući koeficijent oblika zidova konstruktivnog sustava:

$$\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$$

smjer X: $\alpha_0 = (3 \cdot 37.70) / (7.3 + 7.2 + 7.08) = 5.24$;

$$k_w = (1 + 5.24) / 3 = 2.08; \quad k_w = 1.0$$

smjer Y: $\alpha_0 = (12 \cdot 48.85) / (5.2 + 3.85 + 7.30 + 3.85 + 7.30 + 3.60 + 3.7 + 3.75 + 3.80 + 6.00 + 6.00 + 3.8 + 3.80) = 9.5$

$$k_w = (1 + 9.5) / 3 = 3.5; \quad k_w = 1.0$$

Vrijednost α_u / α_1 za nepovezane zidane sustave (tablica 4.5.):

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.1$$

Osnovna vrijednost faktora ponašanja za zidni sustav nepovezanih zidova (tablica 4.4.) iznosi:

$$q_0 = 4.0 \times \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 4.0 \times 1.1 = 4.4$$

Faktor ponašanja q:

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1.5$$

$$q = 4.4 \cdot 1.0 = 4.4 \geq 1.5$$

$$q = 4.4$$

Za razred visoke duktilnosti (DCH) i konkretni konstrukcijski sustav faktor ponašanja q jednak je u smjeru x i y i iznosi 4.4.

Razred visoke duktilnosti (DCM)

Prevladavajući koeficijent oblika zidova konstruktivnog sustava:

$$\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$$

$$\text{smjer X: } \alpha_0 = (3 \cdot 37.70) / (7.3 + 7.2 + 7.08) = 5.24;$$

$$k_w = (1 + 5.24) / 3 = 2.08; \quad k_w = 1.0$$

$$\text{smjer Y: } \alpha_0 = (12 \cdot 48.85) / (5.2 + 3.85 + 7.30 + 3.85 + 7.30 + 3.60 + 3.7 + 3.75 + 3.80 + 6.00 + 6.00 + 3.8 + 3.80) = 9.5$$

$$k_w = (1 + 9.5) / 3 = 3.5; \quad k_w = 1.0$$

Osnovna vrijednost faktora ponašanja za zidni sustav nepovezanih zidova (tablica 4.4.) iznosi:

$$q_0 = 4.4$$

Faktor ponašanja q :

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1.5$$

$$q = 3,0 \cdot 1,0 = 3,0 \geq 1,5$$

$$q = 3.0$$

Za razred umjerene duktilnosti (DCM) i konkretni konstrukcijski sustav faktor ponašanja q jednak je u smjeru x i y i iznosi 3.0.

4.1.5. Slučajni torzijski učinci

Pretpostavka je da postoji razlika u položaju centra masa u odnosu na centar krutosti konstrukcije. Za potrebe proračuna centar masa i centar krutosti izračunat je u računalnom softveru Microsoft excel preko položaja i dimenzija nosivih elemenata konstrukcije. Proračun centra masa (tablica 4.6) i centra krutosti (tablica 4.7) te njihov tlocrtni položaj(slika 4.5) za karakterističnu etažu prikazan je u nastavku:

Naziv	b [m]	d [m]	x_t [m]	y_t [m]	A [m ²]	γ [kN/m ²]	G [kN]	$G \cdot x_t$	$G \cdot y_t$
Zx0	1,65	0,2	8,27	0,1	0,33	25	8,25	68,23	0,83
Zx1	1,65	0,2	18,84	0,1	0,33	25	8,25	155,43	0,83
Zx2	1,65	0,2	29,65	0,1	0,33	25	8,25	244,61	0,83
Zx3	7,3	0,3	3,84	7,45	2,19	25	54,75	210,24	407,89
Zx4	7,25	0,3	12,13	7,45	2,18	25	54,38	659,57	405,09
Zx5	7,08	0,3	20,51	7,45	2,12	25	53,10	1089,08	395,60
Zx6	9,09	0,3	27,5	9,65	2,73	25	68,18	1874,81	657,89
Zx7	4,35	0,2	8,57	9,65	0,87	25	21,75	186,40	209,89
Zx8	5,36	0,2	15,15	12,5	1,07	25	26,80	406,02	335,00
Zx9	1,25	0,2	0,47	15,9	0,25	25	6,25	2,94	99,38
Zx10	2,6	0,2	5,05	15,9	0,52	25	13,00	65,65	206,70
Zx11	4,6	0,2	18,35	15,9	0,92	25	23,00	422,05	365,70
Zx12	3,2	0,2	10,45	15,9	0,64	25	16,00	167,20	254,40
Zx13	2,5	0,2	23	15,9	0,50	25	12,50	287,50	198,75
Zx14	1,95	0,2	26,3	15,9	0,39	25	9,75	256,43	155,03
Zy0	0,3	5,4	0,15	2,7	1,62	25	40,50	6,08	109,35
Zy1	0,3	4,2	0,15	14,07	1,26	25	31,50	4,73	443,21
Zy2	0,3	3,85	4,55	3,3	1,16	25	28,88	131,38	95,29
Zy3	0,3	3,8	4,55	13,9	1,14	25	28,50	129,68	396,15
Zy4	0,3	7,3	10,75	3,85	2,19	25	54,75	588,56	210,79
Zy5	0,3	6,1	10,75	12,65	1,83	25	45,75	491,81	578,74
Zy6	0,3	3,85	15,15	3,87	1,16	25	28,88	437,46	111,75
Zy7	0,3	6	19,55	13,2	1,80	25	45,00	879,75	594,00
Zy8	0,3	7,3	21,2	3,85	2,19	25	54,75	1160,70	210,79
Zy9	0,3	3,75	31,85	1,87	1,13	25	28,13	895,78	52,59
Zy10	0,3	3,8	31,85	14,05	1,14	25	28,50	907,73	400,43
Ploča	32,0	16	16,12	8	513,60	5	2568,00	41396,16	20544,00
$\Sigma=$							3367,33	53125,96	27440,85

Tablica 4.6. Proračun centra masa za karakterističnu etažu

Koordinate centra masa:

$$X_{cm}=15.78[m]$$

$$Y_{cm}=8.15[m]$$

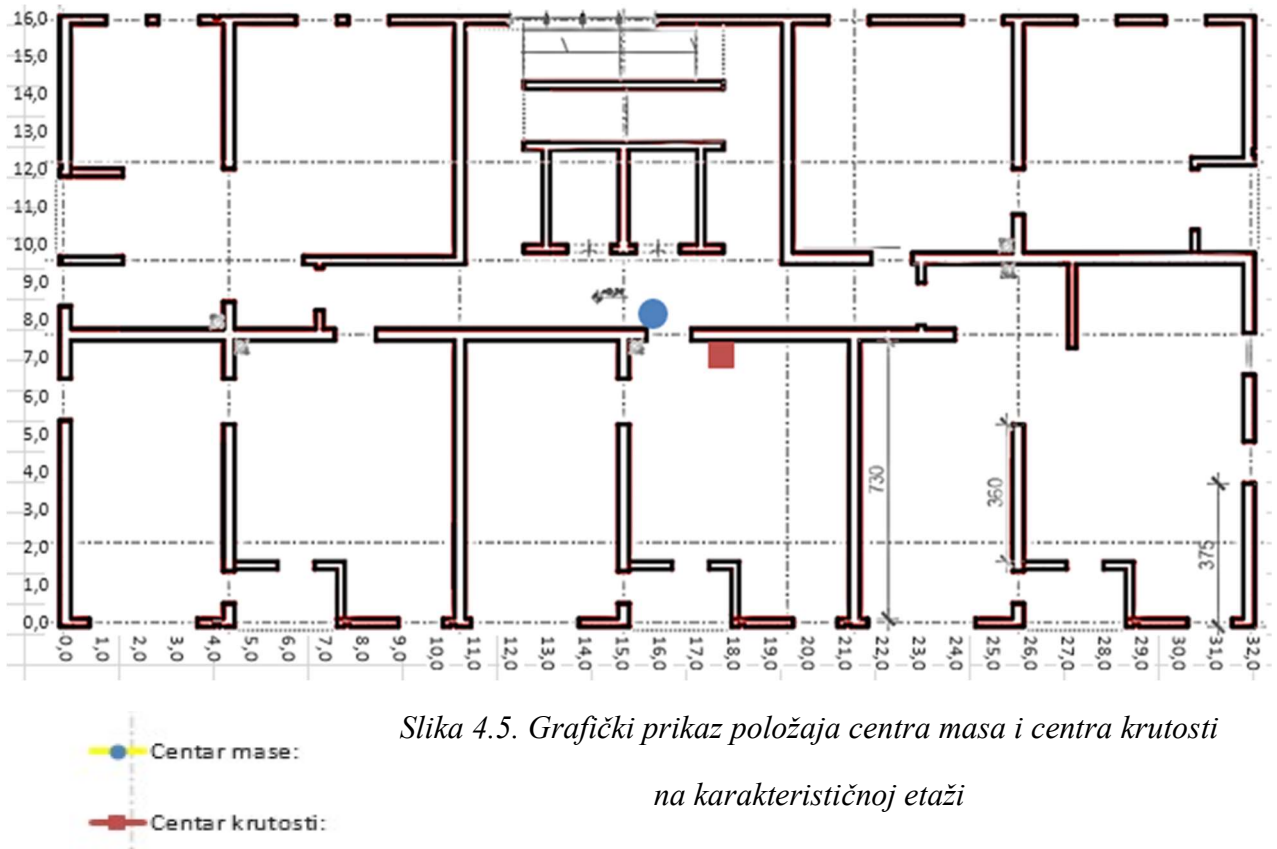
Naziv	b [m]	d [m]	x_t [m]	y_t [m]	$I_x = b \cdot d^3$ [m ⁴]	$I_y = b^3 \cdot d$ [m ⁴]	$I_x \cdot y_t$	$I_y \cdot x_t$
Zx0	1,65	0,2	8,27	0,1		0,90	0,00	7,43
Zx1	1,65	0,2	18,84	0,1		0,90	0,00	16,93
Zx2	1,65	0,2	29,65	0,1		0,90	0,00	26,64
Zx3	7,3	0,3	3,84	7,45		116,71	0,00	448,15
Zx4	7,25	0,3	12,13	7,45		114,32	0,00	1386,74
Zx5	7,08	0,3	20,51	7,45		106,47	0,00	2183,67
Zx6	9,09	0,3	27,5	9,65		225,33	0,00	6196,49
Zx7	4,35	0,2	8,57	9,65		16,46	0,00	141,08
Zx8	5,36	0,2	15,15	12,5		30,80	0,00	466,59
Zx9	1,25	0,2	0,47	15,9		0,39	0,00	0,18
Zx10	2,6	0,2	5,05	15,9		3,52	0,00	17,75
Zx11	4,6	0,2	18,35	15,9		19,47	0,00	357,22
Zx12	3,2	0,2	10,45	15,9		6,55	0,00	68,49
Zx13	2,5	0,2	23	15,9		3,13	0,00	71,88
Zx14	1,95	0,2	26,3	15,9		1,48	0,00	39,00
Zy0	0,3	5,4	0,15	2,7	47,24		127,55	0,00
Zy1	0,3	4,2	0,15	14,07	22,23		312,73	0,00
Zy2	0,3	3,85	4,55	3,3	17,12		56,50	0,00
Zy3	0,3	3,8	4,55	13,9	16,46		228,82	0,00
Zy4	0,3	7,3	10,75	3,85	116,71		449,31	0,00
Zy5	0,3	6,1	10,75	12,65	68,09		861,39	0,00
Zy6	0,3	3,85	15,15	3,87	17,12		66,25	0,00
Zy7	0,3	6	19,55	13,2	64,80		855,36	0,00
Zy8	0,3	7,3	21,2	3,85	116,71		449,31	0,00
Zy9	0,3	3,75	31,85	1,87	15,82		29,58	0,00
Zy10	0,3	3,8	31,85	14,05	16,46		231,29	0,00
Zy11	0,2	0,9	29,5	0,45	0,15		0,07	0,00
$\Sigma =$					518,90	647,31	3668,16	11428,24

Tablica 4.7. Proračun centra krutosti za karakterističnu etažu

Koordinate centra krutosti:

$$X_{ck} = 17.65 \text{ [m]}$$

$$Y_{ck} = 7.07 \text{ [m]}$$



Slučajni utjecaj torzije izražen preko skupa torzijskih momenata M_{ai} oko vertikalne osi svakog kata i :

$$M_{ai} = e_{ai} \cdot F_i$$

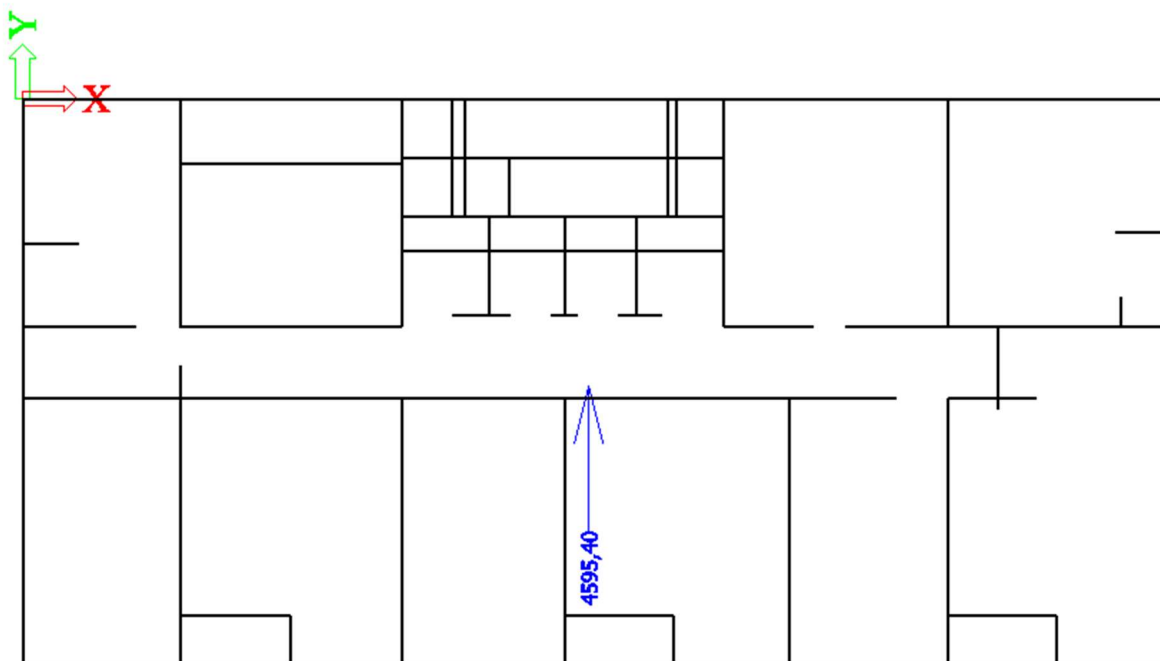
gdje je:

M_{ai} torzijski moment na katu i oko njegove vertikalne osi

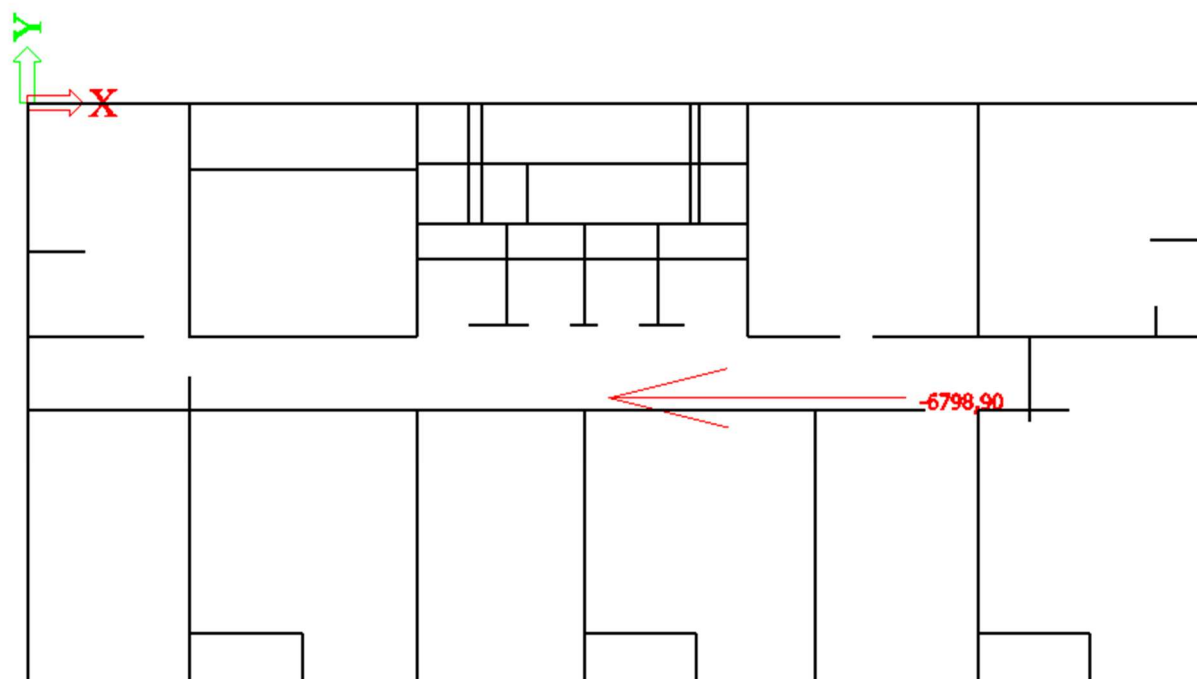
e_{ai} slučajna ekscentričnost mase kata i za sve odgovarajuće smjerove

F_i horizontalna sila koja djeluje na katu i

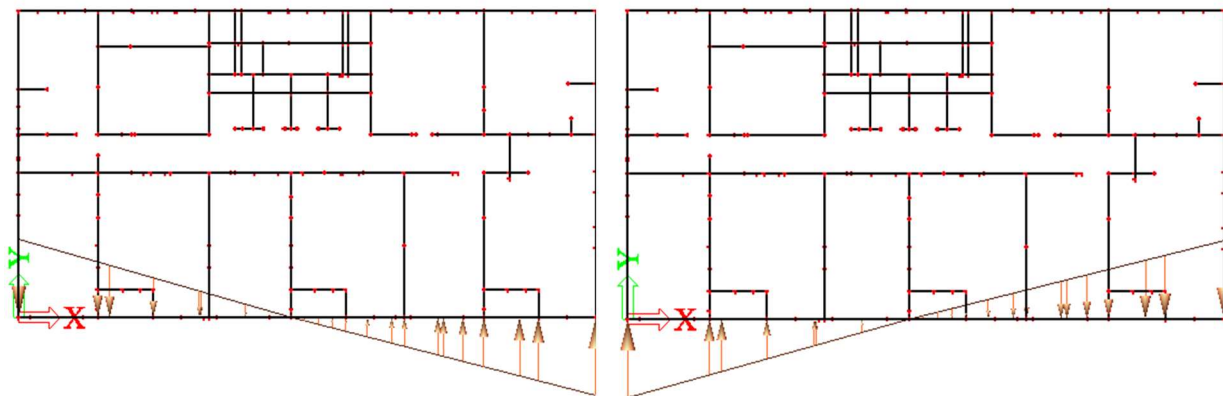
L_i dimenzija stropa okomito na smjer potresnog djelovanja



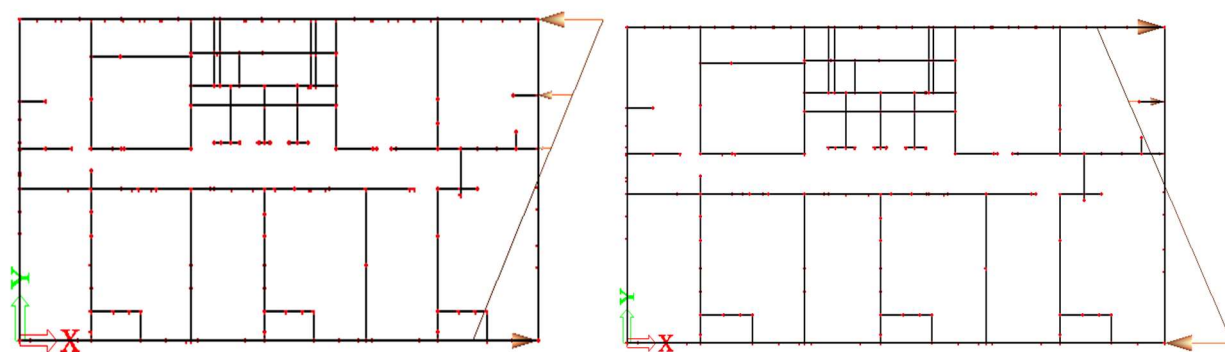
Slika 4.6. Ukupna reakcija R_y (kN) za djelovanje potresa S_y



Slika 4.7. Ukupna reakcija R_x (kN) za djelovanje potresa S_x



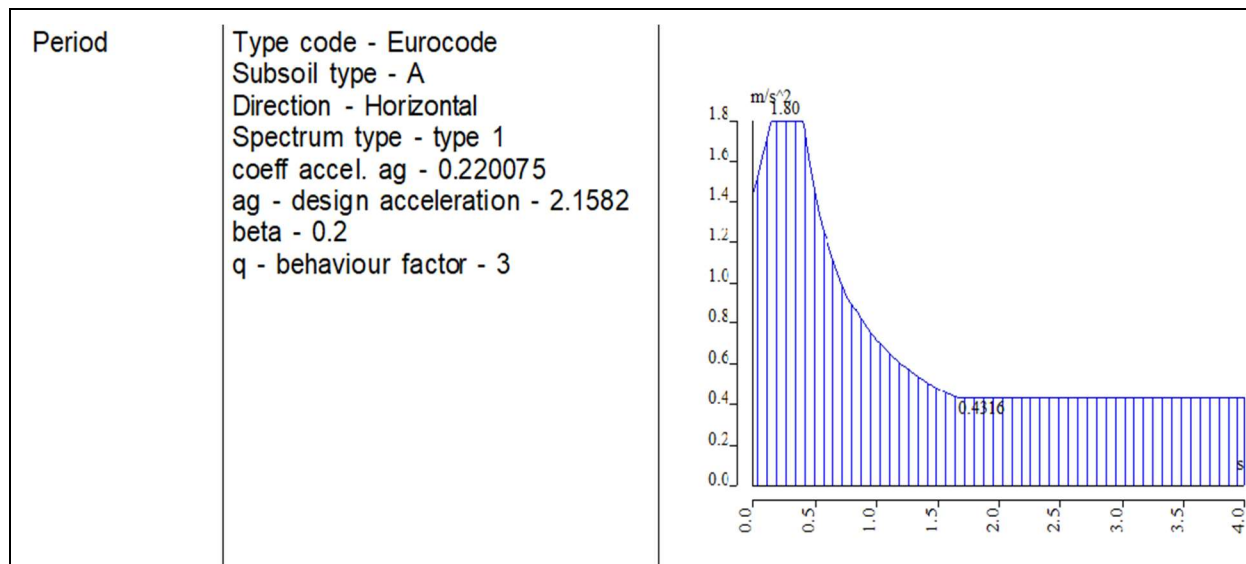
Slika 4.8. Slučajni utjecaj torzije u smjeru y za slučaj kada je a) pozitivna i b) negativna



Slika 4.9. slučajni utjecaj torzije u smjeru y za slučaj kada je a) pozitivna i b) negativna

4.2. Proračun konstrukcije na potresno djelovanje za razred umjerene duktilnosti (DCM) metodom spektralne analize prema EC8-EN 1998- 1:2011 pomoću računalnog programa Scia Engineer 15

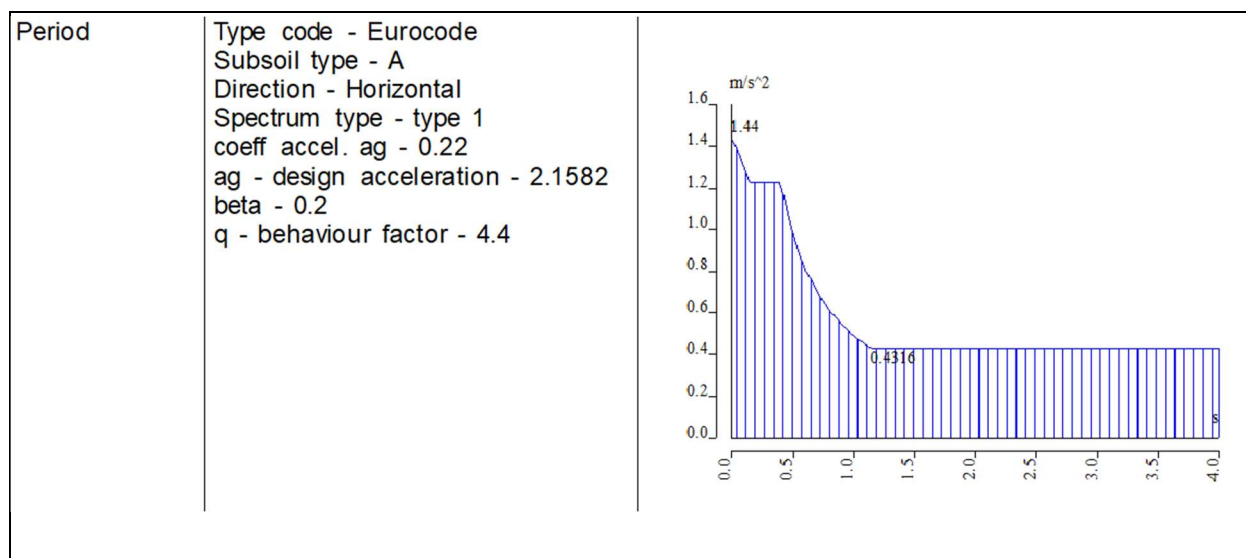
Spektar tipa 1, Klasa tla A: $S = 1,0$; $TB = 0,15$; $TC = 0,4$; $TD = 2,0$



Tablica 4.7. Prikaz osnovnih informacija o proračunskom spektru (DCM)

4.3. Proračun konstrukcije na potresno djelovanje za razred visoke duktilnosti (DCH) metodom spektralne analize prema EC8-EN 1998- 1:2011 pomoću računalnog programa Scia Engineer 15

Spektar tipa 1, Klasa tla A: $S = 1,0$; $TB = 0,15$; $TC = 0,4$; $TD = 2,0$



Tablica 4.8. Prikaz osnovnih informacija o proračunskom spektru (DCH)

4.4. Prikaz rezultata modalne analize

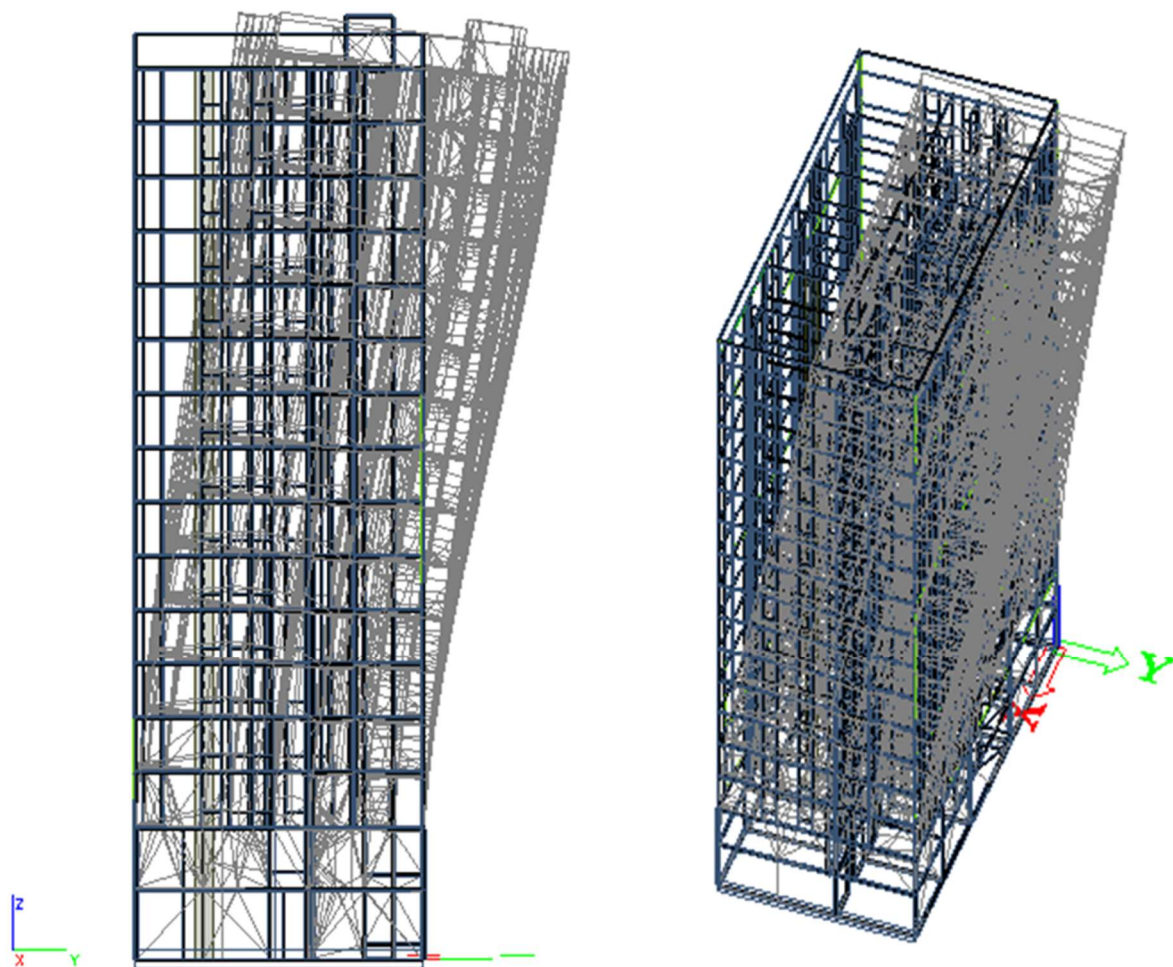
Mode	Omega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	Wxi / Wxtot	Wyi / Wytot	Wzi / Wztot	Wxi_R / Wxtot_R	Wyi_R / Wytot_R	Wzi_R / Spectral
1	10.0665	0.6242	1.6021	0.0515	0.4912	0.0000	0.3457	0.0247	0.0378
2	10.6426	0.5904	1.6938	0.3009	0.0846	0.0000	0.0636	0.1493	0.2021
3	17.1896	0.3655	2.7358	0.2654	0.0000	0.0000	0.0001	0.1307	0.3608
4	35.4221	0.1774	5.6376	0.0765	0.0115	0.0001	0.0121	0.0890	0.0449
5	38.7439	0.1622	6.1663	0.0071	0.1442	0.0003	0.1331	0.0086	0.0040
6	51.4297	0.1222	8.1853	0.0527	0.0001	0.0002	0.0000	0.1597	0.0689
7	56.3669	0.1115	8.9711	0.0000	0.0001	0.7297	0.0000	0.0000	0.0001
8	66.0435	0.0951	10.5111	0.0271	0.0002	0.0003	0.0001	0.0075	0.0009
9	67.9917	0.0924	10.8212	0.0064	0.0024	0.0016	0.0002	0.0333	0.0212
10	71.7431	0.0876	11.4183	0.0008	0.0053	0.0008	0.0028	0.0014	0.0005
11	74.4328	0.0844	11.8463	0.0006	0.0005	0.0002	0.0003	0.0122	0.0026
12	75.8288	0.0829	12.0685	0.0000	0.0005	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001
13	79.1442	0.0794	12.5962	0.0005	0.0000	0.0013	0.0004	0.0094	0.0042
14	79.4502	0.0791	12.6449	0.0007	0.0374	0.0001	0.0501	0.0001	0.0005
15	83.1005	0.0756	13.2258	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	84.2244	0.0746	13.4047	0.0008	0.0019	0.0004	0.0032	0.0029	0.0000
17	84.9305	0.0740	13.5171	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	85.2505	0.0737	13.5680	0.0001	0.0003	0.0004	0.0008	0.0010	0.0003
19	86.3088	0.0728	13.7365	0.0002	0.0002	0.0000	0.0002	0.0003	0.0000
20	86.8265	0.0724	13.8189	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
21	86.9351	0.0723	13.8362	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0002
22	87.4740	0.0718	13.9219	0.0003	0.0013	0.0006	0.0026	0.0014	0.0000
23	88.4622	0.0710	14.0792	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
24	88.5603	0.0709	14.0948	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	89.0830	0.0705	14.1780	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
				0.7916	0.7820	0.7371	0.6155	0.6320	0.7490

Tablica 4.8. Prikaz sudjelujućih masa

U proračunu na potresno opterećenje korištena je višemodalna spektralna analiza. Uzeto je ukupno 25 modova . Zbroj proračunskih modalnih masa za oblike koji su uzeti u obzir iznosi 79.16% za x smjer, te 78.20% za y smjer. Ukupna aktivacija mase u oba smjera treba biti najmanje 90% ukupne mase konstrukcije te je potrebno u povećati potresne sile u potresnim kombinacijama. Efektivna masa (iz rezultata proračuna): $M_X/M_{ukupna}=0.79$; $M_Y/M_{ukupna}=0.78$. Za fiktivno aktiviranje 100% efektivne mase, djelovanje potresa S_X i S_Y se u kombinaciji povećava za: $k_X=k_Y=1.0/0.78=1.28$

4.4.1. Vlastiti oblici uslijed potresnog djelovanja

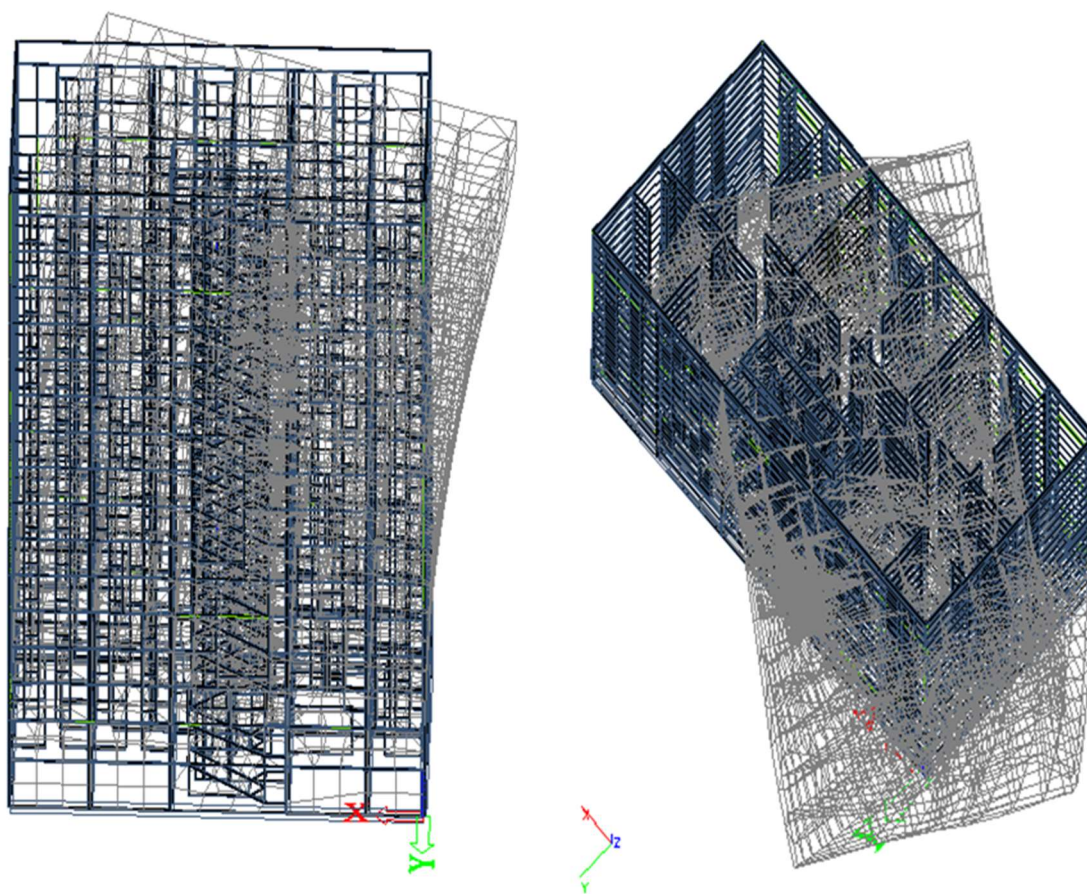
Prvi vlastiti vektor



Slika 4.10. Grafički prikaz prvog vlastitog vektora (translacija u smjeru osi y),

$$T1 = 0.6208 \text{ s}$$

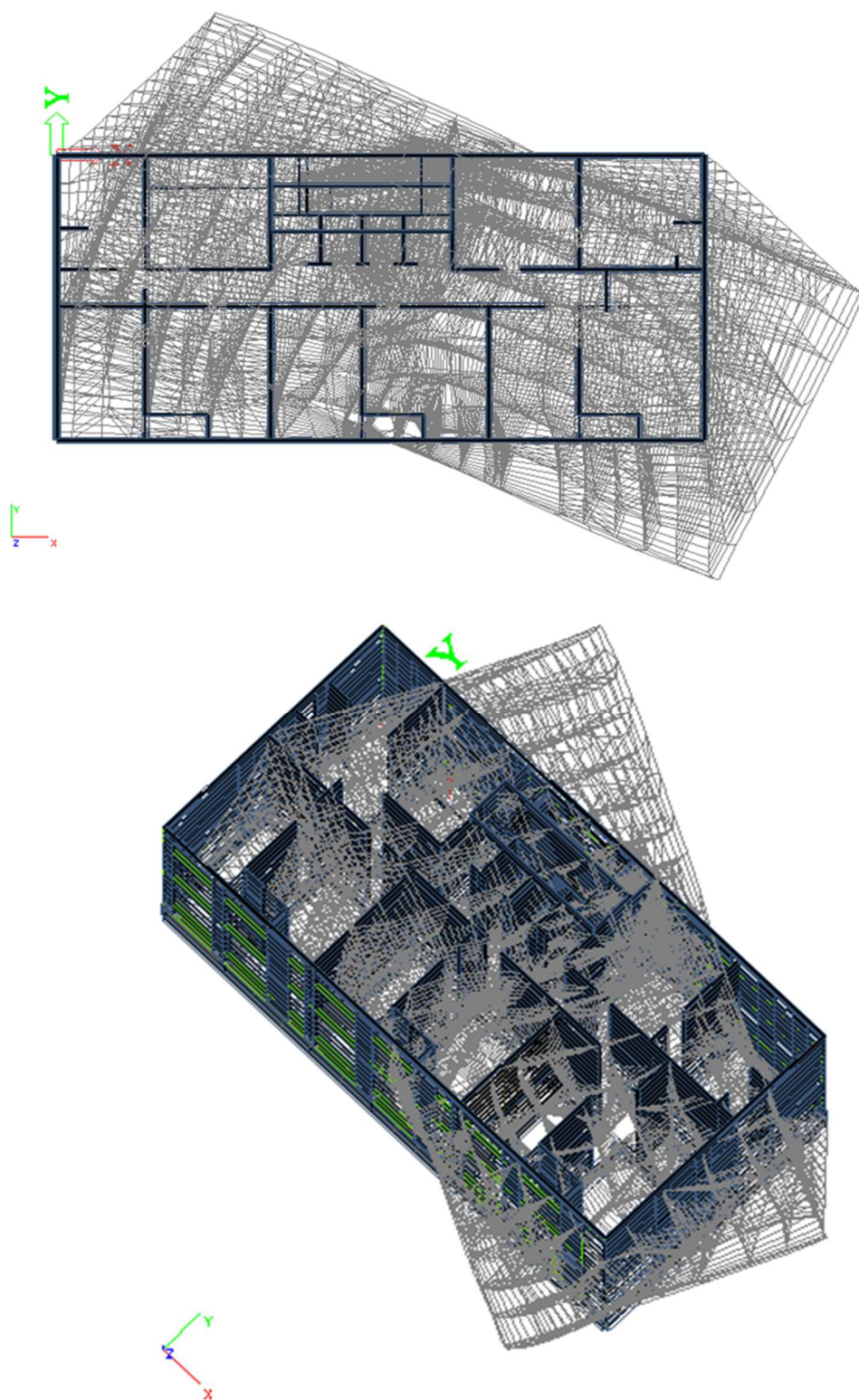
Drugi vlastiti vektor



Slika 4.11.. Grafički prikaz drugog vlastitog vektora (translacija u smjeru osi x),

$$T2 = 0.59041 \text{ s}$$

Treći vlastiti vektor



Slika 4.12. Grafički prikaz trećeg vlastitog vektora (uvrtanje oko osi z), $T_3 = 0.3655$ s

4.5. Kombinacije djelovanja

4.5.1. Granično stanje uporabljivosti

Oznaka kombinacije	Opis kombinacije i faktoriranje	Kontrola:
GSU-1	česta kombinacija: $1.0G + \Psi^1 i \cdot Q_i$ $1.0G + 0.5Q_1 + 1.0Z$	progibi ploča i greda
GSU-2	nazovistalna kombinacija: $1.0G + \Psi^2 i \cdot Q_i$ $1.0G + 0.3Q_1 + 1.0Z$	ograničenje tlačnog naprezanja u a-b elementima; dugotrajni progib

4.5.2. Granično stanje nosivosti

	vodeće djelovanje Q1 (promjenjivo)
GSN-1	$1.35G + 1.5 \cdot (Q_1 + Q_{1GARI} + Q_{1POS} + Q_{1VPAR}) + 1.5 \cdot (0.6 \cdot WX)$
GSN-2	$1.35G + 1.5 \cdot (Q_1 + Q_{1GARI} + Q_{1POS} + Q_{1VPAR}) - 1.5 \cdot (0.6 \cdot WX)$
GSN-3	$1.35G + 1.5 \cdot (Q_1 + Q_{1GARI} + Q_{1POS} + Q_{1VPAR}) + 1.5 \cdot (0.6 \cdot WY)$
GSN-4	$1.35G + 1.5 \cdot (Q_1 + Q_{1GARI} + Q_{1POS} + Q_{1VPAR}) - 1.5 \cdot (0.6 \cdot WY)$

	vodeće djelovanje W (vjetar)
GSN-5	$1.35G + 1.5 \cdot WX + 1.5 \cdot (0.7Q_1 + 0.7Q_{1GARI} + 0.7Q_{1POS} + 0.7Q_{1VPAR})$
GSN-6	$1.35G - 1.5 \cdot WX + 1.5 \cdot (0.7Q_1 + 0.7Q_{1GARI} + 0.7Q_{1POS} + 0.7Q_{1VPAR})$
GSN-7	$1.35G + 1.5 \cdot WY + 1.5 \cdot (0.7Q_1 + 0.7Q_{1GARI} + 0.7Q_{1POS} + 0.7Q_{1VPAR})$
GSN-8	$1.35G - 1.5 \cdot WY + 1.5 \cdot (0.7Q_1 + 0.7Q_{1GARI} + 0.7Q_{1POS} + 0.7Q_{1VPAR})$

	vodeće djelovanje F (potres) (koeficijent zauzetosti – nezavisno zauzeti katovi: $\varphi=0.5$) Napomena: Program automatski generira kombinacije s $+S_x$ i $-S_x$, odnosno $+S_y$ i $-S_y$
GSN-9	$1.0G \pm 1.0 \cdot S_x + 0.3 \cdot S_y + T_x + 0.5 \cdot (0.3Q)$
GSN-10	$1.0G \pm 1.0 \cdot S_x \pm 0.3 \cdot S_y - T_x + 0.5 \cdot (0.3Q)$

GSN-11	$1.0G \pm 0.3 * S_x \pm 1.0 * S_y + T_y + 0.5 * (0.3Q)$
GSN-12	$1.0G \pm 0.3 * S_x \pm 1.0 * S_y - T_y + 0.5 * (0.3Q)$

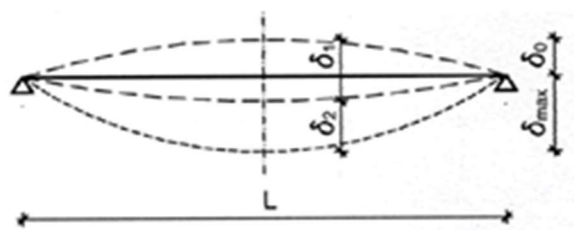
4.5.3. Anvelopa kombinacija

ANV1-8	Anvelopa kombinacija - osnovno djelovanje (GSN-1, ... GSN-8)
ANV9-12	Anvelopa kombinacija - potres (GSN-9, ... GSN-12)

4.6. Granični kriteriji progiba ploča

Maksimalni dopušteni progib: $\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$

Granični (max.) progib je: $\delta_{\max} = L/250$



δ_0 = nadvišenje
 δ_1 = progib od kratkotrajnog opterećenja
 δ_2 = progib od vremenskih efekata
 $\delta_{\max}$ = maksimalni (ukupni) progib

δ_0 = nadvišenje u oplati ($\delta_{0,\max} = L/350$)

δ_1 = kratkotrajni progib od stalnih i promjenjivih opterećenja (bez puzanja):

Česta kombinacija:

$$GSU-1 = 1.0G + \psi_{1i} * Q_i = 1.0G + 0.5Q$$

δ_2 = dugotrajni (uključeno puzanje):

Nazovistalna kombinacija:

$$GSU-2 = 1.0G + \psi_{2i} Q_1 = 1.0G + 0.3Q$$

Elastični progib dobiven proračunom po linearnoj teoriji: δ_{EL}

a) Progib od kratkotrajnog opterećenja (nelinearni): $\delta_1 \cong 2.5 * \delta_{EL}$

b) Progib od kratkotrajnog opterećenja + vremenski efekti: $\delta_1 + \delta_2 \cong 5.0 * \delta_{EL}$

Progib od kratkotrajnog opterećenja:

$$GSU-1 = 1.0G + \psi_{1i} \times Qi = 1.0G + 0.5Q$$

Dopušteni računski progib od kratkotrajnog opterećenja : $\delta_{\max} = \delta_1 - \delta_0 \leq L/400$

$$\delta_1 \approx 2.5 \times \delta_{EL} ;$$

$$\text{nadvišenje } \delta_0 = L/350 \quad \delta_{\max} = \delta_{EL} \times 2.5 - \delta_0 \leq L/400$$

$$\text{s nadvišenjem } \delta_0 = L/350: \quad \delta_{EL} \leq (L/400 + L/350)/2.5 = L/467$$

$$\text{bez nadvišenja:} \quad \delta_{EL} \leq (L/400)/2.5 = \mathbf{L/1000}$$

Progib od kratkotrajnog opterećenja + (puzanje):

$$GSU-2 = 1.0G + \psi_{2i} \times Qi = 1.0G + 0.3Q$$

Približni iznos ukupnog progiba od kratkotrajnog opterećenja + vremenskih efekata:

$$(\delta_1 + \delta_2) \cong \delta_{EL} \times 5.0$$

$$\text{Dopušteni računski progib:} \quad \delta_{\max} = (\delta_1 + \delta_2) - \delta_0 \leq L/250$$

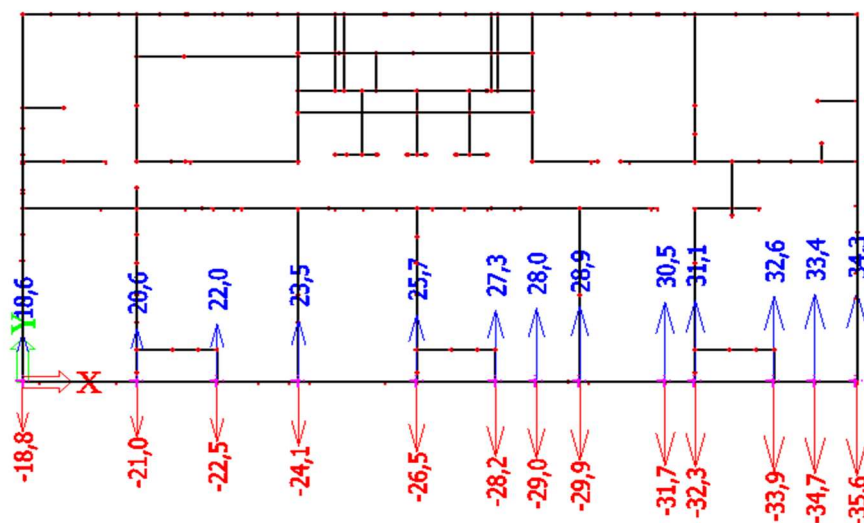
$$\delta_1 + \delta_2 \cong 5.0 \times \delta_{EL};$$

$$\text{nadvišenje } \delta_0 = L/350 \quad \delta_{\max} = \delta_{EL} \times 5.0 - L/350 \leq L/250$$

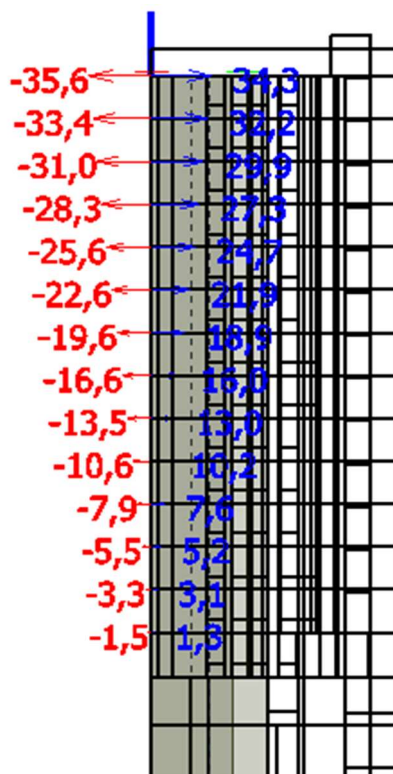
$$\text{s nadvišenjem } \delta_0 = L/350: \quad \delta_{EL} \leq (L/250 + L/350)/5.0 = L/730$$

$$\text{bez nadvišenja:} \quad \delta_{EL} \leq (L/250)/5.0 = \mathbf{L/1250}$$

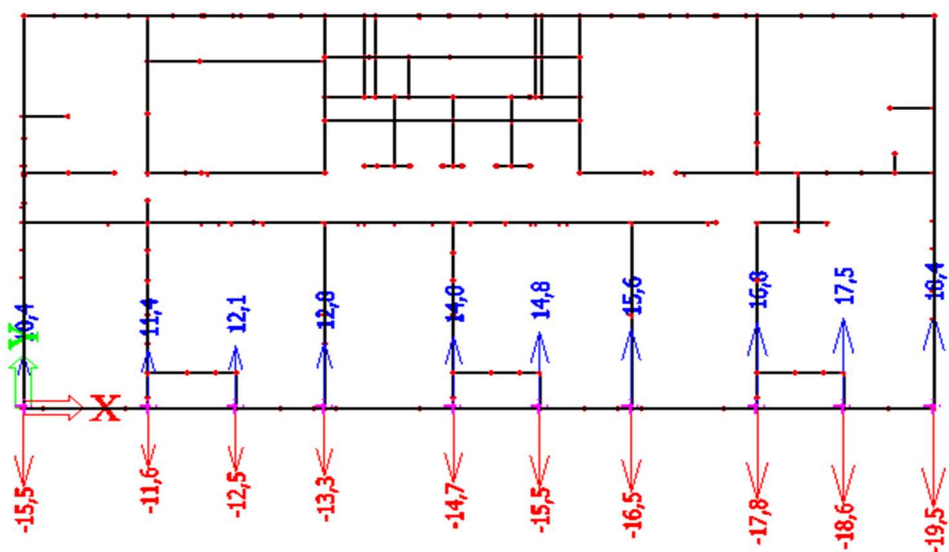
4.7. Horizontalni pomaci uslijed seizmičke kombinacije u smjeru y



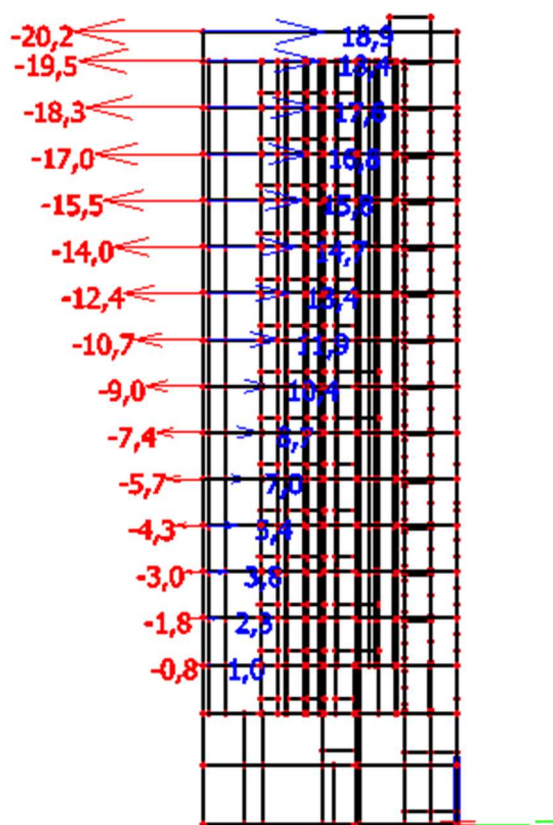
Slika 4.13. Horizontalni pomaci zadnje etaže u smjeru y
za seizmičku kombinaciju u smjeru y za klasu DCM (mm)



Slika 4.14. Horizontalni pomaci po etaži u smjeru y
za seizmičku kombinaciju u smjeru y za klasu DCM (mm)



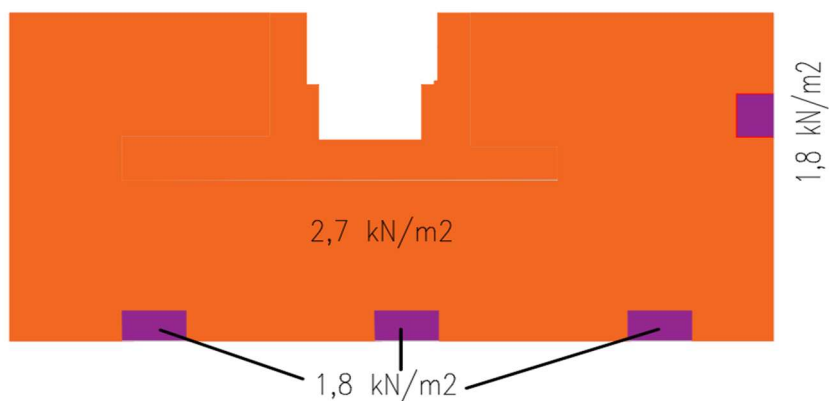
Slika 4.13. Horizontalni pomaci zadnje etaže u smjeru y
za seizmičku kombinaciju u smjeru y za klasu DCH (mm)



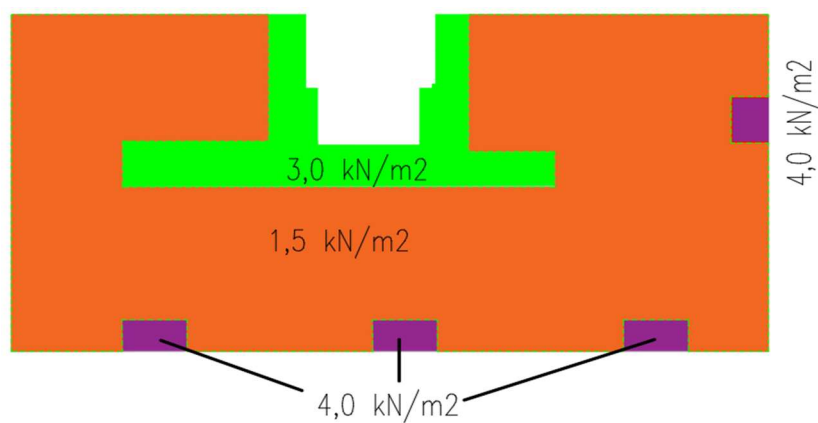
Slika 4.14. Horizontalni pomaci po etaži u smjeru y
za seizmičku kombinaciju u smjeru y za klasu DCH (mm)

5. PRORAČUN KARAKTERISTIČNE MEĐUKATNE PLOČE

5.1. Analiza opterećenja



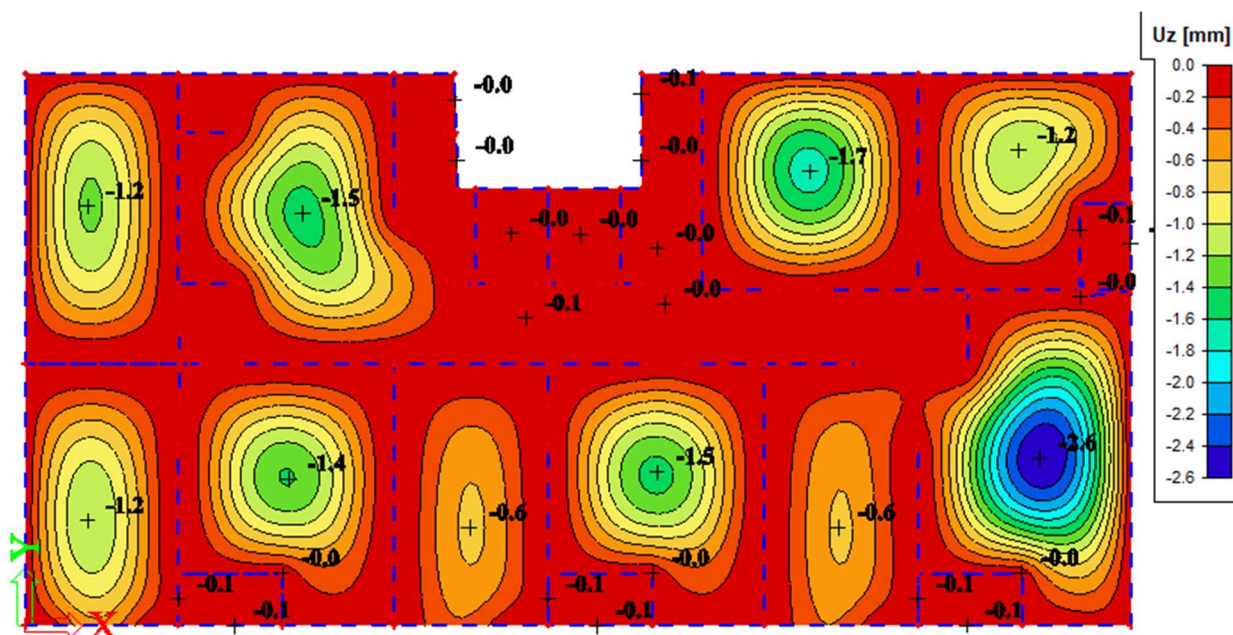
Slika 5.1. Dodatno stalno opterećenje karakteristične ploče



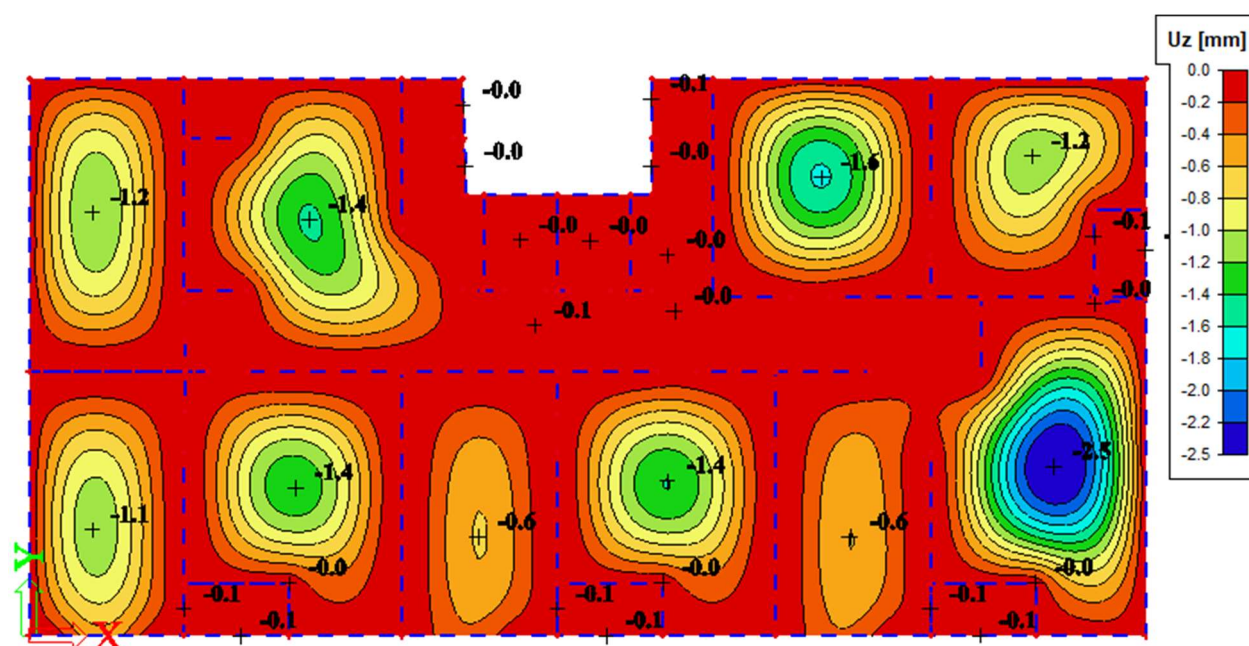
Slika 5.2. Promjenjivo opterećenje karakteristične ploče

5.2. Prikaz rezultata proračuna

Kratkotrajni i dugotrajni progibi U_z (mm) za kombinaciju opterećenja GSU 1, GSU2

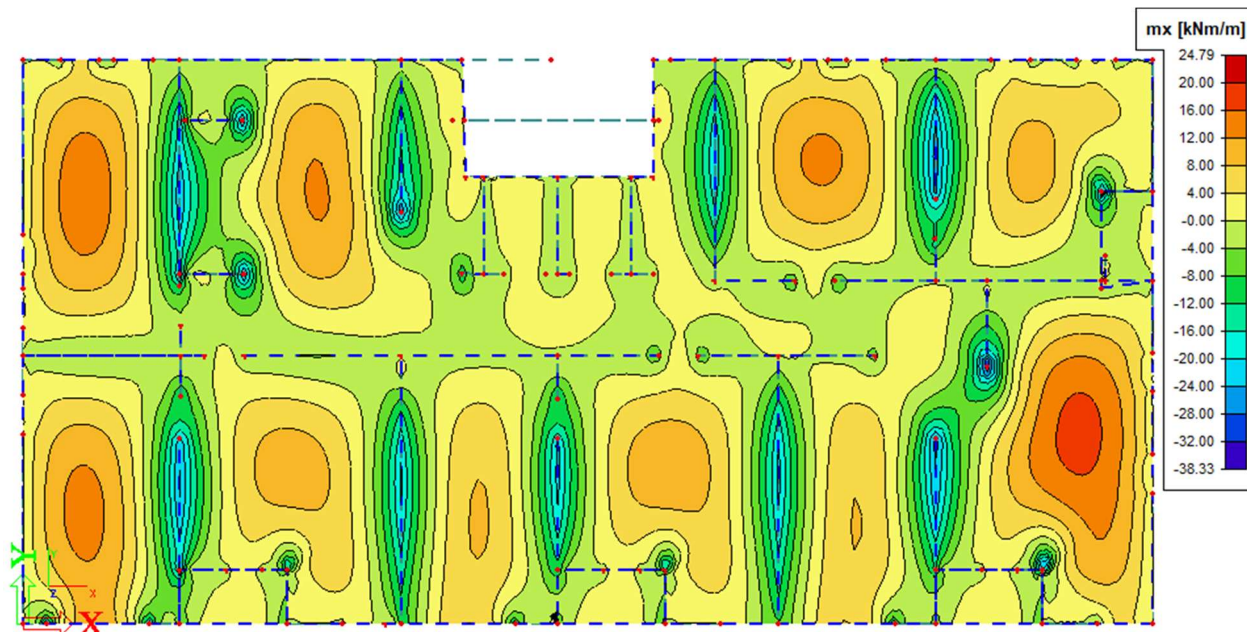


Slika 5.3. Progibi ploča [mm] za GSU-1 ($\delta EL \leq L/250$)

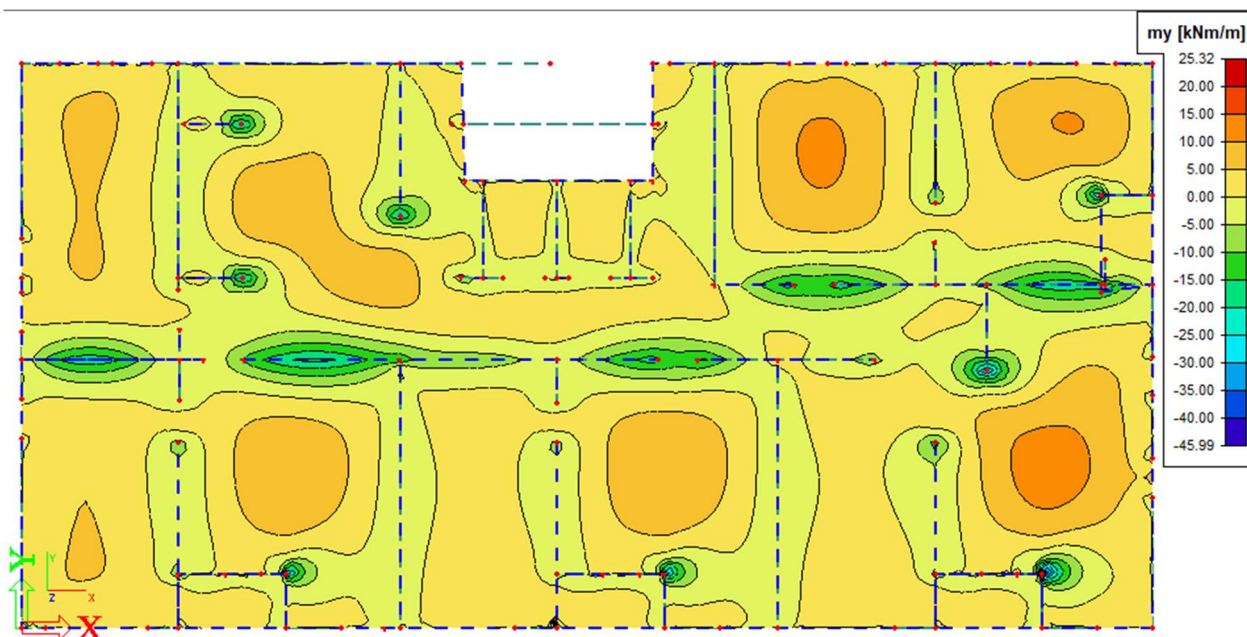


Slika 5.4. Progibi ploča [mm] za GSU-2 ($\delta EL \leq L/1250$)

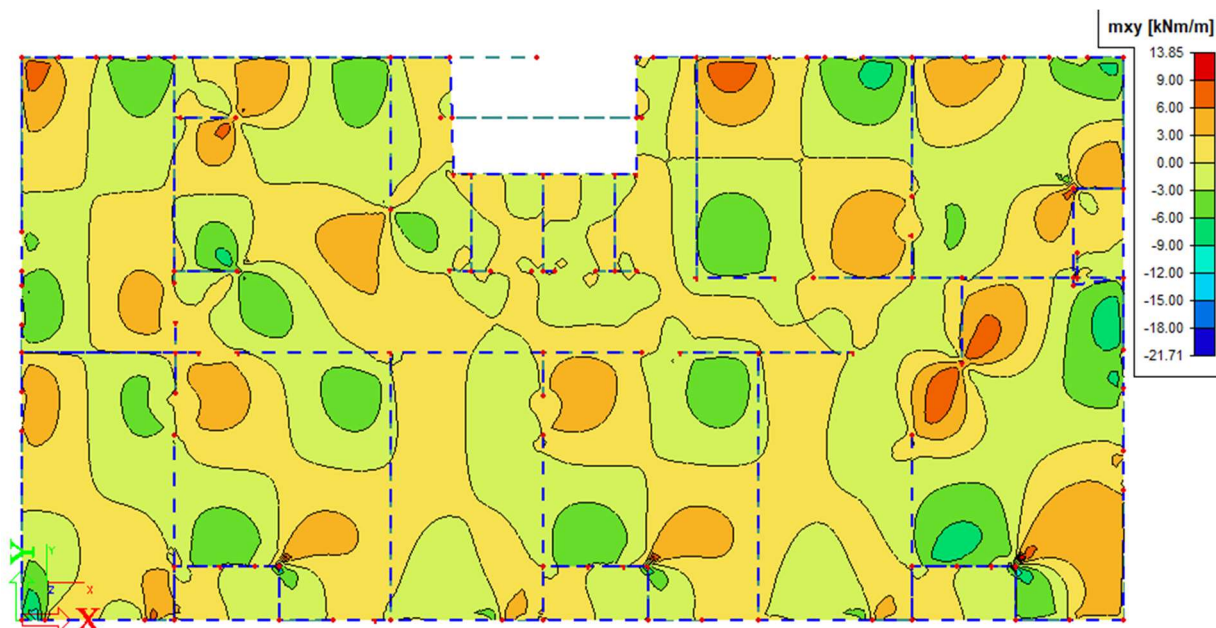
Momenti savijanja u smjeru x i y M_x, M_y (Kn/m²) za kombinaciju opterećenja GSN-4



Slika 5.5. Momenti savijanja $M_{Sd,x}$ [kNm/m] za GSN-4

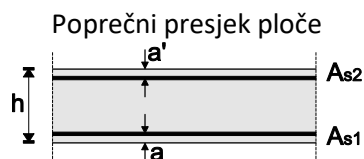


Slika 5.6. Momenti savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm/m] za GSN-4



Slika 5.7. Momenti savijanja $M_{Sd,xy}$ [kNm/m] za GSN-4

5.3. Dimenzioniranje karakteristične ploče



$h=16 \text{ cm}$

zaštitni sloj: $a=2.5 \text{ cm}$; $a'=2.5 \text{ cm}$

$d=13.0 \text{ cm}$

Beton: **C 25/30**

$f_{ck}=25.0 \text{ MPa}$

$E_{cm}=15,7 \text{ GPa}$

$\gamma_c=1.5$

Armatura:

B 500B

$f_y=500 \text{ MPa}$

$\gamma_s=1.15$

Limitirajući moment savijanja:

$$M_{Rd,lim}=0.159 \cdot (b_w \cdot d^2) \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim}=0.159 \cdot (1.0 \cdot 0.13^2) \cdot (25/1.5) \cdot 1000 = 44 \text{ kNm}$$

Min. i max. % armature za ploče:

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 13.0 = 1.95 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 0.6 \cdot b \cdot d / f_{yk} = 0.6 \cdot 100 \cdot 13.0 / 500 = 1.56 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,max} = 0.31 \cdot b \cdot d \cdot (f_{cd} / f_{yd}) = 0.31 \cdot 100 \cdot 13.0 \cdot (25/1.5) / (500/1.15) = 15.4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Za proračun armature ploča usvaja se $\zeta \approx 0.9$. Potrebna armatura:

$$A_{s1,s2} = M_{Sd} \cdot 100 / (\zeta \cdot d \cdot f_{yd}) = M_{Sd} \cdot 100 / (0.9 \cdot 13.0 \cdot (50/1.15)) =$$

$$A_{s1,s2} = M_{Sd} \cdot 0.20$$

Napomena: Prethodni izrazi vrijede za moment M_{Sd} u [kNm] i armaturu $A_{s1,s2}$ u [cm²].

Dobivenu armaturu zbog preraspodjele umanjiti nad ležajem za 15 % i povećati u polju 25%.

Računska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12 ; k_1 = 0.15$$

$$k = 1 + (200/d)^{(1/2)} \leq 2; (d \text{ u mm}); k = 1 + (200/130)^{(1/2)} = 2.24 = 2.0$$

$$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d) \leq 0.02 = 2.83 / (100 \cdot 13.0) = 0.0022$$

$$V_{Rd,c} = (0.12 \cdot 2.00 \cdot (100 \cdot 0.0022 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0) \cdot 1.0 \cdot 0.13 \cdot 1000 \quad V_{Rd,c} = 55 \text{ kN/m}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 2.0^{3/2} \cdot 25.0^{1/2} = 0.495$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0.495 + 0.15 \cdot 0.0) \cdot 1.0 \cdot 0.13 \cdot 1000 = 64 \text{ kN/m}$$

Dopušteni računski progib s uključenjem materijalne nelinearnosti (za kratkotrajno djelovanje):

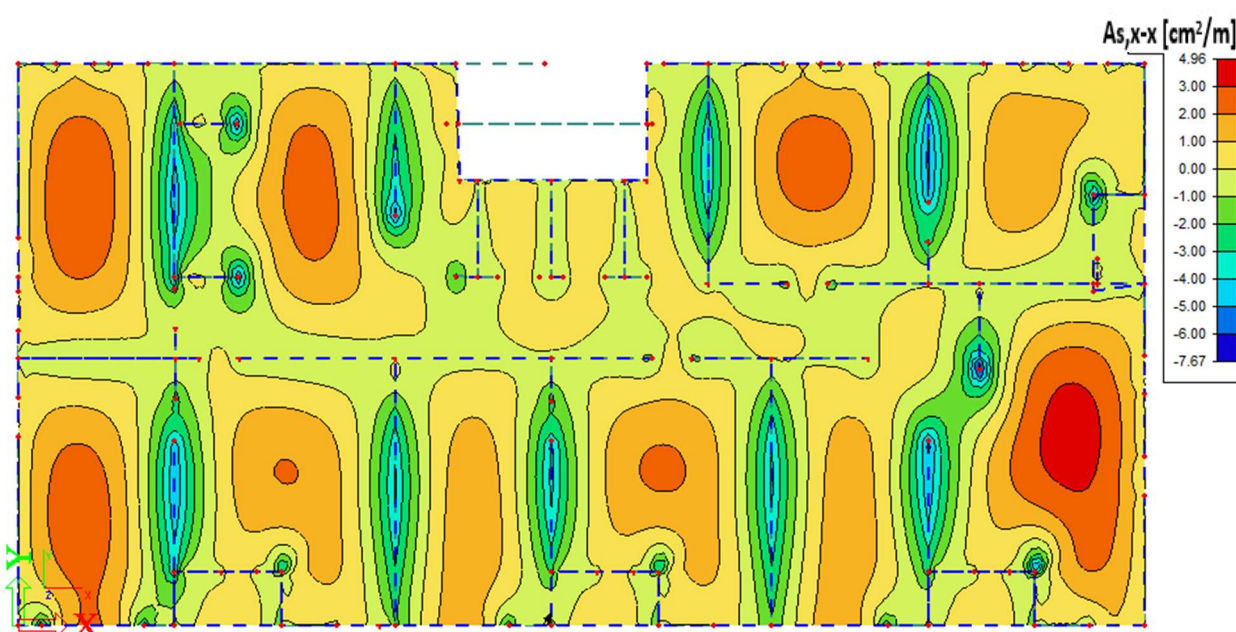
$$GSU-1 = 1.0G + \psi_{1i} \cdot Q_i = 1.0G + 0.5Q$$

bez nadvišenja: $\delta_{EL} \leq L/1000$

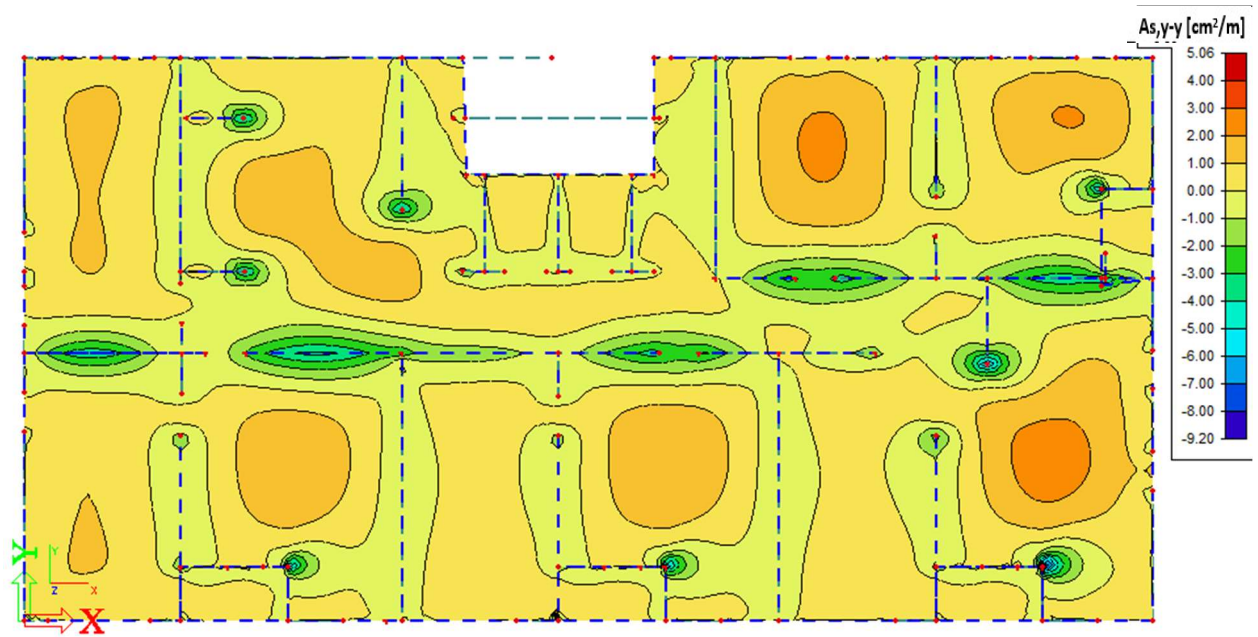
Dopušteni računski progib s uključenjem puzanja (za dugotrajno djelovanje): $GSU-2 = 1.0G + \psi_{2i} \cdot Q_i = 1.0G + 0.3Q$

bez nadvišenja: $\delta_{max} \leq L/1250$

U nastavku je prikazana potrebna površina armature za x i y smjer:



Slika 5.8. Armatura u X smjeru [cm²/m] za GSN-4

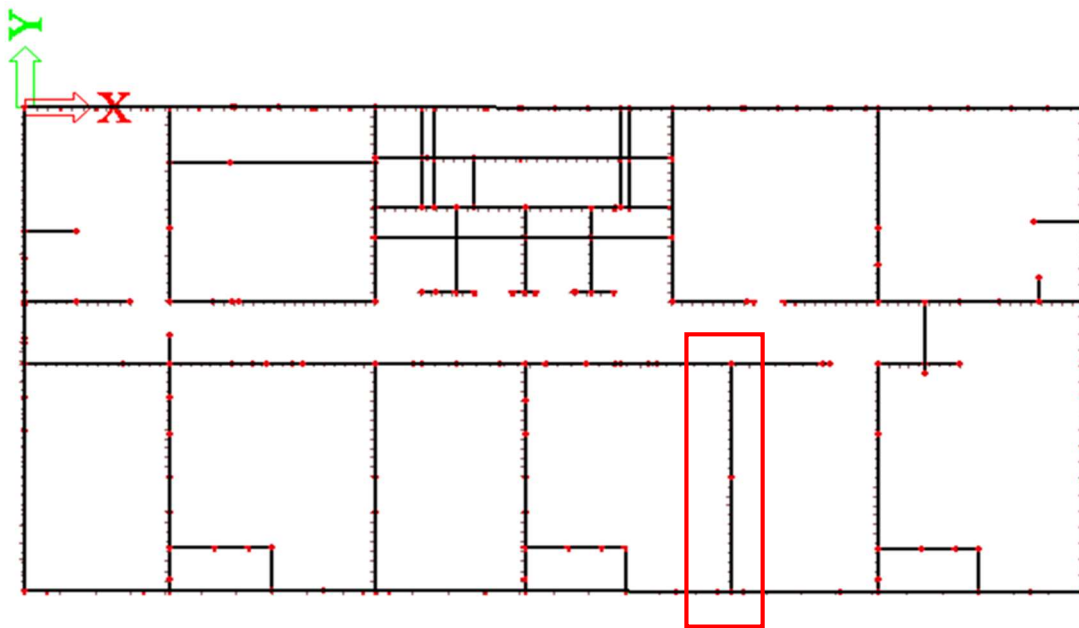


Slika 5.9. Armatura u Y smjeru [cm^2/m] za GSN-4

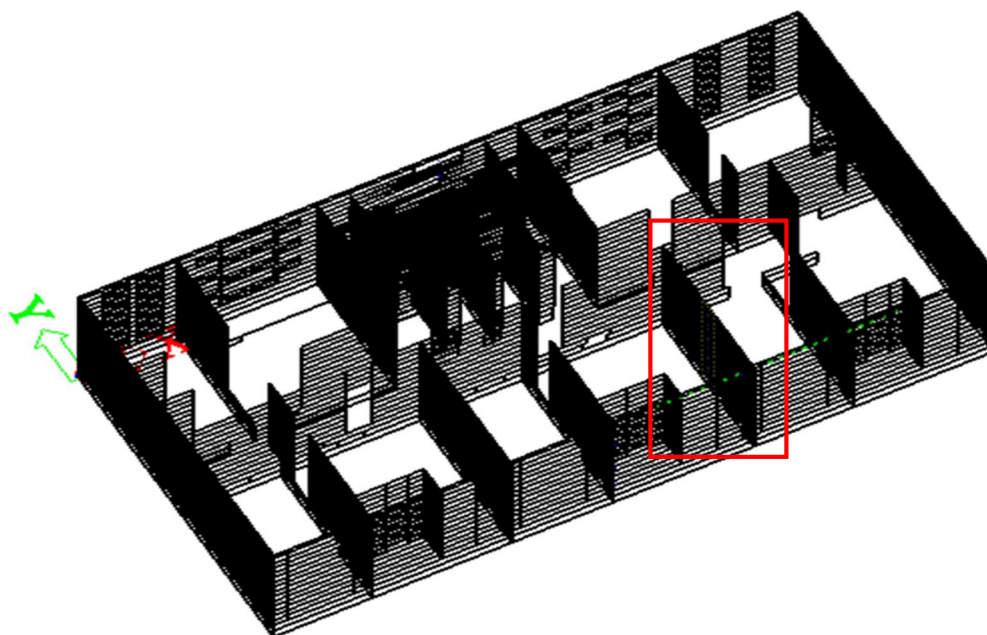
6. DIMENZIONIRANJE ZIDA ZA RAZRED UMJERENE DUKTILNOSTI (DCM)

6.1. Opći podaci za dimenzioniranje zida

Zid prikazan na slici 6.1. dimenzioniran je na potresno opterećenje za razred umjerene duktilnosti (DCM) prema HRN EN 1998-1:2011. Zid je upeto pridržan pri temeljnoj poči i horizontalno pridržan u visini etaže prizemlja. Na zidu ne postoje nikakva oslabljenja u cijeloj visini.



Slika 6.1. Prikaz karakterističnog zida za koji će se vršiti proračun

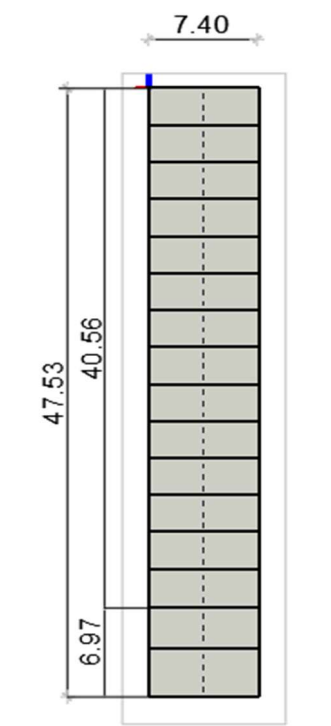


Slika 6.2. Prikaz karakterističnog zida na 3D proračunskom modelu

Prema HRN EN 1998-1:2011 za srednju klasu duktilnosti (DCM) u glavnim potresnim elementima potrebno je uzeti beton klase ne manje od C16/20. isto tako u kritičnim područjima nosivih elemenata upotrebiti isključivo rebrastu armaturu razreda B ili C.

Klasa duktilnosti	DC L (Niska)	DC M (Srednja)	DC H (Visoka)
Klasa betona	Bez ograničenja	$\geq C16/20$	$\geq C16/20$
Klasa čelika prema EN 1992-1-1, Tablica C1	B ili C	B ili C	C
Glavna armatura		rebrasta	rebrasta
Čvrstoća čelika	Bez ograničenja	Bez ograničenja	$f_{yk,0.95} \leq 1.25f_{yk}$

Tablica 6.1. Karakteristike materijala za primarne potresne elemente prema klasama duktilnost

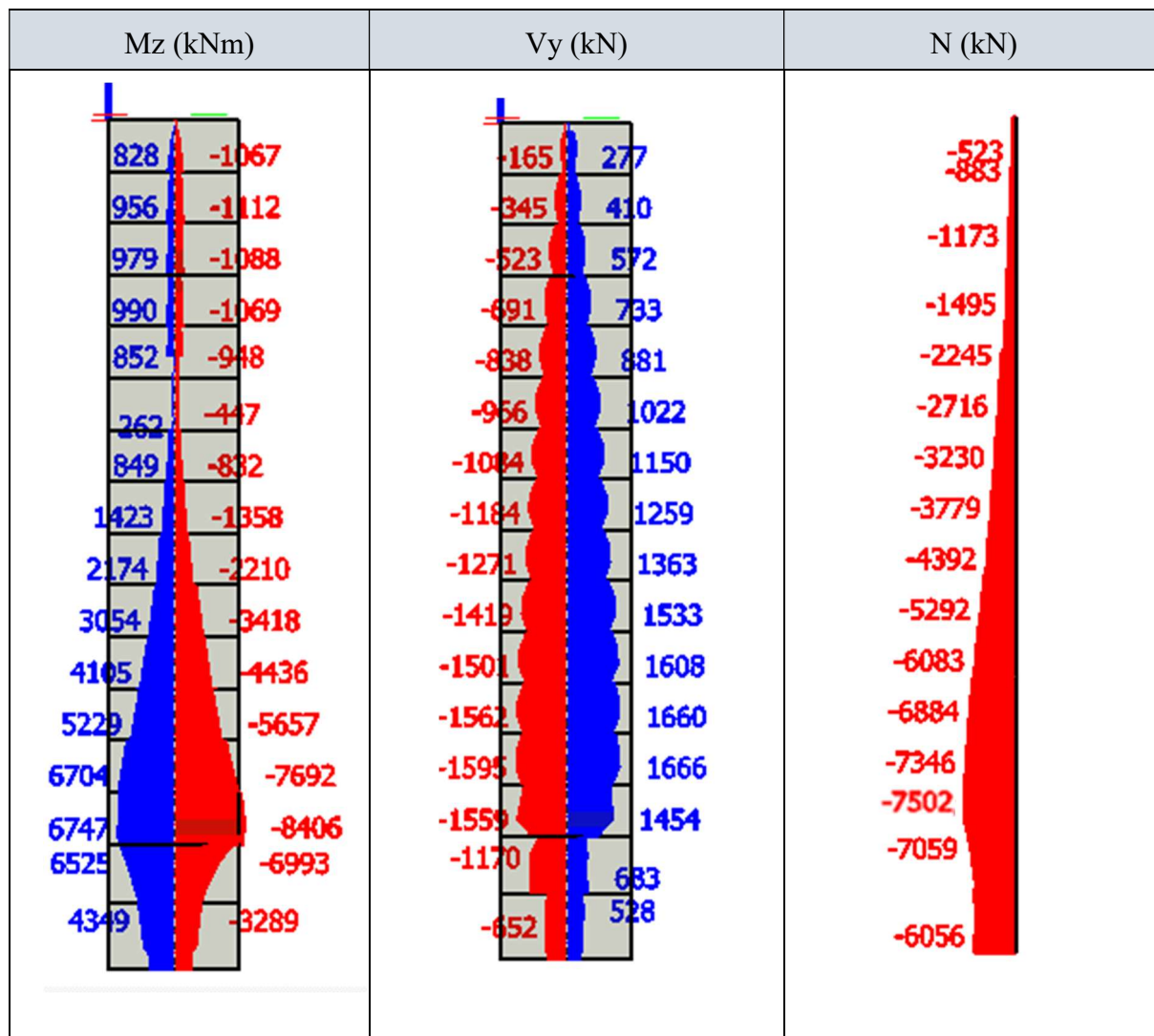


Slika 6.3. Geometrijske karakteristike zida

Proračun AB konstrukcije proveden je na modelu sa smanjenom elastičnom krutosti pri savijanju i posmiku na 50% krutosti neraspucalih elemenata Točka 4.3.1 (7), HRN EN 1998-1:2011. Uzimajući u obzir gore navedene norme u konkretnom slučaju uzet je beton klase C 20/25 te armatura B 500B. Za potresnu kombinaciju parcijalni koeficijent sigurnosti za beton je $\gamma_c=1,5$ te za armaturu $\gamma_s=1,15$. Geometrijske karakteristike zida su prikazane na slici 6.3. Duljina zida $l_w = 7.4 \text{ m}$, visina zida $h_w = 40,56 \text{ m}$ te širina zida $b_w = 0,30 \text{ m}$. Karakteristični zid je dimenzioniran u presjeku iznad ploče prizemlja gdje je i horizontalno pridržana konstrukcija kao simulacija utjecaja oklnog tla na konstrukciju. Proračunom dobijena armatura voditi će se sve do temeljne ploče. Koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka ζ izračunat je za pojedine etaže i vrijednost ne prelazi 0,10 stoga se učinci drugog reda ne uključuju u dimenzioniranje nosivih elemenata.

6.2. Rezultati proračuna

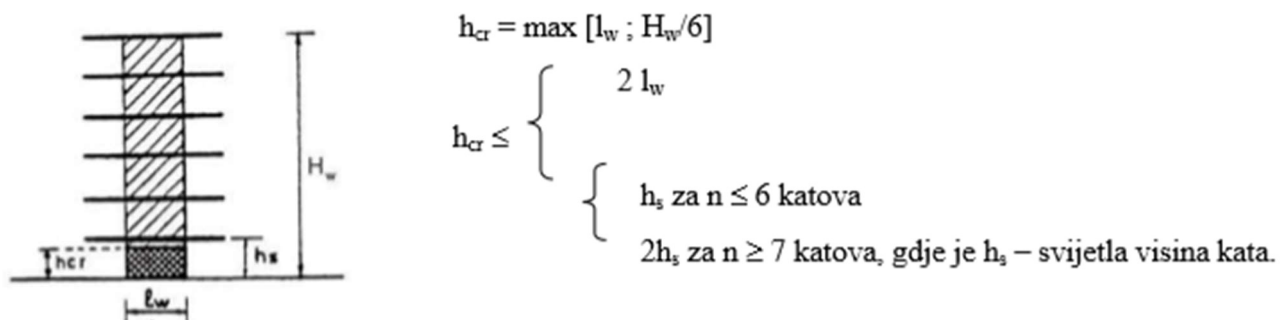
Proračunske vrijednosti momenata savijanja, poprečnih i osnih sila dobivene su iz proračuna konstrukcije za potresnu proračunsku situaciju: $S_y: 1,0G_0 + 1,0G + 0,15Q + 1,28S_y + 1,0T_y + 1,0T_y$ - u skladu s normom EN 1990:2001



Slika 6.4. Dijagram momenta savijanja M_z (kNm), poprečnih sila V_y (kN), uzdužnih sila N (kN)

6.3. Proračunska ovojnica momenata savijanja

Proračunski dijagram momenta savijanja po visini zida treba biti ovojnica dijagrama momenata savijanja iz proračuna vertikalno pomaknuta („vlačni pomak“). Konstrukcija po visini nema diskontinuiteta mase, krutosti ili otpornosti, stoga se pretpostavlja da je ovojnica linearna. Vlačni pomak je u skladu s nagibom tlačnih stapova uzetim pri provjeri poprečnih sila u graničnom stanju nosivosti.



Slika 6.5. Prikaz proračunske

ovojnice momenata savijanja vitkih zidova

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max[7.40; 40.56/6] = [7.4; 6.76] = 7.4$$

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 14.8 \\ 2.73 \\ 2 \times 2.73 \text{ za više od 6 katova} \end{cases}$$

$$h_{cr} = 7.44 \text{ m}$$

Momenti savijanja vitkih zidova:

$$h_w = 40.56 \text{ m}, l_w = 7.4 \text{ m}$$

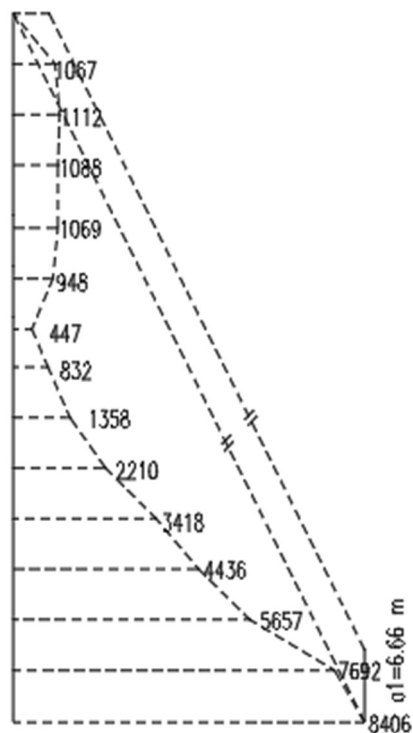
$$h_w / l_w = 40.56 / 7.4 = 5.48 > 2 \text{ -vitki zid, potrebno povećanje momenata savijanja } a_1 = d$$

$\cot\theta$ - vlačni pomak uslijed povećanja poprečne sile

$$\text{DCM} \rightarrow 1 \leq \cot\theta \leq 2.5, \text{ odabrano } \cot\theta = 1$$

$$d = 0.9 \cdot l_w = 0.9 \cdot 7.4 = 6.66 \text{ m}$$

$$a_1 = 6.66 \cdot 1 = 6.66 \text{ m}$$



Slika 6.6. Proračunska ovojnica momenata savijanja (kNm)

6.4. Dimenzioniranje karakterističnog zida na savijanje

Geometrijske karakteristike zida:

Duljina: $l_w = 740 \text{ cm}$

Širina: $b_w = 30 \text{ cm}$

$d_{zs} = 3.0 \text{ cm}$

$d_y = 666 \text{ cm} (= 0.9 \cdot 740 \text{ cm})$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti materijala za potresnu kombinaciju: $\gamma_c = 1.5$ $\gamma_s = 1.15$

Beton C 30/37

$f_{cd} = 30 / 1.5 = 20 \text{ MPa}$

Armatura B500C

$f_{yd} = 500 / 1.15 = 434.8 \text{ MPa}$

6.5. Vrijednosti normalizirane uzdužne sile

Vrijednost osnovog opterećenja, v_d u primarnim potresnim zidovima ne treba biti veća od 0,4.

$$V_d = \frac{N_{ed}}{A_c \times f_{cd}} = \frac{7502}{30 \times 740 \times 1,67} = 0.202 < 0,4 \text{ -za DCM} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

6.6. Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu silu – dijagram interakcije

Zidovi se dimenzioniraju na momente savijanja i uzdužne sile proračunane za potresnu proračunsku situaciju.

Rezne sile:

$$M_{Ed} = 8406 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 7502 \text{ kN (tlak)}$$

Bezdimenzionalne vrijednosti

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8406 \cdot 100}{30 \cdot 740^2 \cdot 1,67} = 0,031$$

$$N_{sd} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-7502}{30 \cdot 740 \cdot 1,67} = -0,202$$

Iz dijagrama interakcije za omjer armature

(α) i omjer d_1/l_w , d_2/l_w (β) očitamo mehanički

Određivanje duljine rubnog elementa i

razmještaja savojne armature

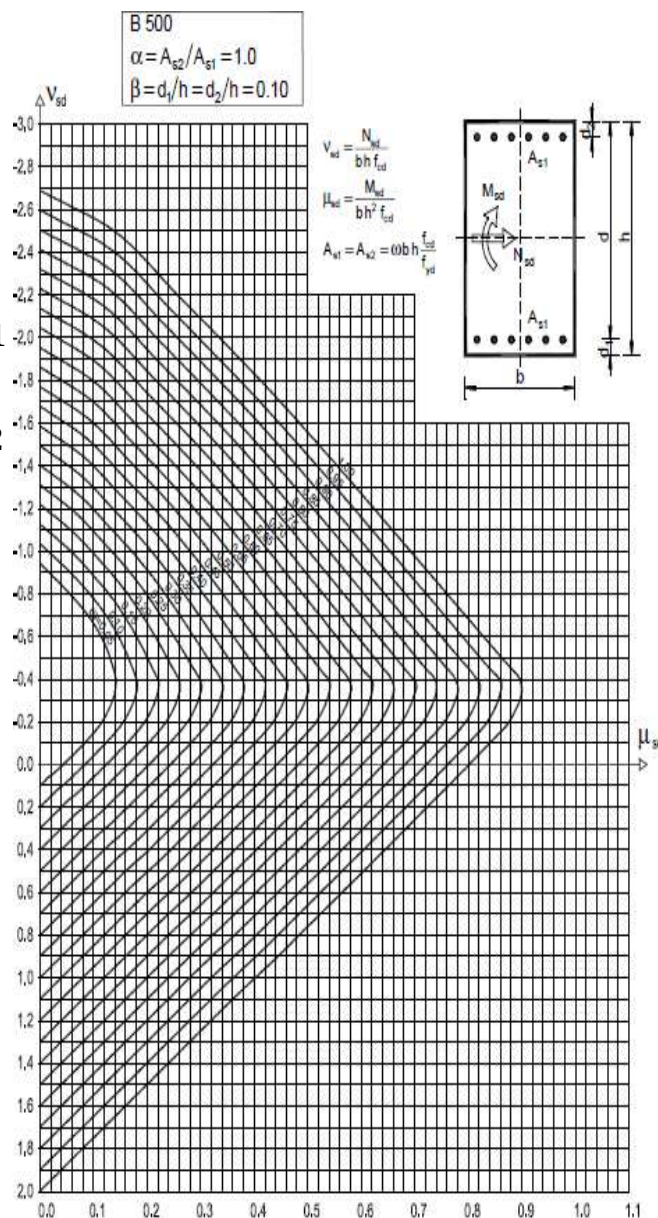
koeficijent armiranja (ω)

$$\alpha = \frac{A_{s2}}{A_{s1}} = 1,0$$

$$\beta = \frac{d_1}{l_w} = \frac{d_2}{l_w} = 0,1$$

iz dijagrama interakcije za pravokutni

poprečni presjek određen koeficijentima α i β



Slika 6.7. Dijagram interakcije za simetrično armiran poprečni presjek

očitano je: $\omega=0,05$

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,05 \cdot 30 \cdot 740 \cdot \frac{1,67}{43,47} = 42,66 \text{ (cm}^2\text{)}$$

6.6.1. Određivanje duljine rubnog elementa i razmještaja savojne armature

Prije određivanja broja i promjera šipki savojne armature potrebno je izračunati duljinu rubnog elementa. Najmanji promjer uzdužnih šipki ovisi o razmaku ovojne armature rubnog elementa.

Najmanja vrijednost l_c ovijenog rubnog elementa:

$$l_c \geq \{0,15 l_w ; 1,5 b_w ; \text{duljina } h_0 \text{ na kojoj je } \varepsilon_{cu2} > 0,0035\}$$

l_w , b_w - duljina i širina r.e. zida

$$0,15 l_w = 0,15 \times 7,40 = 1,11 \text{ (m)}$$

$$1,5 b_w = 1,5 \times 0,3 = 0,45 \text{ (m)}$$

$$h_0 = x_u \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right)$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035 + 0,1 \alpha \omega_{wd}$$

$$x_u = (v_d + \omega_v) \frac{l_w b_c}{b_0}$$

$$\alpha \times \omega_{vd} \geq 30 \times \mu_\varphi \times (v_d + \omega_v) \times \varepsilon_{s,yd} \times \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

b_0 - širina ovijene jezgre rubnog elementa zida (do osi spona)

b_c – bruto širina ovijene jezgre

x_u - visina neutralne osi

ε_{cu2} – granična deformacija neovijenog betona

$\varepsilon_{cu2,c}$ – granična deformacija ovijenog betona

α - faktor učinkovitosti ovijanja

ω_{wd} – mehanički obujamski omjer armiranja ovijenom armaturom

Pretpostavimo širinu zaštitnog sloja od 3.0 cm i vilice Ø 10 mm:

$$b_0 = 30,0 - 2 \times 3,0 - 2 \times 0,5 = 23 \text{ cm}$$

$$b_c = 300 \text{ mm}$$

$\rho_v = A_{sv}/A_c$ – omjer armiranja vertikalnim šipkama u hrptu zida

A_{sv} - ukupna ploština vertikalne armature u hrptu zida

$$A_{sv,min} = 0,002 A_c = 0,002 \times 300 \times 1000 = 600 \text{ mm}^2/\text{m} , \text{ odabrano Q-335 obostrano}$$

$$\rho_v = A_{sv}/A_c = 670/(300 \times 1000) = 0,0022$$

$\omega_v = \rho_v f_{yd,v}/f_{cd}$ – mehanički omjer armiranja hrpta vertikalnom armaturom

$f_{yd,v}$ – proračunska vrijednost granice popuštanja vertikalne armature hrpta

$$\omega_v = \rho_v f_{yd,v}/f_{cd} = 0,0022 \times 434,8/20 = 0,048$$

Koeficijent duktilnosti s obzirom na zakrivljenost:

$$\mu_\varphi = 2q_0 - 1, \quad T_1 > T_c$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2(q_0 - 1)T_c/T_1, \quad T_1 < T_c$$

$$\mu_\varphi = 2q_0 - 1 = 2 \times 3,0 - 1 = 5,0 \text{ (uzimajući da je } MR_d \cong M_{ed})$$

$$\varepsilon_{s,yd} = 434,8/200000 = 0,002174$$

$$\alpha \times \omega_{wd} = 30 \times 5,0 \times (0,202 + 0,048) \times 0,002174 \times 300/230 - 0,035 = 0,071$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1\alpha\omega_{wd} = 0,0035 + 0,1 \times 0,071 = 0,0106$$

$$x_u = (v_d + \omega_{vd}) \times \frac{l_w b_c}{b_0} = (0,202 + 0,048) \times \frac{7400 \times 300}{230} = 2413 \text{ (mm)}$$

$$h_0 = x_u \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 2413 \times \left(1 - \frac{0,0035}{0,0106}\right) = 1616 \text{ mm}$$

$$l_c \geq \{0,15 l_w ; 1,5 b_w ; \text{duljina } h_0 \text{ na kojoj je } \varepsilon_{cu2} > 0,0035\}$$

$$l_c \geq \{0,45 ; 0,45 ; 1,60\}$$

$$\text{Odabrano: } h_0 = 10/2 + 16/2 + 14 \times 130 + 95 + 14/2 + 10/2 = 1940 \text{ mm}$$

$$\text{Odabrana armatura: } \mathbf{18\varnothing 18 = 45,80 \text{ cm}^2} > 42,66 \text{ cm}^2$$

$$b_c = 30 \text{ cm} ; h_0 = 160 \text{ cm}$$

$$\text{Odabrana armatura: } A_{odabr} = 45,80 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,5/100 \times 30 \times 160 = 24,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = 4/100 \times 30 \times 160 = 192,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{odabr} < A_{s,max}$$

Zaštitni sloj:

$$c_{min} = 35 \text{ (mm)}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 + 10 = 45 \text{ (mm)} \leq 45 \text{ (mm)} \text{ zadovoljava}$$

Najmanja udaljenost između savojnih šipki:

$$\text{Max od} \begin{cases} k_{1\phi} = 1 \times 95 = 95 \text{ (mm)} \\ d_g + k_2 = 25 + 5 = 30 \text{ (mm)} \\ 200 \text{ (mm)} \end{cases} \quad \text{dg- maksimalno zrno agregata}$$

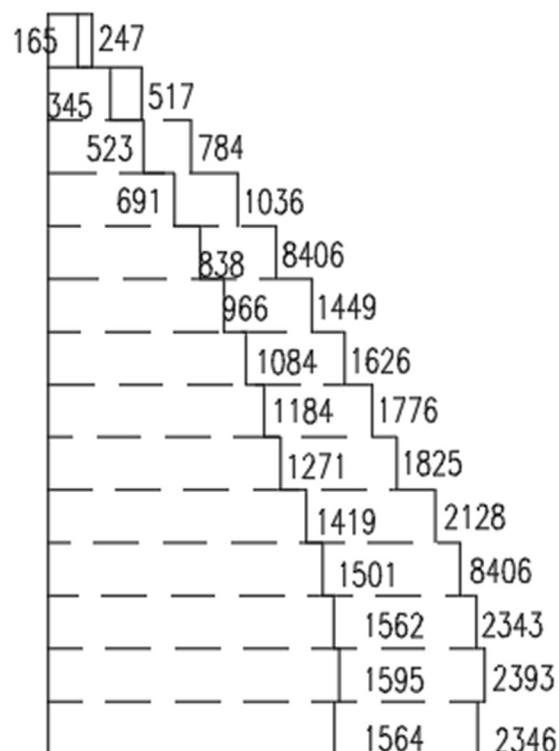
Razmak susjednih uzdužnih šipki obuhvaćenih sponama ili poprečnim sponama prema EC 8 ne smije premašiti 200 (mm).

6.7. Proračunska ovojnica poprečnih sila

Proračunska ovojnica poprečnih sila V_{Ed} izvodi se iz $V_{Ed} = \varepsilon \times V_{ed}$

V_{Ed} – poprečna sila dobivena proračunom

ε - faktor uvećanja za DCM $\rightarrow \varepsilon = 1,5$



Slika 6.8. Proračunska ovojnica poprečnih sila (kN)

6.7.1. Dijagonalni tlačni slom hrpta zbog posmik

Vrijednost $V_{Rd,max}$ u kritičnom području i izvan kritičnog područja za DCM (kao u EC2 s $z=0,8l_w$)

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_{w0} z v_1 f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}$$

$\alpha_{cw}=1 \rightarrow$ za konstrukcije koje nisu prednapete

$$v_1 = 0.6 \times \left[1 - \frac{f_{ck}(MPa)}{250} \right] = 0.6 \times \left(1 - \frac{25}{250} \right) = 0.54$$

$tg\theta=1$ - nagib tlačnih štapova prema vertikali

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \times b_{w0} \times z v_1 \times f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta} = \frac{1.0 \times 30.0 \times (0.8 \times 740) \times 0.54 \times 2.0}{1 + 1} = 9590.4 (kN) > 7502.5$$

6.7.2. Dijagonalni vlačni slom hrpta zbog posmik

Postupak ovisi o koeficijentu α_s

$$\alpha_s = \frac{M_{ed}}{V_{ed} \times l_w} = \frac{8406}{1554 \times 2.83} = 1.87$$

Za $\alpha_s < 1$ horizontalna armatura računa se iz izraza

$$V_{Ed} \leq b_{w0} (0.8l_w) \rho_h \times f_{yd,h} \times ctg\theta$$

ρ_h – omjer armiranja hrpta horizontalnim šipkama

$f_{yd,h}$ – proračunska vrijednost granice popuštanja horizontalne armature hrpta

$$\rho_h \geq \frac{V_{ed}}{0.80 \times l_w \times f_{yd,v} \times b_{w0} \times cot\theta} = \frac{1554}{0.80 \times 740 \times 43.5 \times 30 \times 1} = 0.002$$

$$\rho_{h,min} = \max(0.001; 0.25 \times \rho_v) = \max(0.001; 0.25 \times 0.0022) = \max(0.001; 0.00055)$$

$$\rho_h = \frac{A_h}{b_{w0} \times s_h} \rightarrow A_h = \rho_h \times b_{w0} \times s_h = 0.00055 \times 23 \times 100 = 1.26 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **Q-335** (A_s , odabrano = 3.35 cm²/m) (obostrano)

6.8. Izračun ovojne armature u rubnom elementu

Odabrana armatura: **Q-335 i 18Ø18**

Najmanji promjer spona: 6 (mm)

Razmak spona $s_w \leq (8dbL ; b_0/2 ; 175 \text{ mm}) ;$

$s_w \leq (8 \times 18 ; 230/2 ; 175 \text{ mm})$ Odabrano **$s_w = 11.0 \text{ (cm)}$**

$h_{kr} = 744 \text{ cm}$

$\alpha\omega_{wd} = 0,071$

Faktor učinkovitosti ovijanja: α_s, α_n – gubitak ovijene jezgre zbog lučnog djelovanja u vertikalnoj / horizontalnoj ravnini

$\alpha = \alpha_s \times \alpha_n$

$$\alpha_n = 1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \times b_0 \times h_0} = 1 - \frac{2 \times (8 \times 20.0^2)}{6 \times 23 \times 160} = 0.71$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \times b_0}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2 \times h_0}\right) = \left(1 - \frac{11}{2 \times 23}\right) \times \left(1 - \frac{11}{2 \times 160}\right) = 0.77$$

$$\alpha = \alpha_s \times \alpha_n = 0.71 \times 0.77 = 0.55$$

$$\alpha\omega_{wd} = 0.071$$

$$0.59 \times \omega_{wd} = 0.071$$

$$\omega_{wd} = 0.12 \geq 0.08$$

6.8.1. Izračun ω_{wd} za usvojeni detalj ovojne armature

Duljina spona: - Vanjskih $L_v = 2 \times 23 + 2 \times 160 = 366 \text{ (cm)}$

- unutarnjih $L_u = 7 \times 20 + 17 + 2 \times (15^2 + 18,7^2) \frac{1}{2} = 204,9 \text{ (cm)}$

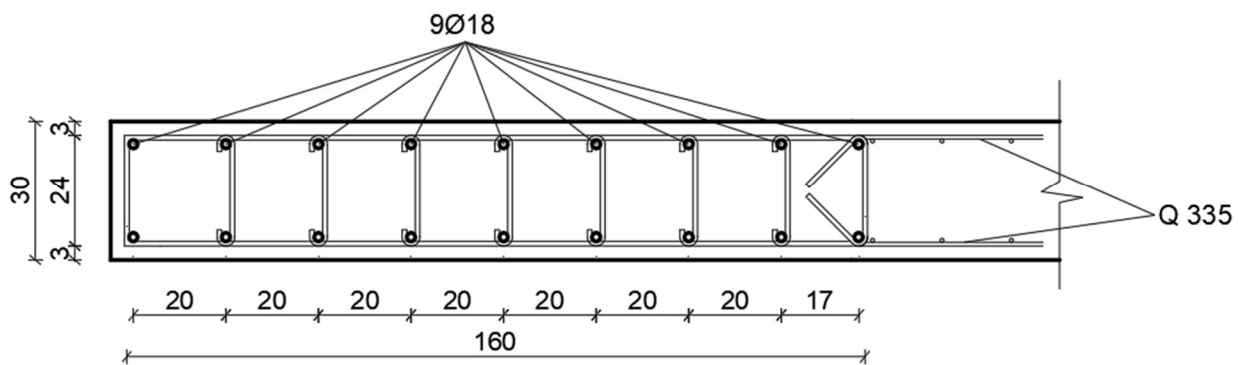
Za vilice (unutarnje i vanjske) Ø10:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volumen vilica}}{\text{volumen betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0.785 \times (366 + 204,9) \times \frac{100}{11}}{23 \times 160 \times 100} \times \frac{43.5}{2} = 0.24 > 0.19$$

Za vilice vanjske Ø10 i unutarnje Ø8:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volumen vilica}}{\text{volumen betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{(0.785 \times 366 + 0,5 \times 204,9) \times \frac{100}{11}}{23 \times 160 \times 100} \times \frac{43.5}{2} = 0.21 > 0.19$$

Odabrane vilice **vanjske Ø10 i unutarnje Ø8.**



Slika 6.9. Detalj armiranja rubnog područja zida za klasu duktilnosti DCM

7. DIMENZIONIRANJE ZIDA ZA RAZRED VISOKE DUKTILNOSTI (DCH)

7.1. Opći podatci

Proračun AB konstrukcije proveden je na modelu sa smanjenom elastičnom krutosti pri savijanju i posmiku na 50% krutosti neraspucalih elemenata Točka 4.3.1 (7), HRN EN 1998-1:2011. Uzimajući u obzir gore navedene norme u konkretnom slučaju uzet je beton klase C 20/25 te armatura B 450C definirane u tablici 6.1. Za potresnu kombinaciju parcijalni koeficijent sigurnosti za beton je $\gamma_c=1,5$ te za armaturu $\gamma_s=1,15$. Geometrijske karakteristike zida su prikazane na slici 6.3. Duljina zida $l_w = 7.4 \text{ m}$, visina zida $h_w = 40,56 \text{ m}$ te širina zida $b_w = 0,30 \text{ m}$. Karakteristični zid je dimenzioniran u presjeku iznad ploče prizemlja gdje je i horizontalno pridržana konstrukcija kao simulacija utjecaja oklnog tla na konstrukciju. Proračunom dobijena armatura voditi će se sve do temeljne ploče. Koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka ζ izračunat je za pojedine etaže i vrijednost ne prelazi 0,10 stoga se učinci drugog reda ne uključuju u dimenzioniranje nosivih elemenata.

7.2. Rezultati proračuna

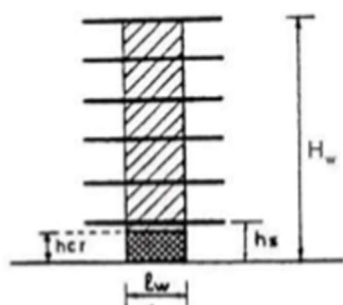
Proračunske vrijednosti momenata savijanja, poprečnih i osnih sila dobivene su iz proračuna konstrukcije za potresnu proračunsku situaciju: $S_y:1,0G_0+1,0G+0,15Q+1,28S_y+1,0T_y+1,0T_y$ - u skladu s normom EN 1990:2001

Mz (kNm)	Vy (kN)	N (kN)
398 -638	-68 181	-463
488 -644	-177 242	-781
514 -623	-276 325	-1137
529 -609	-368 410	-1495
451 -547	-448 491	-2021
139 -447	-515 571	-2431
468 -460	-578 644	-2867
792 -727	-631 706	-3326
1180 -1215	-674 766	-3836
1586 -1950	-749 863	-4549
2167 -2498	-795 902	-5171
2758 -3185	-831 929	-5786
3437 -4425	-856 927	-6173
3336 -4969	-877 771	-6354
3457 -3925	-751 277	-6065
2616 -1557	-393 260	-5460

Slika 7.1. Dijagrami reznih sila: moment M_z (kNm), poprečna sila (kN), uzdužna sila (N)

7.3. Proračunska ovojnica momenata savijanja

Proračunski dijagram momenta savijanja po visini zida treba biti ovojnica dijagrama momenata savijanja iz proračuna vertikalno pomaknuta („vlačni pomak“) 1. Konstrukcija po visini nema znatnih diskontinuiteta mase, krutosti ili otpornosti, stoga se pretpostavlja da je ovojnica linearna. Vlačni pomak je u skladu s nagibom tlačnih stapova uzetim pri provjeri poprečnih sila u graničnom stanju nosivosti.



$$h_{cr} = \max [l_w ; H_w/6]$$

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 2 l_w \\ \begin{cases} h_s \text{ za } n \leq 6 \text{ katova} \\ 2h_s \text{ za } n \geq 7 \text{ katova, gdje je } h_s - \text{svijetla visina kata.} \end{cases} \end{cases}$$

Slika 7.2. Prikaz proračunske

ovojnice momenata savijanja vitkih zidova

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max[7.40; 40.56/6]=[7.4; 6.76]=7.4$$

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 14.8 \\ 2.73 \\ 2 \times 2.73 \text{ za više od 6 katova} \end{cases}$$

$$h_{cr} = 7.44 \text{ m}$$

Momenti savijanja vitkih zidova:

$$h_w = 40.56 \text{ m}, l_w = 7.4 \text{ m}$$

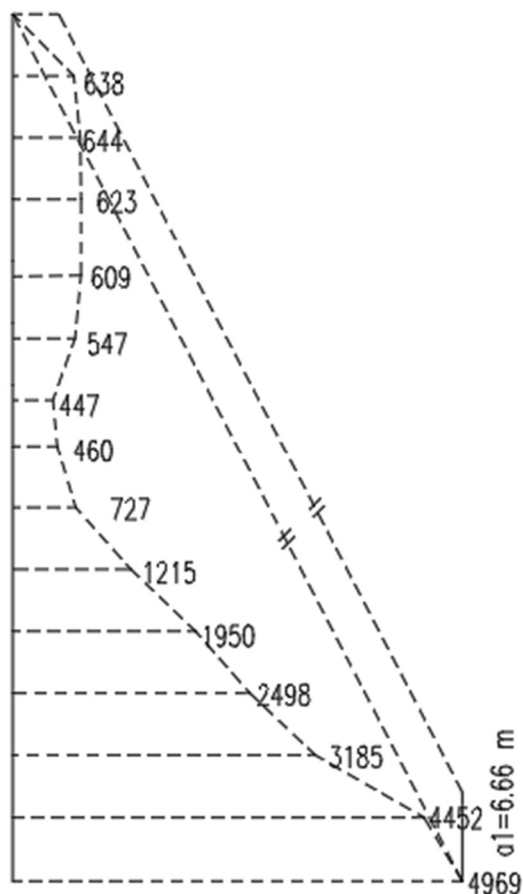
$$h_w / l_w = 40.56/7.4 = 5.48 > 2 \text{ -vitki zid, potrebno povećanje momenata savijanja } a_1 = d$$

$\cot\theta$ - vlačni pomak uslijed povećanja poprečne sile

$$\text{DCM} \rightarrow 1 \leq \cot\theta \leq 2.5, \text{ odabrano } \cot\theta = 1$$

$$d = 0.9 \cdot l_w = 0.9 \cdot 7.4 = 6.66 \text{ m}$$

$$a_1 = 6.66 \cdot 1 = 6.66 \text{ m}$$



Slika 7.3. Proračunska ovojnica momenata savijanja (kNm)

7.4. Dimenzioniranje karakterističnog zida na savijanje

Geometrijske karakteristike zida:

Duljina: $l_w = 740 \text{ cm}$

Širina: $b_w = 30 \text{ cm}$

$d_{zs} = 3.0 \text{ cm}$

$d_y = 666 \text{ cm} (= 0.9 \cdot 740 \text{ cm})$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti materijala za potresnu kombinaciju: $\gamma_c = 1.5$ $\gamma_s = 1.15$

Beton C 30/37

$f_{cd} = 30 / 1.5 = 20 \text{ MPa}$

Armatura B500C

$f_{yd} = 500 / 1.15 = 434.8 \text{ MPa}$

Duljina rubnog serklaža

$$h_0 = \{\max 0.15l_w; 1.5b_w\} = \{\max 110; 45\} = 110 \text{ cm}$$

7.5. Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu silu – dijagram interakcije

Zidovi se dimenzioniraju na momente savijanja i uzdužne sile proračunane za potresnu proračunsku situaciju.

Rezne sile:

$$M_{Ed} = 8406 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 7502 \text{ kN (tlak)}$$

Bezdimenzionalne vrijednosti

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4969 \cdot 100}{30 \cdot 740^2 \cdot 1,67} = 0,018$$

$$N_{sd} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-6354}{30 \cdot 740 \cdot 1,67} = -0,171$$

Iz dijagrama interakcije za omjer armature

(α) i omjer d_1/l_w , d_2/l_w (β) očitamo mehanički

Određivanje duljine rubnog elementa i

razmještaja savojne armature

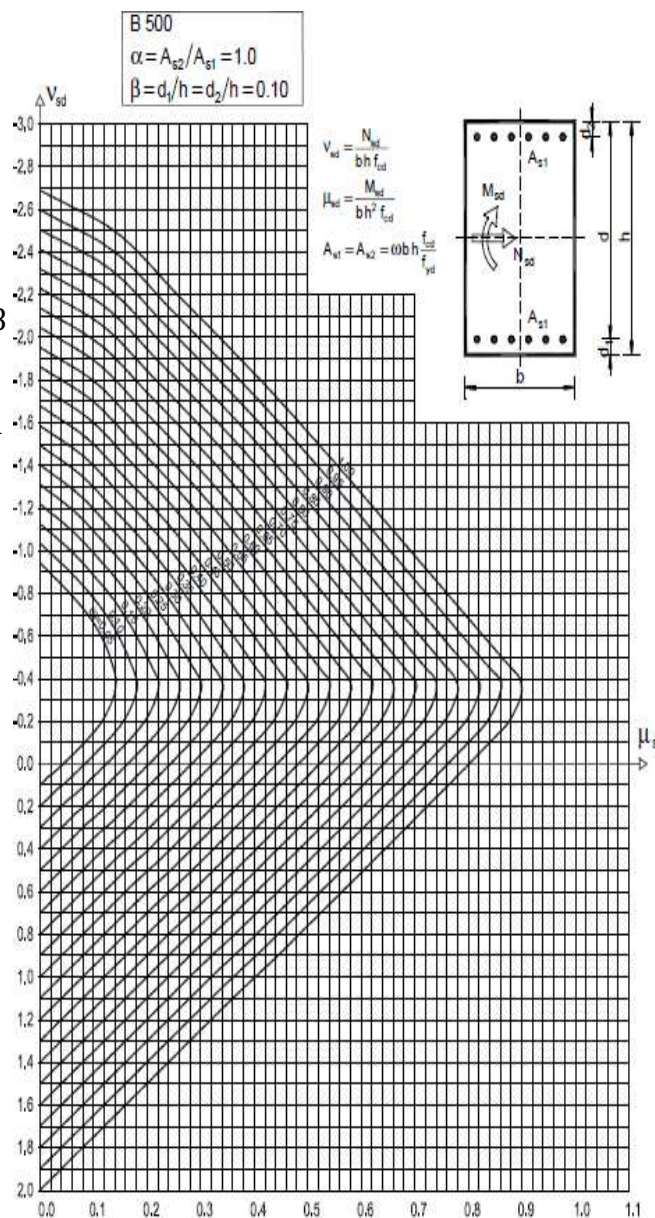
koeficijent armiranja (ω)

$$\alpha = \frac{A_{s2}}{A_{s1}} = 1,0$$

$$\beta = \frac{d_1}{l_w} = \frac{d_2}{l_w} = 0,04$$

iz dijagrama interakcije za pravokutni

poprečni presjek određen koeficijentima α i β



Slika 7.4. Dijagram interakcije za simetrično armiran pravokutni poprečni presjek

očitano je: $\omega=0,05$

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,05 \cdot 30 \cdot 740 \cdot \frac{1,67}{39,13} = 47,37 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$A_{s,min} = \frac{0,5}{100} \times 30 \times 110 = 16,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = \frac{4,0}{100} \times 30 \times 110 = 132 \text{ cm}^2$$

7.5.1. Proračunska otpornost zida na savijanje

$$A_{s1} = 47.37 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \times f_{yd}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{47.37 \times 39.13}{30 \times 740 \times 1.67} = 0.04$$

Za $N_{max} = -1315.1 \text{ [kN]}$, tj. Za

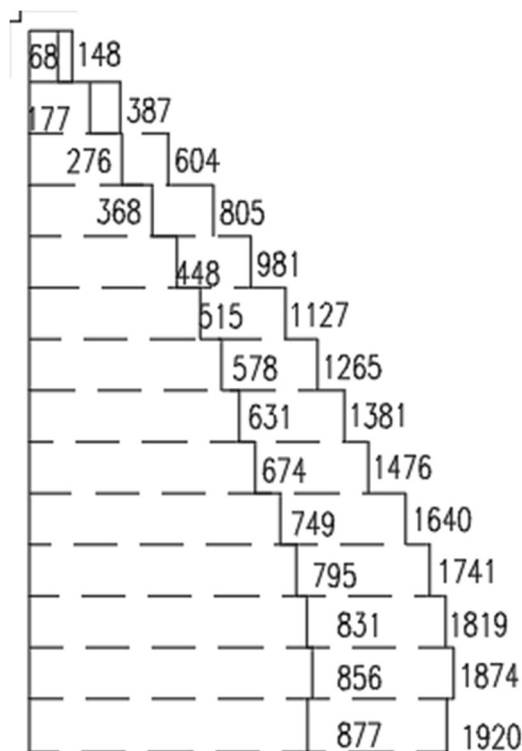
$$\vartheta_{ed} = \frac{N_{ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-6354}{30 \times 740 \times 1.67} = -0.14$$

iz dijagrama interakcije očitano: $\mu_{Ed} = 0.12$

Proračunska otpornost na savijanje u podnožju zida:

$$M_{Rd} = 0.12 \cdot 30 \cdot 740^2 \cdot 2 = 39\,427 \text{ [kNm]}$$

7.6. Proračunska ovojnica poprečnih sila



Slika 7.5. Proračunska ovojnica poprečnih sila

Proračunska ovojnica poprečnih sila V_{Ed} izvodi se iz $V_{Ed} = \varepsilon \times V_{Ed}$

$V_{Ed}' \rightarrow$ poprečna sila po visini zida dobivena proračunom $\varepsilon \rightarrow$ faktor uvećanja

Faktor uvećanja za presjeke klase duktilnosti H:

$$\varepsilon = q \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \times \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0.1 \left(\frac{S_e(Tc)}{S_e(T1)}\right)^2} \leq q \geq 1.5$$

gdje je:

$q \rightarrow$ faktor povećanja uzet u proračunu

$M_{Ed} \rightarrow$ proračunski moment savijanja u podnožju zida

$M_{Rd} \rightarrow$ proračunska otpornost na savijanje u podnožju zida

$\gamma_{Rd} \rightarrow$ faktor kojim se u obzir uzima povećana čvrstoća zbog ojačanja čelika; ako nema točnijih podataka može se uzeti $\gamma_{Rd} = 1.2$

$T1 \rightarrow$ osnovni period vibracija zgrade u smjeru djelovanja poprečnih sila V_{Ed}

$TC \rightarrow$ gornja vrijednost perioda u području stalnog spektralnog ubrzanja spektra

$S_e T \rightarrow$ ordinata elastičnog spektra odziva

$$S_e(Tc) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 = 0,22g \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 2,5 = 6,47 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$S_e T1 = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot Tc / T = 0,22g \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 0,5 / 0,54 = 5,99 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$\varepsilon = q \sqrt{\left(\frac{1.2}{4.4} \times \frac{39427}{4969}\right)^2 + 0.1 \left(\frac{6.47}{5.99}\right)^2} = 2.19 \leq q \geq 1.5$$

7.6.1. Dimenzioniranje na poprečnu silu

Unutrašnje sile: $V_{Ed} = 877 \text{ kN}$

$$A_{s,min} = 0.2\% \times d \times 100 = \frac{0.2}{100} \times 26 \times 100 = 5.2 \text{ cm}^2/m$$

Inicijalno odabrano **Q-335** obostrano.

1) Slom tlačne dijagonale

a) Izvan kritičnog područja

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_{w0} z v_1 f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$F_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$z = 0.8 \cdot l_w = 0.8 \cdot 740 = 592 \text{ cm}$$

$$ctg\theta + tg\theta = 2.0$$

$$\alpha_{cw} = 1.0$$

$$\vartheta_1 = 0.6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \times 30 \times 240 \times 0.53 \times 2}{2} = 3816 > 877 \text{ kN}$$

b) U kritičnom području:

$$V_{Ed} \leq 0.4 \times V_{Rd,max} = 0.4 \times 3816 = 1526.4 \text{ kN} > V_{Ed} = 877 \text{ kN}$$

4. Slom vlačne dijagonale

Postupak ovisi o koeficijentu α_s

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \times l_w} = \frac{4969}{877 \times 7.4} = 0.77$$

Ako je $\alpha_s = M_{Ed} / V_{Ed} \cdot l_w \leq 2$

Horizontalne šipke u hrptu moraju zadovoljiti:

$$V_{Rd,s} = V_{Rd,c} + 0.75 \cdot \rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot b_w \cdot \alpha_s \cdot l_w$$

$\rho_h \rightarrow$ omjer armiranja hrpta horizontalnim šipkama $\rho_h = A_h / (b_w \times s_h)$

$f_{yd,h} \rightarrow$ proračunska vrijednost granice popuštanja horizontalne armature hrpta

$V_{Rd,c} \rightarrow$ proračunska vrijednost posmične otpornosti elemenata bez posmične armature u skladu s normom EN 1992-1:2004

Vertikalne šipke u hrptu, usidrene i preklopljene po visini zida u skladu s normom EN 1992-1:2004 moraju zadovoljiti:

$$\rho_h \times f_{yd,h} \times b_w \times z \leq \rho_v \times f_{yd,v} \times b_w \times z + \min N_{Ed}$$

$\rho_v \rightarrow$ omjer armiranja vertikalnih šipki u hrptu $\rho_v = A_v / (b_w \times s_v)$

$f_{d,v} \rightarrow$ proračunska vrijednost granice popuštanja vertikalne armature hrpta

Horizontalne šipke

$$\rho_h = \rho_v = \frac{A_{sh}}{A_c} = \frac{2 \times 2.85}{30 \times 100} = 0.0019$$

$$V_{Rd,c} = \left[c_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_c \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \times \sigma_{cp} \right] \times b_w \times d$$

$$c_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \rightarrow k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{2700}} = 1.27 < 2$$

$k = 1.27$ (korekcijski faktor visine presjeka)

$k_1 = 0.15$ (korekcijski faktor)

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 f_{cd}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{877}{30 \times 100} = 0.29 \leq 4 (MPa)$$

$$VR_{d,c} = \left[0.12 \cdot 1.27 \cdot (100 \cdot 0.0019 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot 0.29 \right] \cdot 300 \cdot 2700 = 255.7 kN$$

$$VR_{d,s} = 255.7 + 0.75 \cdot 0.00424 \cdot 43.48 \cdot 30 \cdot 0.93 \cdot 740 = 1534 kN \geq V_{Ed} = 877 kN$$

Vertikalne šipke

$$\rho_h \times f_{yd,h} \times b_w \times z \leq \rho_v \times f_{yd,v} \times b_w \times z + \min N_{Ed}$$

$$0.0019 \cdot 43.48 \cdot 30 \cdot 0.8 \cdot 740 \leq 0.0019 \cdot 43.48 \cdot 30 \cdot 0.8 \cdot 740 + 877$$

$$1467 \leq 2344 kN$$

Vertikalne i horizontalne šipke zadovoljavaju proračun.

7.7. Posmični slom klizanjem

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

gdje je $V_{Rd,s}$ proračunska vrijednost posmične otpornosti na klizanje

$$V_{Rd,s} = V_{dd} + V_{id} + V_{fd}$$

$$V_{dd} = \min \left\{ \frac{1.3 \Sigma A_{sj} (f_{cd} \cdot f_{yd})^{0.5}}{0.25 f_{yd} \cdot \Sigma A_{sj}} \right.$$

$$V_{id} = \Sigma A_{si} \cdot f_{yd} \cdot \cos \varphi$$

$$V_{fd} = \min \left\{ \frac{\mu_f [(\Sigma A_{sj} \cdot f_{yd} + N_{Ed}) \xi + M_{Ed} / z]}{0.5 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \xi \cdot l_w \cdot b_w} \right.$$

$V_{dd} \rightarrow$ otpornost vertikalnih šipki koje djeluju kao trn

$V_{id} \rightarrow$ posmična otpornost nagnutih šipki (pod kutom φ na potencijalnu kliznu ravninu, npr. na radnu sljubnicu)

$V_{fd} \rightarrow$ otpornost na trenje

$\mu_f \rightarrow$ koeficijent trenja betona – beton pri izmjeničnom djelovanju koji se može pretpostaviti 0.6 za glatke spojne površine, a 0.7 za hrapave, kako je definirano u točki 6.2.5(2) u normi EN 1992-1-1:2004

$z \rightarrow$ duljina kraka unutarnjih sila

$\xi \rightarrow$ normalizirana visina neutralne osi

$\Sigma As_j \rightarrow$ zbroj ploština vertikalnih šipki hrpta i dodatnih šipki posebno raspoređenih u rubnim elementima radi otpornosti na klizanje

$\Sigma As_i \rightarrow$ zbroj ploština nagnutih šipki u oba smjera; za tu se svrhu preporučuju šipke velikog promjera

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_{w0} \times d^2 \times f_{cd}} = \frac{4969 \times 100}{30 \times 270^2 \times 2} = 0.113$$

$$Za \epsilon_s1 = 10 \% \Rightarrow \xi = 0,20$$

$$\eta = 0.6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$\eta = 0.6 \times \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0.53$$

$\Sigma As_i = 0 \rightarrow$ nemamo nagnute šipke unutar zida

$$\Sigma As_j = 2 \cdot 47,37 + 2 \cdot 2,85 \cdot 3 = 111,8 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$V_{dd} = \min \left\{ \frac{1,3 \times 111,8 \times (1,67 \times 39,13)^{0,5}}{0,25 \times 39,13 \times 111,8} = 1174 \rightarrow 1093 \text{ (kN)} \right.$$

$$V_{id} = 0 \text{ (kN)}$$

$$V_{fd} = \min \left\{ \frac{0,6 \times \left[(111,8 \times 39,13 + 877) \times 0,167 + \frac{496900}{0,8 \times 740} \right]}{0,25 \times 39,13 \times 111,8} = 1029 \rightarrow 1029 \text{ (kN)} \right.$$

$$VR_{d,s} = 1093 + 0 + 1029 \text{ kN} = 2122 \text{ kN} \geq VEd = 877 \text{ kN}$$

7.8. Detaljiranje lokalne duktilnosti zida

$\mu\Phi \rightarrow$ zahtijevana vrijednost faktora duktilnosti s obzirom na zakrivljenost

$\nu d \rightarrow$ normalizirana proračunska osna sila $NEd/(Ac \cdot f_{cd})$

$bc \rightarrow$ bruto širina presjeka

$b_0 \rightarrow$ širina ovijene jezgre (do osi spona)

$h_0 \rightarrow$ visina ovijene jezgre (do osi spona)

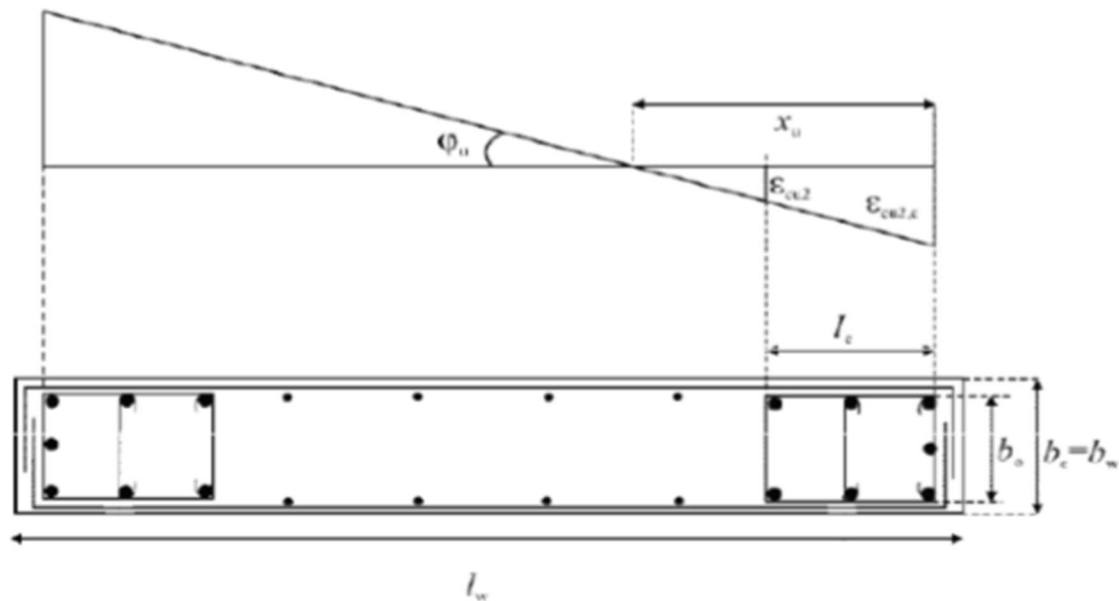
$x_u \rightarrow$ visina neutralne osi

$\epsilon_{sy,d} \rightarrow$ proračunska vrijednost vlačne deformacije čelika pri popuštanju

$\alpha \rightarrow$ faktor djelotvornosti ovijanja

$n \rightarrow$ ukupni broj uzdužnih šipki obuhvaćenih sponama ili poprečnim sponama

$bi \rightarrow$ razmak između susjednih obuhvaćenih šipki



Slika 7.6. Prikaz osnovnih oznaka rubnog područja zida

$$h_{cr} = \max [l_w ; H_w/6]$$

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 2 l_w \\ \begin{cases} h_s \text{ za } n \leq 6 \text{ katova} \\ 2h_s \text{ za } n \geq 7 \text{ katova, gdje je } h_s - \text{svijetla visina kata.} \end{cases} \end{cases}$$

$$h_{cr} = \max[7.40; 40.56/6] = [7.4; 6.76] = 7.4$$

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 14.8 \\ 2.73 \\ 2 \times 2.73 \text{ za više od 6 katova} \end{cases}$$

$$h_{cr} = 7.4 \text{ m}$$

Kontrola tlačnih naprezanja: -bezdimenzionalna vrijednost uzdužne sile

$$V_d = \frac{N_{ed}}{Ac \times f_{cd}} = \frac{6354}{30 \times 7400 \times 1.67} = 0.016 < 0.35 \text{ -za DCH} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Ovijena armatura(vilice):

$$\Phi_{min} = (6 \text{ mm}; 0.4 (\frac{f_{yd}}{f_{yvd}})^{0.5} \times d_{bl})$$

$$d_{bw} \geq (6 \text{ mm}; 8.8) \rightarrow \text{Odabrano: } \Phi 10$$

$$s_w \leq \begin{cases} 6 \times 18 = 108 \\ \frac{239}{3} = 80 \\ 125 \end{cases} \rightarrow 80 \text{ mm}$$

$$s_w = 8 \text{ cm} \rightarrow \text{Odabrano } \Phi 10/8$$

$$\omega_{wd} \geq 0.12 \quad DCH$$

Najmanja duljina ovijenog rubnog elementa: $l_c = \max(0.15l_w; 1.5bw) = \max(110; 45) = 110 \text{ cm}$

Duljina ovijenog rubnog elementa mora biti veća od duljine na kojoj je $\varepsilon_c > 0.0035$

Najmanja vrijednost l_c ovijenog rubnog elementa:

$$l_c \geq \{0.15 l_w ; 1.5 b_w ; \text{duljina } h_0 \text{ na kojoj je } \varepsilon_{cu2} > 0.0035\}$$

l_w , b_w - duljina i širina r.e. zida

$$0.15l_w = 0.15 \times 7.40 = 1.11 \text{ (m)}$$

$$1.5 b_w = 1.5 \times 0.3 = 0.45 \text{ (m)}$$

$$h_0 = x_u \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035 + 0.1\alpha\omega_{wd}$$

$$x_u = (v_d + \omega_v) \frac{l_w b_c}{b_0}$$

$$\alpha \times \omega_{vd} \geq 30 \times \mu_\varphi \times (v_d + \omega_v) \varepsilon_{s,yd} \times \frac{b_c}{b_0} - 0.035$$

b_0 - širina ovijene jezgre rubnog elementa zida (do osi spona)

b_c – bruto širina ovijene jezgre

x_u - visina neutralne osi

ε_{cu2} – granična deformacija neovijenog betona

$\varepsilon_{cu,c}$ – granična deformacija ovijenog betona

α - faktor učinkovitosti ovijanja

ω_{wd} – mehanički obujamski omjer armiranja ovijenom armaturom

Pretpostavimo širinu zaštitnog sloja od 3 cm i vilice $\emptyset 10$ mm:

$$b_0 = 300 - 2 \times 3 + 2 \times 5 = 230 \text{ cm}$$

$$b_c = 300 \text{ mm}$$

$\rho_v = A_{sv}/A_c$ – omjer armiranja vertikalnim šipkama u hrptu zida

A_{sv} – ukupna ploština vertikalne armature u hrptu zida

$$A_{sv,min} = 0.002 A_c = 0.002 \times 300 \times 1000 = 600 \text{ mm}^2/\text{m}, \text{ odabrano Q-335 obostrano}$$

$$\rho_v = A_{sv}/A_c = 670/(300 \times 1000) = 0,0022$$

$\omega_v = \rho_v f_{yd,v}/f_{cd}$ – mehanički omjer armiranja hrpta vertikalnom armaturom

$f_{yd,v}$ – proračunska vrijednost granice popuštanja vertikalne armature hrpta

$$\omega_v = \rho_v f_{yd,v}/f_{cd} = 0,0022 \times 434,8/20 = 0,048$$

Koeficijent duktilnosti s obzirom na zakrivljenost:

$$\mu_\varphi = 2q_0 - 1, \quad T_1 > T_c$$

$$\mu_\varphi = 1 + 2(q_0 - 1)T_c/T_1, \quad T_1 < T_c$$

$$\mu_\varphi = 2q_0 - 1 = 2 \times 4.4 - 1 = 5.0 \text{ (uzimajući da je } MR_d \cong M_{ed})$$

$$\varepsilon_{s,yd} = 391,3/2000000 = 0.00195$$

$$\alpha \times \omega_{wd} = 30 \times 5.0 \times (0.204 + 0.048) \times 0.00195 \times 300/230 = 0.096$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0.0035 + 0.1\alpha\omega_{wd} = 0.0035 + 0.1 \times 0.096 = 0.0131$$

$$x_u = (v_d + \omega_{vd}) \times \frac{l_w b_c}{b_0} = (0.204 + 0.048) \times \frac{7400 \times 300}{230} = 2432.3$$

$$h_0 = x_u \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 2432.3 \times \left(1 - \frac{0.0035}{0.0131}\right) = 1782 \text{ mm}$$

$$l_c \geq \{0.15 l_w; 1.5 b_w; \text{duljina } h_0 \text{ na kojoj je } \varepsilon_{cu2} > 0.0035\}$$

$$l_c \geq \{0.45; 0.45; 1.80\}$$

$$\text{Odabrano: } h_0 = 10/2 + 18/2 + 8 \times 200 + 172 + 18/2 + 10/2 = 1800 \text{ mm}$$

$$\text{Odabrana armatura: } 20\emptyset 18 = 50,90 \text{ cm}^2 > 47,37 \text{ cm}^2$$

$$\text{Debljina } b_w \text{ za } l_c \geq \begin{cases} 0.2 m \\ \frac{h_s}{15} \text{ ako je } l_c \leq (2b_w, \frac{l_w}{5}) \\ \frac{h_s}{10} \text{ ako je } l_c > (2b_w, \frac{l_w}{5}) \end{cases}$$

$$l_c = 180 \text{ cm} > \max(2b_w, \frac{l_w}{5}) = (0,6, 1.48)$$

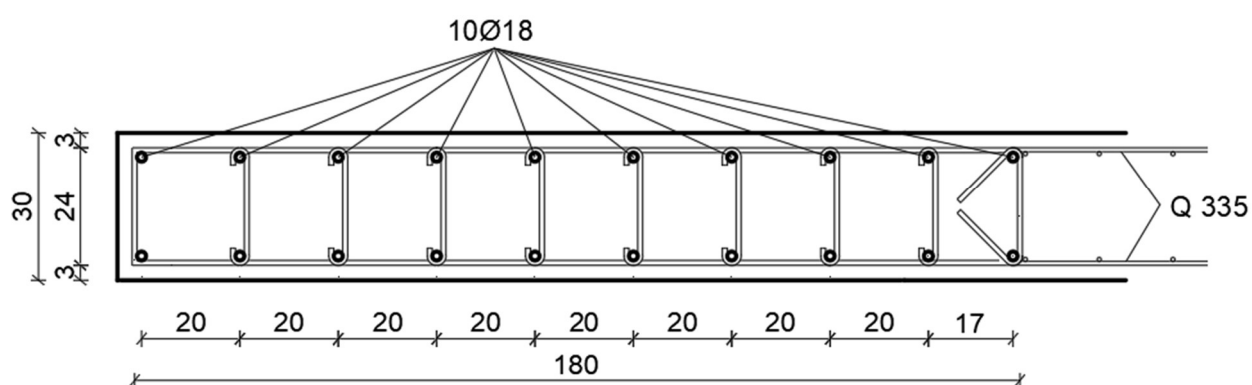
$$b_{w0} = \frac{h_s}{15} = \frac{283}{15} = 18.86 \rightarrow \text{Odabrano } b_{w0} = 23 \text{ cm}$$

$$\text{Odabrana armatura: Q-335 (} A_s = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m) -obostrano, } 20\emptyset 18 \text{ (} A_s = 50.90 \text{ cm}^2\text{)-u serklažu}$$

Mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega_v = \frac{\rho_v \times f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,0022 \times 39.13}{1.67} = 0.05$$

$$\begin{aligned} \omega_{vd} &= \frac{\text{volumen vilica}}{\text{volumen betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \\ &= \frac{(0.785 \times (360 + 46) + 0.50 \times (300)) \times 100/8}{23 \times 180} \times \frac{39.13}{1.67} = 0.28 \end{aligned}$$



Slika 7.7. Detalj armiranja rubnog područja zida za klasu duktilnosti (DCH)

8. DIMENZIONIRANJE ZIDA IZNAD KRITIČNOG PODRUČJA

Armirano betonski zidovi dimenzionirani su na moment savijanja i uzdužnu silu u odabranom presjeku. Iznad kritičnog područja armatura je uzeta prema EN1992-1-1:2004. Zid je po visini podijeljen u 3 segmenta i za svaki segment je prikazana armatura kritičnog područja i armatura hrpta. Razliku dimenzioniranja kritičnog područja i iznad njega u slučaju kada tlačna deformacija ε_c ne premašuje 0,002 prikazana je u tablici 8.1. Ako u potresnoj proračunskoj situaciji tlačna deformacija ε_c premašuje 0,002, treba postaviti najmanji omjer vertikalne armature od 0,005.

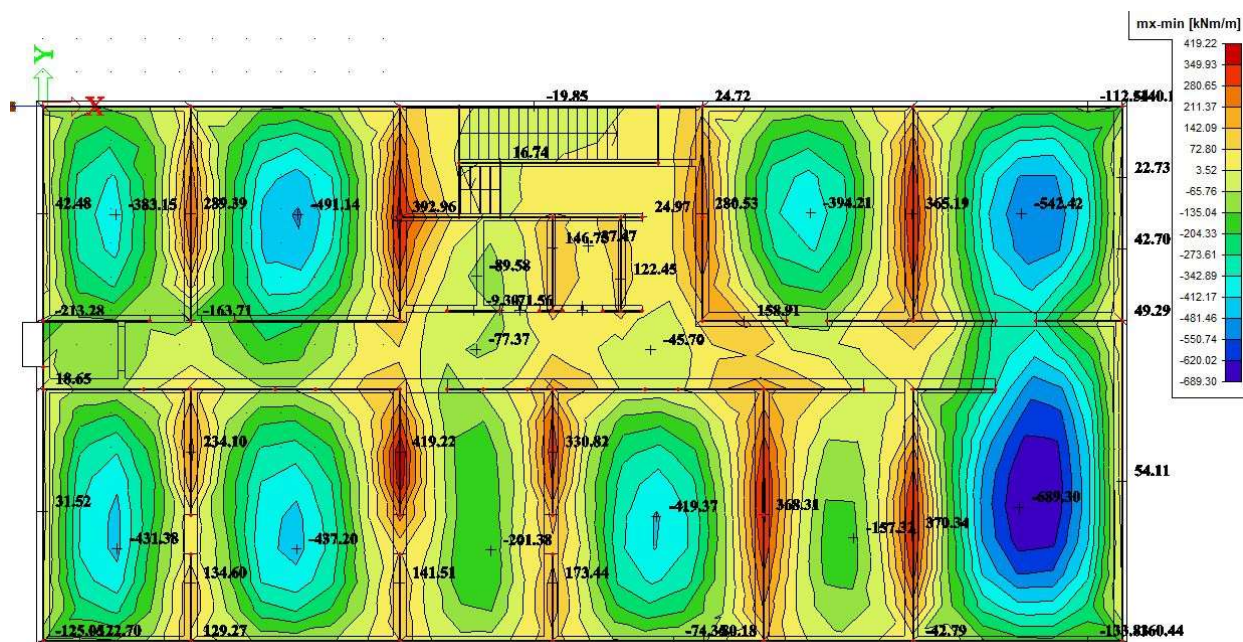
Površina armature	Kritično područje	Iznad kritičnog područja	
$A_{s,min.}$	$\frac{0.5}{100} \cdot b_w \cdot l_c$	Vertikalna armatura	Horizontalna armatura
		$\frac{0.2}{100} \cdot b \cdot l_c$	$25\% \cdot A_{s1}$ ili $\frac{0.1}{100} \cdot b \cdot l_c$
$A_{s,max.}$	$\frac{4}{100} \cdot b_w \cdot l_c$	$\frac{4}{100} \cdot b \cdot l_c$	

Tablica 8.1. Površina armature za kritično područje i iznad njega za slučaj kada je $\varepsilon_c < 0,002$

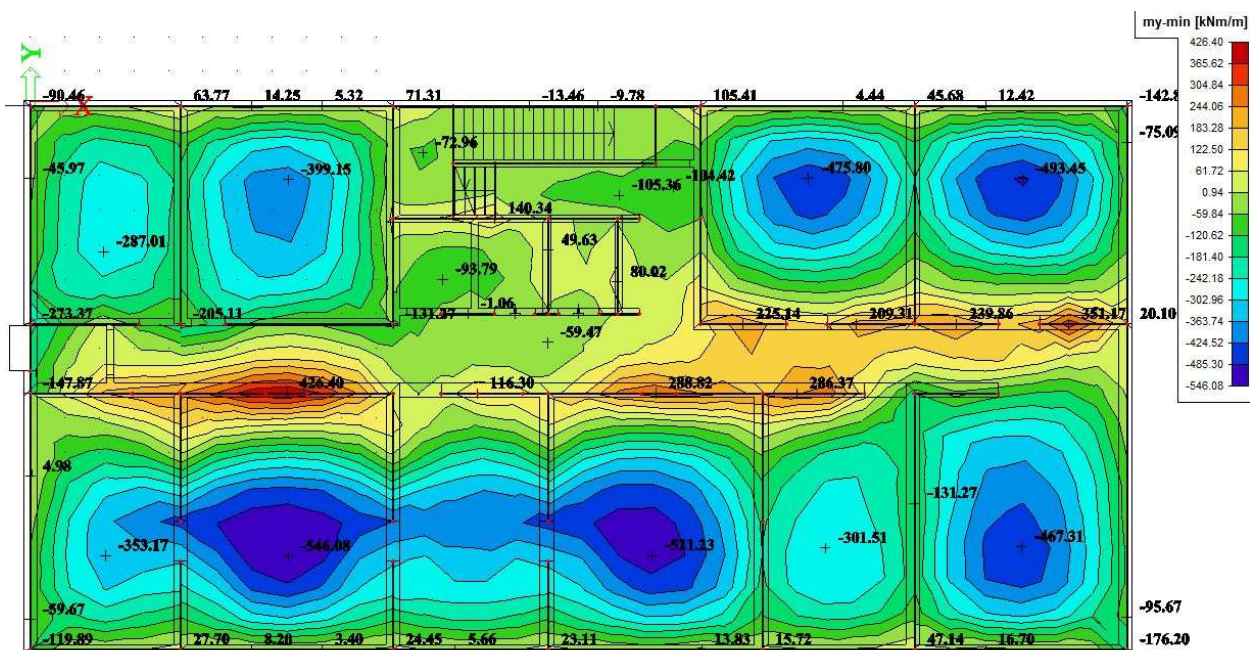
Područje	Rezne sile		Koeficijenti			l_c (m)	Vertikalna armatura cm ² /m		Horizontalna armatura (cm ² /m)		Odabrana armatura (cm ² /m)
	Med (kNm)	Ned (kN)	μ_{SD}	V_{SD}	ω		$A_{sv,min}$	$A_{sv,max}$	$A_{sh,min}$	$A_{sh,max}$	
8.77-17.44 (m) 3-6 kat	4436	6884	0,016	0,186	0,05	1,2	7,2	144	3,6	3,6	10Ø12
17.44-29.0 (m) 6-10 kat	1358	4392	0,005	0,118	0,05	0,9	5,4	108	2,7	2,7	10Ø10
29.0-40.56 (m) 6-10 kat	1069	12245	0,004	0,330	0,05	0,5	3	60	1,5	1,5	10Ø10

Slika 8.2. Armatura zida iznad kritičnog područja

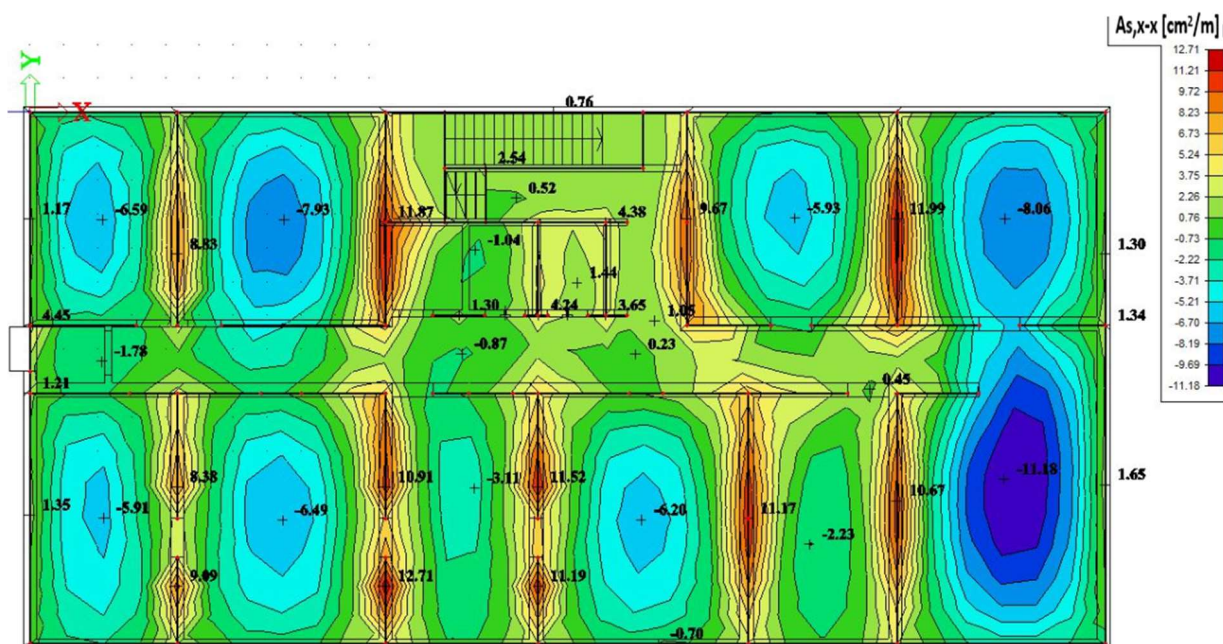
Slika 9.2. Moment M_y za GSN (kNm)



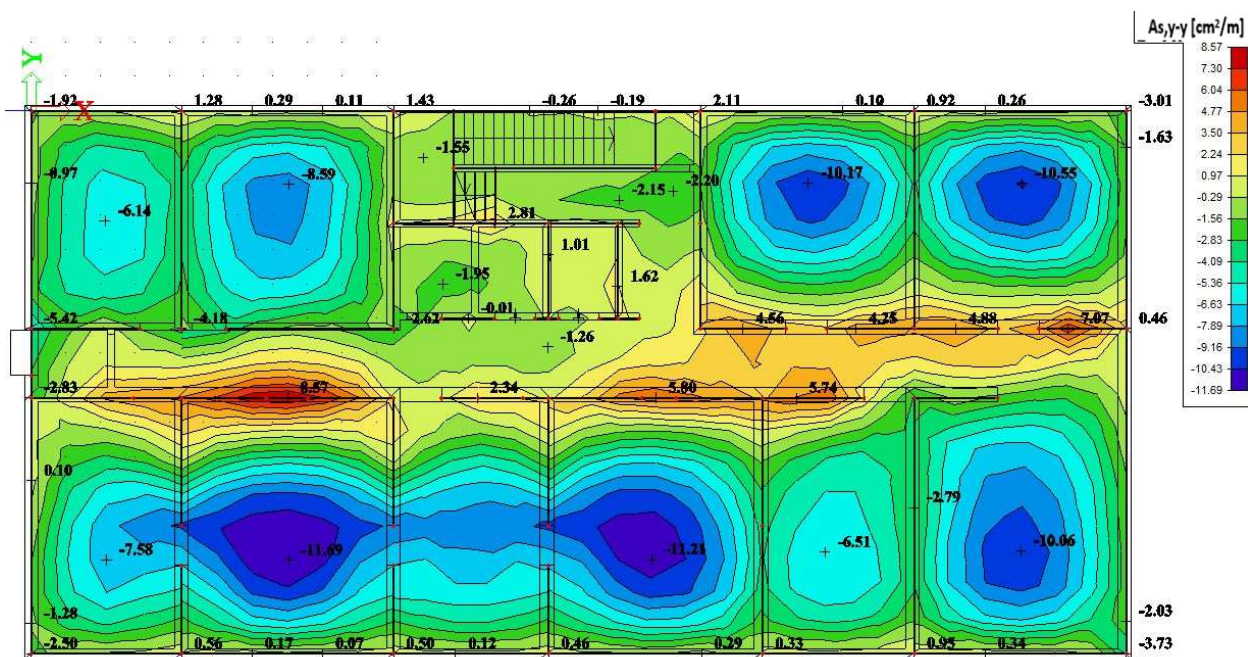
Slika 9.3. Moment M_x za KSy (kNm)



Slika 9.4. Moment M_y za KSy (kNm)



Slika 9.2. Armatura A_{x-x} za K_{Sy} (kNm)



Slika 9.2. Armatura A_{y-y} za K_{Sy} (kNm)

10. ZAKLJUČAK

Jamstvo kvalitetno projektirane konstrukcije leži u više faktora. Potrebno je ostvariti balans između ekonomskih, estetskih i najvažnije statičkih zahtjeva za konstrukciju. Kako bi se sami projektant osigurao od moguće pogreške potrebno je držati se normi. Eurocod kao takav propisuje sve norme i smjernice za projektiranje seizmički opterećenih konstrukcija. Ovaj rad obuhvaća dio proračuna armirano betonske zgrade. Karakteristični zid proračunat je prema HRN EN 1998-1:2011 i to za klasu visoke i umjerene duktilnosti.

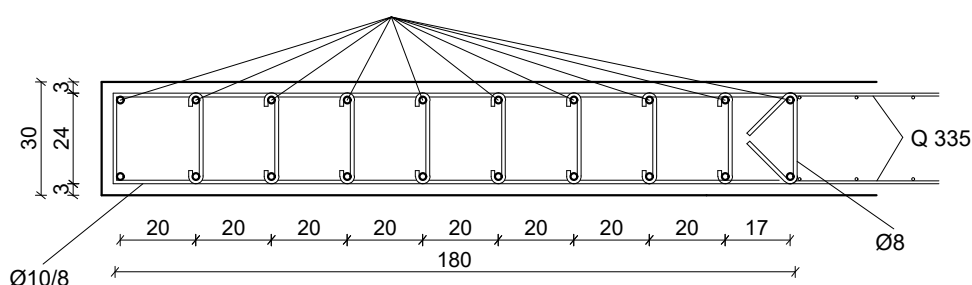
Kroz sami proračun vidljivo je da su za klasu umjerene duktilnosti (DCM) rezne sile veće i do 30% u odnosu na klasu duktilnosti (DCH). Razlog tome leži u faktoru ponašanja kojim se reduciraju potresna djelovanja na konstrukciju. Dimenzioniranje seizmički otpornih konstrukcija svodi se na dvije bitne smjernice. Prva je projektiranje konstrukcija koju su u mogućnosti primiti energiju i raspodijeliti je u nosive elemente. Drugi je opće duktilno ponašanje konstrukcije. Da bi se ostvarilo takvo što potrebno je već u fazi idejnog rješenja obratiti pozornost na moguće probleme.

Projektiranjem se ne može u potpunosti predvidjeti niti djelovanje na konstrukciju kao niti samo ponašanje materijala. Naravno da u proračun nisu uključeni ni otegotni faktori kao što su prekid betoniranja. Osiguranje za takvo što leži u koeficijentima kojima korigiramo opterećenje i na taj način osiguravamo od mogućeg nepredviđenog djelovanja na konstrukciju.

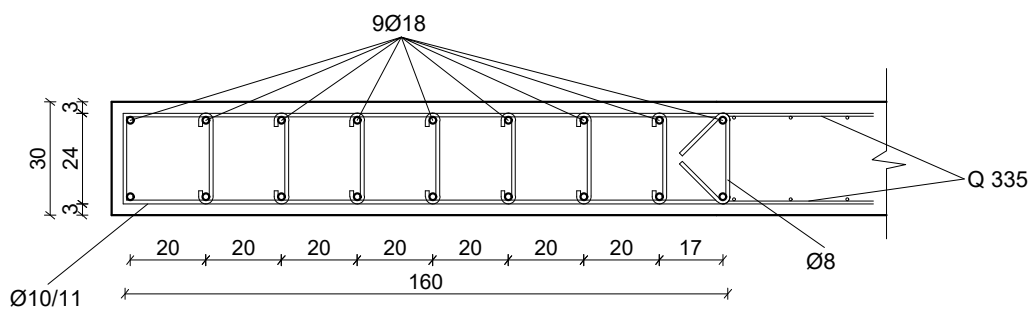
11. LITERATURA

- Eurocode 0, Basis of structural design, CEN European Committee for Standardization, Brussels, EN 1990: 2002.
- Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2010)
- Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak, HRN EN 1998-1:2012/NA
- J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije-priručnik.
- Tomičić, I. BETONSKE KONSTRUKCIJE, treće izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, 1996.
- Harapin, A. DIMENZIONIRANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA PREMA TPBK (EC2)

DETALJ ARMIRANJA RUBNOG PODRUČJA ZIDA (DCH) MJ 1:20



DETALJ ARMIRANJA RUBNOG PODRUČJA ZIDA (DCM) MJ 1:20



napomene: SVE MJERE KONTROLIRATI U NARAVI



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURE AND GEODESY

datum 03/2018

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

DIPLOMSKI RAD

student: IVAN BALIĆ

sadržaj: GLAVNI PROJEKT-PROJEKT KONSTRUKCIJE

faza: DETALJ ARMIRANJA-PRESJEK RUBNOG PODRUČJA ZIDA

1:100

list

01