

IZRADA SAMOPODIZNE PLATFORME PR-1 VELA U TEHNOMONTOVOM BRODOGRADILIŠTU PULA

PRODUCTION OF THE SELF-ELEVATING PLATFORM PR-1 VELA IN TEHNOMONT SHIPYARD PULA

Milan BIČIĆ¹, Marijan ANTONJA², Ljudevit RADANOVIĆ³

Ključne riječi: rekonstrukcija, platforma, zavarivanje

Key words: reconstruction, platform, welding

Sažetak: U listopadu 2004 je Tehnomontovo Brodogradilište Pula hrvatskoj tvrtki «SUNADRIA d.o.o» isporučilo samopodiznu platformu PR – VELA. Platforma je izrađena rekonstrukcijom bivšeg pontona «PR-1 VELA» tvrtke «SUNADRIA d.o.o» koja je specijalizirana za gradnju luka i marina te za održavanje luka. Hidraulički podizni uređaj je projektirala pulska tvrtka «FLUIDMAR d.o.o» koja je i isporučila hidrauličku pogonsku jedinicu.

Platforma je prije svega izvedena za smještaj ekskavatora težine 60 t, a ruka ima duljinu 19 m. Sa takvim ekskavatorom je moguće jaružanje kamenitog dna, inače čestog uzduž hrvatske obale. Radovi rekonstrukcije obuhvatili su ojačanja strukture pontona i montažu podiznih uređaja i nogu na strukturu. U ovom su članku opisani neki detalji rekonstrukcije.

Abstract: On October 2004 the Tehnomont Shipyard Pula delivered self-elevating platform «PR-1 VELA» to the Croatian Company «SUNADRIA d.o.o.». Unit has been done by a reconstruction of ex pontoon PR-1 VELA. «SUNADRIA» is specialized in marine construction of Ports and Harbours as well as maintenance of the Ports. Hydraulically operated jacking system has been designed and hydraulic package unit has been delivered by FLUIDMAR d.o.o.

Platform primary purpose is to accommodate the 60 t excavators with 19 m long reach boom. With this excavator it is possible to dredge the rocky seabed, quite common along the Croatian coast. The reconstruction works comprised strengthening of pontoon hull structure and fitting of removable designed jack-up units and legs on the structure. In this paper some particulars of the reconstruction are described.

¹ Tehnomont Brodogradilište Pula d.o.o., Fižela 7, 52100 Pula

² SUNADRIA, Bartola Kašića 18, 51000 Rijeka

³ Fluidmar d.o.o., Braće Levak 6, 52100 Pula

1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PLATFORME

Platforma je u vlasništvu poduzeća SUNADRIA d.o.o. specijaliziranog za gradnju i održavanje luka i marina. Razvoj ovog zahtjevnog projekta u potpunosti je bio podržan od SUNADRIE d.o.o.

Primopredaja platforme je izvršena u listopadu 2004.

Glavne značajke platforme		Glavne značajke podiznog uređaja	
Dužina	28,3 m	Nazivna nosivost jednog stupa/noge	360 t
Širina	13,5 m	Nazivna nosivost hidraulike jednog podiznog uređaja	200 t
Visina	2,30 m	Visina dizanja iznad morskog dna	25 m
Podizna težina	660 t	Brzina dizanja/spuštanja jednog stupa:	0-0,6 m/min
Podizna nosivost	240 t	Nazivni tlak ulja:	250 bar
Palubna površina	300 m ²	Protok ulja:	130 l/min
		Količina ulja u spremniku:	320 l
		Snaga diesel-motora hidr. agregata:	80 kW

Montaža i zavarivanje platforme odvijali su se po slijedećim sklopovima:

Bočne sekcije koje služe za učvršćivanje vodilica na ponton. Bočne sekcije su zavarene na već postojeću strukturu pontona.

Vodilica je kutijaste izvedbe i posebnim svornjacima je pričvršćena za bok platforme. Na strukturi ove vodilice prihvaćeni su cilindri za podizanje/spuštanje platforme. U njenom gornjem dijelu nalazi se mehanizam za blokadu položaja preko kojeg se u stacionarnom stanju te pri operaciji dizanja/spuštanja prenose sile sa platforme na stup.

Jaram je preko hidrauličnih cilindara spojen na vodilicu. U njegovom donjem dijelu nalazi se mehanizam za blokadu položaja (identičan mehanizmu na vodilici) preko kojeg se pri operaciji dizanja/spuštanja prenose vertikalne sile sa platforme na nogu. Jaram se oslanja na cilindre i nema druge mehaničke veze sa vodilicom.

Noge su izrađene od debelostijenih cijevi. Po vanjskoj površini nalaze se zavareni izdanci na koje se oslanjaju mehanizmi blokade. Izdanci su posloženi u tri uzdužna reda po obodu na pravilnim razmacima. Kraj noge koji se oslanja na dno radi se u nekoliko varijanti ovisno o tipu (materijalu) dna.

MEHANIZMI

Klizači za vođenje (poliamid ili poliacetal) su oblikovani tako da dobro naliježu na površinu noge.

Na vodilici i jarmu napravljena su 3 uzdužna utora koji osiguravaju prolaz za izdanke na nogama, a ujedno sprečavaju međusobnu rotaciju vodilice/jarma i noge.

2. SPECIFIČNOSTI PRI PROJEKTIRANJU PODIZNOG UREĐAJA

NAČIN PRORAČUNA:

Na osnovu polaznih podataka izrađen je proračun noge modernim kompjutorskim metodama. Klasičnim metodama čvrstoće provjereni su pojedini elementi nosive čelične konstrukcije kao što su blokada noge, ležajevi noge, hvatišta hidrauličkih cilindara te veza vodilice sa platformom.

Kao pomoć pri projektiranju korišteni su propisi HRB, te propisi GL Offshore Technology Part 2, Offshore Installations.

NOGA:

Struktura noge na prvi pogled ne predstavlja nešto posebno. Sastoji se od debelostjene čelične cijevi čiji krajevi završavaju prirubnicama. Konstrukcija je iznutra pojačana rebrima na mjestima koncentracije naprezanja. Po vanjskoj površini cijevi zavareni su izdanci posloženi u tri uzdužna reda po obodu na pravilnim razmacima.

Na donjoj strani vijcima je pričvršćena stopa kojom se noga oslanja o morsko dno.

Na gornjoj strani vijcima je pričvršćena zahvatna naprava koja služi za prihvatanje noge pri montaži na platformu.

Međutim, noga je vrlo specifičan i zahtjevan objekt. Pri projektiranju vodilo se računa o slijedećim uvjetima koje noga mora zadovoljiti:

1. Platforma sa sve četiri noge čini zajednički sistem koji je analiziran za slijedeći slučaj opterećenja:

- platforma sa betonarom
- visina od vrha noge do dna platforme iznosi 15,2 m
- platforma je nagnuta
- valovi visine 4 m
- maksimalna brzina vjetra

Analizom podataka proračuna ustanovljene su najveće reakcije noge. Za proračun odabrana je cijev koja je komercijano dobavljiva i čija naprezanja i progibi su prihvatljivi.

2. Vertikalna reakcija u nozi prenosi se na vodilicu preko spomenutih izdanaka kod kojih se moralo voditi računa o čvrstoći zavara i površinskom pritisku na gornju površinu izdanka.

3. Horizontalna reakcija u nozi prenosi se na vodilicu preko dva reda kliznih ležajeva od poliamida. Širina tih ležajeva analizirana je obzirom na specifični pritisak u ležaju i obzirom na naprezanja u cijevi noge.

Noga je zatim provjeravana na dopušteno naprezanje uzimajući u obzir sva navedena opterećenja i to za razne položaje noge u vodilici po visini, što znači da su u kontaktu sa ležajem bili svi značajni dijelovi noge:

- pojasa sa izdancima
- pojasa bez izdanaka
- pojasa sa rebrima

Noga je provjeravana i obzirom na orijentaciju radijalnih sila na ležaj. Ležaj se sastoji od tri segmenta smještenih po obodu vodilice između kojih je prazan prostor. Kroz taj prostor prolaze izdanci i postavljanje ležaja nije moguće. Provjeravan je slučaj kada radijalna sila ima smjer upravo u taj prostor, i slučaj kada ima smjer prema sredini segmenta ležaja.

Na osnovu svih proračuna usvojena je čelična šavna cijev specifikacije API, Spec. 5 L, Grade X52, PSL 2. Mehanička svojstva ovog čelika su: $Re = 359-531 \text{ N/mm}^2$, $Rm=455-759 \text{ N/mm}^2$, žilavost na 0°C 22-27 J. Ostali dijelovi konstrukcije su izrađeni od brodograđevnog čelika povišene čvrstoće granice razvlačenja 355 N/mm^2 .

Projektom su propisane i tolerancije mjera pojedinih dimenzija noge što je postavilo posebne zahtjeve obzirom na tehnologiju izrade.

1. Kako je spomenuto, cijev se može promatrati i kao osovina koja prolazi kroz dva ležaja na vodilici i naručena je sa uskim tolerancijama vanjskog promjera.

Međutim, cijevi za sve noge isporučene su iz razloga transporta u više komada i stajale su na skladištu neko vrijeme. Svi komadi morali su se provjeravati i na toleranciju promjera i na ovalitet. Isto tako tehnologija zavarivanja morala se podešiti tako da se osigura da ovalitet bude u dozvoljenim granicama.

2. Propisana je i tolerancija uzdužne osi noge obzirom na ravnost.

3. Okomito opterećenje od platforme prenosi se na nogu preko uređaja za blokadu koji se oslanja na tri izdanka. Kako bi se osigurala jednaka raspodjela opterećenja na sva tri izdanka, gornja ploha izdanaka mora ležati u jednoj ravnini koja je okomita na uzdužnu os noge. Taj uvjet je propisan tolerancijama. Kako bi se osigurao taj uvjet, za točno pozicioniranje izdanaka pri zavarivanju koristilo se posebnu napravu. Isto tako posebnim sistemom vršila se završna kontrola.

Uvjet koji je propisan za gornje površine izdanaka vrijedi i za donje površine. Tolerancije su nešto šire jer izdanci tada nose silu uslijed mase stupa koja je približno deset puta manja od sile platforme.

4. Kako je spomenuto, noga prolazi kroz ležajeve od poliamida. Stoga je trebalo prije završnog bojenja nogu detaljno pregledati i izgladiti sve neravnine nastale tokom tehnološkog procesa.

VODILICA:

Čelična konstrukcija vodilice ima osnovni zadatak da sile kojima se noga upire o ležajeve i sistem za blokadu na što prirodniji način prenese na platformu. Naprezanja su tu vrlo kompleksna i

poželjna bi bila zatvorena konstrukcija koja bi osigurala torzionu krutost. Međutim konstrukciju se nije moglo zatvoriti iz više razloga:

1. Zahtjev je bio da se vodilice mogu skidati sa platforme. Stoga se nije moglo pribjeći relativno jednostavnom riješenju da se one zavare. Osovinice specijalna oblika su zavarene na platformu koje ulaze u utore na vodilici. Spoj se tada zabravi posebnim osiguračima. Dakle stražnja strana je otvorena radi izrade i smještaja svih elemenata za spoj vodilice i platforme.
2. Sa prednje strane, lijevo i desno od noge smješteni su hidraulički cilindri za dizanje. Tu je konstrukcija otvorena da se omogući montaža cilindara i pripadajuće hidrauličke opreme te kontrola.
3. Na gornjoj i donjoj strani smješteni su ležajevi do kojih je potrebno doći radi montaže i kontrole istrošenosti.
4. U tijelo vodilice ugrađen je sistem za blokadu kojega je također potrebno montirati kontrolirati i održavati.

Iz tih glavnih razloga tijelo vodilice izrađeno je kao otvorena konstrukcija. Na putu glavnih sila postavljene su osnovne ploče, a između njih konstrukcija je iskrižana rebrima radi krutosti. Rebra su uglavnom bez pojasnih traka, te su odabrana veće debljine kako se pri zavarivanju i kod opterećenja nebi savijala.

Takva konstrukcija ima dobru stranu da su zavari uglavnom dobre pristupačnosti za izvođenje i kontrolu. Na nekim mjestima zavari su teže dostupni što je iziskivalo posebnu tehnološku pripremu.

Projektom su propisane tolerancije pojedinih mjera čelične konstrukcije kako bi se osigurala dobra funkcionalnost.

1. Propisano je da pojasevi koji nose ležajeve budu koncentrični i da ne budu smaknuti obzirom na uzdužnu os noge.
2. Isto tako propisano je da prolazi za izdanke budu svi u pravcu i paraleleni sa osi noge.
3. Preporučeno je da se primjeni posebna tehnologija i kontrola nalijeganja osovinica za spoj vodilice i platforme kako bi se osigurala što ravnomjernija raspodjela sila.

JARAM:

Čelična konstrukcija jarma izvedena je na vrlo sličan način kao i vodilica. I jaram ima sistem za blokadu i ležajeve koji su vrlo slični kao na vodilici. Na jaram, međutim, ne djeluju nikakve radikalne sile, već samo vertikalne. Pri određivanju glavnih mjera pazilo se da omjer između promjera ležajeva i njihovog razmaka bude takav da ne može doći do ukljinjavanja jarma na nozi ako dođe do neravnomjernog rada hidrauličkih cilindara.

Obzirom na sličnost konstrukcije jarma i vodilice, mnogi elementi su jednaki, što je pojednostavilo proizvodnju.

Tolerancije čelične konstrukcije su uglavnom iste kao i za vodilicu.

3. MONTAŽA I ZAVARIVANJE PLATFORME

Pri samoj konstrukciji i pripremi proizvodnje definirani su sklopovi koji su se izrađivali neovisno te nakon toga montirani na platformu.

Radovi su započeli izvlačenjem platforme na navoz, te rezanjem otvora na bokovima u koje je trebalo ubaciti bočne sekcije koje nose vodilice nogu. Nakon izrezivanja otvora krenulo se sa

ojačanjima strukture starog dijela, naročito u zoni vodilica prema zahtjevima konstrukcije i HRB-a.

Budući da su korišteni materijali povišene čvrstoće (brodograđevna klasifikacija AH 36 do EH 36) i debljina do 60 mm, bilo je potrebno odabrati adekvatne dodatne materijale za zavarivanje i odrediti temperature predgrijavanja i redoslijede zavarivanja.

VRSTA ČELIKA	GRANICA RAZVČLAČENJA N/mm ²	VLAČNA ČVRSTOĆA N/mm ²	ŽILAVOST (poprečno na smjer valjanja) J 50 < t ≤ 70 mm
A	235	400-520	24, na +20° C
AH36	355	490-630	27, na 0° C
DH 36	355	490-630	27, na -20° C
EH 36	355	490-630	27, na 0° C -40

Tablica 1. Mehanička svojstva nekih brodograđevnih čelika koji su ugrađeni u platformu (prema HRB, dio 25. – Metalni materijali)

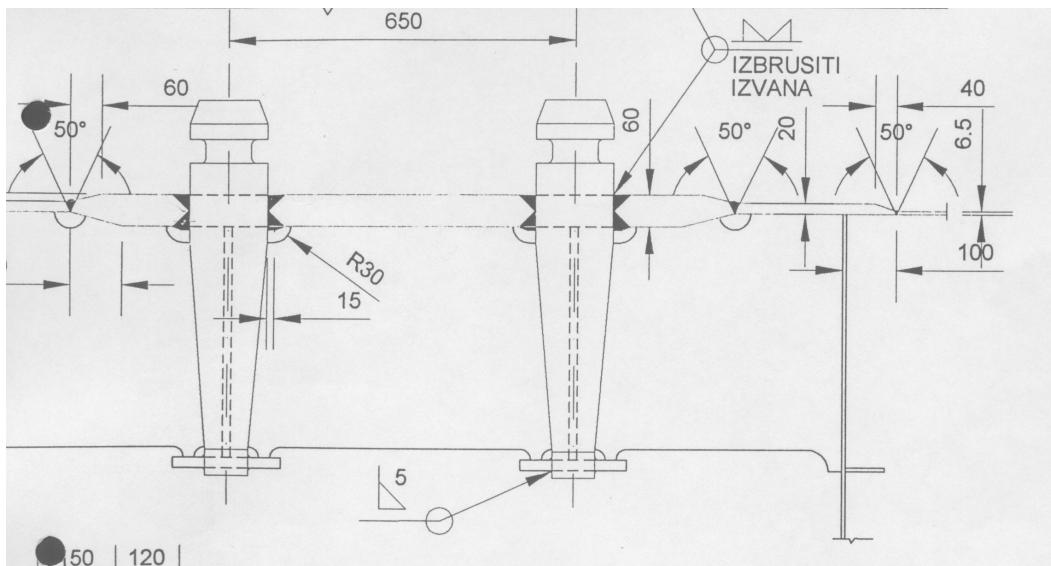
Temperature zavarivanja određene su prema Seferijanovoj formuli i kretale su se od 70° C za materijale 16 mm debljine do 180° C za materijale EH 36 60 mm debljine. Nakon zavarivanja konstrukcija se hladila na zraku. Zavarivanje je izvođeno tijekom ljetnih mjeseci (srpanj, kolovoz, rujan) te nije bilo potrebno osiguravati sporo hlađenje.

Pri odabiru dodatnih materijala za zavarivanje vodilo se računa o zahtjevnosti konstrukcije, vrsti i debljinama materijala. Odabrana je praškom punjena žica FLUXOFIL 20 HD u kombinaciji sa plinskom mješavinom Ar/CO₂=82/18. U brodograđevnoj klasifikaciji ova žica nosi oznaku 4Y40H5S. Oznaka 4Y označava garantiranu žilavost na -40° C i iznosi minimalno 60 J.

Iako bi ove vrste osnovnih materijala pokrivala i žica sa klasom 3Y (garantirana žilavost na -20° C), odlučeno je da se primjeni žica za jednu klasu više. Također u pravilima HRB-Dio 26. – Zavarivanje, preporučuje se za debljine 50 mm i više odabir dodatnog materijala u klasi 4Y upravo zbog smanjenja mogućnosti nastajanja i propagacije pukotina. Čelik klase grade A koji se koristio na bočnim sekcijama zavarivan je žicom OUTERSHIELD 71 M-H, klase 3Y u zaštiti CO₂. Atestacija postupaka i probe zavarivanja izvedeni su sukladno EN 288-3, a zavarivači su attestirani sukladno EN 287-1.

Bočne sekcije su ubaćene u izrezane otvore na bokovima sa svrhom nošenja vodilica nogu. Na bočnim sekcijama nalaze se po četiri ojačanja u koje su umetnuti tzv. čunjevi koji služe za prihvata vodilica. Pri zavarivanju i montaži svornjaka bilo je potrebno voditi računa o njihovoj okomitosti, paralelnosti i točnom razmaku zbog kasnijeg nasijedanja na vodilice. Bočne sekcije su izrađene od brodograđevnog čelika grade A, čunjevi od čelika S 355 J2 G3.

Ojačanja su prikazana na Slici 1.



Slika 1. Ojačanja sa svornjacima koja su ubaćena u bočne sekcije



Slika 2. Na slici se vide platforma sa vodilicama i jarmovima

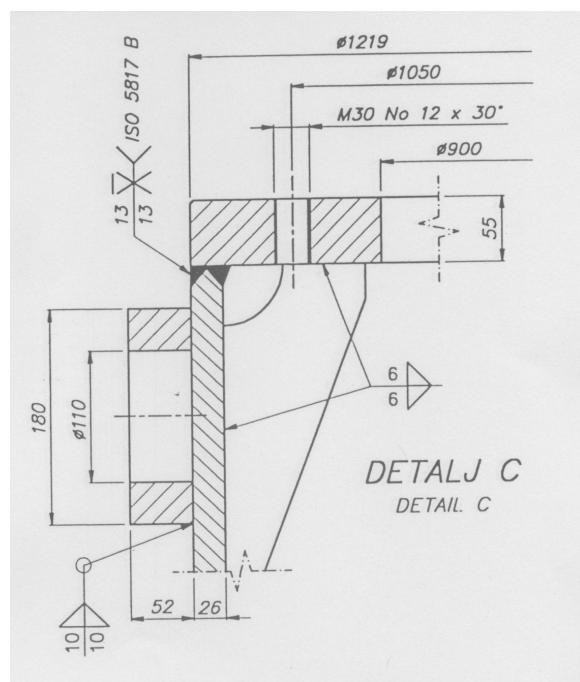
Vodilice služe za podizanje i spuštanje nogu putem hidrauličkog sistema. Vodilice su izrađene od materijala povišene čvrstoće AH 36, DH 36 i EH 36. Pri montaži i zavarivanju vodilica bilo je potrebno voditi računa o redoslijedima zavarivanja.

Jarmovi, slično kao i vodilice služe za podizanje i spuštanje nogu, odnosno podizanje platforme putem hidrauličkog sistema. I jarmovi su izrađeni od materijala povišene čvrstoće AH 36, DH 36 i EH 36.

Na nogama su zavareni izdanci pod 120° u tri reda. U svakom redu se nalazi 70 izdanaka, ukupno na jednoj cijevi oko 210.

Izdanci na nogama služe nošenju same konstrukcije. Preko mehanizma koji je pokretan hidrauličkim sistemom unutar jarma i vodilice, konstrukcija sjedi na izdancima nogu. Kutni zavari izdanaka su opterećeni na smik. Zbog velikih opterećenja na tim izdancima bilo je pri montaži i zavarivanju potrebno voditi računa o njihovoj planparalelnosti. Naročito je bilo važno da površina sva tri izdanka na kojoj sjedi konstrukcija bude u jednoj ravnini. Zato je i prije montaže ta površina strojno obrađena, budući da je nakon rezanja dolazilo do deformacija. Ukoliko površine sva tri izdanka ne bi bile u jednoj ravnini, opterećenje se prenosi na jedan ili dva izdanka što bi moglo dovesti do loma. Pri montaži izdanaka korištena je posebna naprava, a nakon zavarivanja svih izdanaka paralelnost se ponovno provjeravala sa posebnom napravom.

Na slici 2 je prikazan detalj zavarivanja izdanaka na nogu.



Slika 3. Izdanak na nozi platforme.

2. KVALITETA I ISPITIVANJA

Tražena kvaliteta zavarenih spojeva je standard EN 25817 – C, odnosno B za pojedine zavare.

Nakon zavarivanja izvođena je vizuelna kontrola i kontrola bez razaranja sa metodama radiografije, ultrazvuka i magnetofluksa. Svi zavari su vizualno pregledani u punoj dužini. Zavari izdanaka na nogama ispitani su magnetofluxom u 100 % dužine zavara. Svi sučeljeni zavari B kvalitete ispitani su ultrazvukom na 10 % duljine zavara.

Mora se napomenuti da je sa tehnološkog stanovišta ova platforma vrlo zahtijevna, a našoj industriji gradnja je bila pravi izazov. To je takva vrsta proizvoda gdje jednostavno nije moguće uzimati velike rezerve u dimenzioniranju jer bi iste izazvale povećanje opterećenja i cijeli proces bi se vrtio u jednoj spirali bez kraja. Platforma je testirana na najgora moguća opterećenja iz okoliša a to su valovi od 4 m visine, orkanski vjetar uz koincidenciju najveće podizne nosivosti i najveće dopuštene visine. Uvjeti su simulirani sa odgovarajućim nagibom platforme, a koji izaziva ista naprezanja. Kod samog testiranja, proračunska normalna naprezanja na kritičnim mjestima iznosila su 201 N/mm^2 , dok je granica razvlačenja čelika 235 N/mm^2 .



Slika 4. Ispitivanje platforme

3. ZAKLJUČAK

Iako zahtjevan, projekt je uspješno okončan. Platforma za jaružanje podmorja, prva ovakve vrste na Jadranu, danas uspješno obavlja postavljene zadaće.