

# INDUSTRIJA I PROJEKTOVANJE DIZALICA VISOKIH PERFORMANSI ZA PRETOVAR KONTEJNERA I RASutih MATERIJALA

**Doc. dr Nenad Zrnić, dipl. inž.**  
Mašinski fakultet, Beograd

**Prof. dr Srđan Bošnjak, dipl. inž.**  
Mašinski fakultet, Beograd

**Mr Vlada Gašić, dipl. inž.**  
Mašinski fakultet, Beograd

*U radu su prikazane tendencije razvoja industrije mašina visokih performansi za pretovar kontejnera i rasutih materijala. Date su postavke proizvodnje i ključne stavke procesa nabavke obalskih dizalica uključujući i kriterijume za evaluaciju pri kupovini dizalice. Izloženi su aktuelni problemi i savremeni principi projektovanja obalskih kontejnerskih dizalica i pretovarnih mostova za rasute materijale. Analizirani su ciljevi projektovanja, kao i najbitnije stavke i savremeni zahtevi koje mora da ispuni kvalitetno urađen projekat. Razmotrena je mogućnost angažovanja domaće industrije (GOŠA-Smederevska Palanka) u osvajanju projektovanja i proizvodnje velikih obalskih dizalica i predložen je pristup za osvajanje novog proizvoda i nastup na međunarodnom tržištu.*

*Ključne reči: kontejnerska dizalica, pretovarni most, industrija, projektovanje*

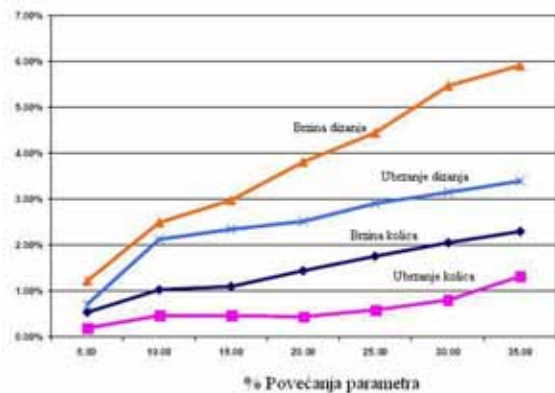
## UVOD

Kao posledica globalizacije u industriji i zahteva za brzim i efikasnim pretovarom tereta, prisutan je trend koji nameće promene u sistemima i mašinama za pretovar kontejnera i rasutih materijala. Primera radi, u Japanu se danas 90% robe izvozi ili uvozi u kontejnerima, a očekivanja su da će obim transporta kontejnera 2015. godine porasti za 90% u odnosu na obim koji je postojao na početku ovog veka /1/. Porast obima trgovine kontejnerima trenutno u svetu iznosi blizu 10%. Da bi se ostvarili pomenuti zahtevi vezani za funkcionisanje savremenih luka i terminala, u današnje vreme prisutna je tendencija proizvodnje velikih kontejnerskih obalskih dizalica i pretovarnih mašina za rasute materijale (prekidnog dejstva sa grabilicom kao zahvatnim uređajem, i neprekidnog dejstva sa kofičastim elevatorom, rotorom, zavojnim transporterom, pneumatskim transporterom, itd., /2/), koji pri tome imaju i visoke performanse, prvenstveno nosivosti, visine dizanja, povećane dimenzije prepusta i

raspona (što je praćeno izuzetnim porastom mase mašina), kao i brzine, odnosno ubrzanja pogonskih mehanizama za dizanje tereta i kretanje kolica. Ostvarivanje visokih performansi, s druge strane, povećava kapitalne troškove, eksploatacione troškove, kao i troškove održavanja, gde npr. početna cena velike kontejnerske dizalice danas dostiže vrednost i do 10 miliona US\$, a uz sofisticirane upravljačke sisteme, čak i više. Osim toga, i terminal sam po sebi nameće odgovarajuće zahteve i ograničenja, vezane za geometriju terminala i planove razvoja u budućnosti.

Dizalice za pretovar kontejnera i rasutih materijala koje rade na operativnoj obali predstavljaju kritičan podsistem koji determiniše produktivnost celog logističkog sistema. Kao i kod ostalih vrsta poslovanja, vlasnici terminala sve parametre procenjuju isključivo prema ostvarenoj dobiti, pri čemu se povećanje produktivnosti smatra osnovnom merom ostvarivanja povećanog profita. Povećanje produktivnosti može biti umereno i meri se stepenom povećanja do 20%, ili krucijalno, gde stepen povećanja produktivnosti dostiže 40%, što se najčešće realizuje potpuno novim i inovativnim rešenjima /3/. Simulacija dinamičkih parametara pogona za dizanje i kretanje kolica kod kontejnerskih dizalica pete generacije (Suezmax) pokazala je da se najveći porast

produktivnosti ostvaruje povećanjem brzine dizanja, zatim povećanjem ubrzanja mehanizma za dizanje i, konačno, povećanjem brzine kretanja kolica i povećanjem ubrzanja kolica. Pri tome, povećanjem brzine dizanja za 35% ostvaruje se povećanje produktivnosti od tek oko 6%, a za isti nivo povećavanja brzine kretanja kolica produktivnost je porasla za skromnih 2,3%, slika 1.



Slika 1. Uticaj povećanja parametara pogona na povećanje produktivnosti

Iskustva iz eksploatacije i merenja na terminalima pokazala su da rezultati dobijeni simulacijom uvek daju veće vrednosti od realnih, ponekad i za oko 30% /4/.

Krucijalna povećanja produktivnosti mogu se ostvariti novim konceptijskim rešenjima, npr. istovremenim podizanjem 2 četrdeseto-stopna kontejnera (Tandem 40), čime se uz relativno male investicije, vezane za modifikaciju kolica dizalice, postiže značajno povećanje kapaciteta, čak više od 30%. Kineska kompanija ZPMC lansirala je nedavno rešenje za istovremeno dizanje 3 kontejnera (Triple Tandem), koje je prvi put primenjeno u praksi 2007. godine na Ma Van kontejnerskom terminalu u Kini, slika 2 /5/. Procenjuje se da ova rešenja predstavljaju budućnost razvoja industrije obalskih kontejnerskih dizalica.

Međutim, iskustvo iz dosadašnjeg razvoja, podstaknutog težnjom da se razvijaju nova i inovativna rešenja konstrukcija velikih kontejnerskih dizalica, pokazalo je, na žalost, da su neke od novih ideja rezultirale mnogo složenijim, a ne jednostavnijim, konstrukcijama. Pored ostalog, iz zbog toga je neophodno posebnu pažnju posvetiti samom pristupu projektovanja razmatrane klase mašina.



Slika 2. Triple Tandem rešenje

## TRENDVI RAZVOJA INDUSTRIJE OBALSKIH KONTEJNERSKIH DIZALICA

Jula 1957. godine uprava američke kompanije Matson naručila je studiju za određivanje aktuelnog stanja postojećih dizalica i identifikaciju najpovoljnijeg rešenja dizalice za pretovar kontejnera na relaciji brod – operativna obala, uz uslov minimalnog zadržavanja broda na vezu. Zaključak studije je bio da nijedna od tada prisutnih dizalica na tržištu ne zadovoljava, u potpunosti, postavljene kriterijume, a da obalske dizalice za pretovar rude, sa horizontalnom strelom i kolicima koja su prolazila između nogu portala, u najvećoj meri ispunjavaju postavljene zahteve. Početkom 1958. specifikacije performansi su finalizovane i raspisan je tender. Američka korporacija PACECO pobedila je na tenderu i projektovala prvu kontejnersku dizalicu čija je eksploatacija počela 7 januara 1959. godine /6/. Primenjena je filozofija projektovanja prema kojoj je najbolji projekat onaj koji rezultira najmanjim brojem delova konstrukcije, a posebna pažnja posvećena je estetskom izgledu dizalice. Rešetkasti nosači koji su u to vreme bili dominantno rešenje, zamenjeni su zavarenim kutijastim nosačima, gde god je to bilo moguće. Svaka funkcija je brižljivo analizirana i uprošćena, da bi se obezbedila lakoća pristupa, rukovanja i održavanja. Ova originalna izvedba dizalice postavila je standarde za ostale proizvođače širom sveta. Premda je do sada bilo do mnogo značajnih unapređenja, sve savremene dizalice su direktni naslednici prve dizalice, a kasnije konstrukcije su pretrpele samo manje konceptijske izmene.

Početkom 90-ih godina započinje era mega dizalica, sa izuzetno velikim napretkom performansi dizalica. Npr. Suez-max dizalice, za opsluživanje 23 kontejnera po širini broda, imaju raspon od 30,48 m, prepust 61,3 m,

visinu dizanja 36,6 m, nosivost 50,8 t, i masu 1110 t /5/. Malacca-max dizalice koje opslužuju brodove sa 24 kontejnera po širini, imaju raspon 30,48 m, prepust 70,5 m, nosivost 66 t, visinu dizanja 40 m i masu 1590 t /6,7/. Očekuje se da buduće velike dizalice imaju raspon od 30 do 40 m, prepust od 73 do 75 m, visinu dizanja veću od 46 m, nosivost od 80 do 120 t i masu preko 2000 t /7/. Veoma je izražen trend povećanja brzina i ubrzanja, tako da se očekuje da će brzine kretanja kolica dostići 300 m/min (u luci u Dubaiju testiraju se kolica brzine 350 m/min), a brzine dizanja 90 m/min.

PACECO i evropski proizvođači kontejnerskih dizalica (Liebherr, Kone, Nelcon, Noell), koji se na tržištu pojavljuju početkom 60-ih godina prošlog veka, ponudili su "Off-the-Shelf" ("Sa police") koncept proizvodnje (i nabavke) za svoje konstrukcije. Ulazak japanskih proizvođača na svetsko tržište sredinom 60-ih godina (Mitsubishi, Hitachi, IHI, Mitsui), pružio je mnoge mogućnosti, i po prvi put neke izazove za kupca. Oni su imali konkurentne, pa čak i veoma niske cene, vodili su računa o kvalitetu, i ponudili su "Tailor-Made" ("Krojeno po meri") koncept. Koncept proizvodnje i nabavke kontejnerskih dizalica po Tailor-Made specifikaciji je započeo. Ovaj proces se zatim ponovio sa korejskim (Hyundai, Doosan) proizvođačima 70-ih godina, koji su u početku takođe nudili jeftine dizalice, i konačno sa kineskim proizvođačem ZPMC koji je najviše uticao na industriju kontejnerskih dizalica i podupreo "Tailor-Made koncept". ZPMC danas ima dominantnu ulogu na svetskom tržištu (oko 65% celokupnog svetskog tržišta), a njegov procentualni udeo će prema očekivanjima rasti u sledećim godinama. Privatizacija luka (osnovni trendovi razvoja luka su privatizacija, globalizacija, i modernizacija), kao i uspeh ZPMC-a formirali su veoma konkurentno okruženje industrije kontejnerskih dizalica. Konsolidacija brogarskih kompanija i operatora terminala, kao i povećanje dimenzija brodova, nametnule su potrebu za većim, bržim i "pametnijim" dizalicama. Industrija dizalica odgovorila je na ove zahteve, a što je začuđujuće, cene dizalica korigovane za stopu inflacije ostale su stabilne, ili su se čak smanjile. Time nastupa povoljno vreme za kupce dizalica, ali i teško za njihove proizvođače. PACECO nije mogao da izdrži tržišnu utakmicu, čak i posle preseljenja proizvodnje u jeftinije regione SAD (sadašnji vlasnik je Mitsui), dok su se neki evropski proizvođači fuzionisali, a neki napustili

proizvodnju obalskih dizalica. Japanski proizvođači povukli su se sa međunarodnog tržišta i fokusirali se na domaće zaštićeno tržište. Oni koji su preostali na tržištu ostvarili su značajne izmene u načinu poslovanja. Da bi preživeli na tržištu uzdrmanom uspehom ZPMC, primenili su mere za smanjivanje troškova i ponudili konkurentne cene tako što su proizvodnju i montažu premestili u pogone u udaljenim regionima sa jeftinom radnom snagom, direktno ugrađivali kupljene elektronske komponente, standardizovali komponente i, naravno, redukovali sopstveni profit, ili, čak, prodavali dizalice ispod cene. Posledica ovih mera bila je da su neki proizvođači uspeli da održe kvalitet, dok su ostali naišli na velike probleme. Ovi potonji imali su probleme sa pouzdanošću opreme i kašnjenjem u njenoj isporuci /7/.

Razvoj industrije dizalica visokih performansi za pretovar kontejnera i rasutih materijala u direktnoj je vezi sa filozofijom kupaca i strategijom nabavke ovih mašina. Fundamentalna pitanja strategije nabavke su: izbor podesne strategije nabavke i procena kvaliteta i cene. Zakupac terminala ima opciju nabavke dizalica po strategiji "Off-the-Shelf" (sa kratkim pregledom specifikacija), ili kroz nadmetanje (tender) sa detaljnom specifikacijom performansi, koja odgovara "Tailor-Made" pristupu. Najčešće, u praksi, ovaj proces predstavlja hibrid pomenutih strategija. U oba slučaja, savremeni kupac treba da bude bolje informisan i više aktivan nego na početku razvoja industrije kontejnerskih dizalica, kada se dizalica naručivala kod lokalnog zastupnika (npr. kompanije PACECO). Izbor strategije nabavke zavisi od broja dizalica, lokacije, zahteva i ekspertize unutar firme. Veći broj dizalica doprinosi obimu troškova i favorizuje "Tailor-Made" koncept. Neki od proizvođača nisu u stanju da odgovore zahtevima tržišta i obezbede uobičajene karakteristike dizalica. "Off-the-Shelf" pristup nabavke favorizuje standardizovana rešenja. "Tailor-Made" koncept zahteva visoku ekspertizu, bilo unutar firme, bilo od strane angažovanih spoljnih konsultanata (veoma često fakulteti i instituti). Osobina "Off-the-Shelf" strategije je da iziskuje kratak pregled tehničkih karakteristika i dostavljenu ponudu od strane 2 do 3 proizvođača dizalica. Ova strategija je podesna za obezbeđenje visokog kvaliteta dizalica, bez opsežnog procesa nabavke, uz tržišnu utakmicu proizvođača. Zahtevi kupca bazirani su na pretpostavljenoj nameni dizalica,

potrebnoj nosivosti, čvrstoći keja i dimenzijama brodova. Kod ove strategije kupac treba da /7/:

- Poseti postojeće dizalice (2 do 3 proizvođača) na terminalima čije karakteristike odgovaraju njegovim potrebama;
- Dobije ulazne podatke od rukovalaca i održavalaca dizalica, s tim da rukovaoci koji rade na terminalu treba da isprobaju prototip, a održavaoci analiziraju predviđeno održavanje i pristup lokacijama na kojima se ono sprovodi, kao i da izvrše reviziju programa održavanja konstrukcije;
- Dobije specifikacije od proizvođača;
- Razume proces nabavke i preduzme kvalitativne mere nadzora (monitoringa).

Ključne stavke "Off-the-Shelf" strategije su:

- Kratak pregled specifikacija (geometrija i kapaciteti, napajanje električnom energijom, kapacitet keja, potrošnja struje, specifične karakteristike, klasifikacija u pogonske grupe, stabilnost protiv olujnog vetra);
- Iziskujuća ograničenja (kupac treba da ima povratnu informaciju od operatora terminala i dizalica o pouzdanosti i prekidima u radu, kao i da zahteva eventualne izmene);
- Provera tehničkih karakteristika koje daje prodavac (kupac na osnovu posmatranja treba da potvrdi tehničke karakteristike glavnih komponenti i njihovih proizvođača i primi k znanju njihove eventualne izmene. Glavne komponente su: pogoni i upravljačke jedinice, motori, reduktori, kočnice, strujni vodovi i zahvatni uređaj – spreder. Proizvođači koriste različite standarde pri projektovanju dizalica kao FEM, BS, DIN, JIS, AS. Najrasprostranjeniji je FEM standard, koji je odličan s aspekta klasifikacije u pogonske grupe. Međutim, faktor stabilnosti usled dejstva vetra, koji nudi ovaj standard, podesan je za primenu u Evropi, ali nije adekvatan za regione van nje. Mnogi proizvođači primenjuju verziju FEM-a iz 1987. godine, koja propisuje faktor stabilnosti usled dejstva olujnog vetra od 1,1. Poslednja verzija povećala je vrednost ovog koeficijenta na 1,2, ali ga neki proizvođači nisu prihvatili. Američki standard propisuje da taj faktor iznosi 1,5. Kupac treba da potraži pomoć od vrsnog poznavaoa lokalnih propisa.
- Pregovaranje;
- Primena mera nadzora.

Kupovina započinje zahtevom za slanje ponuda od 2 do 3 prodavca. Svaka ponuda poslata

proizvođaču treba da je specifična i da uključi specifikacije za dizalicu i terminal koji je kupac prethodno posetio, kao i da navede posebne zahteve i željene izmene. Kupac pažljivo analizira svaku ponudu i poredi je sa svojim zahtevom. Verovatno je da neke karakteristike i komponente nisu uobičajene, tako da se mogu zahtevati dodatna razjašnjenja od snabdevača. Tek kada je zadovoljan tehničkim delom ponude kupac prelazi na ekonomski deo, koji obuhvata cenu dizalice i troškove nadzora koji variraju u zavisnosti od snabdevača. Konačan izbor zavisi od kombinacije tehničkih karakteristika, pouzdanosti, podrške posle kupovine, cene, uslova plaćanja i isporuke. Ograničenja ovog pristupa ogledaju se u činjenici da je on podesan za privatizovanu industriju koja nije obavezna da prihvati najnižu ponudu i može da pregovara o ceni. Javna preduzeća su prinuđena da kupuju u skladu sa uobičajenom procedurom koja najčešće nameće izbor najjeftinijeg ponuđača.

Aktuelni trend je da se danas najčešće pristupa "Tailor-Made" strategiji. Ova strategija zahteva dostavljanje detaljnih specifikacija, upoređivanje predloženih rešenja, obavljanje neophodnih izmena, izbor proizvođača, i primenu nadzora nad projektom i procesom proizvodnje.

Ključne stavke ovog pristupa su /7/:

- Detaljne specifikacije (počinje se sa detaljnim osnovnim specifikacijama i identifikuju se specifične komponente i potrebe);
- Moguće su izmene tendera (zahtev za specifičnom dizalicom, izuzeće učesnika na tenderu, primena samo potvrđenih konstrukcionih rešenja);
- Odobravanje tehničkih karakteristika, usaglašene specifikacije, procena primenjenih standarda i alternativa;
- Procena ekonomskih efekata (kapitalni troškovi, životni vek konstrukcije, revizija ponuda, troškovi nadzora i administracije);
- Implementacija kvalitetnog programa nadzora (verifikacija projekta i kvaliteta proizvoda, pregled na licu mesta, lista zamerki i nedostataka);

Proces nadzora traje od revizije projektne dokumentacije do konačnog prihvatanja dizalice. Ovi troškovi zavise od iskustva i renomea proizvođača, jer jeftiniji kontraktori (proizvođači) obično zahtevaju pažljiviji i skuplji nadzor, i obrnuto. Neki kupci imaju u okviru svoje kompanije tim za evaluaciju ponuda, dok se drugi oslanjaju na eksperte sa strane. Dok

neki kupci sami sprovode nadzor, drugi angažuju za to specijalizovane agencije i eksperte.

Troškovi nadzora zavise od:

- Lokacije proizvođača;
- Nivoa angažovanja subkontraktora (podizvođača);
- Odnosa na relaciji kupac, podizvođač, proizvođač, i firme koja montira dizalicu.

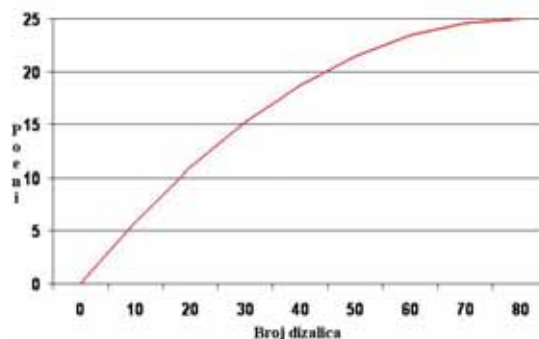
"Tailor-Made" strategija je povoljna i za privatizovanu industriju i za javna preduzeća. Obično se koristi za veće nabavke (preko 4 dizalice), ali je popularna i kod pojedinačnih nabavki. Ukupni troškovi nadzora kod "Off-the-Shelf" pristupa iznose od 0,5% do 1,5% od sredstava potrebnih za kupovinu npr. 2 dizalice. Za isti broj dizalica oni su kod "Tailor-Made" pristupa od 2,5% to 5,0%. Ovaj procenat se smanjuje kod kupovine više od 2 dizalice /7/.

Konačno, studija stanja daje kupcu odgovor na pitanje koja je strategija najbolja za njega i on tada započinje proces nabavke, ili preko zahteva za ponudama, ili kroz tender. Konsultanti koje angažuje kupac postavljaju zahtev za obezbeđivanjem minimalnog broja ciklusa na sat, kroz prethodnu simulaciju rada terminala i dizalice. U okviru simulacionog programa razmatraju se fizikalne karakteristike sistema, zastoji u radu, konfiguracija kontejner/brod. Podaci dobijeni simulacijom koriste se za određivanje brzina i ubrzanja pogonskih mehanizama i definisanje snage motora. Kriterijumi za evaluaciju ponuda prikazani su u tabeli 1 /8/. Npr., ponuđač sa najnižom cenom dobija 30 poena, a ostali u srazmeri najniža/ostala cena x 30,0.

Broj poena dobijen za iskustvo proizvođača zavisi od broja već proizvedenih i isporučenih dizalica. Raspodela poena u zavisnosti od broja prethodno isporučenih dizalica prikazana je na slici 3 /8/. Sa prikazanog dijagrama može da se uoči da kriva asimptotski teži maksimalnom broju poena, tj. da postoji neznatna razlika u poenima kod renomiranih proizvođača sa velikim brojem isporučenih mašina. Kriterijum kvaliteta i celishodnosti rešenja prvenstveno tretira usaglašenost sa predloženim specifikacijama i dosadašnju reputaciju proizvođača, odnosno ocenu kupca o performansama, kvalitetu projekta i konstrukcije prethodno kupljenih mašina. Najmanji broj poena dodeljen je podršci u održavanju i obuci osoblja i on predstavlja subjektivnu procenu, pa je zato diskutabilan i podložan promeni /9/.

Iskustvo proizvođača	25
Kvalitet i celishodnost rešenja	25
Isporuka	15
Cena	30
Obuka i podrška u održavanju	5
Ukupan broj poena	100

Tabela 1. Kriterijumi za evaluaciju pri nabavci dizalice



Slika 3. Raspodela poena u zavisnosti od prethodno isporučenih mašina

Veoma je važno da projektant i proizvođač dizalice uvažavaju činjenicu da je ona samo jedan podsistem u sistemu terminala. Relacije između učesnika u procesu stvaranja i puštanja u pogon nove konstrukcije dizalice, koja pri tome može biti namenjena terminalu (keju) u izgradnji prikazane su na slici 4.



Slika 4: Međusobne relacije učesnika u procesu kreiranja dizalice

## PRINCIPI PROJEKTOVANJA DIZALICA

Projektanti savremenih velikih dizalica visokih performansi su pod pritiskom zahteva da njihova konstrukcija mora da bude konkurentna po ceni na tržištu, rokovi za donošenje rešenja su po pravilu veoma kratki, a kriterijumi za projektovanje su najčešće u međusobnom konfliktu. Ove dizalice predstavljaju idealan primer za primenu filozofije Design for X (DFX), koja između ostalog obuhvata i stavke (alate) projektovanja (dizajna) za proizvodnju, za standardizaciju, za napone i ugibe u nosećoj konstrukciji, za kvalitet, za montažu, za transport i logistiku, za troškove, za održavanje, za jednostavnost eksploatacije, za pouzdanost, za bezbednost, za upravljanje, za brzine kretanja, za modernizaciju (redizajn), za zamor, za antikorozijsku zaštitu, za ispitivanje, za okolinu – zaštitu životne sredine (eko dizajn), za estetiku, itd. Kao glavni cilj projektovanja postavlja se uslov da dizalica i njene komponente treba da omoguće poboljšane performanse i veću produktivnost, veću pouzdanost i lakše održavanje, a da pri tome cena koštanja (koja uključuje i cenu revizije projekta) bude što je moguće niža, što je samo po sebi u koliziji sa postavljenim ciljem. Inženjeri moraju da budu sigurni koje prioritete žele da ostvari pri projektovanju dizalice da bi odgovorili na postavljene zahteve:

- Visoke performanse konstrukcije i njenih pogona (dimenzije, brzine i ubrzanja);
- Ugradnja visokokvalitetnih sistema i komponenti. Osnovni sistemi dizalice mogu da budu mehanički, hidraulički ili električni. Osnovni mehanički sistemi su sistem za namotavanje užadi (doboši, koturi, užad), reduktori, spojnice, kočnice - kod savremenih obalskih kontejnerskih dizalica zbog veće efikasnosti i bezbednosti ugrađuju se isključivo disk kočnice, za razliku od starijih konstrukcija gde su se primenjivale doboš kočnice. U hidrauličke delove spadaju sistemi za zatezanje užadi sistema za kretanje kolica, sistemi za sprečavanje iznenadnog udara kontejnera o prepreku i za regulisanje prostornog njihanja kontejnera). Električni sistemi su pogoni dizalice i sistemi za elektronsku regulaciju njihanja kontejnera;
- Zahteve bezbednosti i održavanja. Kod svih osnovnih sistema dizalice zahteva se jednostavnost, pouzdanost i lako održavanje. Pri tome se mora imati na umu da je vek trajanja osnovnih električnih sistema i komponenti kraći u odnosu na vek

mehaničkih sistema i osnovnih komponenti. Takođe, postoji tačka u životnom veku dizalice posle koje održavanje pogonskih mehanizama postaje ekonomski neisplativo, a njihov rad praćen učestalim otkazima. Prisutno je permanentno povećavanje zahteva za što većom bezbednošću na radu (starije konstrukcije dizalica imale su blaže zahteve za mehaničkom i električnom zaštitom), npr. mora se omogućiti siguran pristup dizaličaru do kabine, a unutrašnjost kabine mora biti ergonomski projektovana.

S obzirom na čitav niz specifičnih zahteva, koji su često u koliziji, i brojna ograničenja, dobar projekat savremene kontejnerske dizalice zahteva:

- Iskustvo projektnog tima i rukovodioca projekta;
- Poznavanje dizaličnih standarda i propisa širom sveta, uključujući i njihove specifičnosti vezane za, na primer, probleme proračuna statičke stabilnosti dizalice pri delovanju uraganskih vetrova koji su karakteristični za pojedine regione u Severnoj Americi i Aziji, ili dinamičke probleme vezane za zemljotresno inženjerstvo, na primer, za trusna područja (Japan). Ipak, izvesno je da će se sve dizalice koje rade u Evropi, u skorije vreme, isključivo proračunavati prema evropskim EN standardima;
- Obezbeđivanje pouzdanog rada u toku životnog veka dizalice. Ekonomski gledano, životni vek kontejnerske dizalice iznosi 20 godina, a ona je posle tog vremena tehnički zastarela i amortizovana. Vek noseće konstrukcije dizalice iznosi 30 ili čak 40 godina, ali isključivo ukoliko je konstrukcija dobro projektovana i ukoliko se adekvatno održava, odnosno zaštiti od korozije. Ekonomski vek upravljačkog sistema pogona iznosi maksimalno oko 15 godina imajući u vidu veoma brzi razvoj upravljačkih tehnologija i veoma otežano pronalaženje rezervnih delova za elektronske i upravljačke sisteme nakon perioda od 10 do 15 godina (skoro nijedan proizvođač posle tog perioda ne garantuje snabdevanje rezervnim delovima) /10/. Pomenuti razlozi nužno nameću potrebu za modernizacijom dizalice;
- Jeftino i minimalno održavanje, odnosno jednostavna demontaža i zamena pojedinih komponenti, uz minimalne zastoje u procesu rada. Preduslov kvalitetnog održavanja je obezbeđivanje lake dostupnosti komponentama (penjalice, merdevine, platforme,

lift, itd.) koje se održavaju i dovoljan raspoloživi prostor (platforme za održavanje) oko sistema koji se održava (npr. oko velikog DC motora potrebno je imati dovoljno mesta da se on otvori i zamene četkice).

Međutim, glavni ciljevi projektovanja često su u suprotnosti sa karakteristikama dobrog projekta jer je, po pravilu, niska cena vezana za:

- Loš projekat;
- Komponente lošeg kvaliteta;
- Nisku pouzdanost;
- Skupo održavanje,

dok, sa druge strane, skup proizvod odlikuju:

- Dobar projekat;
- Izrazito kvalitetne i originalne komponente;
- Visoka pouzdanost;
- Jeftino održavanje.

Osnovna razmatranja u projektovanju kontejnerskih dizalica odnose se na mašinski deo, elektroniku i noseću konstrukciju. Osnove mašinskog i elektro projekta vezane su za:

- Izbor tipa kolica. Kolica mogu da budu sa autonomnim pogonom smeštenim na ramu, sa užetnim pogonom gde su pogonske stanice smeštene u mašinskoj kućici, ili kao hibridno rešenje gde je pogon kretanja kolica smešten na ramu a pogon dizanja tereta ostvaruje se sistemom užadi. Kriterijumi za usvajanje tipa kolica i uporedna analiza konstrukcionih rešenja detaljno su prikazani u /11/;
- Izbor pogonskih i upravljačkih sistema. Kod savremenih pogona kretanja dizalice eliminisani su otvoreni zupčasti parovi, ugrađuju se upravljani motori i primenjuju moto-reduktori, dok elektromotori mogu biti jednosmerne struje (DC), ili motori naizmenične struje (AC). Uporedna analiza AC i DC motora pokazala je da su na osnovu kriterijuma faktora snage, ponašanja u prelaznim režimima, kompaktnosti, troškova i jednostavnosti održavanja AC motori u prednosti, dok se prednost DC motorima daje zbog manje veličine, težine i potrebnog smeštajnog prostora, nešto boljih performansi i niže cene koštanja. Razmatranjem podataka dobijenim uporednom analizom došlo se do zaključka da nijedan od tipova motora nije inferioran u odnosu na drugi, ali da je, istovremeno, razvoj tehnologije kod AC motora brži u odnosu na DC motore, te da će oni verovatno biti rešenje koje će u budućnosti prevladati /8/;

- Bezbednost u radu;
- Povećanje produktivnosti. Mere za povećanje produktivnosti obalskih kontejnerskih dizalica detaljno su prikazane u /3/;
- Konstrukciju i proizvodnju;
- Isporučioce komponenti.

Osnove projekta noseće strukture obuhvataju:

- Analizu opterećenja uključujući i definisanje slučajeva i kombinacija opterećenja. Pre sprovođenja analize opterećenja, potrebno je ustanoviti radne uslove, kao i spektar opterećenja dizalice, i utvrditi mogući neželjeni uticaj okoline na ponašanje dizalice, kao što su ekstremni klimatski uslovi (izrazito niske ili visoke temperature), pojava orkanskih vetrova, morski slani vazduh, vlažnost, geološki uslovi (seizmičke aktivnosti, klizanje zemljišta), uticaj obližnjih industrijskih postrojenja (agresivne emisije, prašina), itd;
- Proveru stabilnosti konstrukcije protiv preturanja;
- Dokaze čvrstoće i dokaze elastične stabilnosti;
- Opterećenje točkova, kao najvažniji element za proračun staze i čvrstoće doka;
- Zamor i koroziju; Korozija i zamor konstrukcije osnovni su elementi koji uzrokuju istrošenost konstrukcije dizalice. Korozija je posledica delovanja spoljne sredine i ukoliko se na vreme ne obuzda može da dovede do loma konstrukcije, ali ju je istovremeno relativno lako proceniti. Zamor takođe uzrokuje lom konstrukcije sa opterećenjem manjim od onoga koje ona može statički da izdrži, i predstavlja porast (širenje) prslina u čeličnoj konstrukciji koji nastaje pod dejstvom višestrukih prome-nljivih opterećenja tokom eksploatacije konstrukcije. Svaka čelična konstrukcija velikih dizalica sadrži milione malih neopaženih prslina. Pri projektovanju konstrukcije neophodno je pridržavati se propisa i standarda, kao što je npr. Britanski standard (BS 7608, koji se smatra najpotpunijim evropskim standardom za zamor) koji propisuje dopuštene napone (dobijene na osnovu laboratorijskih ispitivanja), za dati broj ciklusa opterećenja, za različite vrste spojeva (prslina usled zamora javljaju se isključivo na mestima spojeva zategnutih elemenata). Korisni vek dizalice definiše se kao vreme trajanja dizalice do trenutka dok rizik od loma usled zamora ne premaši normalne industrijske standarde. Najveći broj

prslina pojavljuje se kod spojeva koji su loše konstruisani i/ili izvedeni, prslina se brže šire kod debelih nego kod tankih ploča, a verovatnija je pojava prslina kod zavarenih nego kod zavrtanjskih veza, prvenstveno zato što se zavarivanjem stvaraju defekti i kod dodatnog i kod osnovnog materijala /12/. Pri projektovanju za zamor postoje dve filozofije: projektovanje za siguran vek (Safe Life Design), i projektovanje koje dopušta oštećenja (Damage Tolerant Design) /8/. Kod prvog pristupa, konstrukcija je projektovana tako da postoji prihvatljiva pouzdanost životnog veka konstrukcije, ali on rezultira veoma teškim, konzervativnim, konstrukcijama, te je ekonomičan isključivo u okolnostima gde nije moguće (ili podesno) vršiti redovne preglede. Drugi pristup je daleko prihvatljiviji i jedini ekonomičan za velike pretovarne mašine, ali on zahteva redovne preglede konstrukcije da bi se dostigao prihvatljiv nivo sigurnosti. On dopušta mogućnost pojave prslina, uz uslov da je nosivost preostalog dela konstrukcije dovoljna da obezbedi pouzdan rad mašine do trenutka detekcije prslina prilikom periodičnog pregleda. Zbog toga interval periodičnih pregleda treba da bude dovoljno dugačak da bi bio ekonomičan, ali istovremeno i dovoljno kratak da bi se detektovale prslina pre nego što one dostignu nestabilno stanje. Iz ovog razloga, projektovanje za zamor u uskoj je vezi sa projektovanjem za održavanje konstrukcije dizalice.

- Uticaj izabranog rešenja kolica na funkcionalnost konstrukcije, njene performanse i održavanje;
- Uslove transporta gotove konstrukcije, gde se posebna pažnja posvećuje bezbednom transportu dizalice, a zatim njenom postavljanju na doku i ispitivanju;
- Uputstvo za održavanje konstrukcije i njenih delova, kao i uputstva za bezbedan rad i korišćenje dizalice. Kod konstrukcije je najpre potrebno definisati principe održavanja elementa noseće čelične konstrukcije, mašinskih, hidrauličkih i elektro komponenti. Potrebno je da se obezbedi da svaki mašinski deo može da bude demontiran korišćenjem uobičajenih transportnih sredstava kao što su mosne ili monorej dizalice, odnosno stacionarna vitla, umesto primene skupih mobilnih dizalica za održavanje. Dizalice koje se lako održavaju omogućavaju dugotrajnu profitabilnost lučkog terminala;

- Krutost noseće konstrukcije. Starije dizalice i većina današnjih projektuju se sa velikom krutošću i unapred propisanim maksimalnim ugibima. 1996. godine lansiran je princip projektovanja dizalica sa savitljivom nosećom konstrukcijom bez apriori ograničavanja ugiba /6/;
- Izradu konstrukcije, pri čemu se posebna pažnja posvećuje izradi zavarenih i vijčanih veza.

Permanentni razvoj i rast terminala uzrokovao je i povećanu brigu za okolinu (uključujući i vizuelni izgled konstrukcije, odnosno estetske aspekte) i mere njene zaštite od neželjenih uticaja (emisija izduvnih gasova, buka, prašina). Posebno je značajna zaštita životne sredine kod pretovarnih mostova diskontinualnog (tradicionalna metoda sa grabilicom kao zahvatnim uređajem) i kontinualnog dejstva (aktuelni trend u svetu) za rasute materijale koji rade u lukama, zbog toksičnosti pojedinih materijala (npr. koncentrat bakra) i stvaranja prašine u procesu pretovara. U današnje vreme razvoj u oblasti pretovara rasutih materijala uslovljen je strogim regulativama zaštite životne sredine, posebno zaštite vode i vazduha, te ograničavanja nivoa buke, što uslovljava dodatna istraživanja i primenu napredne tehnološke opreme /2/. Iz tog razloga trend je ka stvaranju ekoloških pretovarnih mašina, kao npr. Eco Shipunloader opisan u /13/.

## **ZAKLJUČAK I POTENCIJALI DOMAĆE INDUSTRIJE**

Industrija obalskih dizalica za pretovar kontejnera i rasutih materijala razvila se do granice oštrog nadmetanja, zahvaljujući uspehu kineskog proizvođača ZPMC. Dizalice su vremenom postale sve veće, brže, i "pametnije", a pri tom su cene ostale stabilne, bez obzira na inflatorna kretanja u svetu. Neki renomirani proizvođači su prestali sa proizvodnjom, dok su oni koji su opstali na tržištu izvršili značajne izmene u načinu proizvodnje i poslovanja. Ove dinamične promene izmenile su i filozofiju kupaca dizalica, za razliku od prethodnih vremena kada su ih oni, sa okvirnim specifikacijama, naručivali od renomiranih proizvođača. Obe strategije nabavke dizalica razmatrane u radu održive su i u budućnosti, ali se za srednji nivo narudžbi trend kreće ka "Tailor-Made" pristupu, uključujući povećan nivo kvaliteta nadzora nad projektom i proizvodom. Dobijanje najpovoljnijeg rešenja konstrukcije dizalice složen je zadatak, a pri



projektovanju treba da se ostvari balans između protivurečnih kriterijuma i ciljeva. Analiza troškova i prednosti svakog projektnog rešenja ovih velikih i skupih dizalica treba da se razmatraju pojedinačno, od slučaja do slučaja.

U Srbiji je u periodu postojanja SFRJ postojala relativno razvijena industrija za proizvodnju dizalica koju su sačinjavali ILR Železnik, GOŠA Smederevska Palanka, MIN Niš i Arsenije Spasić iz Zaječara. Pomenuti proizvođači imali su i brojne inostrane aranžmane, prvenstveno u nesvrstanim zemljama. Tranzicija je učinila da je samo GOŠA FOM (fabrika je osnovana 1923. godine, a prvu dizalicu napravila je 1932. godine) uspjela da održi tržišne potencijale, fabrika je uspešno privatizovana od strane zaposlenih i prisutna je na međunarodnom planu prvenstveno preko tendera izvoznih poslova za Rusiju, zemlje severne Afrike (Alžir, Tunis) i srednje Azije (Pakistan). Fabrika je do sada projektovala i montirala preko 110 mosnih dizalica, više od 10 lučkih portalnih dizalica i preko 20 portalnih i poluportalnih dizalica, uključujući i velike pretovarne mostove. Za potrebe različitih tržišta, fabrika, pored JUS, u projektovanju primenjuje i standarde FEM, DIN; BS, i GOST. Pri projektovanju i proizvodnji primenjuju se savremena tehnička rešenja kao što su planetarni pogoni, kontinualna promena brzina, izolovana i klimatizovana upravljačka kabina. Prednost fabrike je što se svi delovi dizalica izrađuju u sopstvenim pogonima i na sopstvenim mašinama. U dizalice se ugrađuju reduktori GOŠA-EICKHOFF, a fabrika vrši probnu montažu svih dizalica i probno ispitivanje prema standardu na osnovu koga je urađen projekat. Na slici 5 prikazana je konstrukcija pretovarnog mosta nosivosti 32 t, i raspona 76,2+31,8+6 m, projektovanog i proizvedenog 2003. godine za Nižnetagiljskij metalni kombinat (Rusija). Analiza dinamičkog ponašanja dizalice urađena je na Mašinskom fakultetu u Beogradu /14/.



Slika 5. RGP dizalica 32t, 76,2+31,8+6m  
Istraživanja i projektovanja za privredu 18/2007

Istorijat i sposobnosti fabrike ukazuju da ona ima mogućnosti da proširi svoju delatnost i na proizvodnju obalskih kontejnerskih dizalica, prvenstveno za rečne luke, a u okviru projekta tehnološkog razvoja TR 6368 (Istraživanje, razvoj i konstrukcija mašina za pretovar i skladištenje kontejnera i rasutih tereta) finansiranog od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije predloženo je konstrukciono rešenje. Imajući u vidu izložene postavke u ovom radu i potencijale GOŠE, domaći proizvođač ima mogućnost nastupa prema Tailor-Made konceptu. Nedostatak konkretnih referenci iz oblasti kontejnerskih dizalica mogao bi da bude prevaziđen time što bi fabrika dobila mogućnost da projektuje i montira prvu kontejnersku dizalicu na nekoj od Dunavskih luka u Srbiji (u Srbiji trenutno ne postoji nijedna dizalica ovog tipa, a postoji evidentna potreba u bliskoj budućnosti za njima), što bi predstavljalo odskočnu dasku za kasniji nastup na inostranom tržištu /15,16/.

## LITERATURA

- /1/ Nishitake, S., Nakada, H., Karasuda, S., Osaki, Y.: Cranes and Forklifts - Material Handling Systems Designed for Safe Transportation, MHI Technical Review, Vol. 40, No. 1, pp. 1-5, 2003.
- /2/ Ye, W.: Development of modern ship unloader, Port Technology International, No. 24, pp 105-107, 2004.
- /3/ Zrnić, N., Dragović, B., Petković, Z.: Survey of some new concepts that increase STS container cranes productivity, Proc. of "Miskolczer Gespraech 2003", "Die Neuesten Ergebnisse auf dem Gebiet Foerdertechnik und Logistic", pp. 133-138, Miskolc, Hungary, 2003.
- /4/ Zrnić, Đ., Kosanić, N., Čuprić, N., Zrnić, N.: Total performance design of transportation systems, Proc. of 12th International Conference on Industrial Systems, "IS 2002", pp. 164-171, Vrnjačka Banja, 2002.
- /5/ Lind, D., Hsieh, J, Jordan, M: Tandem 40 Dockside Container Cranes and Their Impact on Terminals, Proc. of the ASCE Ports 2007 Conference, paper 15, pp.1-9, 2007.
- /6/ Zrnić, N., Hoffmann, K: Development of design of ship-to-shore container

- cranes:1959-2004, In: History of Machines and Mechanisms, edited by Marco Ceccarelli, pp. 229-242, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, Dodrecht Printed in Netherlands, 2004.
- /7/ Zrnić, N, Petković, Z., Bošnjak, S.: Basic principles in design of large container cranes (part II): Historical development in design, evolution of container cranes industry and procurement strategy, Journal of Mechanical Engineering Design, Volume 8, Number 2, pp. 21 – 32, 2005.
- /8/ Vazifdar F. R., Davis Rudolf III, C.: Masterclass on Crane Procurement, Modernization, and Maintenance, Conference "TOC Asia 2003", Hong Kong, China, February, 2003.
- /9/ Rudolf, D., C.: Crane Procurement: Buying the Big Ones, Port Technology International, No. 8, pp. 51-54, 1998.
- /10/ Chong, T.S., Liang, J., Darley, P.M.: Crane modernization, why and how?, Port Technology International, 8, 57-63, 1998.
- /11/ Zrnić, N, Petković, Z., Bošnjak, S.: Basic principles in design of large container cranes (part I): Mechanical design of trolley and environmental impact, Journal of Mechanical Engineering Design, Volume 8, Number 1, pp. 10 – 23, 2005.
- /12/ Vazifdar, F.R., Kenton, K.L., McCarthy, L.: Predicting and prolonging the life of used cranes, Conference TOC'02, Kuala Lumpur, Malaysia, 19-21 February, 2002.
- /13/ Harrington, S., Easthom, B., Frederick, L.: Environmentally Friendly Shiploaders for the Future, Port Technology International, No.8, pp. 117-120, 1998.
- /14/ Petković Z., Zrnić, N., Bošnjak S.: Analiza dinamičkog ponašanja pretovarnog mosta nosivosti 20 t i raspona 76,2 m, rađeno za GOŠU - Smederevska Palanka, Mašinski fakultet Beograd, 2003.
- /15/ Georgijević, M., Zrnić N., Arsenijević, A., Gašić, V.: Machines for handling containers, are we ready for international competition, Proceedings of the 5th International conference, Heavy Machinery HM 2005, pp. IA.43 – IA.48, Kraljevo, 2005.
- /16/ Georgijević, M., Zrnić, N.: Container Terminals in River Ports, FME Transactions, Volume 34, Number 4, pp. 199 – 204, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, 2006.

**INDUSTRY AND DESIGN OF HIGH-PERFORMANCE CRANES FOR TRANSSHIPMENT OF CONTAINERS AND RELOAD OF BULK MATERIALS**

The paper deals with the trends in development of industry of high-performance machines for transshipment of containers and reload of bulk materials. The paper gives theses on manufacturing process and key items for purchasing quay cranes including criteria for evaluation of proposed solutions. Modern principles and some problems in design of quay cranes are shown. The goals in design are analyzed, as well as main items and new requirements that must be met for a good design of crane. The paper also considers the possibility of Serbian manufacturer (GOŠA-Smederevska Palanka) to design and manufacture large quay cranes, and the approach for development of the new product is proposed.

Key words: container crane, ship unloader, industry, design