

OSVRT NA PRISTUPE PROJEKTOVANJA I PROCJENE STANJA NADZEMNIH-VERTIKALNIH ZAVARENIH ČELIČNIH REZERVOARA

Ismar Hajro, v.prof. dr.

Mašinski fakultet Sarajevo, Vilsonovo šetalište 9, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Ključne riječi: *zavareni čelični rezervoari, projektovanje, procjena stanja, inspekcija*

Sažetak:

U radu su prikazani osnovni zahtjevi pri projektovanju novih nadzemnih-vertikalnih zavarenih čeličnih rezervoara za skladištenje derivata nafte prema evropskim i američkim normama: EN 14015 i API 650. Od brojnih zahtjeva iz predmetnih normi, kao važni izdvajaju se: izbor materijala, projektno-eksploataciona opterećenja, detalji zavarenih spojeva, specifični zahtjevi vezano za zavarivanje, te zahtijevana ispitivanja bez razaranja i inspekcija.

Obzirom da rezervoari u eksploataciji predstavljaju veoma odgovorne konstrukcije, u nastavku rada je dat osvrt na pristupe procjeni stanja i redovnoj inspekciji postojećih rezervoara, kao i metodama ispitivanja koje se pri tome koriste u skladu sa smjernicama datim u API 653 i EEMUA 159.

U radu je dat i kraći osvrt na određena ekstremna eksploataciona opterećenja koja su uglavnom ne uzimaju u obzir pri projektovanju (ili kao realna zanemaruju), a mogu izazvati nesagledive havarije rezervoara.

REVIEW OF APPROACHES FOR DESIGN AND STRUCTURAL ASSESSMENT OF ABOVEGROUND-VERTICAL WELDED STEEL TANKS

Key words: *welded steel tanks, design, structural assessment, inspection*

Abstract:

The paper presents basic requirements for design of new aboveground-vertical welded steel tanks for storage of oil products according to European and American codes: EN 14015 and API 650. Beside many requirements of the subject codes, the following are particularly important: material selection, design-service loads, welded joint details, specific requirements for welding, and required non-destructive testing and inspection.

Due to the fact that tanks are demanding structures, the paper further presents review of approaches for structural assessment and regular inspection of existing tanks, as well as about inspection methods used according to guidelines provided in API 653 and EEMUA 159.

Also, a short review is provided regarding particular extreme loads which are not considered within design (or neglected as a real one), but which can cause unforeseeable tank failures

1. UVOD

Zahtjevi za projektovanje, prefabrikaciju i montažu primjenom zavarivanja, te za inspekciju novih nadzemnih-vertikalnih rezervoara (hrv. spremnika) definirani su američkim i evropskim normama: API 650 [1] i EN 14015 [2]. Pored ovih internacionalnih normi, u pojedinim zemljama su korištene i nacionalne norme, poput BS 2654¹ ili JUS M.Z3.054¹. Zavisno od tržišta i države gdje se naručuje projektovanje i izgradnja mogu se zahtijevati i dodatne specifikacije ili standardi prema zahtjevu klijenta (npr. DEP² Shell). Ove zadnje u principu pored specifičnih dodatnih uslova

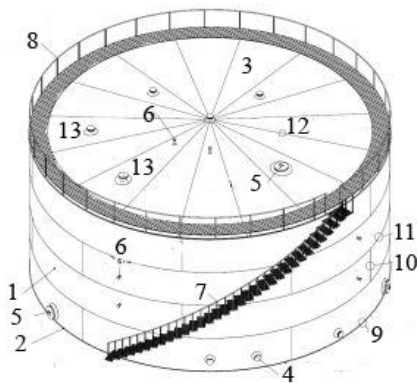
¹ Od 2004. god. zamijenjena sa EN 14015.

² DEP; eng. Design and Engineering Practice.

ili zahtjeva klijenta uglavnom sadrže i reference aktualnih internacionalnih normi (API, ASME, EN, EN ISO...).

Generalno, nadzemni-vertikalni rezervoari (na dalje samo „rezervoari“) mogu biti različitih izvedbi: sa fiksnim krovom, sa tzv. „unutrašnjim“ ili „vanjskim“ plivajućim krovom; različitog projektnog pritiska: atmosferski ili niskog-pritiska, ali generalno unutrašnjeg pritiska gasne faze manjeg od 172 mbar-a [1]. Također, veličinom rezervoari mogu biti i preko 60m u promjeru i kapaciteta (skladišnog prostora) i preko 60.000m³. Ovako veliki rezervoari praktično imaju više stotina tona ugrađene zavarene čelične konstrukcije, pri čemu je konzervativno cca. 0,5% masa zavarenih spojeva.

Osnovne komponente rezervoara su podnica, plašt i krov (Sl. 1). Naravno, ostale neophodne i funkcionalne komponente su: procesni priključci, revizioni otvori, pripadajući cjevovodi, cjevovodi protu-požarne zaštite, različita instrumentacija (mjerno-regulacioni sistemi), sigurnosni ventili, rukohvati, stepenište, te konačno i sistemi za zaštitu od korozije (SZK).



1. *Plašt*
2. *Podnica (Obodni prsten + Centralni dio)*
3. *Krov*
4. *Procesni priključci*
5. *Revizioni otvori*
6. *Priključci instrumentacije*
7. *Stepenište sa rukohvatom*
8. *Krovno gazište sa rukohvatom*
9. *Zavareni spoj podnica-plašt*
10. *Vertikalni zavareni spojevi plašta*
11. *Horizontalni zavareni spojevi plašta*
12. *Zavareni spojevi krova + spoj plašt-krov*
13. *Priključci sigurnosnih ventila*

Slika 1. Osnovne komponente rezervoara i pozicija pojedinih zavarenih spojeva

2. ASPEKTI PROJEKTOVANJA

Prema [1,2], projektovanje rezervoara podrazumijeva najmanje: izbor materijala, dimenzioniranje osnovnih komponenti (izbor debljine), definiranje detalja zavarenih spojeva, provjeru na projektna opterećenja, analizu posebnih zahtjeva vezano za zavarivanje (prefabrikacija i montaža, kvalifikacija zavarivača i procedura zavarivanja, kvaliteta spojeva), obim inspekcije i primjena metoda ispitivanja bez razaranja (IBR), specifične zahtjeve na relaciji klijent-izvođač, zaključno sa posebnih zahtjevima vezano za tehničku dokumentaciju izvedenog stanja.

Kada je u pitanju izbor materijala (konstrukcionih čelika) primarni zahtjevi se odnose na zavarljivost (kemijski sastav i kvalitetu čelika), te na potrebnu žilavost koja je određena kvalitetom (grupom) čelika, projektnom debljinom i minimalnom projektnom temperaturom. Pored toga što se ovaj zahtjev praktično odnosi na osnovni materijal, isti dalje važi i za kvalifikaciju procedura zavarivanja (ispitivanje sa ili bez dokazivanja zahtijevane udarne žilavosti).

Prema EN 14015³, za izgradnju rezervoara koriste se ugljenični-nelegirani (C i CMn) konstrukcioni čelici, dominantno opšti konstrukcioni (tipa S235 i veće čvrstoće, prema EN 10025), te rjeđe kvalitetniji čelici za opremu pod pritiskom (tipa P235 i veće čvrstoće, prema EN 10028). Čak šta više, projektni normativi prepoznaju i mogućnost upotrebe nehrđajućih čelika, kao i Al-legura (npr. za plivajuće i fiksne krovove). Sa aspekta izbor čelika veće čvrstoće, radi smanjenja mase ili generalno troškova izgradnje, iste ima smisla izabrati za pločevinu plašta rezervoara, obodnog prstena podnice i plivajućeg krova, dok je za centralni dio podnice i pločevinu fiksnih krovova sasvim dovoljno izabrati čelike klase čvrstoće S235 (min. napona tečenja 235 MPa). Svi ostali elementi konstrukcije se najčešće izrađuju od čelika nešto veće čvrstoće, min. tipa S275 (min. napona tečenja S275 MPa). Kako god, izbor čelika povećane čvrstoće radi smanjenja ukupne mase rezervoara predstavlja razuman tehno-ekonomski zahtjev, pri čemu sa druge strane rezervoar mora imati i dovoljnu stabilizirajuću masu⁴ na različita projektno-eksploataciona opterećenja.

Kao poseban zahtjev klijenta⁵, pri dimenzioniranju treba uzeti u obzir i zahtijevani dodatak na koroziju, koji se okvirno kreće u rasponu 1-3mm. Isti se principijelno određuje iskustveno na osnovu agresivnosti uskladištenog medija, stanja okoline, predviđenih SZK, a sve u vezi sa planiranim (projektnim) minimalno garantiranim eksploatacionim vijekom rezervoara.

Projektna opterećenja koja se moraju uzeti u obzir pri dimenzioniranju, odnosno provjeri rezervoara u fazi projektovanja su: (a) vlastita težina, (b) unutrašnji pritisak i vakuum, (c) hidrostatičko opterećenje uskladištenog produkta, (d) „živa“ opterećenja krova, (e) opterećenja uslijed snijega i kiše, (f) opterećenja uslijed vjetra i zemljotresa, (g) te opterećenja priključnih elemenata (npr. procesnih cjevovoda uslijed dilatacija).

Dok su za većinu opterećenja date vrlo jasne i precizne smjernice za analitički proračun i provjere, za pojedine elemente projektanti moraju uraditi proračune⁶ prema drugim referentnim normativima ili drugoj dobroj praksi projektovanja. Ovo zadnje se posebno odnosi na noseću konstrukciju krovova i plivajuće krovove. U tim slučajevima standardi za projektovanje [1,2] definišu samo minimalne uslove i zahtjeve za provjere (npr. slučaj provjere pouzdanog plivanja plivajućeg krova sa dodatnim opterećenjem 25cm kišnice i nefunkcionalnim drenažnim sistemom).

Ipak, kao će već biti pokazano u nastavku rada, rezervoari mogu biti pod određenim ekstremnim eksploatacionim opterećenjima za koja ne postoje trenutno reference u projektnim standardima, u smislu preporuka ili zahtjeva, što projektantima predstavlja poseban izazov.

Kako god, kao pomoć iskusnijim projektantima, posebno u smislu brže izrade projekata, već duže vrijeme su dostupne i određene CAD-CAE⁷ aplikacije, poput onih datih u [3,4].

Kada su u pitanju zahtjevi vezano za zavarivanje isti se odnose na mogućnosti izbora postupaka zavarivanja (ručno ili mehanizirano), te uobičajene zahtjeve vezano za kvalifikaciju zavarivača ili operatera, te kvalifikaciju procedura zavarivanja. Naravno, standardi jasno determiniraju i moguće izvedbe zavarenih spojeva, pri čemu su za ugaone (kutne) spojeve date jasne preporuke za izbor pripreme i dimenzija, dok se za sučeonne spojeve (svi sa punom penetracijom) smatra da su sa čvrstoćom većom od čvrstoće osnovnog materijala, što se konačno dokazuje u okviru kvalifikacija procedura zavarivanja. Tako se za ključne elemente konstrukcije rezervoara propisuje da [1,2]:

- svi horizontalni i vertikalni spojevi plašta, te spojevi obodnog prstena podnice moraju biti sučeonni (horizontalni u odnosu na gornji i donji vertikalni bez ukrštanja), dok
- se ugaoni (kutni) spojevi mogu primijeniti na centralnom dijelu podnice i za spajanje pločevine krova (također bez ukrštanja);

³ Slično važi i prema API 650, s tim što su više zastupljeni standardni čelici prema ASTM.

⁴ Drugačije, nameće se potreba za ankerisanjem, što se uglavnom nastoji izbjeći zbog veličine betonskih temelja.

⁵ U vidu tehničke specifikacije rezervoara; eng. Tank Data Sheet.

⁶ Uključujući i po potrebi numeričke analize naponsko-deformacionog stanja; eng. FEA - Finite Elemente Analysis.

⁷ CAD; eng. Computer Aided Design; CAE; eng. Computer Aided Engineering.

- se spoj između plašta i podnice izvodi kao obostrani ugaoni (kutni), u principu bez pune penetracije (po debljini lima plašta).

Kada je u pitanju kvaliteta zavarenih spojeva ona je precizno definirana sa aspekta kriterija prihvatljivosti nesavršenosti (greške tipa pukotina nisu dozvoljene). Naravno, kvaliteta zavarenih spojeva se ispituje standardnim metodama: generalno vizualno (VT), radiografski (RT) i ultrazvučno (UT) za sućeone spojeve, te magnetnim česticama (MT) ili penetrantima (PT) za ugaone (kutne) spojeve priključaka, vakuum papučom (VB) za ugaone (kutne) spojeve podnice i krova. Konačno, za provjeru čvrstoće i nepropusnosti obavezan je hidro-test neposredno pred puštanje u pogon [1,2].

3. MEHANIZMI DEGRADACIJE I PREOPTEREĆENJA

Rezervoari mogu biti izloženi različitim mehanizmima degradacije i preopterećenjima u toku eksploatacionog vijeka; pri čemu je najdominantnija degradacija korozijom [5] (ekstremni slučaj prikazan na Sl. 2a). Intenzitet korozije je bitno određen kvalitetom primijenjenih sistema za zaštitu od korozije (SZK). Tako, postojeći normativi [6] preporučuju jedan kombinirani pristup upotrebom Sistema za prevenciju curenja⁸ baziranih na različitoj opremi za detekciju curenja i optimalnom izboru SZK (uključuje upotrebu katodne zaštite i antikorozivnih premaza). Glavni problem sa korozijom je generalni ili lokalni gubitak debljine, gubitak stabilizirajuće mase, povećanje naponskog stanja, te kao ekstremni slučaj curenje produkta uslijed proboja materijala. Iskustveno, većina mehanizama degradacije se značajno intenzivira kao posljedica loše prakse projektovanja i izgradnje. Tako, upravo zavareni spojevi za površinskim greškama i nesavršenostima (Sl. 2b i 2c), kao i mjesta „zarobljavanja“ ostataka vlage i vode ili isparenja produkta predstavljaju glavna područja intenzivne korozije ili u ekstremnim slučajevima curenja [5,8].



a) Teško korodirani krov i plašt rezervoar (krov bez zaštitnih premaza)



b) Proboji uslijed korozije u zoni lošeg spoja (krov)

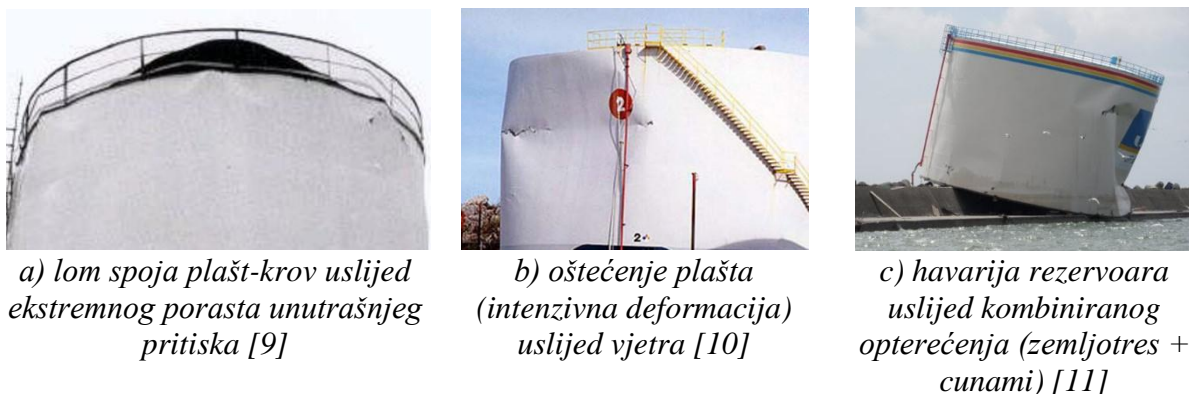


c) Piting korozija u zoni lošeg spoja (plašt)

Slika 2. Primjeri korozije rezervoara [8]

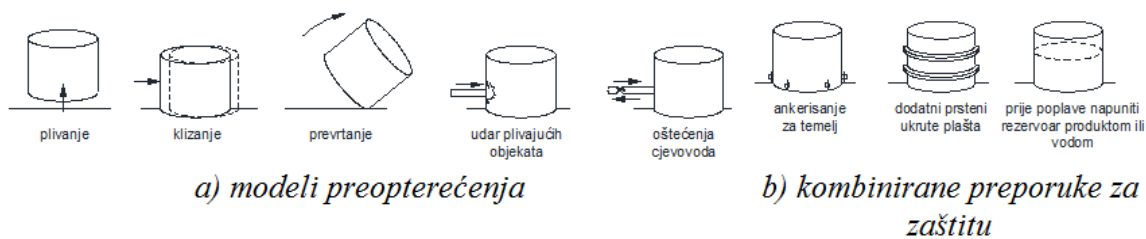
Pod preopterećenjima se mogu smatrati loše pretpostavljena opterećenja i intenziteti istih, ili čak potpuno zanemarena opterećenja u fazi projektovanja. Praktično, u slučaju pojave istih konstrukcija rezervoara trpi ekstremna naponsko-deformaciona stanja, znatno iznad dozvoljenih napona i napona tečenja osnovnih materijala. Ovo ima za posljedicu pojavu nepovratnih (plastičnih) deformacija, inicijaciju rasta pukotina (ekstremno lomova materijala), ili generalno havariju rezervoara. Među preopterećenjima, za najopasnije se mogu smatrati: opterećenja uslijed zemljotresa, incidentni porasti radnog pritiska, jake kiše i snjegovi, te cunami i/ili poplave (Sl. 3).

⁸ RPS; eng. Release Prevention System.



Slika 3. Primjeri preopterećenja i oštećenja (havarija) rezervoara

Upravo poplave predstavljaju jedan od tipova preopterećenja, za koje trenutno nema smjernica ili posebnih zahtjeva u dostupnim projektnim normativima vezano za zaštitu rezervoara. Ipak, dostupne su različite studije i istraživanja u Evropi i svijetu [12,13] koje nude okvirne preporuke za zaštitu rezervoara (Sl. 4b), kao i objašnjenja mogućih modela opterećenja u toku poplava (Sl. 4a).



Slika 4. Modeli preopterećenja rezervoara uslijed poplava i preporuke za zaštitu [12,13]

Primjer jednog preopterećenja uslijed poplava dat je na Sl. 5a. Riječ je havarisanom rezervoaru (Sl. 5b) nakon poplava 2014 god. u Bosni i Hercegovini. Naime, u toku poplava rezervoar je bio prazan (izvan funkcije) sa stabilizirajućom masom od cca. 102 tone, što nije bilo dovoljno da se odupre plivanju (podizanju) tokom intenzivne poplave (plavljenje min. 1,2 m do ivice tankvane).



Slika 5. Primjer preopterećenje u toku poplava i havarija rezervoara (BiH, 2014)

Činjenica da su rezervoari sa aspekta stabilnosti najosjetljiviji kada su prazni (bez uskladištenog produkta – ekstra stabilizirajuće mase) jasno je i iz zahtjev projektnih normativa za provjerama na

opterećenja uslijed vjetra i zemljotresa, jer se konačno stabilnost istih provjerava za dva stanja: (1) prazan rezervoar, kao i za (2) rezervoar napunjen produktom do pola visine [1,2].

4. PRINCIPI PROCJENE STANJA I INSPEKCIJA POSTOJEĆIH REZERVOARA

Na „uređenim“ tržištima procjena stanja postojećih rezervoara su uglavnom izvodi od strane autoriziranih inspektora, odnosno kvalificiranog osoblja prema dostupnim normativima [6,7] i odgovarajućoj nacionalnoj zakonskoj regulativi. Ipak, procjena stanja rezervoara se na određeni način mora vršiti na „neuređenim“ tržištima, gdje zakonska regulativa ne prepoznaju relevantne normative ili smjernice prema [6,7]. Kako god, precizne smjernice za procjenu stanja rezervoara i odgovarajuće inspekcije su definirane u američkom normativu API 653 [6] i britanskom vodiču EEMUA 159 [7]. Oba dokumenta definiraju opšte pristupe za inspekciju „u toku upotrebe“⁹ i „izvan upotrebe“¹⁰ rezervoara, učestalost inspekcije, kao i preporučene IBR metode (Tab. 1).

Tabela 1. Preporučene IBR metode za inspekciju postojećih rezervoara [6,7]

Primjenjiva metoda / Komponenta rezervoara	Vanjska inspekcija Rezervoar „u toku upotrebe“	Vanjska + Unutrašnja inspekcija Rezervoar „izvan upotrebe“
Podnica	VT, AE	VT, MFL+UT, MT, VB
Plajt	VT, UT, AE	VT, MT, UT, RT
Krov	VT, UT, AE	VT, UT, (VB)

Napomene: UT-Snimanje preostale debljine ultrazvukom; MFL-Mapiranje magneto-fluksom; AE-Akustična emisija.

Izbor i upotreba određene IBR metode i odgovarajuće opreme zavisi od dostupnosti osposobljene i nominirane IBR institucije. Sa nedavnim razvojem modernih IBR metoda i opreme, danas je dostupno nekoliko veoma sofisticiranih IBR sistema [14,15] za evaluaciju i snimanje integriteta rezervoara. Naravno, glavni razlozi primjene izabranih IBR metoda su:

- mjerenje (snimanje ili mapiranje) preostale debljine ključnih komponenti rezervoara; i
- otkrivanje bilo kakvih anomalija, grešaka ili nesavršenosti koje značajnije mogu narušiti integritet rezervoara, poput deformacija, inicijacije i rasta grešaka tipa pukotina, i slično.

Neophodno je napomenuti da API 653 i EEMUA 159 daju vrlo precizne upute za procjenu stanja uslijed degradacije korozijom, odnosno gubitka debljine komponenti. Za svaku drugačiju anomaliju osnovnih materijala ili zavarenih spojeva (tipa pukotina) potrebno je koristiti više sofisticirane pristupe i procedure procjene kako je objašnjeno u normi API 579-1 / ASME FFS-1¹¹.

Za snimanje preostale debljine glavnih komponenti rezervoara, ultrazvučno mjerenje debljine (UT) predstavlja ključno ispitivanje za plajt i krov, dok se za podnicu UT kombinira sa MFT. Kada se UT primjenjuje za mjerenje u tačkama neophodno je prethodno planirati odgovarajuću mrežu ispitivanja (tzv. „paukovu mrežu“) koja ima ishodište u centru podnice, dalje preko plajta, do centra krova. Razmak između referentnih linija mreže određen je principijelno visinom i promjerom rezervoara. Drugačije, upotrebom sofisticiranih sistema za snimanje (mapiranje), poput onih datih u [14], moguće je praktično snimanje preostale debljine kompletne površine. Kako god, jednom kada se odrede prosječne preostale debljine neophodno je izvršiti i procjenu ukupne vlastite mase, što je bitan ulazni podatak za naknadne procjene naponskog stanja i stabilnosti.

⁹ eng. In-service.

¹⁰ eng. Out-of-service.

¹¹ FFS; eng. Fitness-for-Service; bos/hrv. Pogodnost za upotrebu.

Dalje, bilo kakve deformacije plašta ili generalno slijeganje može predstavljati ozbiljan problem za integritet konstrukcije. Za snimanje ovih pojava od pomoći su geodezijski laseri. Principijelno predmetom provjere na osnovu ovih snimanja su odstupanja od vertikalnosti, deformacije plašta, te bilo kakva slijeganja podnice (uključujući spoj sa plaštom) i temelja rezervoara.

Za procjenu stanja, planiranje inspekcije, odnosno pravilan izbor obima i redoslijeda primjene IBR metoda (tipa ITP plana) je od ključne tehno-ekonomske važnosti. Također, kriteriji prihvatljivosti, prema [6,7], moraju biti jasno definirani i dostupni neposredno prije primjene IBR. Jedan generalni pristup pri procjeni stanja je dat u Tab. 2.

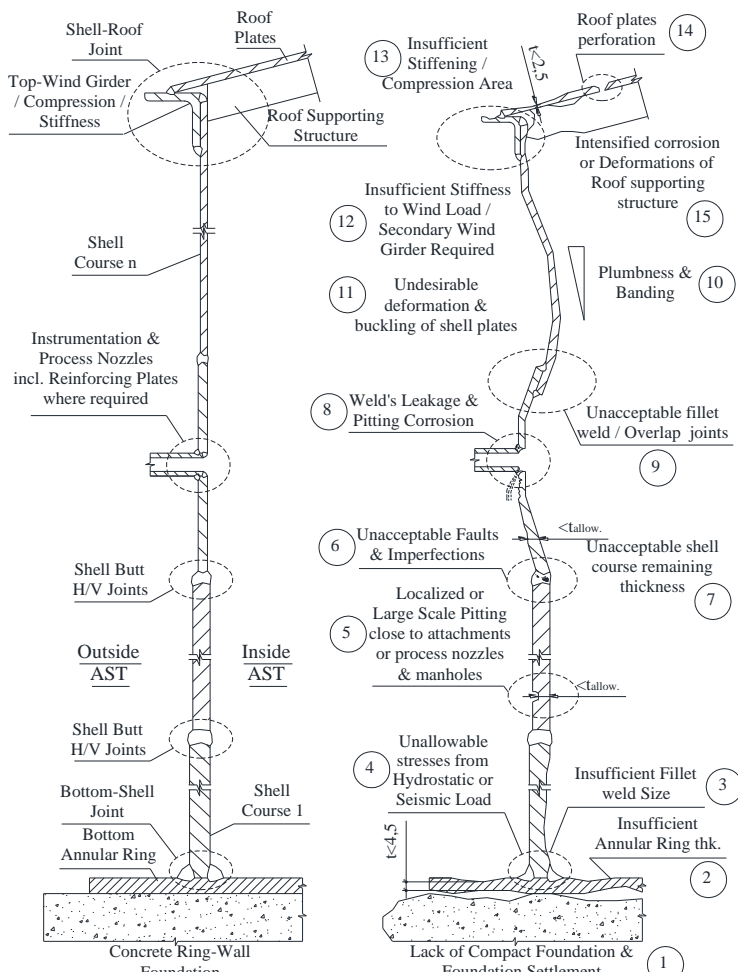
Tabela 2. Generalni pristup i redoslijed aktivnosti pri procjeni stanja i sanaciju rezervoara

Polazne aktivnosti	Inspekcija	Procjene i proračuni	Preporuke za sanaciju
Analiza dokumentacije izvedenog stanja i bilo kakvih prijašnjih inspekcija i sanacija (ako je dostupno). Analiza posebnih zahtjeva klijenta za dalji rad (npr. upotreba SZK). Planiranje inspekcije i IBR (priprema ITP). Sigurnosno-tehnološka priprema (ventiliranje unutrašnjosti rezervoara; priprema površina za IBR, po potrebi).	Geodezijska mjerenja (laserom). Kontrola gabaritnih mjera: promjera i visine (radne zapremine). Vanjska inspekcija: VT generalno + spojeva; UT preostale debljine obodnog prstena, plašta i krova. Unutrašnja inspekcija: VT generalno + spojeva; MFL+UT podnice, MT+VB spojeva podnice; VT+PT/MT noseće konstrukcije krova. Detaljni IBR priključaka (VT+MT+RT). Djelomični IBR spojeva plašta (RT/UT).	Analiza IBR, preostale debljine (procjena prosječnih debljina) / dimenzija kutnih spojeva. Naponsko stanje plašta (hidrostatičko / seizmičko opterećenje). Stabilnost uslijed seizmičkog opterećenja i vjetra. Krutost plašta na opterećenje vjetrom. Provjera noseće konstrukcije krova. Savijanje/ugibanje plašta uslijed opterećenja sa (fiksno) krova.	Odluka o promjeni (smanjenju) procesnih parametara. Odluka o načinu održavanja i tipu sanacije. Izbor tipa sanacije (popravke zavarivanjem topljenjem: kompletna zamjena novim limovima, lokalno isijecanje/montaža novih isječaka limova, popravka limovima-zakrpama; popravka „hladnim zavarivanjem“ – metalnim česticama ojačanim epoksi premazima). Definiranje kvalitativnih zahtjeva vezano za sanacione radove (kriteriji prihvatljivosti).

Tipični primjeri grešaka i nesavršenosti na poprečnom profilu jednog rezervoara za procjenu u usporedbi sa zahtijevanim (za novi rezervoar) prema dobroj praksi projektovanja i izgradnje je prikazan na Sl. 6a. Iako sve prikazane greške i nesavršenosti ne moraju biti otkrivene na jednom rezervoaru u toku procjene stanja, Sl. 6a ima namjeru jednog sumarnog prikaza. Dok je određene tipove grešaka i nesavršenosti moguće uspješno sanirati, nekolicina ih je veoma opasna i nepogodna za sanaciju (greške „10“ i „11“ na Sl. 6a). Također, namjera Sl. 6a je da pruži predstavu o jednom relativno velikom i sveobuhvatnom obimu inspekcije i primjene odgovarajućih IBR metoda.

Typical joints and components of new
AST / As required / Not to Scale

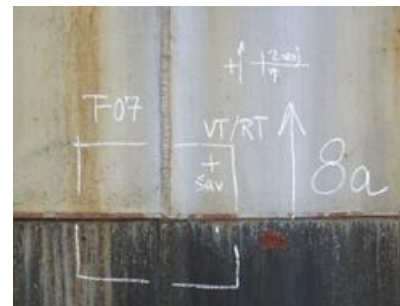
Typical joints faults and corrosion issues,
as samples, during Structural Assessment
/ Not to Scale



a) usporedba zahtjevanog poprečnog profila novog rezervoara sa profilom oštećenog rezervoara (sa greškama i nesavršenostima)



b) Primjer oštećenja betonskog temelja i tragovi curenja – indikacija proboja podnice



c) Primjer nedozvoljene prakse ukrštanja sučeonih spojeva plašta

Slika 6. Primjeri oštećenja rezervoara [16]

Konačno, mora se skrenuti pažnja da je strukturni integritet rezervoara, kao čelične konstrukcije, u direktnoj zavisnosti stanja nosećeg temelja, što je suštinski dio građevinskog projekta ili procjene, posebno u vezi sa bilo kakvim slijeganjem ili neželjenim oštećenjima betonskog prsten-temelja (greška „1“ na Sl. 6a i primjer na Sl. 6b).

Također, pouzdan rad i funkcionalni integritet bilo kojeg rezervoara jako zavisi od procesnih parametara i odgovarajuće instrumentacije, kao i od primijenjenog sistema za protupožarnu zaštitu.

5. ZAVRŠNI KOMENTARI

Projektovanje, izgradnja i inspekcija novih nadzemnih-vertikalnih rezervoara su neraskidivo odgovorne i multidisciplinarne aktivnosti. Rijetke su firme i tržišta gdje se sve navedene aktivnosti, uključujući i puštanje u pogon, mogu vršiti od strane jedne firme (tipa projekta „ključ u ruke“). Također, uglavnom je zakonski propisan i pouzdan pristup da svaka od ove tri generalne aktivnosti bude predmetom ovjeravanja ili nadzora trećih neovisnih (specijaliziranih ili osposobljenih) strana (revizija i ovjera projekta; nadzor prefabrikacije i montaže; super-nadzor/super-inspekcija).

Iako su zahtjevi za projektovanje sveobuhvatni i dostupni u referentnim normativima, zanemarivanje pojedinih u bilo kojoj fazi nastanka proizvoda (rezervoara) može imati nesagledive posljedice na integritet i pouzdan rad. Također, važno je poznavati i mehanizme degradacije u toku eksploatacije rezervoara, kao i pouzdano predvidjeti različite tipove i intenzitete opterećenja.

Među brojnim opterećenjima na koje se provjeravaju rezervoari, u posljednje vrijeme posebno do izražaja, u vidu preopterećenja, dolaze ona uslijed uticaja okoline (poput zemljotresa i poplava uslijed intenzivnih kiša). Ovo nameće potrebu za jednim kvalitetnim i pažljivim pristupom vezano za izradu i reviziju nacionalnih aneksa (karte zemljotresa, kiše, snijega, vjetra i sl.) za projekte standarde.

Detaljne i pažljive inspekcije postojećih rezervoara ne bi trebale biti samo svrha procjene stanja nakon značajnog eksploatacionog vijeka, već se one, kao redovne i periodične, trebaju planirati i izvoditi već od početka rada novih rezervoara (tipa „praćenja integriteta konstrukcije“).

Suprotno, inspekcije i procjene stanja postojećih rezervoara sa svojom kompleksnošću po broju i obimu IBR i vezanim procjenama, pa time i značajnim troškovima, teško da mogu donijeti povoljne rezultate u kontekstu mogućih sanacija i uspješnog produženja eksploatacionog vijeka rezervoara.

6. LITERATURA

- [1] API 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, American Petroleum Institute, 2011.
- [2] EN 14015, 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, CEN – European Committee for Standardization, 2004.
- [3] AMETank, Product Brochure, TechnoSoft, 2015 (online); dostupno na: <http://www.ametank.com>
- [4] Intergraph Tank, Product Sheet, Intergraph CADWorx & Analysis Solution, 2015 (online) dostupno na: <http://www.coade.com>
- [5] API 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, American Petroleum Institute, 2003.
- [6] API 653, Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, American Petroleum Institute, 2013.
- [7] EEMUA 159, Users' Guide to the Inspection, Maintenance and Repair of Above Ground Vertical Cylindrical Steel Storage Tanks, EEMUA - The Engineering Equipment and Materials Users' Association, 2003.
- [8] I. Hajro, D. Hodzic, P. Tasic, Integrity assessment of aboveground oil storage tanks due to the corrosion metal loss, Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, Vol. 18, No.1, 2014, ISSN 2303-4009 (online), p.p. 91-94, 2014.
- [9] N. Henry, Managing and Maintaining Tank Integrity, European Oil Storage Conference, 2013 (online); dostupno na: <http://www.platts.com>
- [10] P. Bazzurro, A More Rigorous Approach to Assessing Catastrophe Risk for Industrial Facilities, AIR Currents, AIR Worldwide, 2010 (online); dostupno na: <http://www.air-worldwide.com>
- [11] Y. Oritashu, M. Percher, Findings from the M9.0 Great Tohoku Earthquake and Tsunami, ASCE Golden Gate Chapter Dinner Meeting, ASCE, 2011 (online); dostupno na: <http://www.lifotech.net>
- [12] T. Ibata, I. Nakachi, K. Ishida, J. Yokozawa; Damage of storage tanks caused by the 2011 Tohoku earthquake and tsunami and proposal for structural assessment method for cylindrical storage tanks, IHI Corporation, LNG 17 Proceedings, 2011 (online); dostupno na: <http://www.gastechnology.org>
- [13] A.M. Cruz, G. Franchello, E. Krausmann; Assessment of Tsunami Risk to an Oil Refinery in Southern Italy, JRC Scientific and Technical Reports – JRC European Commission, EUR 23801 EN – 2009 (online); dostupno na: <http://publications.jrc.ec.europa.eu>

- [14] SIMS - Silverwing inspection mapping software, Silverwing brochure on MFL corrosion mapping; & Scorpion – Remote access ultrasonic crawler / Auto UT B-scan crawler, 2015 (online); dostupno na: <http://www.silverwingndt.com>
- [15] G. Lackner, P. Tscheliesnig, Field testing of flat bottomed storage tanks with acoustic emission – A review on the gained experience, TUV Austria, 26th European conference on acoustic emission testing, EWGAE 2004, Berlin, Germany, 2004.
- [16] I. Hajro, E. Buljubašić; Review of experiences in structural integrity assessment of welded steel tanks for oil storage, Proceedings of the 3rd IIW South-East European Welding Congress – Welding and Joining Technologies for a Sustainable Development and Environment, ISBN 978-606-554-955-5, Timisoara, Romania, 2015.