

Društvo građevinskih konstruktora Srbije - 16. KONGRES

28-30.09.2022.
ARANĐELOVAC



ZBORNİK RADOVA SA NACIONALNOG KONGRESA

U SARADNJI SA



Република Србија
Министарство
просвете, науке и
технолошког развоја



Инжњерска
комора
Србије

POKROVITELJ

PLATINASTI SPONZORI



PUT INŽENJERING

STRABAG
TEAMS WORK.

ŠIRBEGOVIĆ
INŽENJERING
d.o.o. in inženjering, projektovanje i izvođenje građevinskih radova



ZLATNI SPONZORI



DELTA
REAL ESTATE



MORAVACEM
A CRH COMPANY

MOSTOGRADNJA
TINIG



ProClub



Branko Milosavljević¹, Jelena Dobrić²

PROJEKAT SILOSA GIPSA U POSTROJENJU ZA ODSUMPORAVANJE DIMNIH GASOVA U TERMOMELEKTRANI NIKOLA TESLA A

Rezime:

Postrojenje odsumporavanja dimnih gasova u Termoelektrani Nikola Tesla A (TENT A) u Srbiji, predstavlja jedan od najznačajnijih projekata u domenu zaštite životne sredine na Balkanu, namenjen stabilizaciji koncentracije gasova sa efektom staklene bašte i prevenciji negativnih antropogenih uticaja na klimatski sistem. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu učestvovao je u izradi projektne dokumentacije ključnih objekata postrojenja odsumporavanja u TENT A. U ovom radu prikazano je projektno rešenje i opisane konstrukcijske specifičnosti noseće hibridne konstrukcije Silosa gipsa namenjen dopremi i skladištenju krečnjaka.

Ključne reči: silos, armirano-betonska i čelična konstrukcija, postrojenje za odsumporavanje

THE GYPSUM SILOS FOR FLUE GAS DESULPHURIZATION IN THERMAL POWER PLANT NIKOLA TESLA A

Summary:

The flue gas desulfurization plant at the Nikola Tesla A Thermal Power Plant (TENT A) in Serbia is one of the most expensive projects in the field of environmental protection in the Balkan, intended to stabilize the concentration of greenhouse gases and prevent negative anthropogenic impacts on the climate system. The Faculty of Civil Engineering, the University of Belgrade participated in the development of project documentation for the key facilities of the desulphurization plant in TENT A. This paper presents the design solution and describes the design features of the load-bearing hybrid structure Gypsum silo intended for the delivery and storage of limestone.

Key words: silo, reinforced-concrete and steel structure, desulfurization plant

¹ V. prof, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, brankom@imk.grf.bg.ac.rs

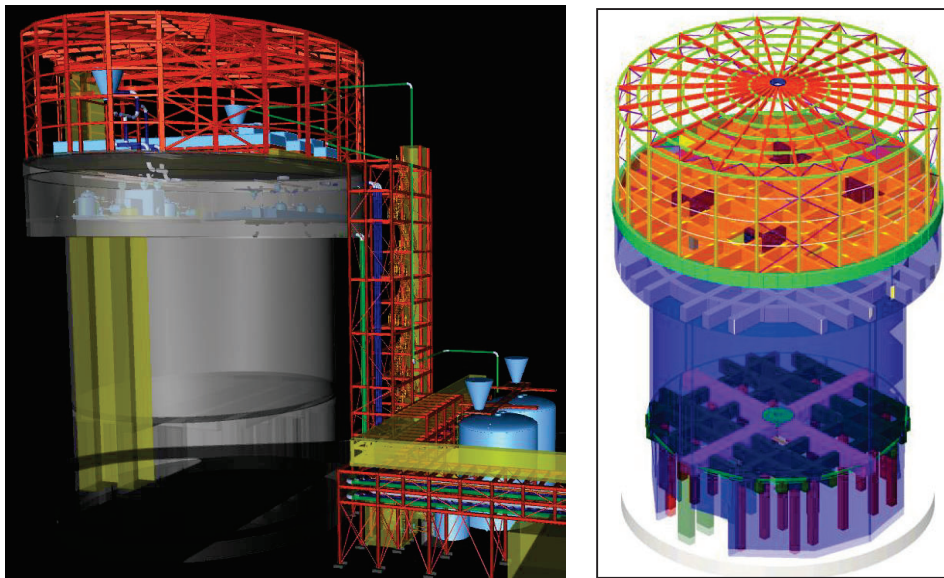
² V. prof, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija, jelena@imk.grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Okvirna konvencija Ujedinjenih nacija o promeni klime ima za cilj stabilizaciju koncentracija štetnih gasova sa efektom staklene bašte – GHG i prevenciju negativnih antropogenih uticaja na klimatski sistem. Republika Srbija je ratifikovala Konvenciju 2001. godine, a od 2008. godine je članica Kjoto protokola u statusu zemlje u razvoju i u obavezi je da redovno podnosi izveštaje koji uključuju procenu osetljivosti društvenih i privrednih subjekata na izmenjene klimatske uslove, proračune emisija GHG, scenarije ublažavanja klimatskih promena, kao i da uključi problem klimatskih promena u sektorske i nacionalne strategije razvoja zemlje [1].

Izgradnja postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova na četiri bloka Termoelektrane Nikola Tesla A (TENT A) i oba bloka TENT B Elektroprivrede Srbije, predstavlja jednu od najznačajnijih investicija u domenu zaštite životne sredine na Balkanu. Generalni izvođač radova na postrojenju je konzorcijum koga čine japanska kompanija *Mitsubishi Hitachi Power Systems* i srpska kompanija *Jedinstvo Užice*. Predviđena tehnologija uključuje odsumporavanje dimnih gasova vlažnim postupkom, uz korišćenje krečnjaka kao reagensa. Nus-proizvod tehnološkog procesa je gips koji se može koristiti u građevinarstvu, a pomešan sa pepelom i za izgradnju infrastrukturnih saobraćajnica. Postrojenje omogućava smanjene emisije GHG sa oko 74.000 tona na 7.800 tona godišnje.

Postrojenje odsumporavanja dimnih gasova TENT A čine dve fizički odvojene i tehnološki nezavisne celine: sistem za preradu krečnjaka i sistem absorbera, predviđene da se izvode u dve faze. Objekti prve faze su u funkciji dopreme, skladištenja i pripreme (mlevenja) krečnjaka neophodnog za proces odsumporavanja. Objekti druge faze direktno su namenjeni procesu odsumporavanja – absorberi, zatim funkciji transporta dimnih gasova, krečnjaka i gipsa, i svih neophodnih tehnoloških instalacija. Obe faze postrojenja čine i objekti namenjeni skladištenju hidromešavine gipsa koja nije predviđena za plasiranje na tržište.



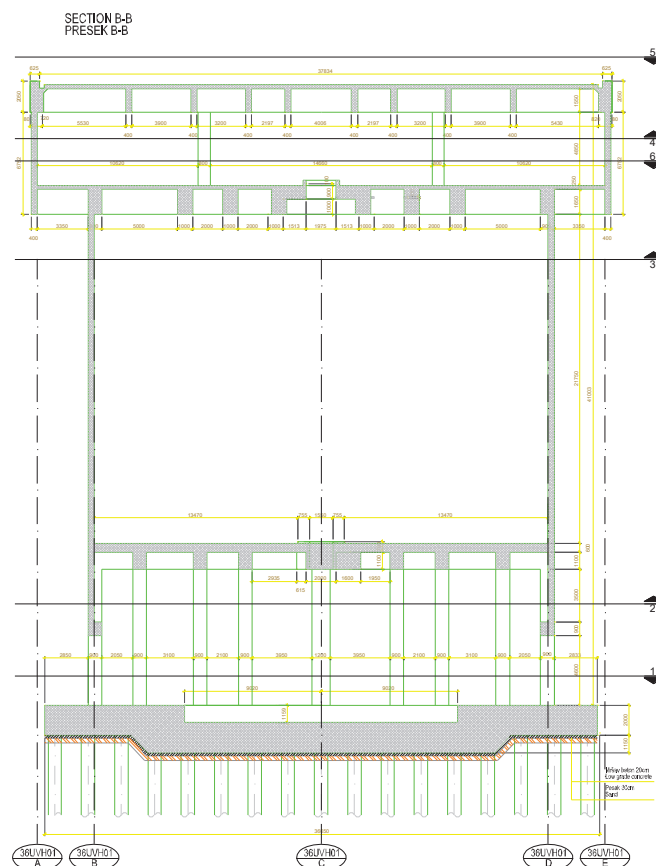
Slika 1 – Silos gipsa C30

Kao deo projektantskog konzorcijuma, Institut za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu izradio je Idejne projekte i Projekte za građevinsku dozvolu ključnih objekata postrojenja: Zgrada mlevenja, Silos gipsa (Faza 1), Apsorberi i Zgrade recirkulacionih pumpi (Faza 2). U ovom radu prikazane su konstrukcijske specifičnosti noseće konstrukcije Silosa gipsa C30, koji je projektovan u hibridnom sistemu: oslonačka i centralna zona konstrukcije je od armiranog betona, dok je konstrukcija vrha silosa od čelika, slika 1.

2. ARMIRANO-BETONSKA NOSEĆA KONSTRUKCIJA

Konstrukcija silosa je najvećim delom armirano-betonska (u daljem tekstu AB). Konstrukciju vrha silosa, iznad kote +40,05 m čini prostorna čelična cilindrična konstrukcija koja se na obodni zid AB konstrukcije oslanjanja na koti +40,302 m. Neposredno uz objekat silosa projektovan je čelični rešetkasti toranj u kome je smešteno stepenište, lift i cevovod.

AB konstrukcija silosa je cilindrična. Spoljni prečnik cilindra u donjem delu, od kote fundiranja do visine od 33.40 m, iznosi 30.80 m, iznad kote od 33.40 m spoljnji prečnik je 38.30 m (slika 2).



Slika 2 – Vertikalni presek kroz noseću AB konstrukciju silosa gipsa

AB spratna konstrukcija na koti +9.75 m prihvata opterećenje od uskladištenog gipsa i tehnološke opreme. Konstrukciju čine AB grede dimenzija 90/170 i 200/170 cm postavljene u dva ortogonalna pravca, i AB ploča debljine 60 cm. Grede se oslanjaju na unutrašnje stubove dimenzija 90/90 i 200/90 cm u rasteru od 4.0 m do 5.8 m, kao i na cilindrični zid po obodu, debljine 40 cm. Na dve suprotne strane, u nivou terena su predviđena 2x2 otvora za vrata, za saobraćaj kamiona. Dimenzije otvora su 5.2 x 4.5 m, sa ojačanjima zida na ivicama u debljini od 90 cm. AB spratna konstrukcija na koti +33.40 m je roštilj AB greda dimenzija 100/120 cm sa AB pločom debljine 25cm, na razmacima od 3.0 do 7.0 m (slika 3). Grede se oslanjaju na spoljni cilindrični zid prečnika 30.8 m, i imaju prepuste do prečnika 38.3 m. Konstrukcija na koti +40.05 m je takođe roštilj greda dimenzija 40/180 cm sa AB pločom debljine 25 cm (slika 4). Grede se oslanjaju po obodu na spoljni cilindrični zid prečnika 38.3 m i četiri unutrašnja stuba, dimenzija 80/80 cm. Stubovi i obodni zid se, sa kote +40.05 pružaju na dole do konstrukcije na koti +33.40m, gde ih prihvata roštilj greda međuspratne tavanice kao opterećenje.

Opterećenja od uskladištenog gipsa i opreme su u skladu sa tehnološkim specifikacijama koje su dostavljene i odobrene od strane investitora. Za elemente opreme, prema tehnološkom projektu je definisan položaj i gabarit postamenata preko kojih se pojedini delovi opreme oslanjaju na konstrukciju, i odgovarajuća sopstvena težina. Oprema je tretirana kao povremeno opterećenje.

Razmatran je uticaj temperature preko promene temperature u osi elemenata i razlike u temperaturi u elementima AB konstrukcije koji obuhvataju uskladišteni gips. Maksimalna unutrašnja temperatura, definisana kao ulazni podatak za proračun, je 30°C. Minimalna unutrašnja temperatura je usvojena u iznosu od 0°C. Ekstremne sezonske spoljne temperature su usvojene prema usvojenim parametrima za proračun. Pri termičkom proračunu spoljnih elemenata konstrukcije je usvojeno da nema termičke izolacije i obloga. Na osnovu priloženog proračuna prema SRPS EN 1991-5 je usvojena temperaturna promena od ± 20 °C i temperaturna razlika od 30°C.

Opterećenje od dejstva seizmičkih sila je sprovedeno za osnovno ubrzanja tla od 0,06g i lokalnu spektralnu krivu, u skladu sa parametrima datim u Geomehaničkom elaboratu. Opterećenje je definisano preko *Site related spectrum* krive, koja inkorporira odgovor konstrukcije za zadato tlo na lokaciji pri odgovarajućim zapisima karakterističnih zemljotresa iz okruženja. Ova kriva se u TOWER-u zadaje za osnovnu stenu (tlo tipa A) i Parametrima S, Ta, Tb i Tc. Opterećenje od opreme i gipsa u silosu je u proračun masa i seizmičkih uticaja uzeto sa koeficijentom $\psi_2=0.8$. S obzirom na konstrukciju silosa, koncentraciju i položaj najveće mase (uskladišteni gips), usvojen je za proračun faktor ponašanja $q=1.5$, a faktor značaja objekta 1.2, sve u skladu sa SRPS EN 1998. U cilju modeliranja konstrukcije u jedinstvenom prostornom modelu, opterećenje od silosa je postavljeno na dno (kota +9.75). Za globalno dejstvo seizmike se na taj način zanemaruje da je težište mase gipsa na većoj visini. Prethodnom parametarskom analizom, na modelima gde je, preko fiktivnih elemenata konstrukcije, masa gipsa postavljena na sredini visine tela gipsa, ustanovljeno je da se na taj način dobijaju ukupni proračunski uticaji u uklještenju i šipovima koji su zanemarljivo veći, i da razlika ne prelazi 5%. Lokalno dejstvo dinamičkog opterećenja pri dejstvu seizmike je, u okviru modela razmotreno uvođenjem dodatne horizontalne komponente nesimetričnog opterećenja upravno na zid, u skladu sa SRPS EN 1998-4. Pokazano je da ovaj slučaj nije merodavan, i da je usvojena armatura u zidu dovoljna.

S obzirom na velike raspone konstrukcije na koti +33.40 m i +40.05 m razmatran je i vertikalni pravac zemljotresa, a proračun je sproveden za kombinacije sa za uticaje u dominantnom x, y i z pravcu, koji se sabiraju sa 30% uticaja iz druga dva pravca.

Konstrukcija silosa je preko temeljne ploče debljine 200 cm, prečnika 36.96 m, fundirana na AB bušenim šipovima prečnika 880 mm. Na temeljnoj ploči su predviđena dva pravougaona udubljenja, dimenzija 3.04 x 18.4 m, dubine 1.15m, kao i dva drenažna kanala, širine 0.4 m, dužine 18.4 m i dubine 0.3 m. Pored svakog kanala se nalazi drenažni šaht prečnika 1.0 m, dubine 0.8 m. Šipovi su dužine 20 i 12.5 m, i završavaju na apsolutnoj koti +53.3 m.

Nosivosti bušenih šipova, kao i vertikalna (prema *Poulusu*) i horizontalna krutost (prema *Vesiću*) su određene prema rezultatima CPT opita, preko dijagrama C_{kd} po dubini. Korišćena je metoda *Bustamante&Gianeselli*, sa proračunskim linearizovanim dijagramom zavisnosti $C_{kd}-f_s$, uz ograničenje $f_s \leq 80$ kPa za krupnozrna tla i ograničenje $f_s \leq 35$ kPa za sitnozrna tla. Granična sila u šipu, proračunata prema SPT opitu prema Geotehničkom elaboratu, iznosi 4202 kN, što je potvrđeno Testom statičkog opterećenja šipa i rezultovalo dovoljnom graničnom silom u ispitanom šipu od od 4460 kN.

Proračunska nosivost šipa je određena na osnovu SRPS EN 1997, za proračunsku situaciju DA2, gde je proračunska maksimalna sila u šipu proračunata za anvelopu seizmičkog opterećenja i ostalih ULS kombinacija opterećenja. S obzirom na usvojeni faktor ponašanja $q=1.5$ pri proračunu na dejstvo seizmičkih sila, koji odgovara niskoj duktilnosti, nije bilo potrebno uvoditi faktor rezerve nosivosti za temeljnu konstrukciju za seizmičku kombinaciju opterećenja.

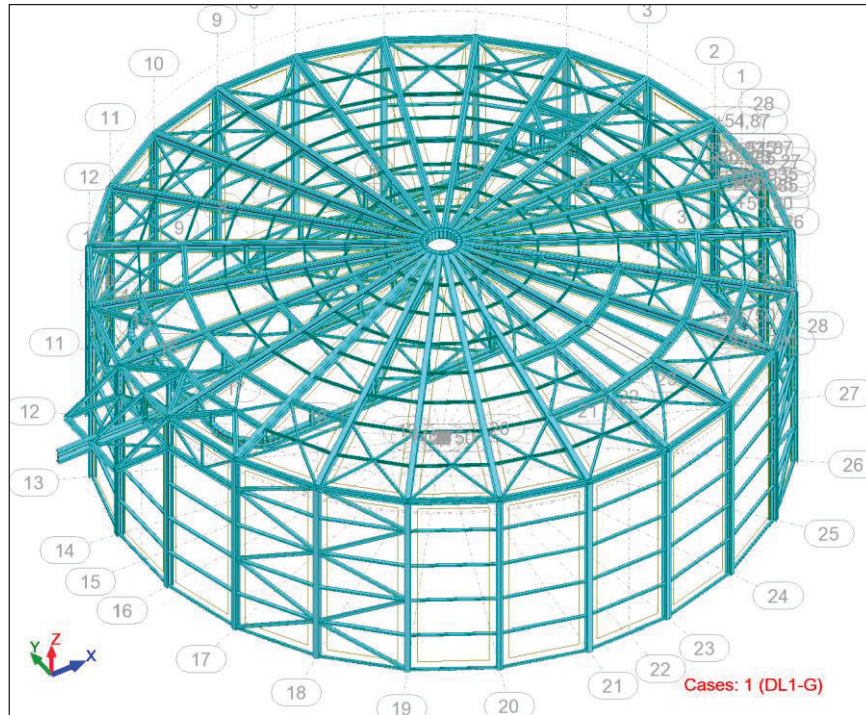
Elementi konstrukcija je dimenzionisani prema SRPS EN 1992 i 1998, za beton klase C40/50 i armaturu B500B, osim za šipove, gde je primenjen beton klase C30/37. Pri dimenzionisanju su usvojeni zaštitni slojevi za nadzemne elemente konstrukcije kao za klasu XC4, \geq C40/50 u iznosu $C_{nom}=25+10=35$ mm. Za temeljnu konstrukciju je usvojena klasa XC2, \geq C30/37 u iznosu $C_{nom}=20+10=30$ mm. Predviđena je izrada konstrukcije betoniranjem u oplati na licu mesta, uz odgovarajuće podupiranje.

3. ČELIČNA NOSEĆA KONSTRUKCIJA

Krovna i fasadna konstrukcija vrha Silosa gipsa je projektovana kao noseća čelična konstrukcija koja se na koti +40,302 m oslanja na prizemnu AB konstrukciju objekta. Krov objekta je viševodni sa nagibom krovnih ravni od 10°. Osnova čelične konstrukcije je oblika jednakostraničnog 24-stranog poligona upisanog u kružnicu prečnika 38,5 m. U skladu sa dispozicionim rešenjem, konstrukciju čine krovni nosači i stubovi koji su međusobno kruto povezani, sa radijalnim pravcima pod uglom od 15° u odnosu na centar kružnice. Krovni nosači (grebenjače) formiraju krovne ravni. Nosači su u centralnom delu krova međusobno povezani pritisnutim unutrašnjim "prstenom", a u vencu, na mestu kontakta krovnih nosača i stubova, zategnutim spoljašnjim "prstenom". Rožnjače i fasadne grede, predviđene na ekvidistantnim rastojanjima po obimnim površinama konstrukcije, zajedno sa unutrašnjim i spoljašnjim prstenom obezbeđuju globalni prostorni integritet svih glavnih elemenata čelične konstrukcije. Spoljašnji poligonalni "prsten" upisan je u kružnicu prečnika 38,5 m, dok je prečnik unutrašnjeg pritisnutog "prstena" 2,0 m. Prostorna, ali i lokalna stabilnost elemenata konstrukcije obezbeđena je vertikalnim i horizontalnim spregovima (slika 5).

U skladu sa tehnološkim podlogama, na noseću krovnu konstrukciju objekta je predviđeno oslanjanje tri monorejl dizalice kapaciteta 8 t. Monorail Gypsum Hoist je nosač konzolnog sistema sa dimenzijom prepusta u odnosu na spoljašnju kružnicu objekta od 5,30 m (van gabarita konstrukcije objekta) i 3,10 m (unutar objekta). Monorail Belt Filter čine dva nosača, linijski

nosač dužine 17.0 m i spiralni nosač pozicioniran u centralnom delu objekta koji zajedno formiraju modularni sistem visećeg kрана.

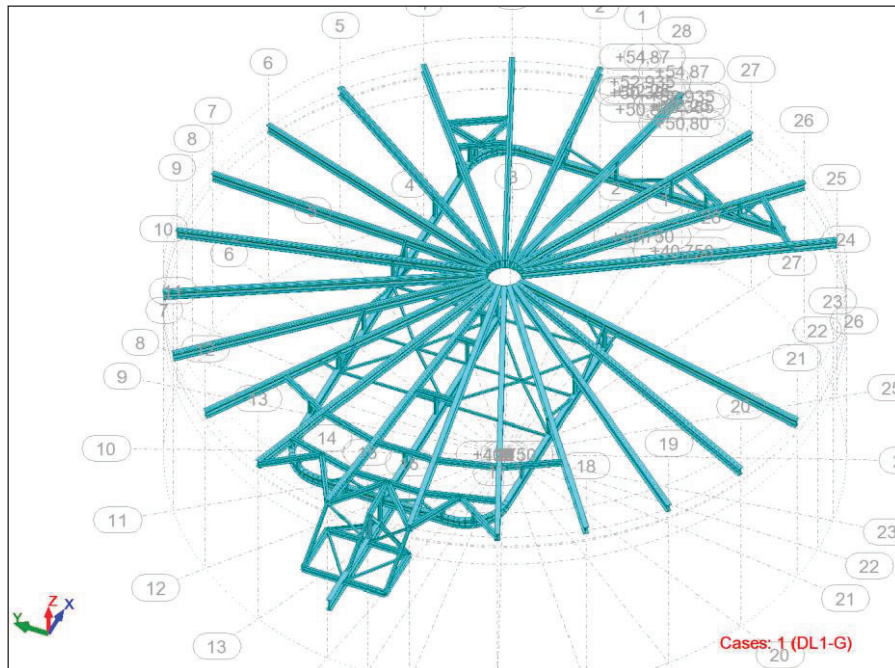


Slika 5 – Proračunski model čelične konstrukcije silosa gipsa

Noseću konstrukciju krova čine: rožnjače, krovni nosači monorejl dizalica i glavni krovni nosači. Rožnjače (IPE profil) su sistema proste grede, upuštene u odnosu na glavne krovne nosače. Sekundarni krovni nosači (HEA profil) su oslonački elementi monorejl nosača. Glavni krovni nosači (HEA profil) su radijalnih pravaca koji međusobno zaklapaju ugao od 15° u osnovi krova. Raspon ovih nosača je 18,050 m, a njihova veza sa glavnim stubovima sa jedne strane i centralnim unutrašnjim prstenom sa druge strane, je momentna (nominalno kruta). U obimnom vencu krova, veza između elemenata poligonalnog spoljašnjeg prstena i krovni nosača je takođe nominalno kruta. Poprečni presek spoljašnjeg prstenastog nosača je HEA profil, dok je poprečni presek unutrašnjeg prstena, zavareni sandučasti presek.

Nosači monorejl dizalica u centralnom delu krova oslanjaju se sistemom vešaljki na glavne i sekundarne krovne nosače. Stabilizacija nosača monorejl dizalica postignuta je horizontalnim i vertikalnim podužnim i poprečnim spregovima. Nosača monorejl dizalica su dodatno bočno stabilizovani kosnicima (slika 6).

Fasadnu konstrukciju čine fasadne grede i glavni stubovi. Glavni stubovi se zglibno oslanjaju na AB noseću konstrukciju. Visina stubova je oko 12,5 m, a obimni raster oko 5 m. Za poprečni presek stubova usvojen je vrućevaljani HEB profil. Fasadne grede su statičkog sistema proste grede, formirane od šupljih hladnooblikovanih pravougaonih profila. U oslonačkoj zoni stubova, na koti +40,55 predviđena je konstrukcija oslonačkog “prstena” kojeg čine fasadne rigle šupljeg, kvadratnog poprečnog preseka.



Slika 6 – Nosači monorejl dizalica sa oslonačkom i stabilizacionom konstrukcijom

Globalna stabilnost objekta postignuta je horizontalnim krovnim i vertikalnim spregovima u obimnom zidu objekta. Krovni spregovi su predviđeni po obimu krovne konstrukcije, u centralnoj zoni krova i zoni otvora u krovu. Vertikalni spregovi prate pozicije centralnih krovnih spregova.

Za osnovni materijal usvojen je opšti konstrukcioni čelik S355J0, prema SRPS EN 10025-2.

Proračun čelične konstrukcije izvršen je na prostornom 3D modelu primenom metode konačnih elemenata u softveru Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018.

LITERATURA

- [1] <https://www.klimatskepromene.rs/>
- [2] B. Milosavljević, J.Dobrić. Projekat za građevinsku dozvolu, Projekat konstrukcije – Silos Gipsa, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, 2019.