

Autori: Aleksandra Vasković¹, Bojan Vasković², Miko Maljević³

MONTAŽA ALUMINIJUMSKIH KROVOVA I MEMBRANA NA SANIRANIM REZERVOARIMA VELIKOG PREČNIKA

Rezime:

U proleće 1999. godine u toku bombardovanja od strane NATO-a, teško su oštećeni rezervoari R-27 i R-29, zapremine 60.000 m³ na skladištu tečnih goriva NIS-a u Smederevu. U radu su opisana oštećenja i postupci sanacije čelične konstrukcije na rezervoaru R-27, kao i specifičnosti montaže aluminijumskih kupolastih krovova i aluminijumskih unutrašnjih plivajućih membrana na saniranim rezervoarima, jedinstvenih po svojim dimenzijama u celom svetu.

Ključne reči: sanacija oštećenja, rezervoar velikog prečnika, montaža aluminijumskih kupolastih krovova, montaža aluminijumskih membrana

INSTALLATION OF ALUMINIUM DOMES AND DECKS ON REHABILITATED TANKS WITH LARGE DIAMETERS

Summary:

In spring 1999. during NATO bombing, the tanks R-27 and R-29 with the volume of 60.000 m³ were severely damaged at the storage of liquid fuels of NIS in Smederevo. The paper describes damages and procedures of the steel structure rehabilitation on the tank R-27, as well as specificities of installation of aluminium domes and aluminium internal floating decks on rehabilitated tanks, unique in the whole world for their dimensions.

Key words: rehabilitation of damages, large tank diameters, installation of aluminium domes, installation of aluminium decks

¹ Dipl.inž.maš, rukovodilac službe za razvoj i tehnologiju PC Batajnica, GP Mostogradnja AD

² Grad.inž, rukovodilac montaže PC Batajnica, GP Mostogradnja AD

³ Dipl.inž.maš. IWE, direktor PC Batajnica, GP Mostogradnja AD

1. UVOD

U proleće 1999. godine u toku bombardovanja, pogođeni su vertikalni, nadzemni, cilindrični rezervoari R-27 i R-29 za skladištenje derivata nafte, na skladištu tečnih goriva NIS-a u Smederevu. Usled toga su ovi rezervoari koje je GP „Mostogradnja“ AD izrađivala i montirala još davne 1983. godine, pretrpeli značajna oštećenja. To su rezervoari prečnika 73,125m, sa unutrašnjim čeličnim plivajućim krovovima i po svojoj zapremini su i dalje jedinstveni na ovim prostorima. Nakon detaljnog pregleda konstrukcije i studije opravdanosti dalje eksploatacije, usledila je izrada projekta sanacije rezervoara, atmosferskog tipa sa aluminijumskim samonosećim krovom i aluminijumskom plivajućom membranom, a u međuvremenu je uklonjen postojeći unutrašnji čelični plivajući krov i saniran je temelj rezervoara.

GP „Mostogradnja“ AD je za Investitora, Republička direkcija za robne rezerve Beograd, izvršila radove na sanaciji rezervoara R-27, a za Investitora NIS montažu aluminijumskih konstrukcija krova i membrane na rezervoaru R29. Radovi na montaži konstrukcije na gradilištu počeli su u avgustu 2012.godine, a završetak radova je bio u decembru 2013.godine.

Kompletna sanacija čelične konstrukcije rezervoara R-27, uključujući i montažu aluminijumskih krovova i unutrašnjih plivajućih membrana na oba rezervoara R-27 i R-29, trajala je približno 16 meseci.



Slika 1 - Rezervoari nakon sanacije

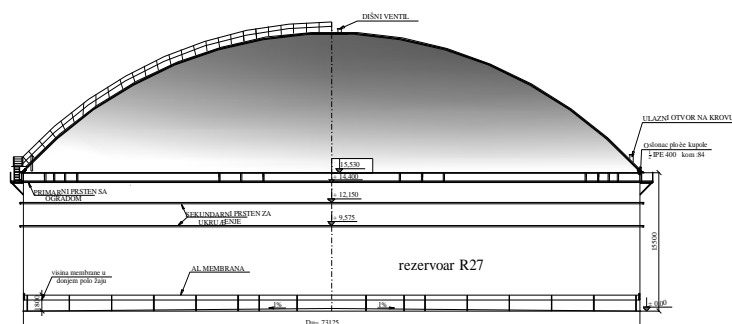
2. RADOVI NA SANACIJI REZERVOARA R-27

2.1. TEHNIČKI PODACI O REZERVOARU

Radni fluid:	sirova nafta/BMB/Dizel gorivo
Nominalna zapremina:	$V_s = 60.000 \text{ m}^3$
Visina cilindričnog dela omotača:	$H_s = 15.500 \text{ mm}$
Unutrašnji prečnik rezervoara:	$D_u = 73.125 \text{ mm}$
Površina dna rezervoara:	4.200 m^2
Tip krova:	Al kupolast, samonoseći

Visina krovne kupole: 15.703 mm

Ukupna visina rezervoara: 31.203 mm



Slika 2 – Dispozicioni crtež rezervoara R-27

Za potrebe sanacije, urađena su i sledeća dokumenta:

- tehnologija izvođenja radova na sanaciji,
- tehnologija zavarivanja čelične konstrukcije sa tehnologijom navarivanja uboja,
- elaborat zaštite na radu,
- projekat montaže aluminijumskog krova i unutrašnje plivajuće membrane,
- projekat izvedenog stanja objekta i
- elaborat kontrole kvaliteta.

2.2. SANACIJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE

Od udara projektila, koji je pogodio dno rezervoara R 27, potpuno je bio uništen čelični plivajući krov. Na mestu udara, u centralnom delu dna nastao je krater u temelju, sa uništenim limovima dna, a na samom omotaču od udara gelera nastao je veliki broj proboja i uboja, a došlo je i do značajnih odstupanja od vertikalnosti i kružnosti omotača.

2.2.1. Dno rezervoara

Limovi postojećeg primarnog dna su zamenjeni, centralni deo dna je u potpunosti uklonjen i zamenjen novim, a anularni prsten je delimično zamenjen. U svrhu kontrole nepropusnosti dna, ugrađeno je novo sekundarno dno od bradavičastog lima nazivne debljine 6/1,5 mm, zavareno na isti način kao i primarno dno.

2.2.2. Omotač rezervoara

Na osnovu detaljnog pregleda oštećenja na omotaču i defektaže oštećenja za svaku od 28 tabli (po svakom prstenu rezervoara) i 8 prstenova (po visini rezervoara), kao i geodetskog snimanja lokalnih deformacija na omotaču, izvršena je klasifikacija oštećenja, definisano je konstruktivno rešenje i postupak sanacije oštećenja na omotaču.

Klasifikacija oštećenja i načini sanacije:

1. Proboji su klasifikovani kao mesta koja su imala vidno izraženu lokalnu deformaciju od udara gelera (iako nije moralo biti i fizički probijeno). Veličina proboja je određivala dimenziju „zakrpe“ čija je dimenzija bila minimum tri puta veća od proboja. Ukupan broj ovako klasifikovanih mesta iznosio je 540, a izgled i položaj zakrpa određivan je u skladu sa standardom API 653.
2. Uboji su klasifikovani kao oštećenja limova do 1/3 debljine lima i oni su tokom sanacije navarivani i brušeni prema tehnologiji navarivanja uboja omotača. Ukupan broj ovako klasifikovanih mesta iznosio je 1217.
3. Zone velikih odstupanja od geometrije, mesta gde je horizontalna deformacija omotača u odnosu na teorijski cilindar bila veća od $H/200$. Predviđeno je rezanje i uklanjanje postojećih limova, savijanje na zadati radijus rezervoara i ugradnja novih limova u debljini i kvalitetu osnovnog materijala prema projektu. Svi sučeoani zavareni spojevi kontrolisani su ultrazvučnom metodom, vertikalni u obimu 100%, a horizontalni u obimu 20%. Ukupan broj novougrađenih tabli limova iznosio je 173, različitih dužina i širina.

U zonama većih odstupanja prečnika od $\pm 75\text{mm}$ od teorijske geometrije, kao poseban način sanacije primenjivan je i mehanički unos sile uz kontrolisano zagrevanje limova na pojedinim segmentima omotača rezervoara.

Sva nadvišenja na unutrašnjoj strani omotača, nastala zavarivanjem bilo je neophodno obrusiti, kako bi se obezbedilo nesmetano klizanje zaptivača unutrašnje plivajuće membrane. Ugradnja plivajuće membrane i montaža aluminijumskog kupolastog krova unutar rezervoara zahtevali su konstantno kontrolisanje odstupanja geometrije rezervoara, kao i dovođenje geometrije rezervoara u standardom dozvoljene tolerancije.



Slika 3 – Oštećenja na omotaču rezervoara



Slika 4 – Ispravljanje deformacija omotača

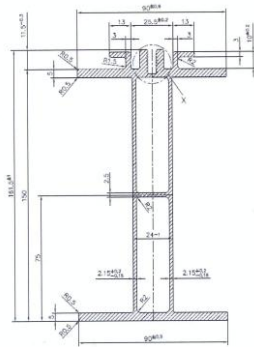
3. ALUMINIJUMSKE KONSTRUKCIJE KROVA I PLIVAJUĆE MEMBRANE

3.1. KROV REZERVOARA

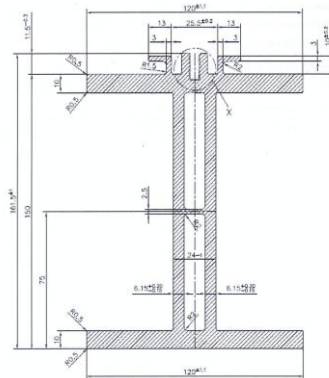
Krov rezervoara je aluminijski samonoseći, kupolasti i potrebno je da zadovoljava sve zahteve standarda API 650, Appendix G.

Kupola je samonoseća konstrukcija sastavljena od dvostrukih I profila prikazanih na slikama 5,6,7,8 (4 tipa profila J2, J4, J34, K1, ukupno 84 komada), izrađenih od aluminijske legure AlMgSi0,7 F27 (za profile preseka J) i AlMgSi1 F28 (za profile preseka K). Ovi elementi noseće konstrukcije obezbeđuju stabilnost krova pod sopstvenim i dodatnim opterećenjem od vetra, snega i seizmičkih sila. Međusobne veze više profila u čvoru ostvaruju se aluminijskim čvornim limovima i specijalnim, „lock bolt“, vijcima koji omogućavaju kontrolisani unos sile pritezanja. Krov se oslanja na omotač preko fiksnih oslonaca koji su zavareni za kružni čelični prsten za oslanjanje krova na vrhu omotača. Na vrhu omotača dodati su kao ukrućenje čelični profili, IPE 400, podužno isečeni. Trougaoni pokrivni limovi kupole su od aluminijske legure AlMnCu.

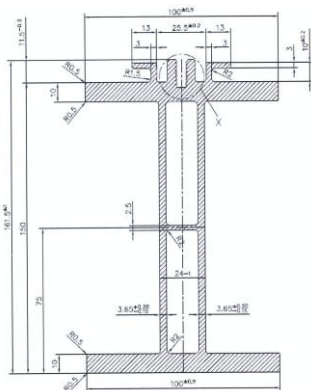
Masa konstrukcije aluminijskog kupolastog krova iznosi ≈ 55 t.



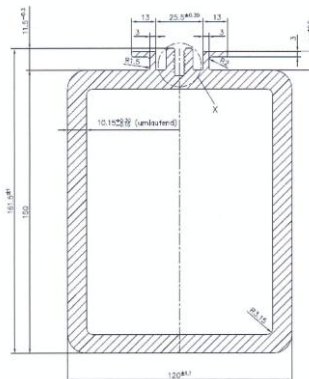
Slika 5 – Poprečni presek profila J2



Slika 6 – Poprečni presek profila J4



Slika 7 – Poprečni presek profila J34



Slika 8 – Poprečni presek profila K1

3.2. UNUTRAŠNJA PLIVAJUĆA MEMBRANA

U cilju smanjenja gubitaka nastalih usled isparavanja goriva kao i zbog smanjenja aerozagadenja, u rezervoar je ugrađena unutrašnja aluminijumska plivajuća membrana koja je projektovana tako da zadovolji standard za unutrašnje plivajuće krovove API 650, Apendix H. Ugradnja plivajuće membrane treba da smanji gubitke preko 95%.

Noseća konstrukcija sastoji se od plovaka izrađenih od aluminijumskih cevi (pontona) i nosećih aluminijumskih profila od aluminijumske legure AlMgSi, a pokrivni limovi su debljine 0,5/0,7mm, kvaliteta AlMn1. Svi vezni elementi su od nerđajućeg čelika.

Membrana je u svom donjem položaju udaljena 1800 mm od dna rezervoara, što ujedno predstavlja i radni i remontni položaj plivajuće membrane.

Radi sprečavanja isparavanja kroz prostor između omotača i obodnog profila membrane, montira se dupli zaptivni sistem, otporan na uskladišteni fluid, dovoljno fleksibilan da se prilagodi dozvoljenim odstupanjima poluprečnika rezervoara.

Masa konstrukcije unutrašnje aluminijumske membrane iznosi ≈ 14 t.

3. MONTAŽA ALUMINIJUMSKE KONSTRUKCIJE

3.1. KROV REZERVOARA

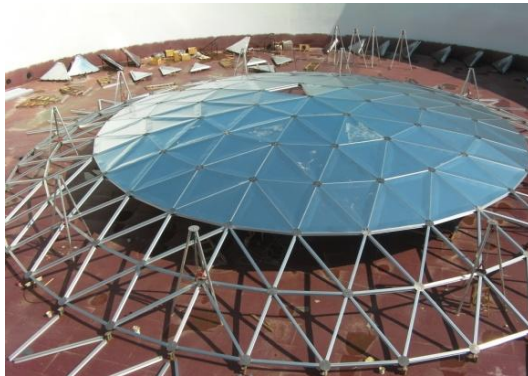
GP „Mostogradnja“ AD je na ovim prostorima prva počela da ugrađuje aluminijumske krovove i membrane na rezervoarima i to u vreme kada su ove konstrukcije tek počele da se primenjuju u svetu. Ipak, do ovih rezervoara, najveći prečnik rezervoara na kome smo ugradili krov i membranu od aluminijuma, iznosio je 43 m.

Ova dva rezervoara su po svojim dimenzijama jedinstveni u regionu, pa je i za isporučioaca aluminijumske samonoseće kupole ova konstrukcija bila ozbiljan izazov.

Sama montaža kupolastih krovova ovakvih dimenzija, zahtevala je maksimalnu preciznost ugradnje elemenata u fazi ukрупnjavanja i podizanja konstrukcije u projektovani položaj zbog malog rastojanja između omotača rezervoara i obodnih elemenata krova.

Ukrupnjavanje se vrši postepeno, u unutrašnjosti rezervoara, prsten po prsten, idući od centra ka periferiji uz korišćenje posebnih alata i opreme sve dok se ne izvrši kompletno ukрупnjavanje konstrukcije krova. Za podizanje aluminijumske kupole sa dna rezervoara u projektovani položaj, na omotač rezervoara na jednakim rastojanjima po obimu, u ovom slučaju na 42 mesta, postavljena je pomoćna konstrukcija sa ručnim dizalicama nosivosti 3,5t. Samo podizanje krova se vrši istovremeno, na svih 42 mesta, uz geodetsko praćenje horizontalnosti konstrukcije tokom montaže.

Ukrupnjavanje konstrukcije i montaža aluminijumskog krova na jednom rezervoaru trajala je 40 radnih dana dok je samo podizanje kupole u projektovani položaj trajalo 5 časova.



Slika 9- Početak montaže krovne kupole

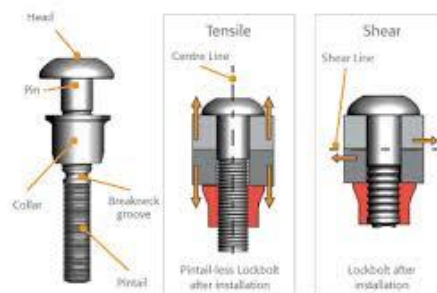


Slika 10 – Krov u projektovanom položaju

U cilju obezbeđenja maksimalnog kvaliteta i sigurnosti, GP „Mostogradnja“ AD je izvršila dodatnu tehničku kontrolu projekta sa strukturalnom analizom i analizom gubitaka stabilnosti krovne konstrukcije na bazi MKE i proverom nosivosti čvornih veza.

Takođe, obzirom da za isporučene „lock bolt“ vijke, koji su po projektu trebali da budu u kvalitetu 8.8, proizvođač nije mogao da dostavi atestnu dokumentaciju, u Laboratoriji za ispitivanje materijala GP „Mostogradnja“ AD, izvršeno je ispitivanje njihovih mehaničkih karakteristika. Ovom proverom je utvrđeno da je značajna količina isporučenih vijaka bila u kvalitetu 5.6.

Na osnovu svih dobijenih rezultata, GP „Mostogradnja“ AD je dala nalog isporučiocu konstrukcije aluminijumskog krova da izvrši zamenu kompletno isporučenih spojnih sredstava sa „lock bolt“ vijcima u kvalitetu 10.9.



Slika 11- „lock-bolt“ vijci

3.2. UNUTRAŠNJA PLIVAJUĆA MEMBRANA

Početak montaže obuhvata određivanje centralne ose rezervoara i membrane, a nakon toga sledi montaža obodnog prstena koji se postavlja na aluminijumske oslonce koji se nivelišu zbog konveksnosti ili konkavnosti dna rezervoara.

Nakon toga sledi montaža rama od U nosača koji su uvek paralelni sa centralnom linijom i uvek su na međusobno istom rastojanju. Montaža plovaka, spojenih za U nosače, počinje od centra rezervoara s tim što se postavlja svaki drugi red da bi se omogućilo lakše sklapanje kompletnog rama. Na obodnom prstenu se sa donje strane montiraju plovci, dok se sa gornje strane postavlja zaptivač koji sprečava isparavanje fluida u prostoru između membrane i unutrašnje strane omotača rezervoara.



Slika 12 – Početak montaže



Slika 9 – Membrana u svom radnom položaju

4. ZAKLJUČAK

GP „Mostogradnja“ AD je u svojoj dugogodišnjoj praksi izvršila izgradnju velikog broja rezervoara za skladištenje nafte i naftnih derivata. Ipak, sanacija rezervoara oštećenih nakon bombardovanja zahtevala je specifičan inženjerski pristup svakom objektu ponaosob kao i izradu jedinstvenih tehnologija za izvođenje pojedinačnih radova na sanaciji. Poseban izazov predstavlja i dovođenje geometrije bombardovanog objekta u standardom propisane tolerancije, koje su neophodne za ugradnju aluminijumskih konstrukcija kupolastog krova i unutrašnje plivajuće membrane, a pogotovo kada je reč o konstrukcijama ovako velikih dimenzija.