

Aleksandar Bojović

Čelični deo konstrukcije novog Tornja na Avali

Rezime

Novi Toranj na Avali izgrađen je po potpuno novim projektima. Projekti konstrukcije preuzeli su od projektata starog tornja iz 1960. godine samo geometriju betonskog dela konstrukcije tornja. Čelični deo konstrukcije tornja visine 68 m, projektovan je i izведен prema savremenim srpskim normama, a u pojedinim tehničkim oblastima i prema evropskim normama. U članku se iznose pojedinosti o konstruktivnim rešenjima i proračunima konstrukcije, uz iscrpne komentare i slike.

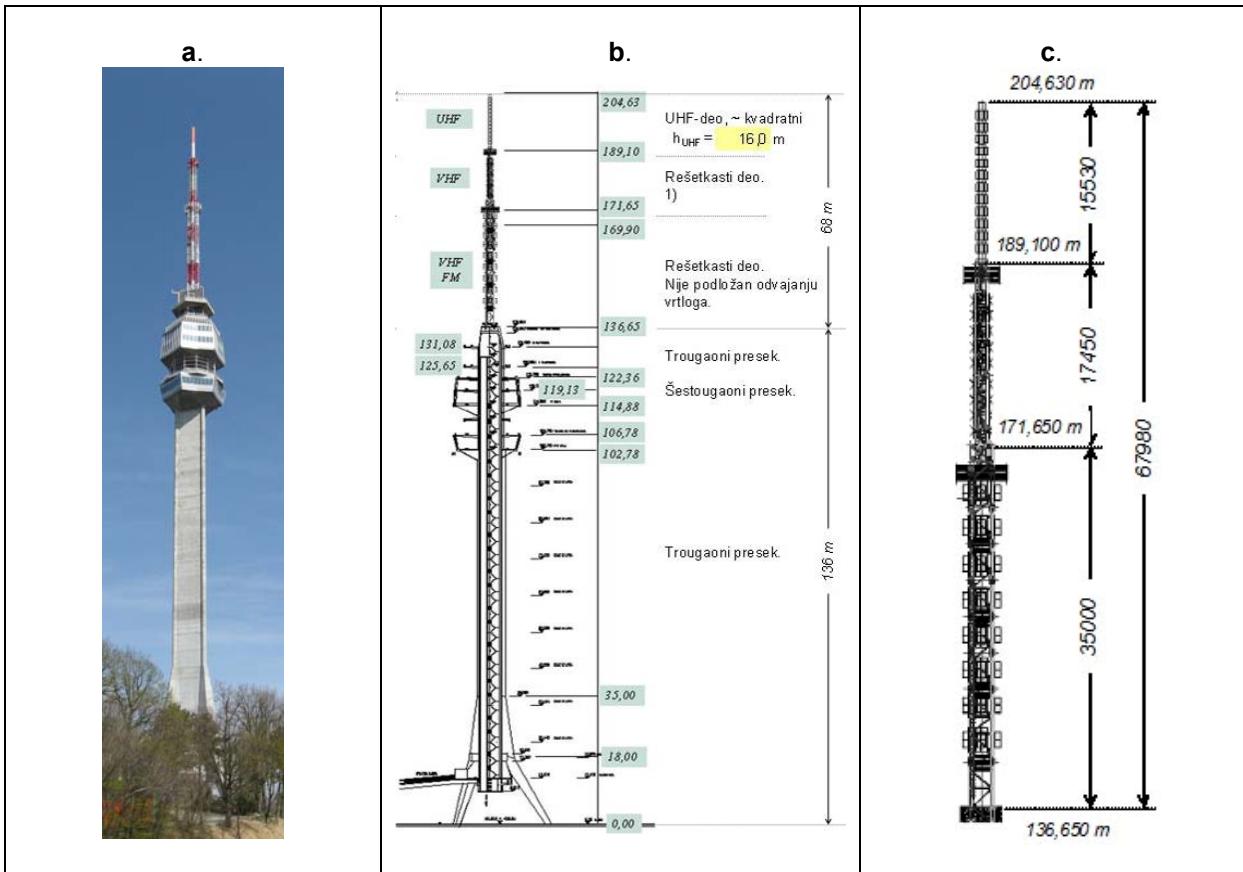
Resume

The new Avala Tower is built according to completely new design. The structure designers have taken only a geometry of concrete part of the tower structure from the 1960 Tower design. Steel structural part of the tower is 68 m high. It is designed and built according to Serbian contemporary norms, and in some specific technical parts according to the European norms. Details of the structural solutions and structural analysis with detailed comments and figures are given in the article.

1 Uvod

Ovom tekstrom predstavlja se čelični deo konstrukcije novog Tornja na Avali, (slika 1).

Čelični deo konstrukcije predstavlja gornju trećinu konstrukcije tornja. Ukupna visina tornja prema Projektu [5] i [6] je $H = 204,630$ m, betonskog dela $h_c = 136,650$ m i čeličnog dela $h_s = 67,980$ m.



Slika 1: Novi Toranj na Avali.

a: Završeni toranj, b: Konstrukcija u celini sa karakterističnim kotama, c: Čelični deo konstrukcije.

Čelični deo konstrukcije projektovan je prema elementima Projektnih zadataka [1] i [2] i prema Tehničkim uslovima [3], [4] (koji su delimično zamenili neke elemente prvobitno date u [2]).

Obaveza istog izgleda i dimenzija kao stari toranj (1964-1999.) nije se odnosila na čelični deo konstrukcije tornja.

Čelični deo tornja projektovan je prema sledećim osnovnim uslovima iz [2], [3] i [4]:

- ◆ da ponese antenske sisteme VHF, FM i UHF gde se konstrukcija UHF-sistema isporučivala sa antenama i nije bila predmet Projekta [5] i [6];
- ◆ da bude kvadratnog preseka, gde su stranice kvadrata ograničene; (ovo je proisteklo iz uslova antenskih sistema, da se područja njihovih delovanja po svim stranama kvadrata dodiruju);
- ◆ da krutost konstrukcije bude takva da nagib konstrukcije prema vertikali pri maksimalnoj brzini veta od 70 km/h (19,4 m/s) bude $\varphi \leq 1^\circ$;
- ◆ da konstrukcija bude snabdevena svom potrebnom opremom za rad, pregled i održavanje električne i komunikacione opreme i same čelične konstrukcije.

Bitan uticaj na projektovanje imalo je i podešavanje oblikovanja konstrukcije dominantnom opterećenju – opterećenju vetrom. Uticaj delovanja veta na čeličnu konstrukciju morao se smanjiti u najvećoj mogućoj meri zbog bitnih ograničenja u projektovanju betonskog dela, (imperativ zadržavanja istog preseka i dimenzija u celini prema [7]), u uslovima 2 do 2,5 puta većeg opterećenja vetrom od onog iz prvobitnog Projekta [7]. (Videti sve detaljne okolnosti u članku o opterećenju vetrom.)

U nastavku teksta daju se pojedinosti o oblikovanju konstrukcije, proračunu, izradi i montaži.

2 Konstruktivno oblikovanje

2.1 Osnovne karakteristike čelične konstrukcije i materijali

Čelični deo konstrukcije Tornja projektovan je sa osnovnim karakteristikama prema narednoj tabeli.

Tabela 1: Osnovne tehničke karakteristike čeličnog dela konstrukcije Tornja.

Čelični deo	Karakteristika	Opis
	Visina i gabariti preseka konstrukcije	Prema uslovima Projektnog zadatka [2]. Donji i srednji deo rešetkasti = Predmet izrade i montaže. Gornji deo (UHF-antene): isporučuje se sa antenama, tj. nije predmet izrade i montaže.
	Zaštita od korozije	Konstrukcija: toplo cinkovanje + premaz na bazi cinka, (duplex sistem). Zavrtnji: prednapregnuti, klase 10.9: pojasni štapovi: 1,00 F_p ; štapovi ispune: 0,50 F_p .
	Veza čelične konstrukcije i betonske konstrukcije	Ubetonirana ankerna konstrukcija na koti 136,650 m.
	Ubetonirana ankerna konstrukcija	Prenos sila iz pojaseva u beton preko ležišnih ploča po gornjoj i donjoj površini betonske ploče na vrhu betonskog dela konstrukcije Tornja.
	Penjalice	Celom visinom čelične konstrukcije. Savremeni tip penjalica, bez leđobrana, ali sa posebnim pojasm sa klizačem i kočnicom za korisnika. Jedna pozicija penjanja, u jednom – jugozapadnom uglu preseka stuba.
	Platforme za rad i odmor	Četiri platforme na donjem delu stuba, sa visinskim razmakom od 7,00 m.
	Platforme – ledobrani za rad i zaštitu antena od udara ledenica	Dve, na kotama: 168,218 m i 187,355 m.
	Vođenje energetskih kablova	Prema uslovima Projektnog zadatka [2]: na severnoj i zapadnoj strani preseka stuba.
	Veza donjeg i srednjeg dela stuba	Uklještenje srednjeg u donji deo preko: horizontalnih roštilja na kotama 169,900 i 171,650 m; dijagonalnih veza pojaseva na pomenutim kotama.
	Veza srednjeg i gornjeg dela	Preko konstrukcije adaptera koja se isporučuje sa konstrukcijom gornjeg dela, (predmet projektovanja i isporuke proizvođača UHF-antena).

Materijali konstrukcije su sledeći:

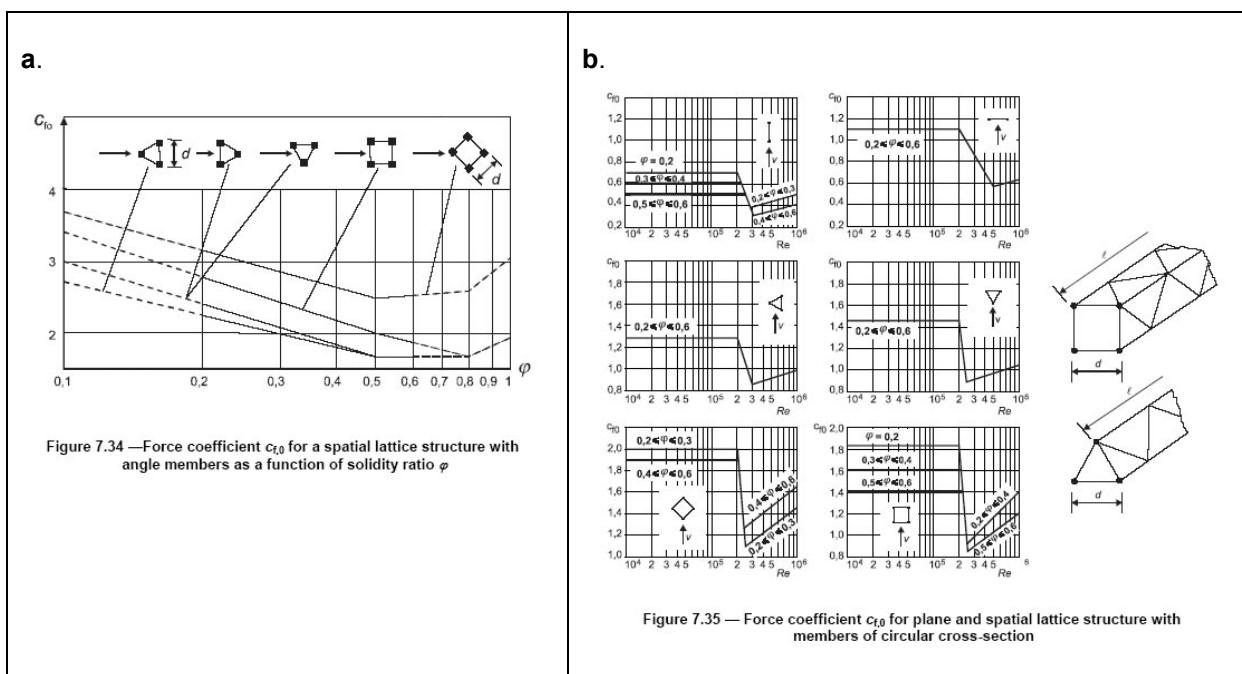
- materijal konstrukcije ¹⁾:
 pojasni štapovi - cevi: čelik S355JRG2 SRPS EN 10025:2003
 štapovi ispune – cevi: čelik S235JR SRPS EN 10025:2003
 limovi, profili: čelik S235JR SRPS EN 10025:2003
- zavrtnji veza konstrukcije ²⁾:
 zavrtnji: klasa 10.9 SRPS ISO 898-1:1999
 navrtke: klasa 10 SRPS ISO 898-1:1999
 oblik zavrtnjeva: SRPS M.B1.066:1982 ili DIN EN 14399-4:2005
 oblik navrtki: SRPS ISO 4775:1999 ili DIN EN 14399-6:2005+AC:2006

- podloške: SRPS ISO 7416:1999 ili DIN EN 14399-6: 2005
 zaštita od korozije: toplo cinkovanje DIN EN ISO 10684:2004
 1) Izbor materijala prema SRPS U.E7.010:1988 i EN 1993-1-10:2005.
 2) Prema *Tehničkim uslovima za rad sa visokovrednim prednapregnutim zavrtnjima* iz [6].
 • dodatni materijal za zavarivanje: prema osnovnom materijalu i tehnologiji izvođača
 • zaštita od korozije konstrukcije: toplo cinkovanje DIN EN ISO 1461:1999 + cinčani premaz (Duplex sistem).

2.2 Konstruktivno rešenje

Izbor oblika konstrukcije.

Izbor osnovnog oblika konstrukcije – kao četvorozidne rešetke proistekao je: 1) iz tehničkih uslova [2], [3] i [4] i 2) imperativa koji sledi iz proračuna opterećenja vетrom, da se opterećenje vетrom čeličnog dela konstrukcije smanji na najmanju moguću meru. Uslov 2) je odredio vrstu štapova konstrukcije – kao kružnocijindričnih cevi.



Slika 2: Koeficijenti sile rešetki od oštroivičnih i cilindričnih štapova po EN 1991-1-4:2005.

Iz slike 2 očita je razlika koeficijenata sile četvorozidnih rešetki za naznačene dve vrste štapova. Za donji i srednji deo stuba, pri Rejnoldsovom broju $Re \approx (5-6) \times 10^5$ i koeficijentu ispunjenosti $\varphi = 0,40-0,46$ koeficijent sile iznosi $c_f = 2,7-2,6; 1,15-1,40$ za nezaleđenu konstrukciju i dijagonalno dejstvo veta.

Dimenzije konstrukcije.

Dimenzije konstrukcije – dužine (v. sliku 3a) donjeg, srednjeg i gornjeg (UHF) dela stuba proistekle su direktno iz tehničkih uslova [2], [3] i [4]. Gabarit konstrukcije, uključujući tu sve elemente preseka, morao je da bude unutar datih mera. Iz prethodnog i veličina prečnika cevi pojasnih štapova proistekle su osne mere preseka: donji deo $a = 2040$ mm, srednji deo $a = 960$ mm.

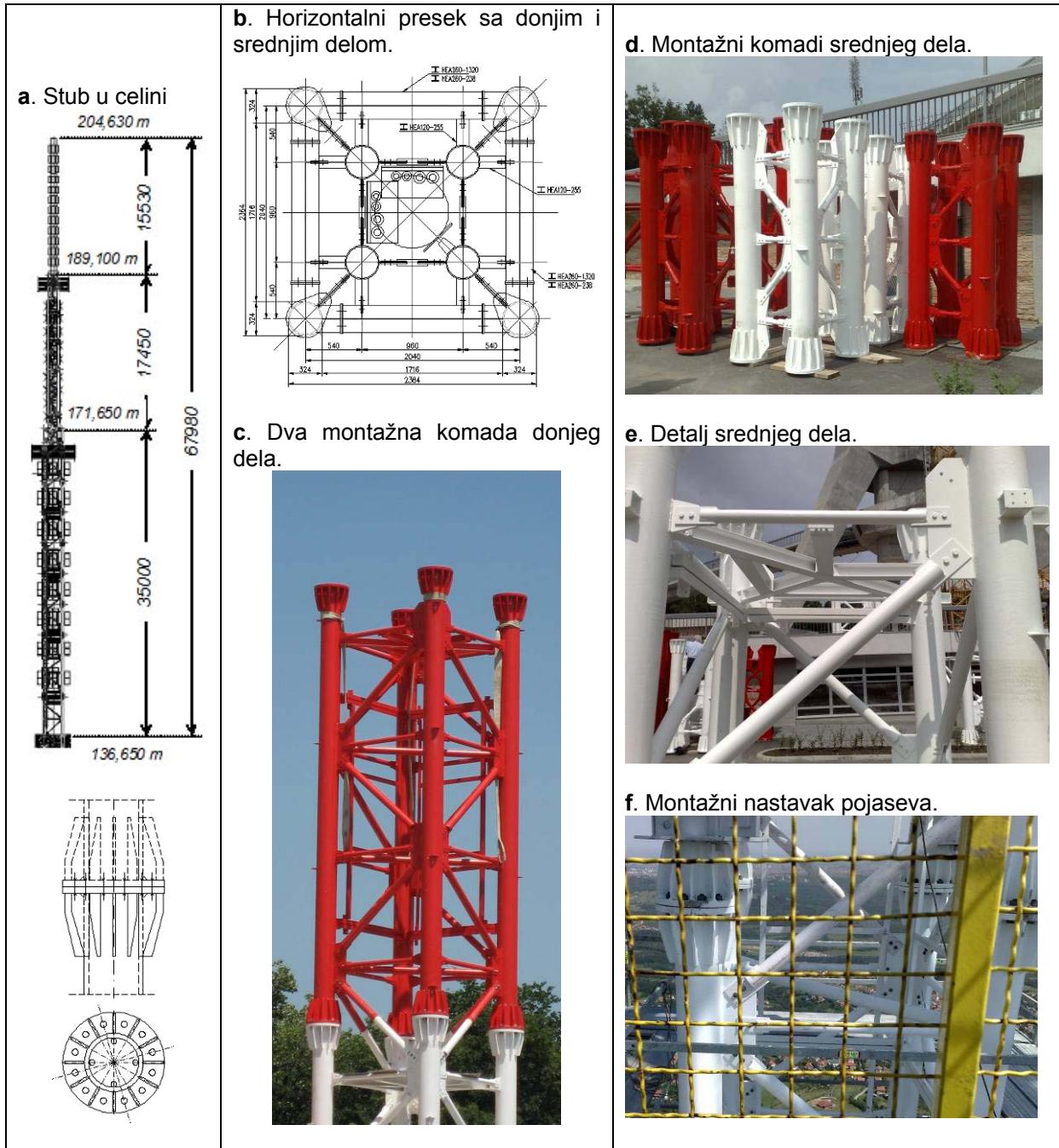
Osnovne veze konstrukcije, slika 3.

U vreme izrade Projekta [5] nije bio poznat izvođač čelične konstrukcije, pa su se projektanti vodili zato sledećim stavovima:

- ◆ veze štapova konstrukcije = veze zavrtnjima; na ovaj način se omogućava: 1) sloboda izvođača u izboru načina montaže, štap po štap ili po montažnim komadima; 2) toplo cinkovanje pojedinačnih štapova; slobodan izbor transporta konstrukcije;
- ◆ montažni nastavci pojaseva: čeone veze sa 100% prednapregnutim HV-zavrtnjima; (ovo je bila izmena u [6], na zahtev izvođača; prvobitno – prema [5] bile su veze na smicanje/pritisk po

omotaču rupe); veličina zavrtnjeva, klasa 10.9: M36 (najniži nastavak), M30 (nastavci donjeg dela), M24 (nastavci srednjeg dela);

- ◆ dimenzije štapova rešetke, pojaseva (Ch), dijagonala (D) i horizontala (H):
 srednji deo: Ch = ϕ 323x20 i 12,5; D = ϕ 76,1x5; H = ϕ 60,3x5;
 donji deo: Ch = ϕ 323x25 i 12,5; D = ϕ 114,3x5; H = ϕ 88,9x5.



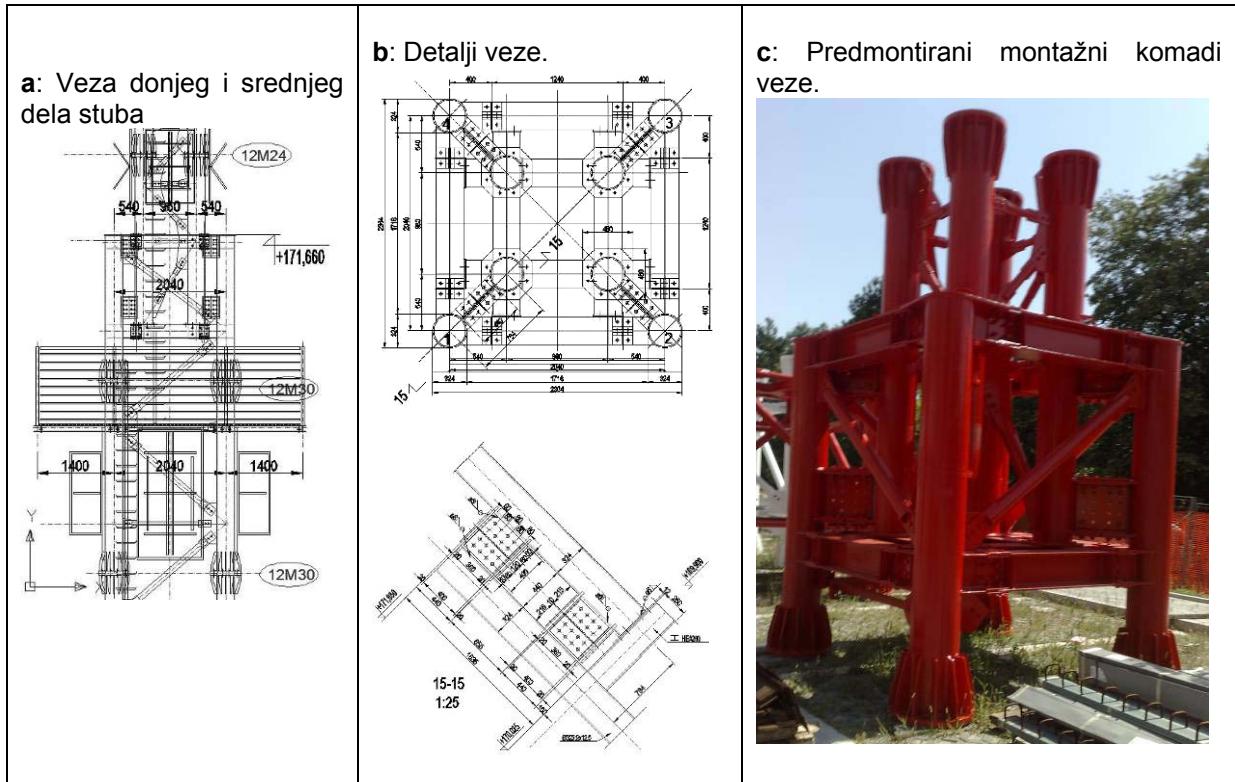
Slika 3: Čelični deo tornja. Donji i srednji deo čeličnog stuba.

Veza donjeg i srednjeg dela stuba, slika 4, slika 3b.

Veza donjeg i srednjeg dela stuba projektovana je kao kruta veza sposobna da prenese sve sile sa srednjeg na donji deo konstrukcije stuba i tako da može da se na pogodan način montira. Elementi veze su roštilj na nižoj koti veze (slika 3b), dijagonalne veze (slika 4b) i bočne veze na višoj koti (slika 4b). Veza je, kao uostalom i cela čelična konstrukcija, probno montirana u pogonu za izradu konstrukcije i to dva puta – pre i posle toplog cinkovanja.

Gornji deo stuba.

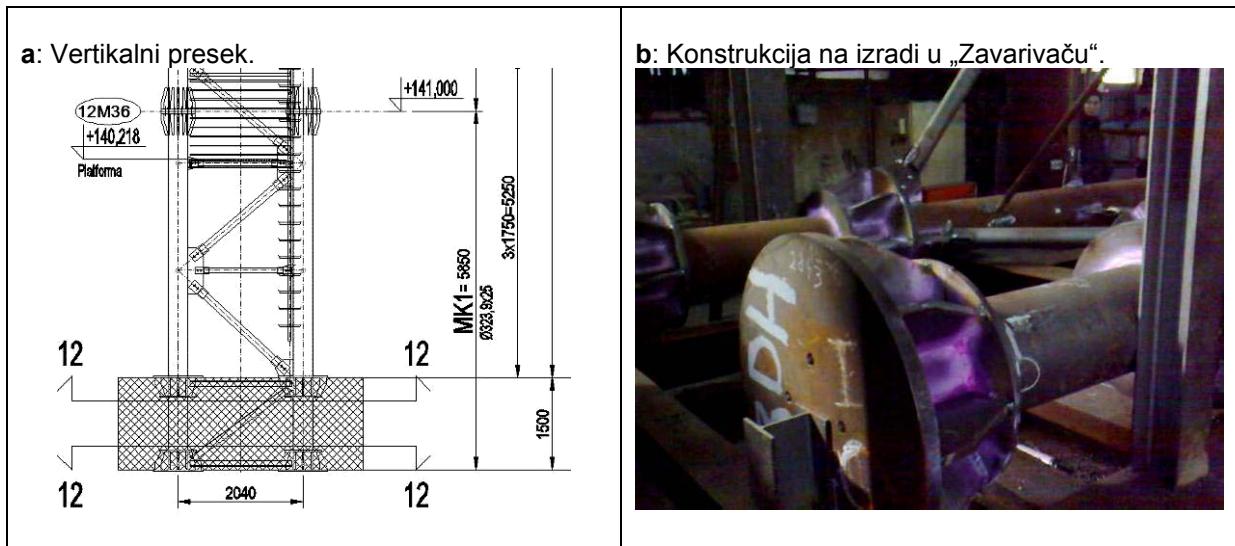
Gornji deo stuba, kao što je prethodno rečeno, nije bio predmet Projekta [5] i [6]. Konstrukcija, koja je isporučena sa antenskim sistemom UHF, je zavarenog kvadratnog preseka 600x600x8 mm. Za srednji deo vezana je prelaznim elementom konstrukcije, koji je takođe isporučio proizvođač antena.



Slika 4: Veza donjeg i srednjeg dela stuba.

Veza čelične i betonske konstrukcije tornja.

Veza čelične i betonske konstrukcije tornja konstruisana je kao uklještenje, gde se moment savijanja prenosi pritiskom na betonsku konstrukciju završne ploče (1,50 m debljine), odozgo i odozdo – preko oslonačkih ploča ϕ 800 mm. Najveća sila pritiska sa jednog pojasa ne betonsku ploču iznosi inače 3829 kN, a sila zatezanja 3461 kN.



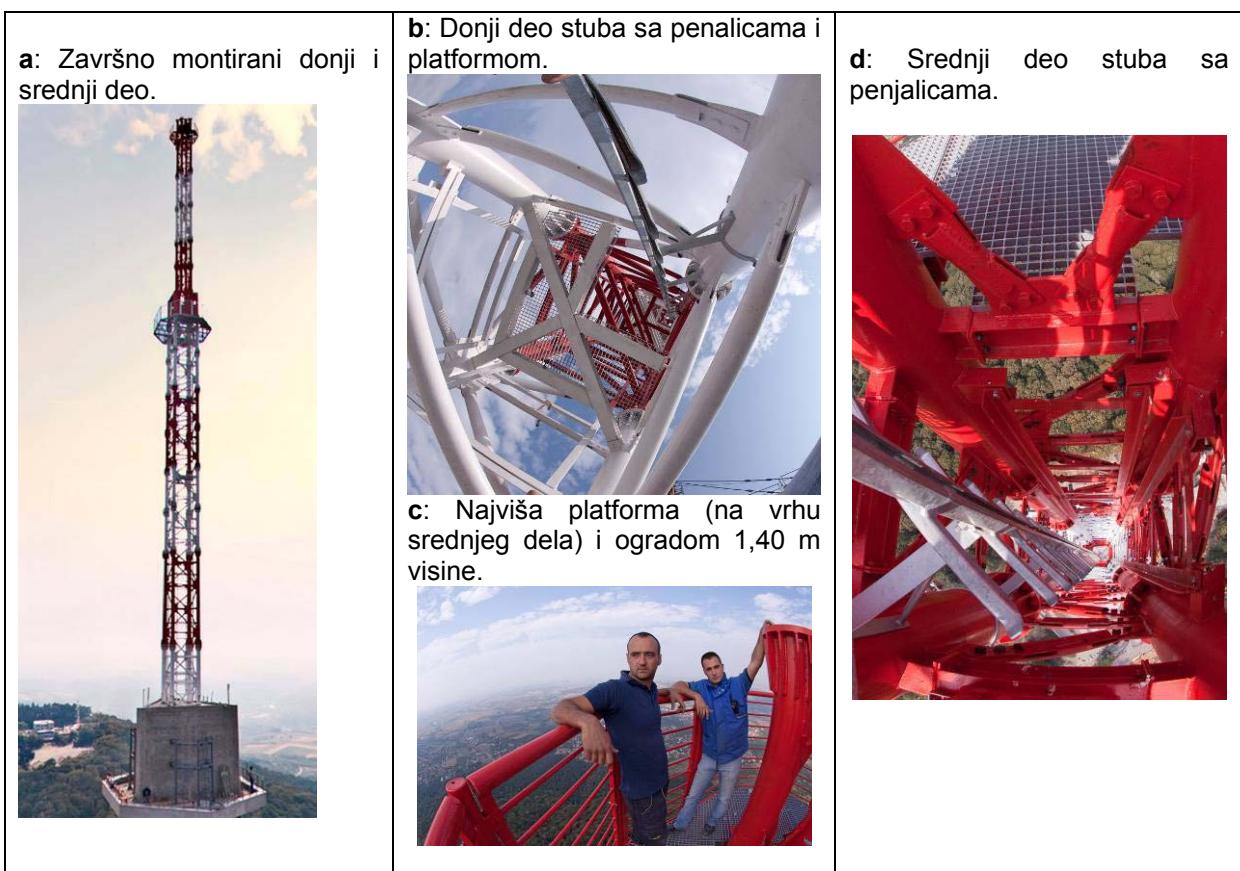
Slika 5: Veza čeličnog i betonskog dela tornja, kota 136,650 m.

Izrada i montaža, zaštita od korozije.

Izrada i montaža čelične konstrukcije prema SRPS U.E7.140:1985, SRPS U.E7.145:1987 i DIN 18800-7:2002. Tolerancije na montaži prema DIN 4131:1991. Ukupna masa donjeg i srednjeg dela konstrukcije je 66,2 t. Masa UHF-dela je 3,5 t.

Pojedinosti izrade i montaže, (inače definisane u [5] i [6] u odgovarajućim posebnim tehničkim uslovima):

- ◆ Čeone ploče montažnih veza pojaseva ultrazvučno su proverene prema DIN EN 10160:1999.
- ◆ HV-zavrtnji su isporučeni kao toplo cinkovani u pogonu proizvođača zavrtnjeva prema EN ISO 10684:2004 + AC:2009; uverenje o kvalitetu odgovaralo je sadržaju uverenja 3.1B prema DIN EN 10204:1995.
- ◆ Pre ugradnje HV-zavrtnji su premazani molibden-disulfidom (MoS_2) zbog smanjivanja koeficijenta trenja k navrtka/zavrtanj. Koeficijent k je ispitivan pre ugradnje na potrebnom broju uzoraka za svaku veličinu zavrtnjeva, dok je pritezanje na montaži obavljano ključem za prednaprezanje. Momenat pritezanja M_p je utvrđivan na osnovu prosečne vrednosti k_m , pod uslovom da je varijacija svih rezultata ispitivanja V_k manja od granične vrednosti prema EN 1090-2:2008. Momenat pritezanja je kontrolisan dotezanjem za $10\%M_p$: Izmereni k_m za zavrtnjeve pojasnih štapova bio je u granicama $k_m = 0,14$ do $0,18$.
- ◆ Zaštita od korozije projektovana je i izvedena generalno prema standardima serije SRPS ISO 12944 za kategoriju C3 atmosferske korozivnosti i zahtevani dugi opseg veka trajanja (duži od 15 godina). Cevi štapova ispunе rešetke su otvorene na svojim krajevima, dok su čeone ploče imale otvor zbog toplog cinkovanja.
- ◆ Pojedinosti zaštite od korozije:
priprema površine prema ISO 8501-1:1988 – Sa 2½ ;
nanošenje cinčane prevlake toplim postupkom;
stepen hrapavosti pocinkovane površine - "fini" – G prema ISO 8503-2:1988;
zaštitni sistem boja preko cinčane prevlake sa vezivima osnovne i pokrivne prevlake EP (epoksid) ili PUR (poliuretan), debljine prema SRPS ISO 12944-5:2002;
boja završne pokrivne prevlake prema uslovima Civilne uprave za vazdušnu plovidbu;
referentne površine za kasniju kontrolu utvrđene prema SRPS ISO 12944-7:2002;
ukupna površina za zaštitu od korozije = spoljašnje + unutrašnje = $717 + 185 = 902 \text{ m}^2$.
- ◆ Montaža konstrukcije obavljena je prema Planu montaže koji je pripremio generalni izvođač tornja. Montaža je izvođenja dodavanjem montažnih komada u celini. Iznad kote 155 m kran je horizontalno oslonjen na prethodno montirani deo konstrukcije koji je izведен prema posebnom projektu, (slika 7). Svo vreme montaže konstrukcija je bila opasana skelama, omogućavajući apsolutno siguran rad na montaži.



Slika 6: Čelični deo tornja sa platformama-ledobranima i penjalicama.



Slika 7: Čelični deo konstrukcije tornja tokom montaže.

Oprema čeličnog dela tornja.

Unutar noseće čelične konstrukcije projektovani su i izvedeni sledeći elementi opreme: četiri platforme sa rešetkastim toplo cinkovanim gazištima i ogradama na donjem delu stuba, dve platforme-ledobrani na vrhovima donjeg i srednjeg dela, penjalice celom visinom donjeg i srednjeg dela (bez leđobrana, ali sa posebnim pojasm sa klizačem i kočnicom za korisnika), elementi za vođenje i držanje energetskih kablova. Penjalice unutar gornjeg (UHF-dela) ispročene su sa konstrukcijom.

2.3 Proračun konstrukcije

Proračun konstrukcije urađen je prema aktuelnim srpskim standardima SRPS U.H2.110:1991 [13], SRPS U.E7.081:1986, SRPS U.E7.096:1986, SRPS U.E7.121:1986, SRPS U.E7.140:1985, SRPS U.E7.145:1987. Konsultovane su i inostrane norme, za zamor EN 1993-3-1:2006 [16] i raniji DIN 4131:1991 [14], za izbor materijala čelične konstrukcije EN 1993-1-10:2005 [17].

Opterećenja.

Proračunata su sva opterećenja – stalna, ledom i vетrom, kao i njihove kombinacije.

Opterećenje ledom usvojeno je u proračunu prema [13], (nije bilo podataka od meteoroloških službi), kao: debљina ledene naslage $s = 5 \text{ cm}$ na svim štapovima konstrukcije, gustina leda $\rho_e = 500 \text{ kg/m}^3$. Odgovarajuće opterećenje vетrom uzeto je sa povratnim periodom od $T = 10 \text{ god}$ preračunavanjem prema [14], pošto takvog podatka u srpskoj regulativi nema.

Dodata debљina ledenih naslaga znatno je podigla koeficijente ispunjenosti rešetkaste konstrukcije:

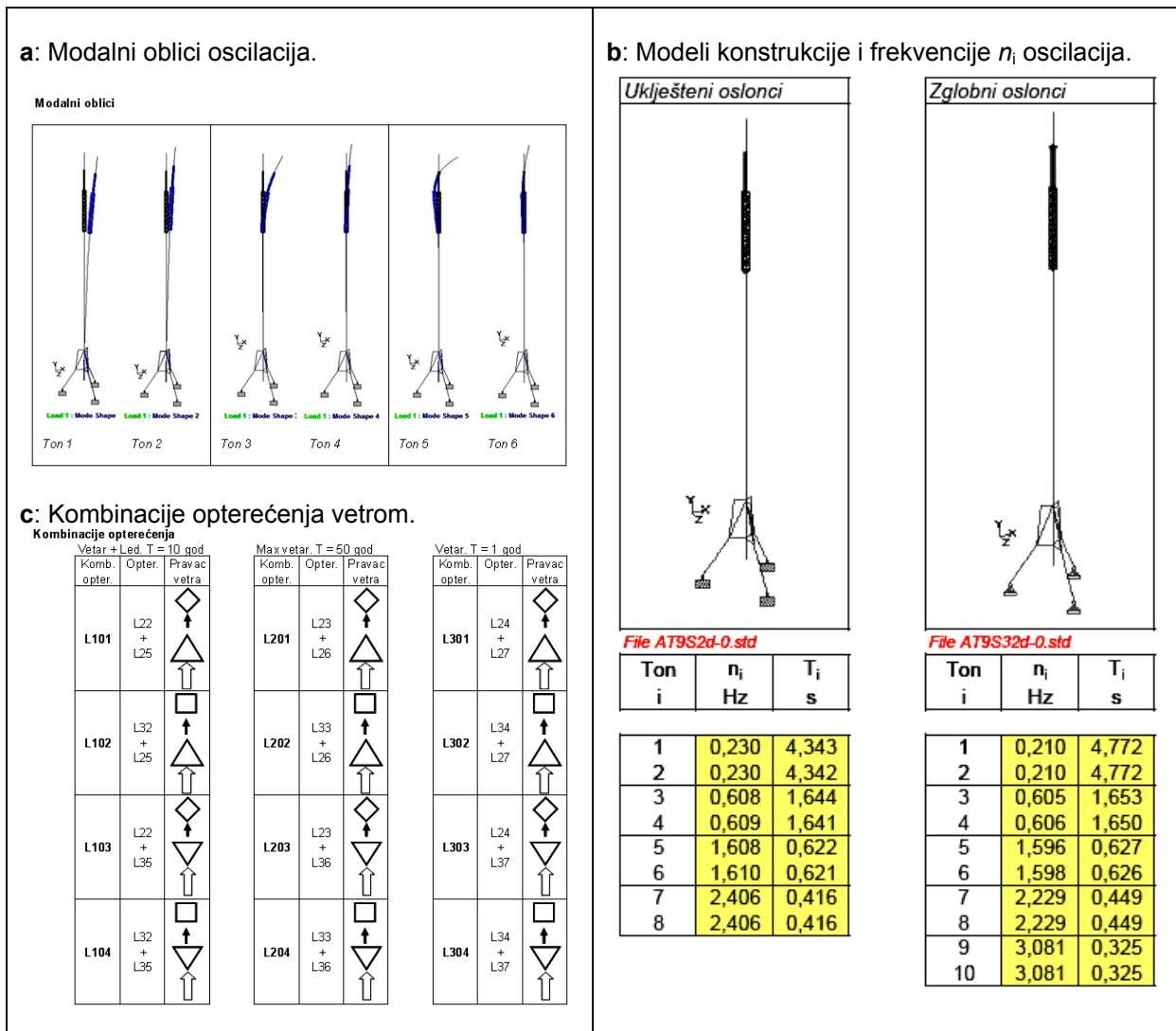
1) donji deo, sa $\varphi = 0,40-0,46$ na $\varphi_e = 0,51-0,57$; 2) srednji deo, sa $\varphi = 0,67-0,78$ na $\varphi_e = 0,85-0,94$. Da prethodne vrednosti nisu teorija pokazala je zima 2009, gde su ledene nasluge debelo obavile štapove rešetkaste konstrukcije toranjskog krama.

Opterećenje vetrom proračunato je u 12 kombinacija (slika 8c), proisteklih iz povratnih perioda T i pravaca delovanja prema koeficijentima sile C_f betonskog i čeličnog dela tornja:

- ◆ kombinacije L101 do L104: $T = 10$ god, vetr + led;
 - ◆ kombinacije L201 do L204: $T = 50$ god, maksimalni vetr;
 - ◆ kombinacije L301 do L304: $T = 1$ god, vetr za upotrebljivost UHF-sistema,
- gde su kombinacije za $T = 10$ god istovremeno korištene i za proveru horizontalnih ubrzanja konstrukcije, što je bila pretpostavka na strani sigurnosti.

Proračunski model konstrukcije.

Proračunski model za proračun čeličnog dela konstrukcije tornja (slika 8) bio je model tornja u celini sa sledećim osnovnim karakteristikama: 1) štapast model; 2) betonski deo Tornja - štapovi sa koncentrisanim masama na mstima gondola; 3) čelični deo konstrukcije Tornja - četvorozidna rešetka sa kontinualnim pojasevima i zglobnim štapovima ispunе, gde su pojasni štapovi kruto vezani sa završnom betonskom pločom na koti 136,650 m; 4) oslonci tornja (slika 8b): uklještenja; ispitana je i sistem sa zglobnim osloncima zbog ocene frekvencija fleksionih oscilacija.



Slika 8: Proračunski model konstrukcije i modalni oblici oscilacija.

Proračun frekvencija oscilacija je pokazao male razlike frekvencija 1. tona za oba razmatrana slučaja oslanjanja sa slike 8b: uklještenja/zglobovi $\rightarrow n_1 = 0,21/0,23$ Hz. Kod proračuna opterećenja vетром i dinamičkog koeficijenta G usvojeno je na stani sigurnosti: $n_1 = 0,20$ Hz.

Deformacije konstrukcije.

Bitne deformacije konstrukcije, merodavne za ocenu upotrebljivosti konstrukcije: 1) uglovi nagiba sistema UHF-antena (pri $T = 1$ god); 2) horizontalni ugibi na nivou kafe-restorana (na betonskom delu konstrukcije, pri $T = 10$ god) zbog proračuna horizontalnih ubrzanja konstrukcije.

Nekoliko rezultata proračuna, (videti ovde i članak o opterećenju vetrom):

- ◆ uglovi rotacije konstrukcije za nošenje UHF-antena pri $v_{\max} = 70$ km/h, $T = 1$ god: $\varphi < 1^\circ \rightarrow$ OK;
 - ◆ horizontalna ubrzanja na nivou kafe-restorana, kota 119,130m pri osrednjem vetu $q_{m,T=10}$:
 $T = 1$ god: $a \leq 0,06 \text{ m/s}^2 < 0,20 \text{ m/s}^2$, OK;
 $T = 10$ god: $a \leq 0,17 \text{ m/s}^2 < 0,20 \text{ m/s}^2$, OK;
 $T = 50$ god: $0,14 \text{ m/s}^2 < a < 0,26 \text{ m/s}^2$, delom OK;
 - ◆ najveći ugib vrha tornja (tehnički nebitan podatak, ali interesantan): $T = 50$ god, $\delta_{res} \leq 2056 \text{ mm}$;
 - ◆ najveći ugib betonskog dela (kota 136,650 m): $T = 50$ god, $\delta_{res} \leq 581 \text{ mm}$, $\varphi_{res} \leq 0,0075 \text{ rad}$;
 - ◆ najveći ugib nivoa restorana (kota 119,130 m): $T = 50$ god, $\delta_{res} \leq 450 \text{ mm}$, $\varphi_{res} \leq 0,0074 \text{ rad}$.
- Približno isti rezultati su dobijeni i na složenijim modelima primenjenim u proračunu betonskog dela konstrukcije.

Naponi, stabilnosti.

Kratak pregled osnovnih rezultata proračuna štapova rešetkaste konstrukcije, pri $T = 50$ god:

- ◆ naponi, pojasni štapovi donjeg i srednjeg dela stuba: $\sigma/\sigma_{dop} \leq 0,84; 0,57 < 1$;
- ◆ naponi, štapovi dijagonalna donjeg i srednjeg dela stuba: $\sigma/\sigma_{dop} \leq 0,72; 0,52 < 1$;
- ◆ stabilnost pri ekscentrinom pritisku pojaseva, donji i srednji deo: $\sigma/\sigma_{dop} \leq 0,89; 0,66 < 1$;
- ◆ stabilnost pri centrinom pritisku dijagonala, donji i srednji deo: $\sigma/\sigma_{dop} \leq 0,87; 0,59 < 1$;
- ◆ stabilnost na izbočavanje, gornji deo: $\{\dots\}^{0,5}/(R_e/v) \leq 0,75 < 1$.

Veza čelične i betonske konstrukcije, veza na koti 136,650 m, slika 5:

- ◆ pritisak na beton: $\sigma_c \leq 9,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c,dop}$;
- ◆ smicanje betona: $\tau_c \leq 1,0 \text{ N/mm}^2 < \tau_{c,dop}$.

Montažni nastavci konstrukcije – čeone veze pojasnih štapova (slika 3), kao veze zategnutih pojaseva sa momentom savijanja i prednapregnutim zavrtnjima:

- ◆ uslov nosivosti prema SRPS E.E7.140:1986: potreban zbir svih sila prednaprezanja zavrtnjeva u čeonoj vezi: $\Sigma F_p \geq (1/0,6)N_t = 1,67N_t$; F_p = Sila prednaprezanja jednog zavrtnja, N_t = Sila zatezanja razmatranog montažnog nastavka pojasnog štapa. Prednaprezanje zavrtnjeva: 100%;
- ◆ čeone veze svih nastavaka su proverene na delovanje N_t+M proračunom po [12], gde se pokazalo da je povećanje sile zatezanja u najizloženijem zavrtnju od momenta samo oko 0,1% pa je stoga zanemareno;
- ◆ iskorišćenje nosivosti čeonih prednapregnutih veza:
donji deo, 1. nastavak sa HV M36: $N_t/(12N_{t,dop}) \leq 0,90 < 1$;
donji deo, ostali nastavci sa HV M30: $N_t/(12N_{t,dop}) \leq 0,77 < 1$;
srednji deo,nastavci sa HV M24: $N_t/(12N_{t,dop}) \leq 0,65 < 1$.

Zamor konstrukcije.

Proračun zamora čeličnih konstrukcija za nošenje antena ne zahteva se važećim srpskim standardom SRPS U.H2.110:1991 [13], ali je u Projektu [6] ipak dat zato što je to zahtev po temi odgovarajućeg DIN 4131:1991-11 [14] (objavljenog posle našeg standarda) koji detaljno definiše projektovanje i izvođenje antenskih stubova. Proračun zamora je obavezan za čelične konstrukcije za nošenje antena i prema EN 1993-3-1:2006 [16].

Proračun prema [14] sprovodi se za naprezanja nastala pri odvajaju vrtloga (poprečne oscilacije), proračunom odgovarajućih inercijalnih sila kao funkcija kritične brzine veta v_{cr} , Strouhalovog St i Skratonovog Sc broja, pri N ciklusa promena napona.

Rezultati proračuna su bili sledeći: 1) broj ciklusa promena napona $N = 5,7 \cdot 10^6$; 2) napon u pojasnim štapovima na nivou uklještenja u betonsku konstrukciju iznosi $\sigma = \pm 0,1 \text{ N/mm}^2$, dakle vrlo mala vrednost, čime je dokazano da je konstrukcija otporna na zamor.

3 Učesnici na poslovima izgradnje čeličnog dela konstrukcije tornja na Avali

Angažovane firme	Odgovorna lica
Generalni projektant: Saobraćajni institut CIP d.o.o. , Beograd.	Odgovorni projektanti betonske konstrukcije: Prof. Dr. Šerif Dunica, dipl.ing.građ. Branislav Životić, dipl.ing.građ.
Kooperant za Glavni projekt - proračun delovanja vетра i čeličnu konstrukciju: Delfin Inženjering d.o.o. , Beograd.	Odgovorni projektant čelične konstrukcije: Aleksandar Bojović, dipl.ing.građ.
Tehnička kontrola (revizija) Glavnog projekta: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu.	Tehnička kontrola Glavnog projekta: Prof. Dr. Milorad Ristić, dipl.ing.arh. Mr. Dragoslav Tošić, dipl.ing.građ.
Generalni izvođač: "Ratko Mitrović" Dedinje d.o.o. , Beograd.	Gradnja tornja: Goran Milovanović, dipl.ing.građ.
Radionička izrada konstrukcije: SZP Zavarivač a.d. , Vranje.	Šef nadzorne službe: Aleksandra Naumović, dipl.ing.građ.
Izvođački projekt – radionički crteži: MAG Invest d.o.o. , Beograd.	Nazorni inženjer na betonskoj konstrukciji: Sovjetko Juinović, dipl.ing.građ.
Kooperant za montažu: Montena d.o.o. , Beograd.	Nadzorni inženjer na čeličnoj konstrukciji: Biljana Rašeta, dipl.ing.grad.
HV-zavrtnji: MIN DIV Svrljig a.d. , Svrljig. Reyher GmbH , Hamburg, Nemačka. Peiner Umformtechnik GmbH , Peine, Nemačka.	
Ispitivanje koeficijenta trenja zavrtnjeva: Laboratorija GP Mostogradnja a.d. , Beograd.	
Nadzorna služba: Saobraćajni institut CIP d.o.o. , Beograd.	

4 Zaključak

Projekt čeličnog dela konstrukcije tornja dokazao je nosivost i upotrebljivost konstrukcije i njenu otpornost na zamor.

Svi učesnici izgradnje tornja i posebno njegovog čeličnog dela uložili su sva svoja znanja i moći da ovaj nesvakidašnji inženjerski poduhvat, uprkos ogromnim teškoćama svake vrste, u potpunosti uspe.

Literatura

Službena dokumentacija

- [1] Projektni zadatak za izradu Glavnog projekta obnove dela Kompleksa tornja na Avali. Republika Srbija. Ministarstvo za kapitalne investicije; broj 350-01-0211/2005-10. Beograd, 03.11.2005.
- [2] Projektni zadatak za tehnološki deo emisionog objekta Toranj na Avali. JP RTV Srbije, Tehnika RTS, Emisiona tehnika i veze. Beograd, 30.11.2004.
- [3] Tehnički uslovi za prođuženje rešetkastog antenskog stuba Tornja na Avali. RTS Emisiona tehnika i veze, Beograd. Beograd, 09.01.2009.
- [4] Podaci o UHF-antenskom sistemu. RTS Emisiona tehnika i veze, Beograd. Beograd, 26.01.2009.
- [5] Glavni projekat obnove dela kompleksa Tornja na Avali. Glavni projekat konstrukcije Tornja. Saobraćajni institut CIP d.o.o., Beograd. Beograd, decembar 2005.
- [6] Glavni projekat obnove dela kompleksa Tornja na Avali. Glavni projekat konstrukcije Tornja. Izmene i dopune. Saobraćajni institut CIP d.o.o., Beograd. Beograd, mart 2009.
- [7] UKT i RTV toranj na Avali. Il sveska: Statički proračun tornja i restorana. Projektni zavod Srbija projekt, Beograd. Beograd, 13.10.1960.

Literatura

- [8] Mendis,P., Ngo,T., Haritos,N., Hira,A., Samali,B., Cheung,J. : Wind Loading on Tall Buildings. EJS Special Issue: Loading on Structures (2007).
- [9] Nawrotzki,P., Dalmer,F.: Der Einfluss von Schwingungstilgern auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken. D-A-CH Tagung 2005.
- [10] Feldmann,M.: Praktische Anwendung der Windingenieurtechnik. Institut und Lehrstuhl fuer Stahlbau, Leichtmetallbau. SS 2002.
- [11] Kleingarn, J.-P: Verzinkungsgerechtes Konstruieren. Hinweise fuer ein korrosionsverhuetungsgerechtes Konstruieren. Eine Veroefentlichung der Beratung Feuerverzinken. Hagen, 1978
- [12] Petersen, Chr.: Stahlbau Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1988

Norme

- [13] SRPS U.H2.110:1991
Čelične konstrukcije za nošenje antena. Proračun, konstruisanje i izvođenje.
- [14] DIN 4131:1991-11
Antennenträgerwerke aus Stahl.
- [15] DIN 4133:1991-11
Schornsteine aus Stahl.
- [16] EN 1993-3-1:2006
Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 3-1: Towers, mast and chimneys - Towers and masts.
- [17] EN 1993-1-10:2005
Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties.