

Šerif Dunica¹, Saša Stošić², Dimirije Aleksić³

KULA I TRŽNI CENTAR – II FAZA POSLOVNO-STAMBENOG KOMPLEKSA BLOKA 65 NA NOVOM BEOGRADU

Rezime:

Kula visine 154,93 m i tržni centar čine drugu fazu poslovno-stambenog kompleksa bloka B65. Podzemni deo objekta je garaža na dva nivoa i sa podzemnim nivoima faze I, koji su osam godina ranije izvedeni, čine celinu. Podzemne etaže tržnog centra i faze I su plitko fundirane u uslovima visokog nivoa podzemne vode i hidroizolacionim spojnica povezanih sa podzemnim etažama kule koja je duboko fundirana, Prostornu stabilnost kule i otpornost na horizontalne uticaje obezbeđuje armiranobetonsko jezgro koje je seizmičkim zidovima povezano sa stubovima i gredama na fasadi.

Ključne reči: kula, armiranobetnoske konstrukcije

THE TOWER AND SHOPPING MALL – II PHASE OF THE BUSINESS AND RESIDENTIAL COMPLEX B65 IN NEW BELGRADE

Summary:

The tower and shopping mall are designed as the second phase of the business and residential complex B65. The underground part of the building consist of a garege on two levels. That part forms a whole with the underground part of phase I that is shalow founded. The tower foundation is deep. A waterproof joints connect the underground part of the tower with the underground part of the rest of the B65 complex. The stability of the tower and resistance to horizontal forces is provided by a reinforced concrete core which is connected to the columns and beams on the facade by seismic walls..

Key words: tower, RC sturcutres

¹ R. prof. u penziji, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, dunica49@gmail.com

² V. prof. Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, sasa@grf.bg.ac.rs

³ dipl.grad. inž. DELING DOO BEOGRAD, Beograd, Srbija, dimitrije.aleksic@deling.rs

1. UVOD

Poslovno stambeni kompleks u bloku 65 na Novom Beogradu je projektovan i izveden u dve faze. Objekat I faze je projektovan 2010 i izveden do 2012 a obuhvatio je 11 stambenih lamela i pripadajući deo dvoetažnih podzemnih garaža ispod celokupne parcele. Objekat II faze je projektovan u periodu 2016-2020 a izvođenje konstrukcije je završeno u aprilu 2021. Objekat je funkcionalno podeljen na tržni centar spratnosti P+2 i stambenu kulu spratnosti P+ME+40. U podzemnom delu objekat je funkcionalno povezan sa prvom fazom kompleksa sa kojima deli dva nivoa podzemnih garaža. Na slici 1 je prikazan ceo kompleks sa tržnim centrom, kulom kao i lamelama prve faze.



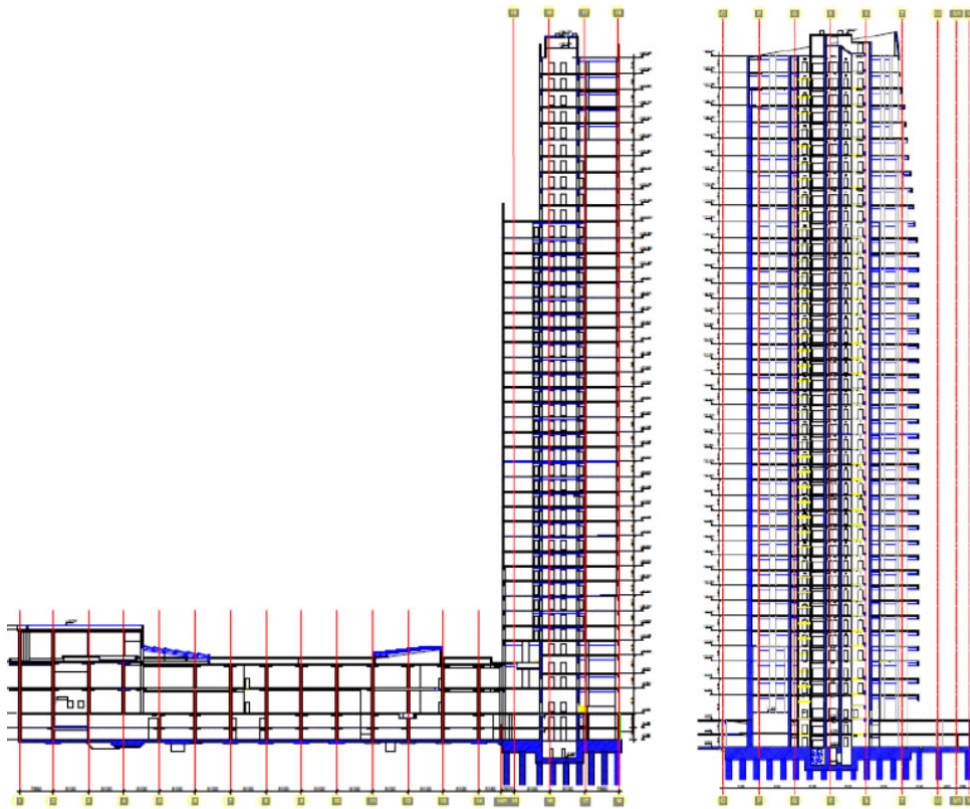
Slika 1 – Blok 65 – Tržni centar i kula odnosno lamele izvedene u fazi I iza tržnog centra i kule.

2. KONSTRUKCIJA OBJEKTA

Maksimalna visina tržnog centra je 20,53 m, a kule 154,93 m (sl. 2). Visina prvog podzemnog nivoa je 3,32 m, odnosno, 3,45 m a drugog 2,85 m.

U tržnom centru, osnovni raster stubova je 8,10 m sa 8,10 m. Na nivou ploče prizemlja i na prvom podzemnom nivo, konstrukcija tržnog centra je odvojena od objekta I faze koja je izvedena 2010.

Dilatacionim razdelnicama je konstrukcija kule odvojena od konstrukcije tržnog centra na svim nivoima od drugog podzemnog etaža do krova tržnog centra. Čista širina dilatacionih razdelnica na svim nivoima je 5 cm.



Slika 2 – Podužni presek kroz tržni centar i kulu i poprečni presek kroz kulu

Objekat je koncipiran kao armiranobetonski a projektovane marke betona prikazane su u tabeli 1. Armiranje je vršeno betonskim čelikom B500B i mrežastom armaturom MA 500/560.

Celine koje su projektovane i izvedene kao čelična konstrukcija su: nadstrešnice nad glavnim ulazom i nad ulazom u garažu kule, konstrukcija fasade tržnog centra, dve lanterne na krovu tržnog centra, konstrukcija za nošenje „Media Wall“ led ekrana i galerije za potrebe bolničkih usluga u prizemlju tržnog centra.

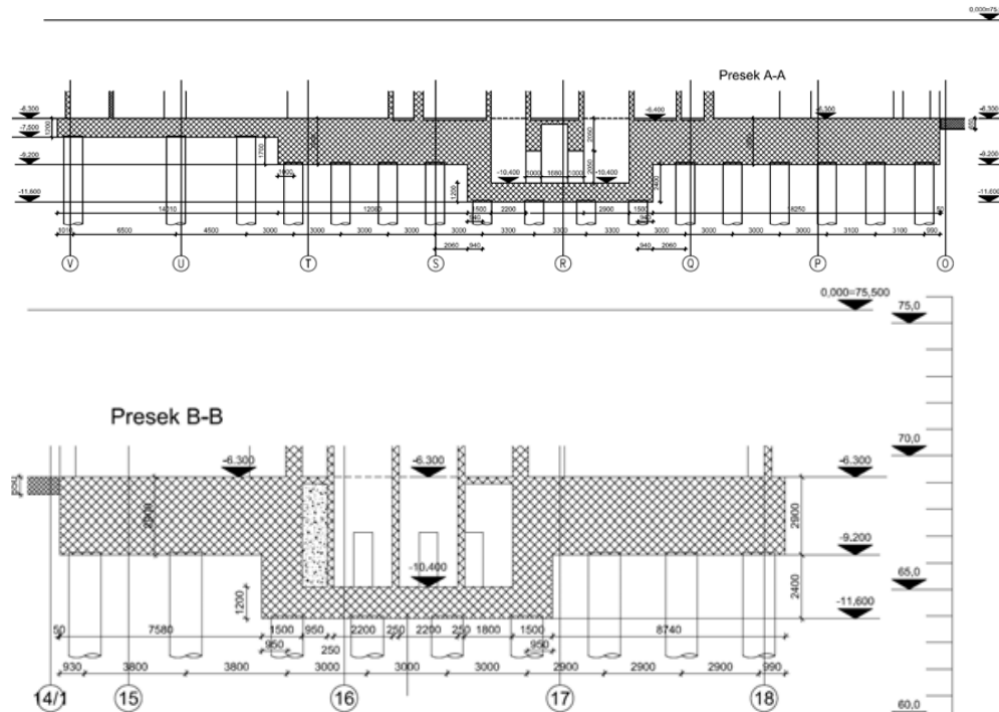
Tabela 1 – Projektovane marke betona za elemente konstrukcije

Marka betona	Elementi konstrukcije tržnog centra	Elementi konstrukcije kule
MB 40	Temeljna ploča, elementi iznad kote 1. sprata	Šipovi, temeljna ploča, elementi iznad 31. sprata
MB 50	Između temeljne ploče i kote 1. sprata.	između 20. i 31. sprata
MB 60		između temeljne ploče i 20. sprata

1.1. FUNDIRANJE

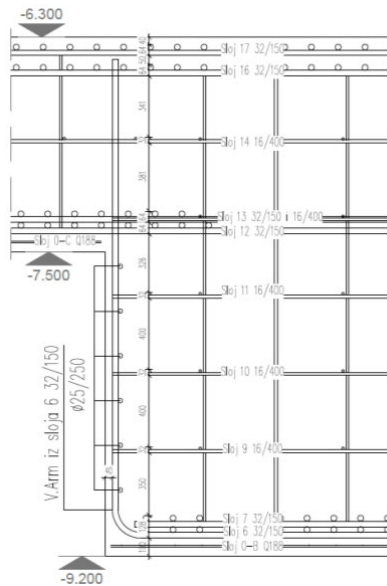
Tržni centar je fundiran na armiranobetonskoj ploči debljine 65 cm uz primenu “jet grounding” tehnologije. U zavisnosti od intenziteta normalne sile, ispod određenih stubova, su izvedeni kapiteli sa donje strane temeljne ploče. Kapiteli su predviđeni ispod svih liftova kao i ispod eskalatora. Donja kota temeljne ploče tržnog centra je -6,950 m, ispod liftova -8,200 m, a ispod eskalatora -8,100 m.

Kula je fundirana na bušenim šipovima Ø1200 mm sa temeljnom pločom debljine od 1,20 m do 5,30 m (sl. 3). Dužina šipova ispod najniže kote temeljne ploče je 17,90 m dok su ispod plićih delova temeljne ploče izvedeni duži šipovi od 20,30 m odnosno 22,00 m, tako da su glave svih šipova na istoj koti -29,50 m. Ukupan broj šipova je 131.



Slika 3 –Poprečni presezi kroz temeljnu ploču kule

Temeljna ploča je armirana u dva ortogonalna pravca rebrastim betonskim čelikom B500B. Za osnovnu armaturu temeljne ploče, u zavisnosti od položaja i debljine ploče, je usvojeno $\text{Ø}32/150$ mm odnosno $2\text{Ø}32/150$ mm. Za prijem uticaja od temperature, skupljanja betona i sl., na određenim nivoima (na slici 4 označeni brojevima 9, 10, 11, 13 i 14) u srednjim delovima ploča, predviđa se konstriktivna armatura $\text{Ø}16/400$ mm. Na mestima ukrštanja ove armature, predviđena je takođe i vertikalna armatura $\text{Ø}16/800 \times 400$ mm (od armature donje do armature gornje zone). U donjoj zoni temeljne ploče predviđena je takođe i konstriktivna mrežasta armatura Q188 označena kao sloj 0 na slici 4.



Slika 4 –Fragment armiranja temeljne ploče kule

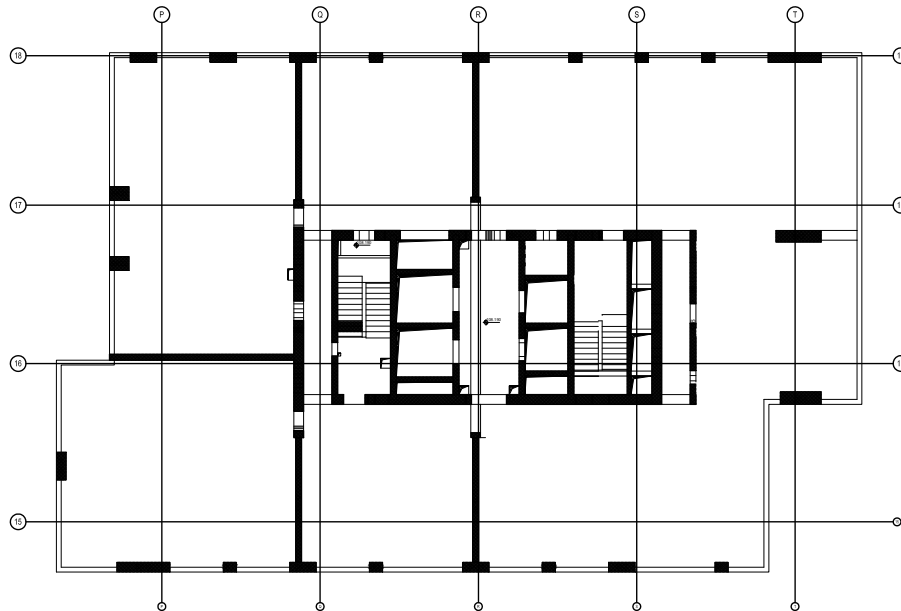
1.2. MEĐUSPRATNA KONSTRUKCIJA

Tržni centar

Međuspratna konstrukcija tržnog centra je armiranobetonska ploča koja je preko kapitela oslonjena na stubove. Debljina ploče je na prvom podzemnom etažu 20 cm, na prizemlju 25 cm odnosno 22 cm dok je na pločama prvog, drugog i ploči iznad drugog sprata 25 cm. Kapiteli su dimenzija $2,60 \times 2,60$ m, dok je visina zavisno od debljine ploče, tako da je ukupna debljina kapitela i ploče 50 cm. Izuzetno, na krovnoj ploči, u delu gde je predviđeno optečenjem zemljom ukupna debljina je 60 cm.

Kula

Međuspratna konstrukcija kule je armirano betonska monolitna ploča (sl. 5). Na prvom podzemnom nivou (kota -3,450) debljina ploče je 25 cm, na nivou prizemlja (kota -0,300) debljina ploče je 30 cm, a na svim nivoima iznad prizemlja je debljina ploče 22 cm. Izuzetno, u jednom delu, delu ploča prizemlja ima funkciju transferne konstrukcije i prenosi uticaje dva stuba koji se ukidaju ispod kote prizemlja, te je debljina ploče u tom delu 90 cm.



Slika 5 – Osnova 30. sprata-AB jezgro i seizmički zidovi koji povezuju jezgro sa stubovima i gredama na fasadi

1.3. GREDE

Tržni centar

Osim greda koje služe kao oslonac na deo konstrukcije faze I, greda po obodu otvora svetlarnika i oslonaca eskalatora, ističu se grede na koje se oslanja armiranobetonska krovna ploča na nivou drugog sprata.

Kula

Na konturama ploča od prvog sprata do 40. sprata projektovane su AB grede dimezija 25x100 cm. U osi R, na nivoima od trećeg sprata do 31. sprata na delovima hodnika i unutar jezgra predviđene su grede dimezija 50x60 cm koje spajaju jezgro sa seizmičkim zidom u istoj osi.

1.4. STUBOVI I ZIDNA PLATNA

U **tržnom centru** su stubovi kvadratnog poprečnog preseka dimezija 60x60 cm s izuzetkom stubova u osi U/1 od ose 2-8 i 11-14 koji su dimezija 40x60 cm.

Svi stubovi i zidna platna **kule** su armirano-betonski, različitog poprečnog preseka dimezija od 50x50 cm, 60x60 cm do 272x60 cm, 272x75 cm i 272x90 cm. Poprečni preseki stubova i zidnih platana menjaju se po visini objekta u skladu sa proračunom konstrukcije.

1.5. ZIDOVI

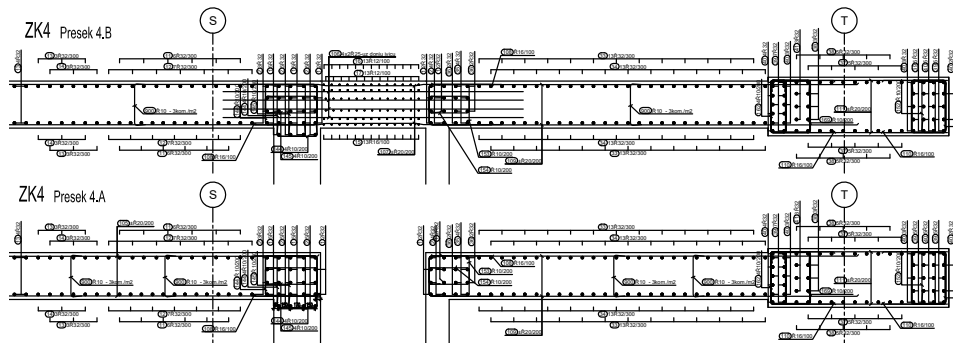
Spoljašnji zidovi podzemnih etaža su debljine 30 cm.

Unutrašnji zidovi tržnog centra su debljine 25 i 30 cm.

U centralnoj zoni kule projektovano je armirano-betonsko jezgro sa debljinama zidova od 25, 30, 50, 60 i 65 cm. Ovo jezgro predstavlja osnovni elemenat konstrukcije koji obezbeđuje opštu stabilnost kule. Iznad ploče trećeg sprata (kota +16,400) između osa P i Q i u osi R projektovani su seizmički zidovi debljine 30 cm. Zid u osi R na delovima hodnika i unutar jezgra je povezan sa jezgrom preko greda dimenzija 50x60 cm.

Tabela 2 – Raspored armature u zidovima jezgra kule

Deo jezgra	Vertikalna Armatura	Horizontalna armatura
Od temeljne ploče do 13. sprata	±Ø32/100 mm	±Ø20/200 mm
Između 13. i 22. sprata	±Ø28/100 mm	±Ø18/200 mm
Između 22. i 31. sprata	±Ø25/100 mm	±Ø16/200 mm
Iznad 31. sprata	±Ø22/100 mm	±Ø14/200 mm



Slika 5 – Fragment armiranja zidova jezgra kule

Da bi se tokom izvođenja zidova jezgra kule mogla koristiti klizna oplata, veze ploča sa zidovima jezgra su projektovane i realizovane primenom “komax” traka. Takođe, nastavljanje armature greda na mestima prodora kroz zidove jezgra kule je izvedeno pomoću mufova.

3. MODELIRANJE I PRORAČUN KONSTRUKCIJE

3.1. OPIS MODELA I ANALIZA

Analiza konstrukcije tržnog centra i kule su vršene na osnovu nezavisnih trodimenzionalnih modela, primenom programskog paketa “Tower 8”. Dokaz statičke i dinamičke stabilnosti i dimenzionisanje konstrukcije je sprovedeno korišćenjem Pravilnika za beton i armiranibeton BAB 87. Opterećenje konstrukcije, u zavisnosti od tipa opterećenja je skladu sa standardima *JUS U.C7.0100*, za vertikalna opterećenja odnosno *EN 1991-1-4/NA:2017 - Eurocode 1, Dejstva na konstrukcije-Dejstva vetra*, za dejstvo vetra.

Proračun na seizmička dejstva na konstrukciju kule je sproveden prema *Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima* i prema *SRPS EN 1998-1:2015 Evrokod 8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija – Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade*, primenom proračunskog spektra odgovora Tip 1.

Prema “Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima” kula se svrstava u objekte van kategorije (visoka zgrada sa više od 25 spratova).

Zbog toga je, pored spektralne analize, sprovedena i takozvana direktna dinamička analiza, korišćenjem akcelerograma kopaoničkog zemljotresa. Za projektno ubrzanje tla je usvojeno $a_g = 1,18 \text{ m/s}^2$ ($a_g/g=0,12$). Proračun je urađen za dva ortogonalna pravca dejstva zemljotresa.

Pri modeliranju konstrukcije **tržnog centra**, temeljna ploča je tretirana kao ploča na elastičnoj podlozi. Za krutost elastične podloge je usvojena vrednost: $k_{sr} = p_{max}/s_{max} \approx 127 \text{ kN/m}^2 / 0,0159 \text{ m} \approx 8.000 \text{ kN/m}^3$, gde je $p_{max} \approx 127 \text{ kN/m}^2$ - maksimalna vrednost napona u tlu ispod temeljne ploče, a $s_{max} \approx 15,9 \text{ mm} = 0,0159 \text{ m}$ - maksimalna proračunska vrednost sleganja tla na nivou ispod temeljne ploče.

Prema proračunu na osnovu terenskih opita, očekivano sleganje ispod temeljne ploče kule je 65,8 mm. Prema rezultatima probnog opterećenja, očekivano sleganje ispod temeljne ploče kule je 46,2 mm. Usvajanjem srednje vrednosti, za sleganje kule dobijena je vrednost $s_{sr}=(65,8+46,2)/2=56,0 \text{ mm}$.

U proračunu kule šipovi se tretiraju kao elastične opruge čije krutosti su određene na osnovu maksimalne sile u šipu N_{max} i očekivanog sleganja objekta s_{max} . Tako se za krutost elastične opruge dobija vrednost $k_{sr} = N_{max}/s_{max} = 7,00 \text{ MN} / 0,056 \text{ m} \approx 125,0 \text{ MN/m}$.

3.2. REZULTATI PRORAČUNA

Prema rezultatima proračuna, maksimalna vrednost kontaktnog napona u tlu ispod temeljne ploče **tržnog centra** je 132 kPa.

Za maksimalnu vrednost horizontalnog pomeranja **tržnog centra** usled dejstva seizmičkih sila dobija se $v_{max} = 8,1 \text{ mm}$ za pravac y na krovu (kota +18,510), što je znatno manje od dopuštene vrednosti $f_{max} = H/600 = 18510/600 = 30,8 \text{ mm}$.

Horizontalno pomeranje krova **Tržnog centra** usled dejstva seizmičkih sila na nivou krova u pravcu kule (pravac x) je $u_1=3,2 \text{ mm}$.

Prosečna vrednost sile u jednom šipu ispod **kule**, samo od vertikalnog opterećenja, je $N_{sr} = 823,93 \text{ MN} / 131 \text{ šip} = 6,29 \text{ MN}$, a maksimalna vrednost sile u jednom šipu samo od vertikalnog opterećenja je $N_{ver} = 6,90 \text{ MN}$, što je samo za oko 9,7% veća od prosečne vrednosti sile u jednom šipu N_{sr} . Dakle, svi šipovi su skoro ravnomerno opterećeni, što je rezultat pravilnog rasporeda šipova i značajne krutosti temeljne konstrukcije kule.

Prema anvelopama sila u šipovima usled dejstva vertikalnog opterećenja i horizontalnih dejstava (vetra odnosno seizmike) u dva ortogonalna pravca, maksimalna vrednost sile u jednom šipu usled tih uticaja je $N_{max} = 7,39 \text{ MN}$ što je nešto malo veća od dopuštene vrednosti $Q_a=7,36 \text{ MN}$ (prekoračenje je samo 0,4%).

U Tabelama 3 i 4 su prikazane vrednosti horizontalnih pomeranja **ploče krova** kule (kota +149,340) usled dejstva vetra i seizmičkih dejstava u dva ortogonalna pravca, kao i odnosi visine kule i odgovarajućeg horizontalnog pomeranja. Ti odnosi su znatno veći od dopuštenih vrednosti prema članu 16. *Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima*.

Tabela 3 – Pomeranje u x pravcu u zavisnosti od vrste analize

Slucaj opterećenja	Horizontalno pomeranje u pravcu x u_{\max} [mm]	Trenutak vremena [s]	H / u_{\max}
Vetar 2 - pravac x	97,0	-	1540
Seimika x - EC8	134,3	-	1112
Dir. din. analiza - x (max vrednost)	41,3	4,78	3608

Tabela 4 – Pomeranje u y pravcu u zavisnosti od vrste analize

Slucaj opterećenja	Horizontalno pomeranje u pravcu y u_{\max} [mm]	Trenutak vremena [s]	H / u_{\max}
Vetar 3 - pravac z	29,5	-	5062
Seimika z - EC8	75,7	-	1973
Dir. din. analiza - y (max vrednost)	33,9	4,17	4395

Iz ovih tabela se može jasno zaključiti da su seizmički uticaji prema EC8 (primenom projektnog sepktra) znatno veći od odgovarajućih uticaja od dejstva vetra. Takođe, može se zaključiti da su seizmički uticaji prema EC8 (primenom projektnog sepktra) znatno veći od odgovarajućih uticaja dobijenih direktnom dinamičkom analizom korišćenjem akceleroograma kopaoničkog zemljotresa. Dakle, za dimenzionisanje svih elemenata konstrukcije su usvojeni kao merodavni seizmički uticaji prema EC8 (primenom projektnog sepktra).

U skladu sa “EN 1991-1-4 2005 Eurocode 1 Dejstva na konstrukcije-Vetar, Aneksi B i C“, izvršen je i proračun maksimalnih ubrzanja konstrukcije na nekoliko nivoa kule usled dejstva vetra (vetar 2 - pravac x). Tako, za ubrzanje na nivou 30-tog sprata dobija se $a_{x,\max} = 4,13 \text{ mg} = 0,00413 \text{ g}$, gde je g - zemljino ubrzanje ($g=9,81 \text{ m/s}^2$), a na najvišem, 40-tom spratu dobija se $a_{x,\max} = 7,44 \text{ mg} = 0,00744 \text{ g}$.

Treba naglasiti da su dobijene vrednosti vibracija indukovana dejstvom vetra prihvatljiva prema standardu ISO 10137:2008. Takođe, prema standardu *National Building Code of Canada (NBCC 1990) structural design education aid* kao prihvatljiva ubrzanja za kule smatraju se vrednosti od 10 do 30 mg.

4. UČESNICI U PROJEKTOVANJU I IZGRADNJI OBJEKTA

Tabela 5 Učesnici u projektovanju i izgradnji objekta

Investitor objekta:	“Agro Development” d.o.o “Farley Investors” d.o.o., Omladinskih brigada br 86, Beograd.
Naručilac	PFB DOO BEOGRAD, Višnjićeva 8, Beograd
Izvođač za AB konstrukciju	ZOP inženjering doo, Karađorđeva 61, Beograd
Stručni nadzor	BEXEL Consulting d.o.o. Višnjićeva 8, Beograd
Projekat izradio	Konzorcijum: PFB design d.o.o Beograd. Milutina Milankovića 34, Beograd, DELING d.o.o Beograd, Omladinskih brigada 43, Beograd
Glavni projektant	Novica Mulidža, dipl. inž. arh., PFB design d.o.o Beograd
Odgovorni projektanti konstrukcije	Prof. dr Šerif Dunica, dipl. inž. građ. V. prof. dr Saša Stošić, dipl. inž. građ. Dimitrije Aleksić, dipl. inž. građ.
Odgovorni izvođači radova	PFB : Rade Risteski, dipl. građ inž. ZOP Inženjering: Miroslav Kopunović, dipl. građ. inž

LITERATURA

- [1] SRPS EN 1991-1-1:2012 Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije – Deo 1-1: Opšta dejstva – Zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade.
- [2] SRPS EN 1991-1-4/NA:2017 Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije, Deo 1-4, Opšta dejstva – Dejstva vetra – Nacionalni prilog.
- [3] SRPS EN 1992-1-1:2015 Evrokod 2 – Projektovanje betonskih konstrukcija – Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade.
- [4] SRPS EN 1998-1:2015 Evrokod 8 – Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija – Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade.
- [5] SRPS EN 10080:2008 Betonski čelik – Zavarivi betonski čelik-Opšti deo.
- [6] Report No. 2010/05 Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- [7] Bungale S. Taranath Reinforced Concrete Design of Tall Buildings, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.