

doi: 10.67563/ASESCONF2026058R

Goran Radeka¹, Branko Ilić², Slaviša Antešević², Anđela Gligić², Miodrag Đurđević², Dušan Arsić², Jelena Cvetković²

DESIGN, CONSTRUCTIONS AND TESTING OF A STEEL WATER TOWER AT THE “MINAL” AUTO PARTS FACTORY IN ŠABAC

Summary: Design, construction, and testing of a steel water tower at the “Minal” auto parts factory in Šabac are presented in the paper. The water tower has a capacity of 100 m³ and the height of 23,20 m. It consists of a 19,0 m high spatial truss tower, and a cylindrical tank with a diameter and height of 6,0 and 4,0 m, respectively. The foundation slab is a regular dodecagon, with a 9,0 m distance between two opposite sides. The cylindrical tank structure is formed of mutually welded steel elements which make a grillage, and steel sheets. The specifics that occurred within the project, which led to the need for a special approach in certain situations, are discussed. The adopted solutions are presented and explained.

Keywords: steel water tower, design, construction, testing

PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I ISPITIVANJE ČELIČNOG VODOTORNJA ZA FABRIKU AUTO-DELOVA “MINAL” U ŠAPCU

Rezime: U radu su predstavljeni projektovanje, izgradnja i ispitivanje čeličnog vodotoranja za fabriku auto-delova “Minal” u Šapcu. Vodotoranj ima zapreminu rezervoara od 100 m³ i ukupnu visinu od 23,20 m. Konstrukciju čine prostorni rešetkasti stub visine 19,0 m i cilindrični rezervoar prečnika 6,0 m i visine 4,0 m. Temeljna ploča je izvedena u obliku pravilnog dvanaestougla, sa rastojanjem između dve naspramne stranice od 9,0 m. Konstrukcija cilindričnog rezervoara formirana je od međusobno zavarenih čeličnih elemenata, roštiljne konstrukcije i limova. U radu su razmatrane specifičnosti koje su se pojavile tokom realizacije projekta i koje su zahtevale poseban pristup u pojedinim fazama projektovanja i izvođenja. Prikazana i analizirana su usvojena tehnička rešenja.

Ključne reči: čelični vodotoranj, projektovanje, izgradnja, ispitivanje

¹ PRO-ING, Srbija, goran.radeka@pro-ing.rs

² PRO-ING, Srbija

1. UVOD

U radu je predstavljen projekat vodotoranja koji je deo kompleksa fabrike auto-delova „Minal“ u Šapcu. U procesu proizvodnje legure aluminijuma u visokim pećima topionice, postoji potreba za obezbeđenjem vode koja ima ulogu hlađenja u ovom kompleksnom tehnološkom procesu. Pored niza betonskih rezervoara koji sadrže potrebnu količinu vode za pomenuti tehnološki proces, bilo je potrebno obezbediti dodatno skladište vode koja bi se koristila samo u slučaju prestanka rada primarnih rezervoara. Kako bi se dobio dovoljan pritisak vode u sistemu, bez rada dodatnih pumpi, kao rešenje se nametao samo vodotoranj. Potreban kapacitet vode je 100 m^3 , a minimalna potrebna visina vodenog stuba 19 m. Na Slici 1 prikazan je izveden vodotoranj u okviru fabričkog kompleksa.



Slika 1: Vodotoranj u okviru fabričkog kompleksa

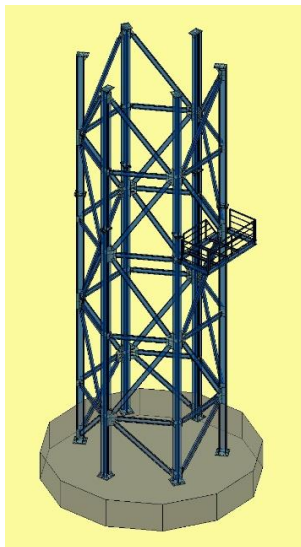
U pogledu morfološkog sklopa terena, lokacija pripada delu aluvijalne terase reke Save. Geotehnička građa terena je povoljna za plitko fundiranje. Osim površinskog sloja humusa debljine 50 cm, sloj glinovite prašine koji se proteže do dubine od 2,6 m je dobrih fizičko-mehaničkih karakteristika. Prema karti seizmičke regionalizacije Srbije, lokacija pripada zoni VII-VIII stepena seizmičnosti prema MCS skali za povratni period od 475 godina, sa maksimalnim ubrzanjem tla na osnovnoj steni od 0,10 g. Posle opisa konstrukcije vodotoranja u radu su predstavljeni i objašnjeni projektantski i izvođački izazovi koji su pratili projekat.

2. OPIS KONSTRUKCIJE

Kako bi se pravovremeno realizovao dinamički plan radova na gradilištu, izabrano je da vodotoranj bude izveden od čelika S235 JR. Pored brzine izrade konstrukcije postoje i drugi benefiti čeličnog vodotoranja u odnosu na armirano-betonski. Neki od najvažnijih su kvalitet izvedenih radova, gde se veći deo čelične konstrukcije proizvodi u fabrici u kontrolisanim uslovima, i manja sopstvena težina konstrukcije koja ima za posledicu manje seizmičko opterećenje. Objekat je projektovan u skladu sa tada važećim Zakonom o planiranju i izgradnji [1] i pravilnicima [2] i [3], kao i odgovarajućim standardima [4]-[25].

Temeljna konstrukcija vodotoranja je armirano-betonska ploča debljine 130 cm izvedena od betona klase C25/30 i armirana čelikom kvaliteta B500B. U osnovi je oblika pravilnog dvanaestougla sa rastojanjem između naspramnih stranica 9 m. Temeljna ploča mora da zadovolji granična stanja nosivosti koja se odnose na gubitak ravnoteže konstrukcije (EQU) i lom kritičnih preseka (STR).

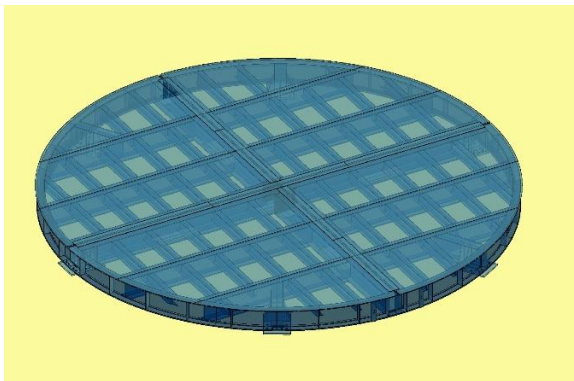
Vertikalna noseća konstrukcija vodotornja je prostorna rešetka sačinjena od stubova (pojasni štapovi), dijagonala i horizontala (štapovi ispune). Posmatrano u osnovi stubovi su postavljeni u temena i povezani štapovima ispune formiraju pravilan šestugao. Rastojanje između naspramnih stubova je 6 m. Visina rešetkaste konstrukcije je 19 m. Na Slici 2 je prikazana temeljna ploča i prostorna rešetkasta konstrukcija.



Slika 2: Temeljna ploča i rešetkasti stub

Stubovi su izrađeni od vruće valjanih IPBl 300 profila. Svaki stub je sa 12xM24...8.8 ankera uklješten u temeljnu ploču. Ankeri su ugrađeni pre betoniranja temelja. Između stubova su štapovi ispune od vruće valjanih IPE 200 profila. Stubovi su izrađeni iz dva segmenta koji su povezani čeonim montažnim nastavkom. Štapovi ispune su sa stubovima povezani zavrtnjevima.

Dno rezervoara je u sistemu „roštiljne“ konstrukcije gde su elementi sklopa međusobno zavareni i orjentisani su u dva međusobno ortogonalna pravca. Ovaj sklop je u osnovi oblika kruga prečnika 6,2 m. Po obimu nalazi se prsten od savijenog UPN 300 čeličnog profila. Primarnu konstrukciju čine udvojeni ili jednostruki, međusobno zavareni IPE 300 profili. Sekundarnu konstrukciju čine zavareni IPE 160 profili. Preko ove konstrukcije postavlja se čelični lim debljine 10 mm. Dno rezervoara je za stubove vezano preko čeonih anker ploča sa po 10xM20...8.8 zavrtnjeva na svakom oslonačkom mestu. Na Slici 3 prikazana je konstrukcija dna rezervoara.



Slika 3: Dno rezervoara

Sa dna rezervoara formira se cilindrična ljuska izvedena od međusobno zavarenih limova čija se debljina smanjuje ka vrhu. Visina cilindra je ukupno 4 m. Donja dva segmena su debljine 10 mm dok su gornja dva segmenta od lima debljine 8 mm. Po obimu vrha rezervoara postavlja se oslonrački krovni element formiran od UPN 200 profila.

Krov je, kao i dno, u sistemu „roštiljne“ konstrukcije koju formiraju udvojeni ili jednostruki, međusobno zavareni IPE 180 profili. Preko ove konstrukcije postavlja se lim debljine 3 mm.

Pored opisane konstrukcije treba pomenuti da su na vodotoranju projektovane penjalice sa leđobranima, odmorište na visini od 11 m i otvor na krovu, a sve u cilju obezbeđenja pristupanja unutrašnjosti rezervoara. Na vrhu rezervoara izvodi se i ograda visine 100 cm. Na Slici 4 prikazan je kompletan vodotoranj.



Slika 4: Kompletan vodotoranj

3. PROJEKTANTSKI I IZVOĐAČKI IZAZOVI

U ovom poglavlju opisani su projektantski i izvođački izazovi i procesi, kao i njihova uzročno posledična veza u toku realizacije projekta. Prolazeći kroz pojedine konstruktivne sklopove biće analizirani razlozi za izbor pojedinih konstruktivnih rešenja.

Početak procesa pravljenja matematičkog modela konstrukcije podrazumeva detaljnu analizu opterećenja. U slučaju vodotoranja dominantno opterećenje za proračun i dimezionisanje elemenata rezervoarske konstrukcije je uskladištena tečnost, dok su za dimezionisanje toranjske konstrukcije stubova od značaja dejstva horizontalnih opterećenja, a to su vetar i seizmika. Vetar ima značajan uticaj u situacijama kada je rezervoar prazan, dok seizmičko opterećenje predstavlja

zbir inercijalnih sila koje potiču od težine same konstrukcije i hidrodinamičkog pritiska fluida koji se superponira sa hidrostatičkim pritiskom tečnosti. U [26] daju se jasna uputstva za analizu seizmičkog opterećenja kod rezervoara. U slučaju seizmičke pobude važno je podeliti, u zavisnosti od karakteristika rezervoara, deo tečnosti koji se ponaša kao kruto telo i radi zajedno sa konstrukcijom (impulsivna komponenta) i deo tečnosti koji „talasa“ (konvektivna komponenta).

Toranjске konstrukcije, zbog svoje vitkosti, često kao primaran kriterijum za dimenzionisanje elemenata imaju zadovoljenje graničnog stanja upotrebljivosti, konkretno, horizontalno pomeranje vrha. Kod ovog vodotornja pomeranja vrha su daleko ispod graničnih vrednosti (30 mm).

Uobičajeno za ovakve konstrukcije je da se vodotoranj sastoji od kružnog stuba promenljivog ili konstantnog poprečnog preseka na koji se oslanja rezervoarska konstrukcija. Iako se na samom početku razmatralo i takvo rešenje brzo se došlo do zaključka da je izbor vertikalne rešetkaste prostorne konstrukcije znatno povoljniji. Konstrukcija se mnogo bolje ponaša prilikom prihvatanja horizontalnih dejstava (vetar i seizmika). To se ogleda i u dinamičkom odgovoru konstrukcije. Modalna analiza je pokazala da je prvi ton perioda oscilovanja konstrukcije 0,68 sec, što je za ovakve tipove konstrukcija prilično niska vrednost. Zahtevi u pogledu dinamike izvođenja su bili takvi da je izbor, a kasnije i nabavka standardnih čeličnih profila ubrzavala proces proizvodnje.

Dispozicija primarnih konstruktivnih elemenata dna i krova rezervoara diktirana je izvođačkim zahtevima u pogledu transporta konstrukcije. Kako bi se obezbedile dimenzije elemenata konstrukcije koje spadaju u redovan transport, rezervoar se morao podeliti na četiri jednaka dela što je prikazano na Slici 5. Na licu mesta se vršilo međusobno zavarivanje ovih segmenata, nakon čega se pristupilo vizuelnom pregledu varova uz dodatnu penetrantsku metodu za varove koji nisu zadovoljavali vizuelni pregled.



Slika 5: Transport segmenata rezervoara i montaža

Posle toga je izvršeno testiranje vodonepropusnosti rezervoara u skladu sa [27]. Najpre je na privremenim temeljima na tlu postavljena rezervoarska konstrukcija i napunjena vodom u tri faze. Faze punjenja su bile do visine vodenog stuba od 2, 3 i 4 m. Na kraju svake faze vršen je detaljan pregled curenja vode i kontrole geometrije od strane geodetskog tima. Kada je završena poslednja faza punjenja do visine od 4 m vodenog stuba vršeni su detaljni vizuelni pregledi i kontrole geometrije na 12 h i 24 h. Pošto je rezervoar uspešno prošao proces ispitivanja vodonepropusnosti na tlu, montiran je na stubove što je prikazano na Slici 5. Nakon povezivanja cevnih instalacija za punjenje i pražnjenje, rezervoar je još jednom napunjen vodom gde je kontrolisano curenje na svakih 12 h u periodu od 48 h. Vršen je i geodetski snimak kompetne konstrukcije uz kontrolu

sleganja temelja. Rezervoar je uspešno prošao test vodonepropusnosti nakon čega se pristupilo nanošenju antikorozijske zaštite unutrašnjih površina.

4. ZAKLJUČAK

Kroz procese projektovanja, izvođenja i testiranja objekata generalno, značajan uticaj imaju izvođački zahtevi koji neretko diktiraju odabir projektantskih rešenja. U ovom slučaju, za realizaciju konstrukcije vodotornja, to se direktno ispoljilo kroz odabir čelika kao materijala zbog brzine izvođenja, odnosno potrebe ispunjenja zacrtanih dinamičkih planova. Takođe, usko vezano sa ovim je i usvajanje tipskih čeličnih profila, koji su birani u koordinaciji sa izvođačem konstrukcije. Zahtev izvođača da se svi elementi konstrukcije moraju na gradilište dopremiti redovnim transportom takođe je značajno uticao na dispoziciona rešenja i rešenja detalja spojeva čelične konstrukcije.

Horizontalna opterećenja od dejstva vetra i seizmike, kao izrazito dominantna u pogledu dimenzionisanja vertikalne noseće konstrukcije tornja i ograničenja horizontalnih pomeranja su najveći izazovi koji se kod ovakvih tipova konstrukcije postavljaju ispred projektanta. Izborom prostorne rešetkaste konstrukcije tornja lako su se zadovoljila sva granična stanja nosivosti i upotrebljivosti.

REFERENCE

- [1] Zakon o planiranju i izgradnji, Sl. Glasnik RS br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020 i 52/2021
- [2] Pravilnik za građevinske konstrukcije, Sl. Glasnik RS, br. 89/2019, 52/2020 i 122/2020
- [3] Pravilnik o sadržini, načinu i postupku izrade i načinu vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata, Sl. Glasnik RS, br. 73/2019
- [4] SRPS EN 1990:2012: Evrokod - Osnove projektovanja konstrukcija.
- [5] SRPS EN 1990/NA:2012: Evrokod - Osnove projektovanja konstrukcija - Nacionalni prilog.
- [6] SRPS EN 1991-1-1:2012: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-1: Opšta dejstva - Zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade.
- [7] SRPS EN 1991-1-1/NA:2015: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-1: Opšta dejstva - Zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade - Nacionalni prilog.
- [8] SRPS EN 1991-1-3:2017: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-3: Opšta dejstva - Opterećenja snegom.
- [9] SRPS EN 1991-1-3/NA:2017: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-3: Opšta dejstva - Opterećenja snegom - Nacionalni prilog.
- [10] SRPS EN 1991-1-4:2012: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-4: Opšta dejstva - Dejstva vetra.
- [11] SRPS EN 1991-1-4/NA:2017: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-4: Opšta dejstva - Dejstva vetra - Nacionalni prilog.
- [12] SRPS EN 1991-1-5:2012: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-5: Opšta dejstva - Toplotna dejstva.
- [13] SRPS EN 1991-1-5/NA:2017: Evrokod 1 - Dejstva na konstrukcije - Deo 1-5: Opšta dejstva - Toplotna dejstva - Nacionalni prilog.
- [14] SRPS EN 1992-1-1:2015: Evrokod 2 - Projektovanje betonskih konstrukcija - Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade.

- [15] SRPS EN 1992-1-1/NA:2015: Evrokod 2 - Projektovanje betonskih konstrukcija - Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade - Nacionalni prilog.
- [16] SRPS EN 1993-1-1:2021: Evrokod 3 - Projektovanje čeličnih konstrukcija - Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade.
- [17] SRPS EN 1993-1-1/NA:2021: Evrokod 3 - Projektovanje čeličnih konstrukcija - Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade - Nacionalni prilog
- [18] SRPS EN 1993-1-8:2020: Evrokod 3 - Projektovanje čeličnih konstrukcija - Deo 1-8: Projektovanje spojeva.
- [19] SRPS EN 1993-1-8/NA:2020: Evrokod 3 - Projektovanje čeličnih konstrukcija - Deo 1-8: Projektovanje spojeva - Nacionalni prilog
- [20] SRPS EN 1993-4-2:2021: Evrokod 3 - Projektovanje čeličnih konstrukcija - Deo 4-2: Rezervoari
- [21] SRPS EN 1993-4-2/NA:2013: Evrokod 3 - Projektovanje čeličnih konstrukcija - Deo 4-2: Rezervoari – Nacionalni prilog
- [22] SRPS EN 1997-1:2017: Evrokod 7 - Geotehničko projektovanje - Deo 1: Opšta pravila.
- [23] SRPS EN 1997-1/NA:2020: Evrokod 7 - Geotehničko projektovanje - Deo 1: Opšta pravila - Nacionalni prilog.
- [24] SRPS EN 1998-1:2015: Evrokod 8 - Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade.
- [25] SRPS EN 1998-1/NA:2018: Evrokod 8 - Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade - Nacionalni prilog.
- [26] SRPS EN 1998-4:2018: Evrokod 8 - Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija - Deo 4: Silosi, rezervoari i cevovodi
- [27] SRPS EN 14015:2008: Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above