

*Svetlana Grković¹, Mladen Milićević², Nemanja Miljković³, Radovan Blagojević⁴,
Milan Petrović⁵, Darko Popović⁶, Vanja Alendar⁷*

PROJEKTOVANJE KONSTRUKCIJE OBJEKTA CENTRA ZA PROMOCIJU NAUKE U BEOGRADU

Rezime:

Objekat Centra za Promociju Nauke, nalazi se na Novom Beogradu, u bloku 39. Sastoji se iz 3 glavna dela: Nadzemnog, Srednjeg i Podzemnog dela. Nadzemni deo sadrži glavni izložbeni prostor. Zamišljen je kao lebdeća kutija, dimenzija 70x70m u osnovi, koja je 16-20m izdignuta iznad terena i oslonjena na četiri tronošca. Srednji deo sadrži elemente za vertikalnu komunikaciju. Konstrukcija oba ova dela usvojena je kao čelična konstrukcija. Podzemni deo je jedno etažni objekat dimenzija 150x100m. Sadrži izložbeni prostor, servise, parking, perone za autobus. Konstrukcija podzemnog dela usvojena je kao betonska konstrukcija.

Ključne reči: naučni centar, čelična konstrukcija, betonska konstrukcija

DESIGN OF STRUCTURE FOR CENTER FOR PROMOTION OF SCIENCE

Summary:

Center for Promotion of Science is located in New Belgrade in Block 39. It consists of 3 main parts: Above ground part, Middle part and Basement part. Above ground part comprises main exhibition area. It is anticipated as a floating box with 70x70m dimensions in plan, elevated 16-20m, above terrain and supported by 4 tripods. Middle part comprises elements for vertical transportation. Structure for both parts is adopted as steel structure. Basement part has one floor. Its dimensions are 150x100m. It comprises exhibition areas, services, parking and bus drop off area. Structure of this part is adopted as reinforced concrete structure.

Ključne reči: science center, steel structure, reinforced concrete structure

¹ Dipl.inž.grad., projektant, DNEC doo, Beograd

² Dipl.inž.grad., projektant, DNEC doo, Beograd

³ Dipl.inž.grad., projektant, DNEC doo, Beograd

⁴ Dipl.inž.grad., projektant, DNEC doo, Beograd

⁵ Dipl.inž.grad., projektant, DNEC doo, Beograd

⁶ Dipl.inž.grad., direktor, DNEC doo, Beograd

⁷ Dipl.inž.grad., tehnički direktor, DNEC doo, Beograd

1 UVOD

Objekat Centra za promociju nauke (CPN u daljem tekstu), nalazi se na Novom Beogradu, u bloku 39. Investitor je JUP Istraživanje i razvoj iz Beograda, a korisnik Centar za promociju nauke. CPN je deo šireg naučnog kompleksa, koji se sastoji od CPN-a, kule „Naučni Institut“ i podzemnog „Nano Centra“, kao i podzemne garaže, koja povezuje različite delove kompleksa i sadrži dodatne sadržaje, kao što su prijemni hol, kontrolne sobe itd.

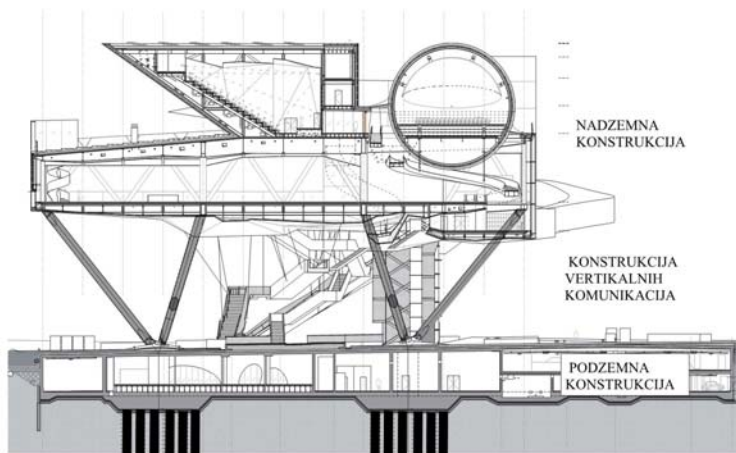
Na međunarodnom konkursu raspisanom 2010. god., koji je sa preko 200 prijavljenih radova bio konkurs sa najviše učesnika na svetu iste godine - za prvonagrađeno, izabrano je rešenje autora arhitekta Wolfganga Tschappelera – biro TWA iz Beča.

Nosilac projekta je projektni biro TWA iz Beča, a lokalni nosilac posla na projektima svih drugih struka je BWK Engineers iz Beograda, koji je kao podizvođača za projekat konstrukcije izabrao DNEC d.o.o iz Beograda. Projekat fundiranja je radila firma Fundament MB iz Beograda.

2 OPIS OBJEKTA

Objekat CPN-a sastoji se iz tri glavna dela (Slika 1):

- Nadzemna konstrukcija, koja sadrži glavni izložbeni prostor zamišljena je kao izdignuta čelična konstrukcija („lebdeća kutija“ – „floating box“), koja se nalazi na 16-20m iznad terena, oslonjena na četiri grupe od po tri nagnuta čelična stuba – četiri 'tripoda' ili tronošca.
- 'Vertikalne komunikacije', koje čine stepeništa, liftovi, eskalatori koji povezuju podzemni i nadzemni deo konstrukcije –.
- Podzemna konstrukcija, armirano-betonska konstrukcija ('podzemna kutija'), dimenzija u osnovi 150x100m, sadrži izložbene prostore, servise, parking, peron za autobuse...



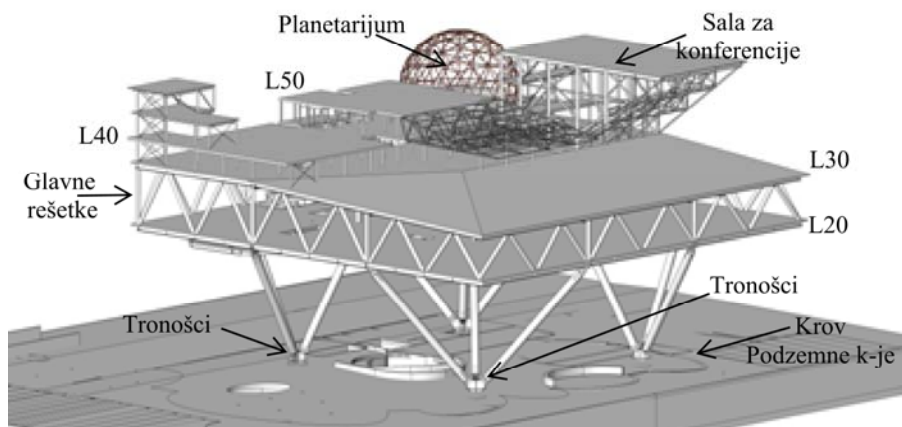
Slika 1 - Izgled konstrukcije CPN-a

Na nadzemnoj konstrukciji nalazi se nekoliko manjih dodatnih konstrukcija, kao što su: pravougaona „Konferencijska sala“, sferični „Planetarijum“, restoran i kancelarijski prostor, a o nju su okačeni: ulazni hol i lokalna infrastruktura, poput stepenica, liftova i eskalatora. Nadzemna konstrukcija CPN-a, se preko tronožaca oslanja na četiri masivna betonska stuba – pijedestala, koji prodiru kroz podzemnu kutijastu konstrukciju, i konačno se oslanjaju na četiri baterije bušenih šipova.

2.1 NADZEMNA KONSTRUKCIJA

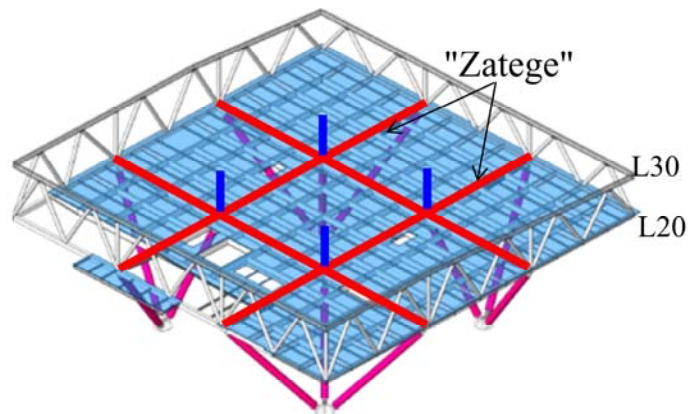
Konstrukcija izložbenog prostora je kutijastog oblika, dimenzija u osnovi 70x70m i visine 8-10m. Vertikalni obodni zidovi kutije su formirani od rešetkastih nosača pune spratne visine. Pod (L20) i krov (L30) konstrukcije izložbenog prostora je formiran kao roštiljni sistem od čeličnih nosača.

Dva od ukupno tri kosa stuba svakog tronošca podupiru obodne rešetke kutijaste konstrukcije, dok treći kosi stub iz svake grupe pridrži ploču L20 u trećinama raspona i vertikalnim stubom u nastavku pridrži gornju ploču konstrukcije L30. Na nivou kote tla četiri oslonca tronošca su horizontalno povezana AB pločom koja je ujedno i krovna ploča podzemnog dela konstrukcije, a vertikalno oslonjeni na masivne AB stubove fundirane na grupama bušenih šipova.



Slika 2 – 3D prikaz Nadzemne konstrukcije

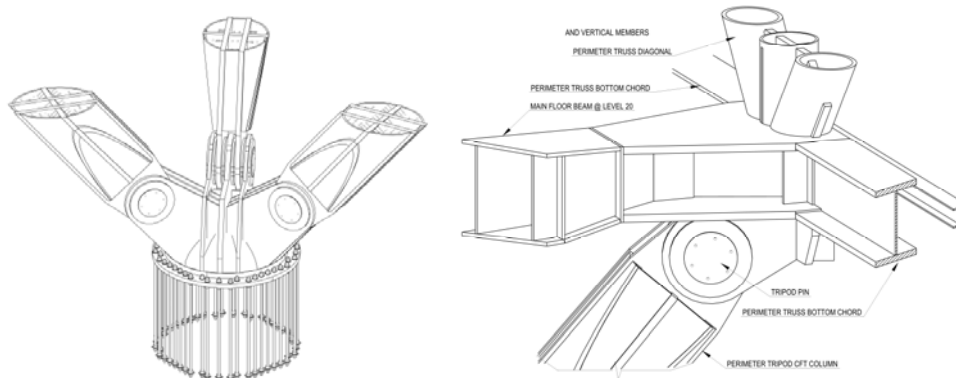
Nivo L20 predstavlja glavni izložbeni nivo i projektovan je kao otvoreni prostor (Slika 3). Na južnoj strani je „otvoren“ da bi se dobio pogled na ulazni hol na nivou L10. Konstrukcija nivoa L20 služi kao oslonac za tačke vešanja stepenica i spratova ispod nivoa L20.



Slika 3 - Nivo L20 _ Prikaz „Zatega“

Roštiljni sistem glavnih greda na ortogonalnom rastojanju od 23.2m označenih kao “zatege”, služi kao glavni sistem za primanje gravitacionih opterećenja, kao i horizontalnih sila iz kosih stubova tronožaca. Zatege su promenljive visine 1600-800mm. Ploča na nivou L30 je roštiljni sistem ponovljen sa nivoa L20, i služi da primi gravitaciono opterećenje. Glavne grede imaju promenljivu visinu, od 800 do 2240mm. Ploče iznad nivoa 30 su projektovane kao 300 mm debele ploče livene na licu mesta

Tronošci, kao glavni stubovi konstrukcije, predstavljaju glavne oslonce izdignute konstrukcije. Projektovani su kao spregnuti stubovi prečnika 1200mm sa zglobnim vezama sa trnom prečnika 500mm na bazama i vrhovima stubova (Slika 4). Dužina unutrašnjih stubova je 22.4m, a spoljašnjih je 27.0m.

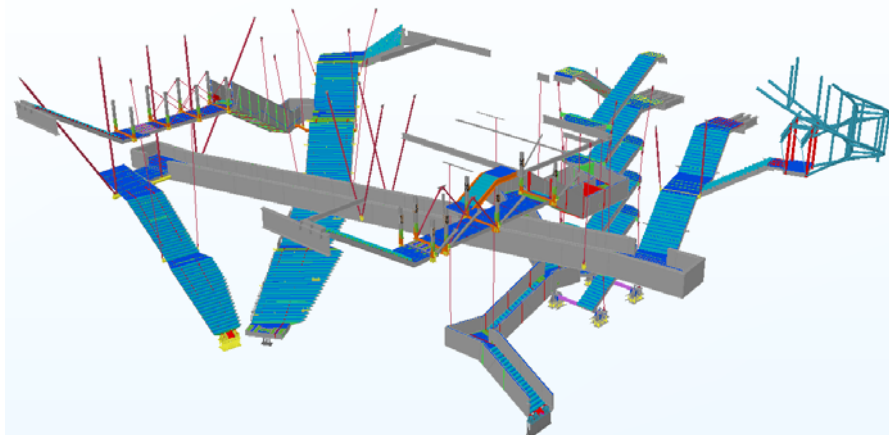


Slika 4 - Donja i gornja veza stuba tronošca

Paralelno sa detaljnim analizama u glavnom projektu formiran je i model u programu Tekla sa svim detaljima, koji služi za dobijanje kompletne radioničke dokumentacije.

2.2 KONSTRUKCIJA SREDNJEG DELA – VERTIKALNE KOMUNIKACIJE

Vertikalne komunikacije obezbeđene su pomoću stepeništa, dva lifta (teretni i putnički) i eskalatora. Stepeništa središnjeg dela su na gornjem kraju oslonjena na konstrukciju glavne zgrade, dok su na donjem kraju oslonjene na ploču prizemlja. U međurasponu stepeništa su pomoću vešaljki ovesane o podne grede glavne konstrukcije. Vešaljke su povezane sa konstrukcijom stepenica preko poprečnih čeličnih greda. Za konstrukciju stepeništa središnjeg dela je usvojen zavareni nosač složenog višecelijskog preseka.

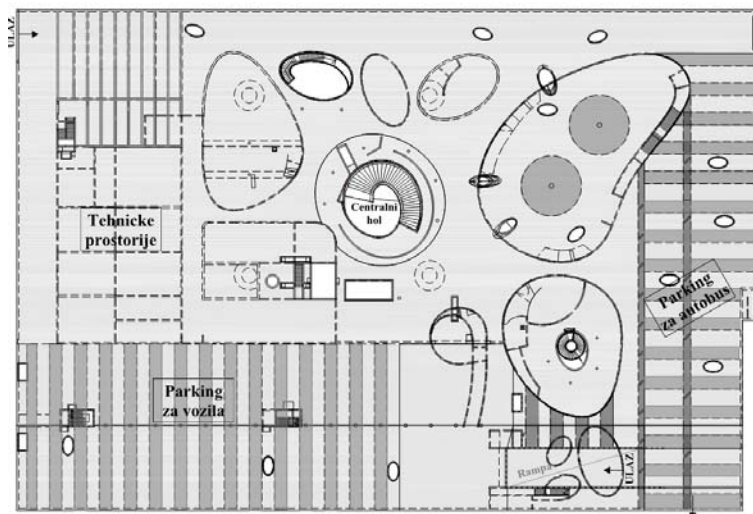


Slika 5 - 3D prikaz stepeništa srednjeg dela

2.3 PODZEMNA KONSTRUKCIJA

Podzemna konstrukcija je kutijastog oblika, oko 150x100m u osnovi, čiste visine oko 6m. Konstrukcija je projektovana kao integralna, bez stalnih dilatacija. Elementi konstrukcije su: temeljna ploča na koti -6.65; među ploča parkinga na koti -3.58; ploča na koti terena \approx -0.60, unutrašnji zidovi, stubovi i obodni potporni zidovi, kao i rampe za komunikaciju.

Funkcionalno, objekat je podeljen na dve glavne zone: Zona garaža i saobraćajnica za autobuse i vozila po obodu i centralna zona koja je pretvorena u izložbeni prostor. Gornja ploča na koti tla je pretežno debljine 400mm i prekrivena je slojem od oko 0.6m zemlje (kota 77.50/0.00). Da bi se obezbedio potreban broj parking mesta usvojen je koncept garaže povećanog raspona od 16.5m. Saobraćajni zahtevi u zoni ulaza i parkinga za autobuse rezultirali su tavanicom velikih raspona od 17.3 i 15m. Sve konstrukcije tavanice povećanih raspona projektovane su kao AB orebrene tavanice.



Slika 6 - Dispozicija Podzemne konstrukcije

Na ulazu i izlazu iz garaže za konstrukciju podzemlja vezane su konstrukcije tunela i rampi. Sa druge strane centralni ulaz za pešake omogućavaju spiralne stepenice širine 5m i raspona 20m, koje se oslanjaju na temeljnu ploču i krovnu ploču podzemlja. Pored njih komunikaciju omogućavaju još dva lifta, eskalator, kao i šest manjih stepeništa.

Pored uobičajenih zidova izdvajaju se jajoliki zidovi koji okružuju ulazni hol. Svi zidovi su debljine 250mm i 400mm.

2.4 FUNDIRANJE OBJEKTA

Podzemna konstrukcija je fundirana direktno na tlu uz poboljšanje terena na dubini od oko 0,5m. Koncentrisano opterećenje od nadzemne konstrukcije ima tendenciju da izazove nejednaka sleganja pa zahteva formiranje četiri baterije šipova da bi se ublažili ovi efekti. Ispod svakog od glavnih masivnih stubova na koje se oslanja nadzemna konstrukcija usvojena je grupa od po 24 bušena šipa prečnika 1200mm. Šipovi su dužine 19-23m, i zalaze u šljunkovit pesak.

Za koncept konstrukcije usvojena je integralna konstrukcija bez permanentnih dilatacija, osim privremenih prekida betoniranja u fazi izgradnje, što bitno pojeftinjuje cenu konstrukcije.

3 ANALIZA KONSTRUKCIJE

Idejno rešenje konstrukcije izradio je austrijski biro Werkraum, još u fazi konkursa, a zatim je faze projekta počev od revidovanog idejnog rešenja, pa sve do glavnog projekta uradila firma DNEC

Za konstrukciju objekta CFPOS karakteristično je da je nadzemna konstrukcija malo osetljiva na sleganje svojih oslonaca, da krutost spoljašnjih stepeništa malo utiče na globalno ponašanje konstrukcije i da je interakcija tla i konstrukcije eventualno značajna za naprezanje

samo donje, podzemne konstrukcije. Shodno tome, analiza konstrukcija izvršena je na tri nezavisna FE modela: nadzemna konstrukcija zglobno oslonjena na nivou terena, opterećena reakcijama stepeništa; stepeništa obešena o gornju konstrukciju i oslonjena na podzemnu; i podzemna konstrukcija opterećena reakcijama gornje konstrukcije i stepenica srednjeg dela.

3.1 NADZEMNA KONSTRUKCIJA

Globalni odgovor nadzemne konstrukcije je analiziran u prostornom modelu koji je urađen u programu Sap2000. Kao posledica nejednakog gravitacionog opterećenja konstrukcija ima globalnu tendenciju da se pomera ka jugozapadu, i da blago rotira suprotno od kretanja kazaljke na satu. Izvršena je detaljna analiza deformacija – ugiba. Relativni ugib usled korisnog opterećenja je u granicama dozvoljenog $L/500$. Iako je ukupan ugib za kvazi stalnu kombinaciju opterećenja unutar granice od $L/250$, neophodno je kontrolisati ukupan ugib sa nadvišenjem.

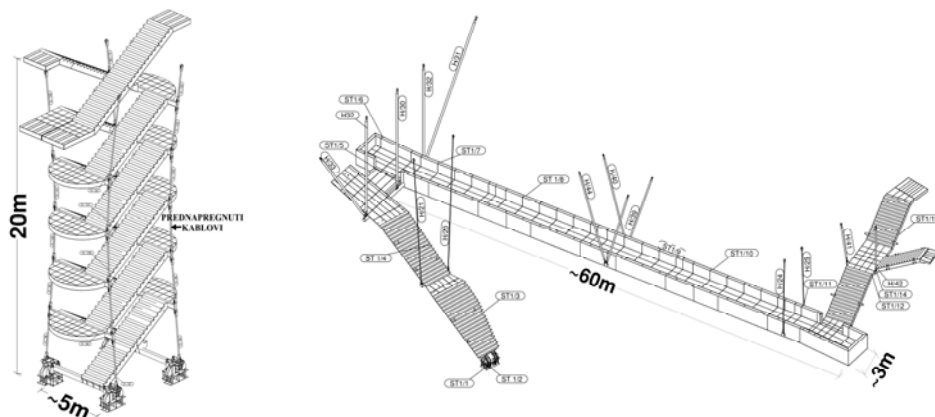
Prema podacima dobijenim od RHMZ-a, maksimalna osrednjena desetominutna brzina vetra, u skladu sa Evrokodom, na visini od 10m, za povratni period od 50 godina je $V_{m,50,10}=17.2\text{m/s}$. Prema internim preporukama komisije za uvođenje Evrokodova u domaću praksu, za projektnu brzinu vetra usvojeno je 20m/s . Projektom je predviđeno da se pre izvođenja konstrukcije uradi ispitivanje vetra u tunelu.

Seizmičko opterećenje je dominantno horizontalno opterećenje, i ono daje znatno veće globalne uticaje od vetra. Već sa prva tri tona dostiže se više od 90% angažovane modalne mase, što pokazuje da se sistem dominantno ponaša kao sistem sa jednom masom. ($T_1=1.72\text{s}$ - translacija X pravac, $T_2=1.65\text{s}$ - translacija Y pravac, $T_3=0.88\text{s}$ - torzija). Maksimalna pomeranja usled seizmičkog opterećenja prema Evrokod 8 su okvirno 105mm, što preneseno na otklon konstrukcije daje okvirno $105 / 40000 \approx 1/380$. Usvojen je faktor ponašanja $q=1.5$ (EC8), što odgovara elastičnom ponašanju konstrukcije.

Analiza efekata vibracija urađena je u skladu sa propisima EN 1990 i ISO 10137. Studija je urađena za unutrašnjost nivoa L20, sa sopstvenim frekvencama 2-3.5Hz. Odgovor konstrukcije je proračunat na kontinualnu aktivnost hodanja jedne osobe i analiza je pokazala da su vibracije ploče u dozvoljenim granicama, a da je faktor odgovora manji od 4.

3.2 KONSTRUKCIJA SREDNJEG DELA – VERTIKALNE KOMUNIKACIJE

Konstrukcija vertikalnih komunikacija je analizirana na: gravitaciono opterećenje, opterećenje vetrom, seizmiku i vibracije. Merodavno opterećenje za ovakve konstrukcije je vetar. Na sva stepeništa ispod nivoa zgrade apliciran je pritisak vetra od 4kN/m^2 . U nedostatku rezultata iz tunelskog testa za vetar ova vrednost je usvojena kako bi se uzeli u obzir efekti povećanja intenziteta brzine vetra ispod zgrade. Pokazano je da su neka od stepeništa, kao i konstrukcija lifta osetljiva na vibracije usred vetra. Za očekivati je da servisna horizontalna ubrzanja budu iznad limita 1 do 2 puta godišnje. Dalja analiza je moguća nakon detaljnog ispitivanja konstrukcije u tunelu za vetar. Finalne efekte indukovanih oscilacija usled vetra i ljudi, kao i zaključke o potrebnim dodatnim merama (npr. damperima) glavni Izvođač treba da potvrdi merenjem.

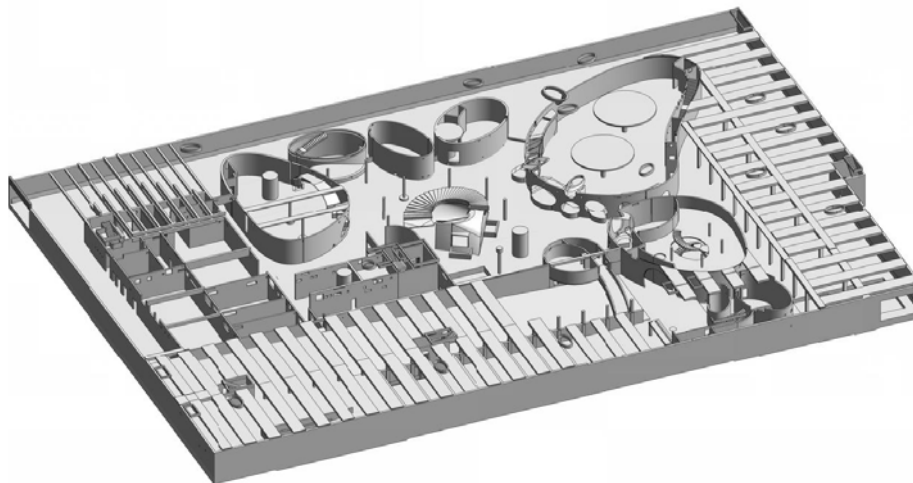


Slika 7 - 3D Prikaz stepeništa

3.3 PODZEMNA KONSTRUKCIJA

Podzemna konstrukcija je analizirana na: gravitaciono opterećenje, sva opterećenja koja dolaze od Nadzemne konstrukcije (vetar, seizmika...), kran za unošenje eksponata u glavni izložbeni prostor, uzgon i incidentno opterećenje.

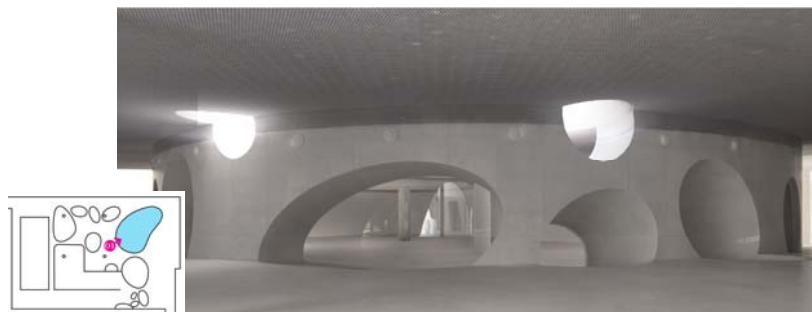
Imajući u vidu da je krutost na savijanje kutije mala (odnos visine i dužine je $\approx 1:20$), ona se ne ponaša kao kruti temelj, već se najveći deo opterećenja sa gornje konstrukcije prenosi direktno kroz 4 oslonačke tačke, pa su na ovim mestima usvojene baterije šipova kako bi se smanjila kako ukupna, tako i diferencijalna sleganja i samim tim naprezanja ploča i zidova podzemne konstrukcije.



Slika 8 - 3D Prikaz Podzemne konstrukcije

Sa druge strane krutost podzemne konstrukcije za prenos horizontalnih opterećenja sa gornje konstrukcije je značajna i u ovom slučaju se ona ponaša kao kruta kutija. Tako se horizontalne reakcije nadzemne konstrukcije od vetra i seizmike prenose preko ploče 000 na obodne zidove. Ploča 000, vrši i ulogu kolektora, – razupirača, budući da prima i uravnotežuje horizontalne reakcije nadzemne konstrukcije preko oslonaca četiri tronošca.

Od vertikalnih elemenata u podzemnoj konstrukciji posebno se izdvajaju jajoliki zidovi. Njihova bitna karakteristika jesu otvori, koji sa unutrašnjim, zidanim zidovima formiraju efekat pećina, tunela (Slika 9). Pored standardne analize prenosa vertikalnog opterećenja kroz zidove do temelja, akcenat je stavljen na uticaj prostornih deformacije konstrukcije. Deformacije temeljne ploče u zoni baterija šipova – temelja gornje konstrukcije deformišu i zidove podzemlja, izazivajući velika smicanja u njima. Da bi se ovaj efekat smanjio, napravljene su vertikalne dilatacije u zidovima, u zonama u kojima sedaju na naglavne ploče. S obzirom da jajoliki zidovi okružuju prostor koji je izložbeni, a završni sloj zidova je „natur beton“ posebna pažnja je posvećena kontroli prslina i umesto uobičajenih 0.3mm usvojen je kriterijum od 0.15mm.

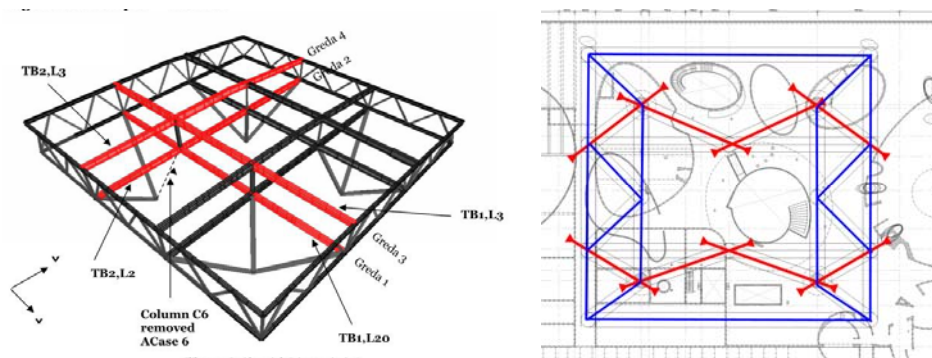


Slika 9 - Izgled jajolikih zidova Podzemlja

Usvojeni projektni nivo podzemne vode je 74,00mm. Tokom istražnih radova zabeleženi nivo podzemne vode se kretao između 69,00mm i 71,00mm. Zbog postojanja velikih raspona u zonama parking prostora, posebno na istočnoj strani, pri projektnom nivou podzemne vode dolazi do odizanja dela podzemne konstrukcije. Iz tog razloga za dejstvo podzemnih voda usvojeno je da sopstvena težina konstrukcije drži vodu do nivoa 73.00mm, a pri pojavi vode iznad ovog nivoa dolazi do aktiviranja bunara koji su predvođeni projektom. Bunari će biti aktivni sve dok voda ne počne da opada prirodnim putem.

4. SPECIJALNE ANALIZE

Da bi se sagledala kompletna slika potencijalnih opasnosti po ceo objekat analizirana su dva tipa incidentnih dejstava: 1. *Identifikovana incidentna dejstava* kao što su: a. Udarno dejstvo (udar vozila, viljuškara u stub i slično), b. Eksplozije u zatvorenom (eksplozija gasa u kuhinji, laboratoriji...); 2. *Neidentifikovana incidentna dejstva*, dejstva usled lokalnih otkaza konstrukcije obično prouzrokovanih eksplozivnom napravom. U slučaju neidentifikovanih incidentnih dejstava, nivo rizika je u Evrokodu definisan Klasama (Consequences Classes). U slučaju CPN objekta, klasa je procenjena kao 2b. Za nadzemni deo objekta koncept nesrazmernog kolapsa konstrukcije je analiziran za slučaj gubitka bilo kog kosog stuba Tronožaca. Za gravitaciono opterećenje reakcije su balansirane kroz mehanizam unutrašnjih zatega u ploči na koti tla ili kombinacijom pritisnutih i zategnutih dijagonala unutar ploče. Najracionalnije rešenje bi bilo povezati oslonce Tronožaca pravim zategnutim ili pritisnutim štapovima ali postojanje velikih otvora o ploči u zonama između oslonaca Tronožaca uslovljava formiranje trajektorija pritisnutih i zategnutih štapova oko otvora. Principijelno, svi štapovi u ploči su usvojeni širine 3m. Za slučaj gravitacionog opterećenja je potreban procenat zategnute armature oko 1.0%. Za incidentne slučajeve opterećenja pri gubitku stuba Tronošca ovaj procenat naraste, pa se na određenim pravicima umesto obične armature predviđaju DYWIDAG zatege.



Slika 10 - Gubitak jednog stuba tronošca i sistem zatega u ploči krova Podzemlja

Pored dokaza da konstrukcija ima kapacitet da primi opterećenje u slučaju otkaza jednog od glavnih nosećih elemenata, predviđen je i niz drugih mera prevencije od terorističkoj napada. Između ostalog glavni stubovi podzemne konstrukcije su zaštićeni zakrivljenim zidovima od direktne izloženosti parking prostoru i potencijalne opasnosti od dovoženja veće količine eksploziva. Ovi zidovi su kontrolisani na pritisak od eksplozije kao impulsno opterećenje. Krov podzemne konstrukcije sadrži otvore koji predstavljaju odušak pri potencijalnoj eksploziji, a uz to omogućavaju da podzemna konstrukcija ima prirodno svetlo. Predviđeni su kontrolni punktovi na ulasku na parcelu, kao i skrivene barijere u okviru zelenih površina koje služe da spreče kretanje vozila van obeleženih ruta kao i pokušaj direktnog udara u konstrukciju.