

# UPORABA NIOMOLA 490 K ZA GRADNJO VARJENIH JEKLENIH REZERVOARJEV

## THE USE OF NIOMOL 490 K FOR THE CONSTRUCTION OF WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE

**JELENA VOJVODI<sup>^</sup> GWARDJAN<sup>^</sup>I<sup>^</sup>**

Institut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana

*Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19*

Instalacija Sermin pri Kopru gradi rezervoar za skladičenje bencina prostornine 60000 m<sup>3</sup>, višine 21,8 m, notranjega premera 61,1 m, višine plača-lovilnega bazena 17,5 m ter premera lovilnega bazena 67,0 m. Rezervoar ima dvojno dno, dvojni plač-in samonosilno aluminijško streho v obliki kupole. Nosilna konstrukcija rezervoarja in lovilnega bazena je izdelana iz niomola 490 K. V prispevku so opisane osnove, upo-tevane v stati-nem izra-unu konstrukcije, varilna tehnologija in potek gradnje rezervoarja. Rezervoar bo najve-ja tovrstna jeklena konstrukcija v Sloveniji in obenem tudi najsodobnejša.

Ključ-ne besede: nadzemni stoje-i rezervoar, varjenje, gradnja, dvojno dno, dvojni plač-, drobnozrnato mikrolegirano jeklo

Instalacija Sermin near Koper will build a storage reservoir storage for gasoline with a volume of 60000 m<sup>3</sup>, a height of 21,8 m, an internal diameter of 61,1 m, a height of the double tank shell of 17,5 m and a diameter of the double shell of 67,0 m. The reservoir will have a double bottom, double shell and self-load-carrying aluminium roof in the shape of a cupola. The load-carrying structure of the reservoir and the capture tank will be made of niomol 490 K. The paper presents with the bases considered in the static calculation of the structure, welding technology and construction process of the reservoir. The reservoir will be the largest steel structure of this kind in Slovenia, and the same time also the most modern one.

Key words: cylindrical tank, welding, construction, double bottom, double shell, fine grained micro-alloyed steel

### 1 UVOD

Nadzemni rezervoarji se uporabljajo prvenstveno za skladičenje teko-in in vteko-injenih plinov. Najve-krat so to vertikalno stoje-e cilindri-ne posode z le'e-im dnom, plačem in fiksno ali samonosilno kupolasto streho s plavajo-im pokrovom ali brez njega. V zadnjih letih se te'ave zaradi pomanjkanja prostora za gradnjo rezervoarjev s klasi-nimi zemeljskimi ali betonskimi lovilnimi bazeni rešujejo s konstrukcijo "rezervoar v rezervoarju", to je s cilindri-nim lovilnim bazenom z razdaljo 1,5 do 3,0 m med plačem rezervoarja in plačem lovilnega bazena. Z uporabo jeklenih lovilnih bazenov bo mo'no vse rezervoarje, ki se jim izte-e doba trajanja, zamenjati z ustrežno ve-jimi na isti lokaciji. To pomeni, da bi na lokaciji Sermin pri Kopru s klasi-no izgradnjo lahko zgradili rezervoarje skupne kapacitete 100 000 m<sup>3</sup>, z uporabo jeklenih lovilnih bazenov pa bi na isti površini lahko zgradili rezervoarje s skupno kapaciteto 300 000 m<sup>3</sup>. V novejšem -asu se zaradi ekoloških razlogov izdelujejo rezervoarji z dvojnimi dnom in dvojnimi plačem. Zunanji plač- ima premer in višino, ki ustrežata prostornini vskladič-enege medija. Le ta prepre-i ob poškodbii rezervoarja iztek in razlitje teko-ine ter njeno pronicanje v zemljo.

Najprimernejši material za rezervoarje je jeklo, za strešno konstrukcijo in plavajo-i pokrov, pa se zaradi svoje majhne mase v zadnjem -asu zelo uveljavlja aluminij.

Vse to bo upo-tevano pri izgradnji rezervoarja prostornine 60000 m<sup>3</sup> za skladičenje bencina na Serminu pri

Kopru. **Slika 1** prikazuje sedanji rezervoarski prostor prav tam.

### 2 OBTE@BE REZERVOARJA

Obte'be, ki delujejo na take prosto stoje-e posode, so:

- lastna te'a konstrukcije in opreme
- hidrostati-ni pritisk medija
- sneg
- veter s pritiskujo-im in sesalnim u-inkom
- notranji podpritisk ali nadpritisk
- potresne sile

Hidrostati-ni pritisk medija in notranji nadpritisk povzro-ata v plaču rezervoarja natezne sile, zato je smotrna uporaba kvalitetnejših jekel za plač-. Vse druge obte'be pa povzro-ajo v plaču tudi tla-ne aksialne in obodne sile, ki zahtevajo primerno oja-itev plača-a z obro-i in skrbno kontrolo lokalne stabilnosti proti izbo-enju plač-nih plo-evin. Poleg kontrol napetosti in lokalne stabilnosti pa so potrebne tudi kontrole globalne stabilnosti v smislu zagotovitve varnosti proti prevrnitvi rezervoarja zaradi obte'be z vetrom ali potresom.

Odvisno od na-ina monta'e so potrebne tudi kontrole lokalne in globalne stabilnosti rezervoarja v kriti-nih fazah monta'e (npr. visokih delov rezervoarja, ko oja-ilni obro-i še niso montirani).

Lovilni bazen je v bistvu odprt rezervoar in kot tak prevzema poleg lastne te'e in te'e opreme še eventualni hidrostati-ni pritisk teko-ine, obte'bo z vetrom in



**Slika 1:** Rezervoarji na Serminu pri Kopru  
**Figure 1:** Welded steel tanks on the Sermin near Koper

potresom. Ker je lovilni bazen zgrajen okrog rezervoarja, deloma ubla<sup>^</sup>i u-inek vetra na rezervoar.

### 3 IZRA<sup>^</sup>UN REZERVOARJA

Za stati-ni izra-un elementov rezervoarja upo<sup>^</sup>tevamo naslednje predpise<sup>1-5</sup>:

- DIN 4119, del 2 - za obte<sup>^</sup>be, dokaz napetosti in deformacij
- DIN 18800, del 4 - za kontrolo stabilnosti in kombinacijo napetosti
- BS 2654/1989 - za raspored in dolo-evanje oja-itvenih obro-ev in kontrolo glede na potresne obte<sup>^</sup>be
- ANSI/API 650 za izra-un oja-itvenih obro-ev

Primarne dimenzije pla<sup>^</sup>-a rezervoarja in lovilnega bazena se dolo-ajo na osnovi hidrostati-nih pritiskov, ki pa so razli-ni v eksploataciji (vskladi<sup>^</sup>-eni medij) in pri hidrotestu (obi-ajno voda). Te dimenzije pa morajo isto-asno zagotavljati tudi stabilnost pla<sup>^</sup>-a zaradi vpliva tla-nih napetosti, ki jih povzro-a obte<sup>^</sup>ba strehe, snega, opreme, vetra in potresa. Obte<sup>^</sup>ba z vetrom na pla<sup>^</sup>- rezervoarja je razli-na v pri rezervoarjih s fiksno ali samonosilno streho in pri tistih z lovilnim bazenom ali brez njega. Podobno velja tudi za pla<sup>^</sup>- lovilnega bazena.

V potresnih obte<sup>^</sup>bah je zajet vpliv tako te<sup>^</sup>e konstrukcij kot delovanja teko-ega medija v rezervoarju. Velikost potresnih obte<sup>^</sup>b je odvisna od kvalitete temeljnih tal, potresne cone, kjer je postavljen objekt, in od specifi-ne te<sup>^</sup>e teko-ega medija. Navedene obte<sup>^</sup>be povzro-ajo aksialne tla-ne napetosti, eventualni podtlak v notranjosti rezervoarja in veter pa obodne tla-ne napetosti. Zato je treba pri stabilitetnem dokazu varnosti proti

izbo-enju upo<sup>^</sup>tevat interakcijo napetosti v dveh pravokotnih smereh.

Stabilnost pla<sup>^</sup>-a rezervoarja in lovilnega bazena se poleg ustrezne debeline pla<sup>^</sup>-a dose<sup>^</sup>e tudi s primernim rasporedom in dimenzijami oja-ilnih obro-ev. Ekonomien odnos med <sup>^</sup>tevilom in dimenzijami oja-ilnih obro-ev ter debelino pla<sup>^</sup>-a je stvar optimizacije konstrukcije.

Ra-un stre<sup>^</sup>ne konstrukcije je odvisen od izvedbe in pogojev podpiranja. Glavna obte<sup>^</sup>ba je lastna te<sup>^</sup>a strehe z opremo, sneg in veter. Pri veliki stre<sup>^</sup>ni konstrukciji je treba za ra-un vpliva vetra uporabiti eksperimentalne podatke o razporeditvi obte<sup>^</sup>be z vetrom po povr<sup>^</sup>ini strehe.

Dimenzije dna v rezervoarju se dolo-ijo na osnovi konstrukcijskih potreb z omejitvami, podanimi v predpisih<sup>1</sup>.

### 4 OSNOVNI PODATKI O REZERVOARJU IZ NIOMOLA 490 K

Izdelan je projekt za gradnjo rezervoarja za skladi<sup>^</sup>-enje bencina na Serminu pri Kopru. Notranji premer rezervoarja je 60,1 m, vi<sup>^</sup>ina pla<sup>^</sup>-a 22,0 m, prostornina 60000 m<sup>3</sup>. Pla<sup>^</sup>- rezervoarja, lovilni bazen, peta rezervoarja in oja-ilni obro-i bodo izdelani iz jekla niomol 490 K<sup>6-10</sup>, dno bo iz plo-evine kvalitete St 37-2, kupolasta streha in plavajo-i pokrov pa bosta izdelana iz aluminija. V stati-nem izra-unu smo upo<sup>^</sup>tevali naslednje obte<sup>^</sup>be:

Za rezervoar:

- lastna te<sup>^</sup>a pla<sup>^</sup>-a
- te<sup>^</sup>a kupolaste strehe (privzeto) 500 kN
- te<sup>^</sup>a opreme (privzeto) 200 kN
- te<sup>^</sup>a snega 0,35 kN/m<sup>2</sup>
- hidrostati-ni pritisk medija v eksploataciji z g = 8,44 kN/m<sup>3</sup>
- hidrostati-ni pritisk vode pri hidrotestu z g = 9,81 kN/m<sup>3</sup>
- obte<sup>^</sup>ba z vetrom pri hitrosti 150 km/h
- potresna obte<sup>^</sup>ba za VIII. potresno zono po MCS in slaba tla

Za lovilni bazen rezervoarja:

- lastna te<sup>^</sup>a pla<sup>^</sup>-a in opreme
- hidrostati-ni pritisk medija z g = 8,44 kN/m<sup>3</sup>
- hidrostati-ni pritisk vode pri hidrotestu z g = 9,81 kN/m<sup>3</sup>
- obte<sup>^</sup>ba z vetrom pri hitrosti 150 km/h

Debeline pla<sup>^</sup>-a rezervoarja (od zgoraj navzdol) so:

- 3 venci debeline 10 mm - skupne vi<sup>^</sup>ine 6000 mm
- 2 venca debeline 11 mm - skupne vi<sup>^</sup>ine 4000 mm
- 1 venec debeline 12 mm - skupne vi<sup>^</sup>ine 2000 mm
- 1 venec debeline 14 mm - skupne vi<sup>^</sup>ine 2000 mm
- 1 venec debeline 15 mm - skupne vi<sup>^</sup>ine 2000 mm
- 1 venec debeline 17 mm - skupne vi<sup>^</sup>ine 2000 mm

1 venec debeline 18 mm - skupne višine 2000 mm  
 1 venec debeline 19 mm - skupne višine 2000 mm

Debeline ploč-a lovilnega bazena (od zgoraj navzdol) so:

5 vencev debeline 10 mm - skupne višine 11500 mm  
 1 venec debeline 12 mm - skupne višine 2000 mm  
 1 venec debeline 13 mm - skupne višine 2000 mm  
 1 venec debeline 15 mm - skupne višine 2000 mm  
 1 venec debeline 16 mm - skupne višine 2000 mm

Pri tem niso bili upoštevani dodatki za eventualne negativne tolerance ploč-evin (0,3 mm) in za korozijo ploč-a (1 mm). To pomeni, da bo treba pri naročilu ploč-evin dopustiti le pozitivne tolerance, izvesti najboljše protikorozijsko zaščito ploč-a in posvečati ustrezno pozornost vzdrževanju ter kontroli zaščite v dobi trajanja lovilnega bazena.

Sekundarni ojačilni obroči so predvideni na razmakih 3,3 m, 2,9 m, 2,2 m, 1,9 m in 2,55 m, merjeno od zgornjega primarnega obroča. Vsi ojačilni obroči se morajo montirati sukcesivno s ploč-em.

## 5 LOKALNA STABILNOST REZERVOARJA

Projektirane dimenzije rezervoarja in predvideni ojačilni obroči zagotavljajo varnost in stabilnost zgrajenega rezervoarja, če so izpolnjeni naslednji pogoji:

- v rezervoarju ne bo prišlo do podtlaka
- debeline ploč-evin ne bodo manjše od projektiranih
- tolerance mer in oblik bodo v predpisanih dopustnih mejah

V času montaže, ko streha še ni montirana in fiksirana na ploč- rezervoarja imamo opraviti z odprtim rezervoarjem, na katerega deluje poleg pritiska delovanja vetra tudi velik sesalni učinek, zaradi česar je obtežba z vetrom, ki je merodajna za lokalno stabilnost ploč-a rezervoarja za 60% večja kot v eksploataciji. Da se prepreči poškodbe rezervoarja v primeru močnega vetra med montažo, priporočamo:

- iz tehničnih razlogov: možnost opiranja montiranih delov ploč-a rezervoarja na trdno podlago. Najprej se izvede montaža 1. venca rezervoarja, temu sledi montaža 1. venca lovilnega bazena, v nadaljevanju pa se vedno najprej montira en venec lovilnega bazena, nato pa sledi montaža paralelnega venca ploč-a rezervoarja. S tem je ploč- rezervoarja do končne montaže lovilnega bazena vedno zaščiten od velikih učinkov vetra. Sam ploč- lovilnega bazena je namreč izraunana za obtežbo, ki so enake v času montaže in v eksploataciji in zato pri njem niso potrebne posebne mere.

- med montažo posameznih ploč-evin obeh ploč-ev (prečno dimenzij 2000 x 8000 mm) je treba do zaključka montaže celotnega ovoja zagotoviti varnost in stabilnost z ustreznim podpiranjem ploč-. Podpiranje ploč- je predvideno v razmakih po 3000 mm (slika 2). Diagonalne cevne opore so izraunane

za predpisano obtežbo z vetrom, horizontalni nosilci pa še na obtežbo odra in ljudske gašenice. Po končani montaži treh vencev se privarita ploč-a lovilnega bazena in rezervoarja na spodnja prstana. Vstopni odprtini v ploč-ih prvega venca lovilnega bazena in rezervoarja, ki sta namenjena za vnos materiala, je treba takoj po namestitvi gornjih treh ploč- drugega venca ojačiti s portaloma, ki prevzemata vse obremenitve, ki bi jih sicer prejela ploč-a na tem mestu. Portaloma sta izraunana za obtežbo, izvirajoče iz vertikalnih in obodnih napetosti. Sistem portalov je dvo-lenski okvir, nameščen v oddaljenosti 100 mm od vertikalnih in horizontalnih robov, da je mogoče ob zaprtju odprtin nemoteno vstaviti ustrezni ploč-i. Za preprečitev uklona stebrov portalov, je treba vogale okvirjev podpreti z diagonalnimi oporami.

- kontrola lokalne stabilnosti rezervoarja je pokazala, da začasno sidranje rezervoarja do končne montaže strehe ne bo potrebno. V računu smo upoštevali dejanske hitrosti vetra za območje lokacije rezervoarja. Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije nam je posredoval meritve za obdobje 1991-1997, ki zajemajo vetrovno ročico, tabele pogostosti vetra, povprečne hitrosti, maksimume povprečnih hitrosti in maksimalne sunke vetra po mesecih in smereh, vse merjeno v polurnih intervalih. Izmerjena maksimalna povprečna polurna hitrost vetra znaša 20 m/s, maksimalni sunek vetra pa je 29,9 m/s.

## 6 IZDELAVA REZERVOARJA

Projekt izgradnje rezervoarja bo vodilo več delovnih organizacij. Prevzemnik vseh del je Energogroup, d.o.o., iz Ljubljane s podizvajalcem Protech, d.d., iz Maribora. Podizvajalci Protech, d.d., iz Maribora pa so Miometal, d.o.o., iz Maribora, ki je odgovoren za kompletno izdelavo in montažo rezervoarja in lovilnega bazena ter dvig fiksne aluminijaste kupolaste strehe Vaconodome; IMP Montaža, p.o., iz Maribora, ki je odgovorna za izdelavo tehnoloških cevovodov in protipožarnega sistema;



Slika 2: Podpiranje ploč- 1. venca rezervoarja  
 Figure 2: Supporting of the first tank shell



**Slika 3:** Varjenje dna rezervoarja  
**Figure 3:** Welding of tank bottom



**Slika 4:** Gradnja plača rezervoarja  
**Figure 4:** The construction of tank shell

Pleskar, d.d., iz Ptuja, ki bo opravil protikorozijsko zaščito kompletne jeklene konstrukcije rezervoarja in pripadajočih cevovodov ter Romer, d.o.o., iz Rače, ki bo montiral fiksno streho Vaconodome in plavajočo streho Vaconodeck. Nadzor izdelave in montaže jeklene konstrukcije rezervoarja, lovilnega bazena in pripadajočih cevovodov bo opravil Institut za kovinske materiale in tehnologije.

Za ročno elektroobložno varjenje bomo uporabili elektrode EVB Ni Mo Y 3,25 mm, za polavtomatsko varjenje v zaščiti 80% argona in 20% CO<sub>2</sub> je predvidena uporaba varilne žice FILTUB 28 B Y 1,2 mm, za eventualno avtomatsko varjenje pod praškom pa varilna žica FILTUB 128 in varilni prašek FB TT. Varjenje dna rezervoarja prikazuje **slika 3**.

Velika pozornost bo posvečena kontroli izdelave in montaže jeklene konstrukcije. Spodnja podnica bo pregledana vizualno in z vakuumsko napravo, po varjenju zgornje podnice in opravljenem hidrostatičnem preizkusu tesnosti rezervoarja in lovilnega bazena mora med obema ploševinama dna biti vakuum s 400 mbar. Če bi med obratovanjem prišlo do zvišanja podtlaka, je to znak za spuščanje rezervoarja. Za kontrolo varjenja bosta uporabljeni metodi: radiografska in ultrazvočna ter kontrola s penetranti. Sestava prvega venca plača rezervoarja je prikazana na **sliki 4**.

Po montaži bo izveden hidrostatični preizkus rezervoarja in lovilnega bazena, meritve posedanja, odčitane na 24 reperjih pa bodo izvedene ob začetku polnitve, in sicer pri polnitvi z vodo do 1/3, do 2/3 in pri polnem rezervoarju.

## 7 SKLEP

Prikazane so osnove za izgradnjo sodobnega rezervoarja prostornine 60000 m<sup>3</sup> za skladičenje bencina na

Serminu pri Kopru. Zaradi vedno bolj strogih ekoloških zahtev in ekonomičnosti je izbrana konstrukcija rezervoarja z dvojnimi dnom, dvojnimi plašmi in samonosilno streho, za osnovni material pa je uporabljeno drobnozrnato mikrolegirano jeklo niomol 490 K.

## 8 LITERATURA

- <sup>1</sup> Welded Steel Tanks for Oil Storage, *American National Standard ANSI/API Std. 650*, Ninth Edition, July 1993, Addendum 1, December 1994
- <sup>2</sup> Oberirdische zylindrische Flachboden-Tankbauwerke aus metallischen Werkstoffen, *Deutsche Normen, DIN 4119*, Teil 2, februar 1980
- <sup>3</sup> Oberirdische zylindrische Flachboden-Tankbauwerke aus metallischen Werkstoffen, *Deutsche Normen, DIN 4119*, Teil 1, junij 1980
- <sup>4</sup> Stahlbauten, Stabilitätsfälle, Schalenbeulen, *Deutsche Normen, DIN 18800*, Teil 4, november 1990
- <sup>5</sup> British Standard Specification for Manufacture of vertical steel welded nonrefrigerated storage tanks with butt-welded shells for the petroleum industry, *BS-2654*, 1989
- <sup>6</sup> J. Vojvodi- Gwardjan-i-, B. Ule, S. A' man: Razvoj in uvajanje visokotrdnostnih drobnozrnatih mikrolegiranih jekel za uporabo v procesni industriji in gradbeništvi, *1. posvetovanje o materialih*, 6-8 oktober 1993, Portorož, P-9, Zbornik povzetkov, str. 90
- <sup>7</sup> J. Vojvodi- Gwardjan-i-, D. Sikoček: Uticaj izbora dodatnog materiala i tehnologije zavarivanja na čilavost i druge osobine zavarenog spoja sitnozrnastog mikrolegiranog čelika Niomol 490, *Mednarodno posvetovanje Zavarivanje i ispitivanje grajevinjskih konstrukcija*, Beograd, Zbornik referatov, 1987, 63-73, 1987
- <sup>8</sup> J. Vojvodi- Gwardjan-i-: Application of fine grained steel Niomol 490 K for pressure vessels and piping in petrochemical industry, *Mednarodno posvetovanje Materijali i zavarivanje u naftnim i petrokemijskim postrojenjima*, Sisak, Zbornik referatov, 1992, 113-122
- <sup>9</sup> J. Vojvodi- Gwardjan-i-: A new steel for petrochemical applications and designer's considerations, *4th European Conference on Advanced Materials and Processes*, Padova/Benetke, Zbornik referatov F, 1995, 475-478
- <sup>10</sup> J. Vojvodi- Gwardjan-i-: Application of Ultrasonic Measurements for Safety Evaluation of Cylindrical Tank for Oil Derivates, *International Conference "Inservice Inspection"*, Pula 1995, Zbornik referatov, 1995, 255-262