

Tomislav Uroda, CTT, Ivana Lučića 5, Zagreb

PROJEKTIRANJE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA ZA NAFTNU INDUSTRIJU METODAMA BRODOGRADNJE

Sažetak

U članku se opisuje postupak projektiranja, nadzora i izgradnje jedne konstrukcije za razvod signalnih i energetske kabele za potrebe naftne industrije. Primijenjeni su postupci projektiranja uobičajeni u brodogradnji, s dodatnim osloncem na pravila klasifikacijskih društava. Pokazalo se da je takav pristup doveo do konstrukcije koja je u potpunosti zadovoljila zahtjeve i potrebe naručitelja.

Ključne riječi: čelične konstrukcije, brodogradnja, naftna industrija

DESIGN OF STEEL STRUCTURES FOR OIL INDUSTRY BASED ON SHIPBUILDING METHODOLOGY

Summary

The paper presents a procedure for design, inspection and erecting of a steel structure for distribution of signal and power supply cables for oil industry. The methods applied are patterned after methods used in shipbuilding, additionally supported by rules of classification societies. It is demonstrated that, such an approach provides full complement with the investors' requirements and needs.

Key words: steel structures, shipbuilding, oil industry

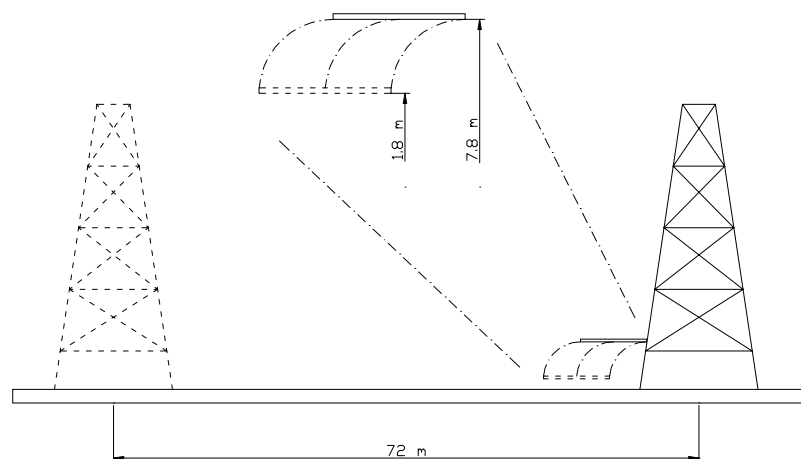
1. Uvod

Tornjevi naftnih bušotina uobičajeno nisu vezani samo za jednu bušotinu, već opslužuju polje rupa bušotina. Rupe bušotina pravilno su raspoređene u okviru sheme izrađene prema mogućnostima kretanja bušećeg tornja. Sam toranj smješten je na uzdužnim vodilicama, te osim uzdužnih ima mogućnost i poprečnih pomaka. Na taj način nešto zahtjevnijom konstrukcijom omogućena je veća efikasnost tornja pri opsluživanju bušotina. Međutim sa većom i bržom pokretljivošću tornja postavljeni su dodatni zahtjevi za fleksibilnost energetskog priključka tornja.

Za uspješno obavljanje zadataka toranj je potrebno spojiti mrežom naponskih i signalnih kabela na Upravljačko-naponsku jedinicu "Power Control Room". Kontinuirano napajanje tornja naponskim i signalnim kabelima, uvjetuje organizirano razvlačenje i skupljanje kabela prilikom pomicanje tornja po polju rupa.

U konkretnom slučaju radi se o bušećem tornju "E-604" tvrtke "Crosco", namijenjenom za rad na polju rupa, sa slijedećim projektnim zahtjevima vezanim uz kretanje energetsko-signalnog priključka na podište tornja (Slika 1.):

- uzdužni pomak priključnog razvodnog ormarića od 80 metara
- varijabilnu visinu priključka kabela na podište tornja između 1,8 – 7,8 metara

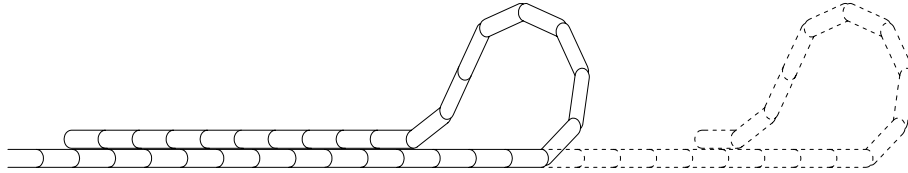


Slika 1. Dispozicijska skica položaja bušećeg tornja, te podišta tornja u svojim krajnjim točkama

Fig. 1. Tower position and the foundation in terminal points

Takozvane "gusjenice" za razvod kabela prikazane na slici 2, moguće je nabaviti na tržištu. Međutim takav oblik razvoda kabela investitoru je neprihvatljiv iz više razloga. Naime, u gusjenice je potrebno smjestiti 23 kabela, od kojih je većina promjera 30 mm. Količinski, tolik broj kabela nije moguće smjestiti u jednu gusjenicu, te bi bilo potrebno kombinirati više istih. Problem ujedno stvara i zagrijavanje naponskih kabela prilikom rada, gdje radna temperatura jezgre kabela dostiže 80°C. Zbog principa rada "gusjenice" potrebno je zatvoriti kabele u istu, čime je onemogućeno dostatno odvođenje topline. Sigurnosni propisi vezani uz naftnu industriju i konkretan slučaj, za potrebna opterećenja kabela ne dozvoljavaju blizinu neizoliranih metalnih dijelova i kabela, što uvjetuje postavljanje određene izolacije u "gusjenicu", ili izradu "gusjenica" od kompozitnih, električki nevodljivih materijala. Te kao zadnje, javlja se i problem pomicanja priključka razvodnog ormarića, težine iznad 1 tone, na podište tornja s obzirom na vlastitu težinu i težinu kabela, gdje bi ukupna težina 80 metara kabela sa razvodnim ormarićem bila 5 tona, čemu u slučaju primjene treba dodati i težinu samih "gusjenica". Naime ideja je da se na naftnom polju ne koristi dodatna transportna oprema (viljuškari, dizalice), te da je konstrukcijom za razvod kabela moguće upravljati

isključivo ugrađenim vlastitim sistemima za razvod. Praktički, razlog leži u činjenici da bi prilikom svakog pomicanja tornja po rupama, na razvodu energetsko signalnih kabela bilo uključeno više ljudi i transportnih strojeva, čime je ekonomičnost samog procesa dovedena u pitanje.



Slika 2. Razvodnik kabela - "gusjenice"

Fig. 2. Cable motion "caterpillars"



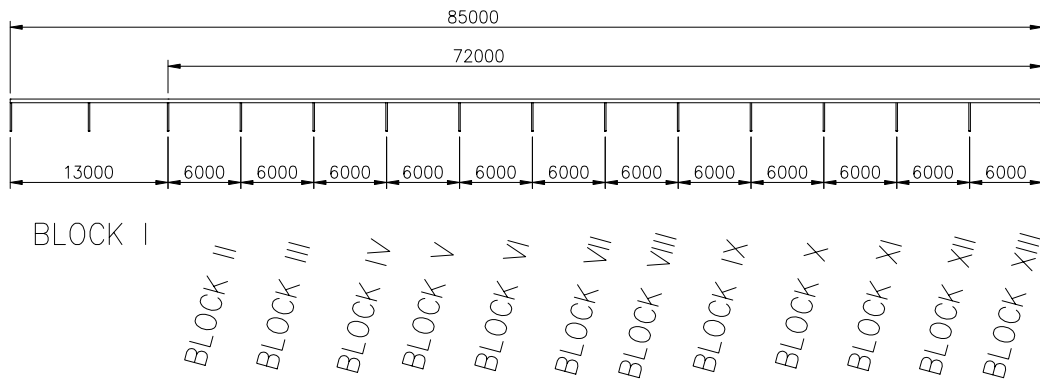
Slika 3. Razvodnik kabela - "gusjenice"

Fig. 3. Cable motion "caterpillars"

S obzirom na premještanje konstrukcije, postavljen je projektni zahtjev za jednostavnom montažom i demontažom, te mogućnost prijevoza rastavljene konstrukcije pomoću dva kamiona. Cestovnim prijevozom, veličina tereta ukrcana na kamion, ne bi smjela premašiti širinu od 2.3 metra, te visinu on 3.5 metara. Navedena ograničenja polazna su točka za izradu projekta.

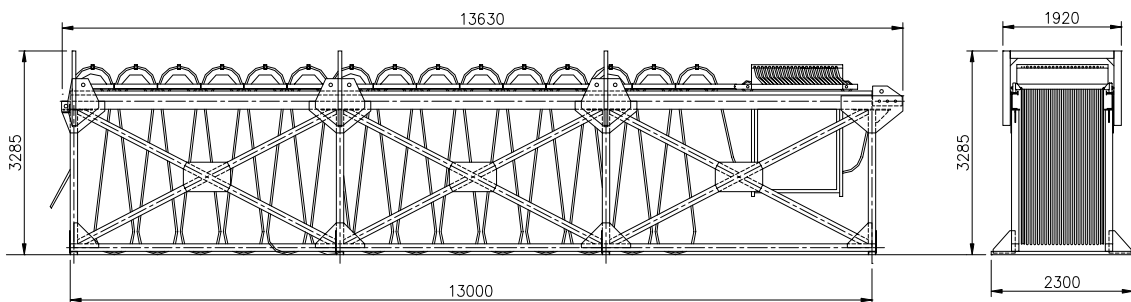
2. Konstrukcija za razvod energetskih i signalnih kabela

S obzirom na navedena ograničenja u projektu, izabran je "skid" uzdužnih vodilica na uporama (Slika 4.). Upore su međusobno povezane sponjom te zajedno s njom čine nosivi okvir. Po vodilicama klize kolica, preko kojih su energetski i signalni kabeli ovješeni, te pričvršćeni drvenim jarmom (Slika 5.). Dodatno ograničenje pri projektiranju, činjenica je da su kabeli stalno spojeni na podište tornja. Iz tog razloga nije moguće lijevu i desnu stranu konstrukcije spojiti u gornjem dijelu u onoj dužini gdje kolica sa razvodnim ormarićem, odnosno priključkom na podište tornja klize po uzdužnim vodilicama. Čvrsti spoj ostvaren je isključivo preko donjeg dijela konstrukcije. U gornjem dijelu, lijevu i desnu stranu konstrukcije povezuju kolica, koja održavaju stalni razmak klizanjem kotača po utoru profila vodilica. Prva tri okvira Bloka I, iznad kolica zavarenim mostom, čine pravokutni okvir, te su to jedina mjesta na kojima su dvije strane konstrukcije čvrsto spojene u gornjem dijelu, izuzevši transportni križ koji se prilikom transporta pričvršćuje na početak Bloka I, a prilikom razvoda pričvršćen je uvijek na zadnji blok konstrukcije.



Slika 4. Sastavljena staza razvodnika kabela

Fig. 4. The ways



Slika 5. Blok I – uključujući kolica, kabele i razvodni ormarić

Fig. 5. The whole block

Sam "skid" sastoji se od 13 blokova (Slika 4.). Konstrukcija prvog bloka nerastavljiva je, te ima dvije uloge. Kod montaže "skid-a" ima funkciju temeljnog bloka na koji se redom vežu ostali. Blokovi II-XII rastavljivi su, te se sastoje od po dvije vodilice i jednog okvira, koji se redom vežu na prethodni blok, a međusobno su pričvršćeni vijcima. Prilikom transporta, na Blok I privučena su sva kolica sa kabelima i razvodnim ormarićem, te se on kao cjelina transportira (Slika 6.).



Slika 6. Blok I

Fig. 6 Block 1

Blokovi II – XII prilikom transporta smješteni su u za to predviđeni transportni okvir te se utovaraju na kamion kao cjelina (Slika 7.). S obzirom na skučenost transportnog okvira, potrebno se je prilikom slaganja držati određenog redoslijeda, čime su samo slaganje ali i montaža znatno olakšani. Naime, zbog netočnosti izrade spojnih mjesta na okvirima i vodilicama, svi rastavljivi elementi su numerirani, te ih je potrebno sklapati u skladu s oznakama.

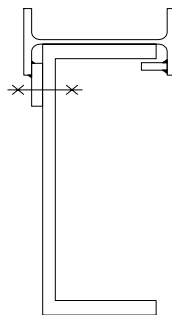


Slika 7. Transportni okvir

Fig. 7 Transport frame

3. Konstrukcijski elementi

Kod konstrukcija manjih težina, kao što je navedena, bitno je definirati osnovne nosive elemente prema raspoloživim profilima na tržištu. Polazeći od toga, definirana je i uzdužna vodilica, i to kao spoj jačeg U profila i slabijeg H prikazano slikom 8. Ovom kombinacijom profila dobiven je zadovoljavajući moment otpora presjeka vodilice, u kojem je osnovna uloga H profila sprječavanje poprečnih pomaka i ispadanja kotača kolica prilikom klizanja po vodilicama, te kao što je prethodno navedeno, održavanje desne i lijeve vodilice na međusobnom razmaku. H i U profili uzdužnih vodilica međusobno su vijčano spojeni, sa po jednim vijkom 800 mm od kraja profila. Nemogućnost kombinacije profila, čiji bi zavar bio smješten u blizini neutralne osi spoja dva profila, rezultirala je vijčanim spojem. Time su izbjegnuta naprezanja u zavarima koja se javljaju uslijed savijanja vodilice, što doduše zahtjeva nešto veće dimenzije profila. Međutim uzevši u obzir da se radi o stazi dugoj 85 metara, gdje bi profili međusobno bili zavareni sa 340 metara zavara, znatno pojednostavljuje tehnologiju izrade same konstrukcije. Na unutarnju stranu pojasa H profila zavarene su dvije pločice po spojnom mjestu, od kojih jedna geometrijskim oblikom sprječava odvajanje dvaju profila, dok je druga vijčano pričvršćena za U profil, sprječavajući tako ispadanje H sa U profila. Uzdužna vodilica istih je dimenzija na prvom kao i na ostalim blokovima, s jedinom razlikom udaljenosti upora na koje je ovješena.



Slika 8. Presjek uzdužne vodilice

Fig. 8. Longitudinal section of the rail

Okviri konstrukcije postavljeni su na međusobnoj udaljenosti od 6 metara. Upore okvira malog su raspona i nije ih bilo problem dimenzionirati. Međutim sponje koje povezuju bočne upore stvarale su velike probleme prilikom dimenzioniranja zbog raznih ograničenja koja su postavljena pred ovu konstrukciju. Prvenstveno ograničenja koja se odnose na visinu i duljinu konstrukcije, koje su trebale biti u granicama dozvoljenog transporta. Naime, za postizanje pomaka priključnog ormarića po kliznoj stazi od 72 metra, potrebna je duljina kabela od 95 metara, od čega 10 metara otpada za prevladavanje duljine Bloka I (Slika 6), a preostalih 3

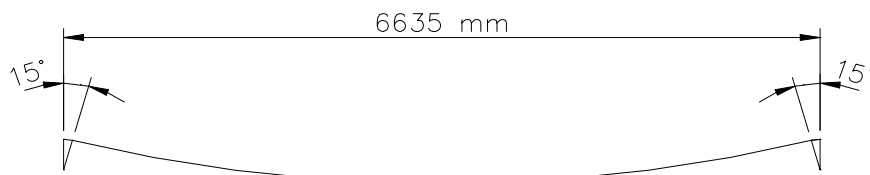
metra razlika je između horizontalne udaljenosti kolica i stvarne duljine prostorne krivulje koju kabel formira kada je ovješeno (Slika 12). S obzirom na minimalni radijus savijanja kabla od 300 milimetara, te navedena ograničenja dimenzija konstrukcije, sponja okvira konstrukcije ima mali moment tromosti. Moment savijanja koji se javlja na sponji ukoliko ona nije oslonjena na tlo ispod upora velik je, a naprezanja na sponji nije moguće dovesti u prihvatljive granice dimenzijama sponje jer u tom slučaju kabeli koji su ovješeni dolaze u kontakt s njom. Iz navedenog razloga definirana su ograničenja prilikom postavljenja konstrukcije, na taj način da se ispod U profila sponje postave ispune od mekog drva preko kojih će moguće neravnine tla biti apsorbirane. Ukoliko teren na kojem se postavlja konstrukcija ima bočni nagib, istu je potrebno nivelirati tako da se ispod upora postave podmetači (Slika 9).



Slika 9. Postavljena staza za razvlačenje kabale

Fig. 9. Fitting of the ways

Kolica preko kojih su ovješeni kabeli, dimenzionirana su prema minimalnom radijusu savijanja kabla 300 mm, dok je ukupna težina ovješениh kabala na jednim kolicima 300 kg. Kabeli su jarmom pričvršćeni na kolica, međusobno udaljeni 60 mm. Kolica su povezana čeličnim užetom, koje osim što služi za razvlačenje kabala, ima ulogu graničnika koji sprječava da se kabeli rastegnu iznad dozvoljene granice. Dozvoljena granica naprezanja u bakru ne dopušta kabelu da postane dio sistema za razvlačenje kolica. S obzirom na dozvoljena naprezanja u jezgri kabala definiran je minimalni kut koji zatvaraju točka gdje se kabel odvaja sa kolica i vertikala na preluku kolica. Time je definirana maksimalna međusobna udaljenost između susjednih kolica, koja iznosi 6,6 metara, a određena je duljinom ovješеноg kabala među kolicima od 6,7 metara i minimalnim kutom odvajanja kabala sa kolica od 15° (Slika 10).



Slika 10. Udaljenost među kolicima

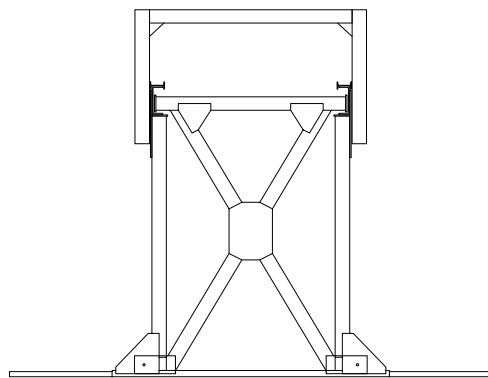
Fig. 10. Distance between carriages

Prva kolica osim kabala nose i razvodni ormarić vlastite težine 1000 kg, te je sastavni dio istih, i premosna ruka, putem koje su kabeli prebačeni preko lijeve uzdužne vodilice na podište tornja.

4. Sastavljena staza za razvod kabela

Projektni zahtjev za duljinu pomaka priključka od 80 metara, tijekom projekta je smanjen na 72 metra. Međutim mogućnost pomaka priključka, s obzirom na duljinu kabela i broj već izrađenih kolica, ostala je predviđenih 80 metara, čime je otvorena mogućnost postavljanja jednog dodatnog Bloka na konstrukciju (Slika 9).

Za razvlačenje 15 kolica sa kabelima i razvodnim ormarićem potrebno je ostvariti silu od 6,5 kN, tj. vitlo nosivosti 1 tone. Na kraju konstrukcije nalazi se transportni križ (Slika 11), na koji je pričvršćen "čekrk" koji preuzima ulogu vitla (Slika 9). Transportni križ, osim što osigurava zadani razmak vodilica na kraju staze, služi i kao ukrućenje prvog bloka prilikom transporta (Slika 9, 11).



Slika 11. Transportni križ

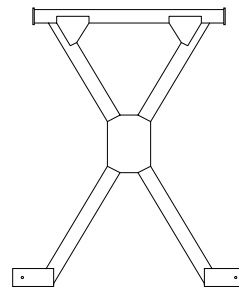


Fig. 11. Transporting cross

Za pomak priključka od 72 umjesto predviđenih 80 metara, horizontalna komponenta sile u kabelima znatno se smanjila, te je za pomak kolica dostatna znatno manja sila, koju mogu ostvariti dvoje ljudi gurajući kolica razvodnog ormarića.

Na prednjem dijelu Bloka I, nalazi se vitlo koje služi za prikupljanje kolica, te osiguranje kolica prilikom transporta.



Slika 12. Razvučena kolica sa kabelima i razvodnim ormarićem po stazi

Fig. 12 The carriage and cables

5. Sastavljanje staze za razvod kabela

Lokacije na kojoj će biti postavljen toranj za bušenje, nalaze se uglavnom u Libiji. S obzirom na temperaturne razlike koje se javljaju u pustinji, potrebno je u obzir uzeti i naprezanja materijal uslijed toplinskih dilatacija, što za konstrukciju duljine 85 metara nije zanemarivo. Tim više što su vodilice duljine 6 metara međusobno spojene vijcima, a smično naprezanje na struku vijka, nastalo uslijed navedenih dilatacija apsorbirati će plastični prsteni debljine 8 mm, koji se nalazi na vijcima. Ovakve mehaničke deformacije prstena su trajne, te je prilikom premještanja, tj. montaže konstrukcije, potrebno je zamijeniti sve plastične prstene (Slika 13).



Slika 13. Dilatacijski prsteni

Fig. 13. Dilatation rings

6. Zaključak

Članak opisuje izvedeni projekt konstrukcije za razvod kabela, koja je uspješno integrirana u sklopu bušaćeg tornja RIG E-604. Daljnja optimizacija konstrukcije moguća je proračunom konačnim elementima. Međutim, jednostavan proračun čvrstoće konstrukcije zadovoljava projektne zahtjeve, posebno uzimajući u obzir zahtjev investitora da se faktori sigurnosti konstrukcije povećaju zbog nemogućnosti utjecanja na način rukovanja, a posebno transporta konstrukcije koje će izvoditi strane prijevoznike kompanije - gdje se smatra da je jednostavnije pojačati konstrukcijom, nego se izložiti mogućem oštećenju iste, zbog jezičnih barijera u komunikaciji i nadzoru lokalnih prijevoznika.

Za konstrukciju postoji zainteresiranost od strane novih investitora, stoga je moguće unijeti nova poboljšanja u funkcionalnosti, ali i smanjenje težine konstrukcije. Pravac u kojem pri tome treba krenuti, svakako je točna specifikacija težina i karakteristika kabela, i svih ostalih elemenata energetsko-distribucijskog sistema. Potrebno je točno definirati vanjske gabarite konstrukcije, na temelju podataka o mogućnosti prijevoza kroz pojedine predjele. Predlaže se da se sa konstrukcije izbace vitla, te da se klizanje kolica izvodi ručno, zbog brzine i jednostavnosti. Točnijim određivanjem duljine staze moguće je smanjiti broj kolica, čime se smanjuje i duljina prvog bloka. Za smanjenje težine konstrukcije predlaže se progresivno povećanje razmaka među okvirima vodilica, sa udaljenošću od početka staze.

LITERATURA

- [1] Bojan Kraut: "Strojarski priručnik", Tehnička knjiga – Zagreb 1976
- [2] "Praktičar", Strojarstvo 2, Strojarstvo 3, Školska knjiga – Zagreb 1972
- [3] "Inženjersko tehnički priručnik", Otpornost materijala, Proračun konstrukcija, Izdavačko preduzeće Rad – Beograd 1970
- [4] Hrvatsko registar brodova: "Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova", Dio 2. Trup, Zagreb – 2003