

Dr. sc. Zdenka Zenzerović / Ph. D.
Mr. sc. Siniša Vilke / M. Sc.
Mia Jurjević, univ. bacc. ing., studentica / student
Sveučilište u Rijeci / *University of Rijeka*
Pomorski fakultet u Rijeci /
Faculty of Maritime Studies Rijeka
Studentska 2
51000 Rijeka
Hrvatska / *Croatia*

Izvorni znanstveni rad
Original scientific paper

UDK / *UDC*: 656.615.073.235(497.5 Rijeka)
519.872

Primljeno / *Received*:
28. veljače 2011. / *28th February 2011*

Odobreno / *Accepted*:
8. travnja 2011. / *8th April 2011*

TEORIJA REDOVA ČEKANJA U FUNKCIJI PLANIRANJA KAPACITETA KONTEJNERSKOG TERMINALA RIJEČKE LUKE

QUEUING THEORY IN FUNCTION OF PLANNING THE CAPACITY OF THE CONTAINER TERMINAL IN PORT OF RIJEKA

SAŽETAK

Cilj je ovoga rada pokazati da se primjenom teorije redova čekanja može odrediti optimalan kapacitet lučkoga kontejnerskoga terminala, odnosno kombinacija broja pristana i dizalica po pristanu s najmanjim troškovima za zadani promet. Kontejnerski terminal je sustav složen od određenog broja međusobno zavisnih podsustava pa se optimalan kapacitet terminala svodi na izračunavanje optimalnog broja pristana, budući da kapacitet pristana determinira potreban kapacitet ostalih podsustava, a time i propusnu moć kontejnerskog terminala u cjelini. Za dobivanje optimalnog rješenja primijenjen je model ukupnih troškova koji se temelji na teoriji redova čekanja. Model se može koristiti za bilo koji kontejnerski terminal te za terminale u sadašnjim ili budućim uvjetima. Dobiveni rezultati su baza za donošenje odgovarajućih poslovnih odluka vezanih za poslovanje terminala. Model je testiran na primjeru kontejnerskog terminala riječke luke Brajdica.

Ključne riječi: *teorija redova čekanja, planiranje kapaciteta, model troškova, lučki kontejnerski terminal, terminal Brajdica*

SUMMARY

The goal of this paper is to show that the implementation of the queuing theory could set an optimal capacity of the port container terminal, or a combination of the number of berths and cranes per berth with the minimum costs for the given traffic. The container terminal is a system composed of a specific number of mutually depending subsystems so the optimal capacity of the terminal is reduced to the calculation of the optimal number of berths, since the capacity of the berth determines the necessary capacity of the other subsystems, and thereby a throughput of the entire container terminal. The optimal solution was received by applying a model of total costs that is based on the queuing theory. This model can be used for any container terminal and for terminals in present and future conditions. The results are a basis for bringing adequate business decisions related to the operating of the terminal. The model is tested on an example of container terminal Brajdica in Port of Rijeka.

Key words: *queuing theory, capacity planning, cost model, port container terminal Brajdica*

1. UVOD

Lučki kontejnerski terminal je vrlo složen sustav, sastavljen od određenog broja podsustava koji su međusobno funkcionalno povezani i koje je moguće razmatrati s različitih stajališta: tehničkog, tehnološkog, ekonomskog, pravnog i dr.

Da bi se postiglo optimalno funkcioniranje terminala potrebno je sve elemente proizvodnje kontejnerske usluge (sredstva za rad, teret kao predmet rada i ljudski potencijal) međusobno uskladiti na način da izlazne veličine jednog podsustava predstavljaju ulazne veličine sljedećeg podsustava. Pritom je od posebne važnosti definirati kapacitet terminala koji utječe na mogućnosti ostvarenja postavljenog plana proizvodnje, a time i plana realizacije lučkih usluga.

Kapacitet lučkoga kontejnerskog terminala [12, str. 168] je prometni kapacitet terminala, tj. zbroj propusne moći pojedinih pristana na terminalu u promatranj jedinici vremena. Optimalan kapacitet lučkoga kontejnerskog terminala pretpostavlja da su kapaciteti pojedinih elemenata sustava (infrastrukture, suprastrukture, ljudskog rada, itd.) usklađeni međusobno i s postojećom potražnjom za lučke operacije s kontejnerima te kao takvi, čine funkcionalnu cjelinu koja korisnicima omogućuje pružanje lučkih usluga sa što manje zastoja, a kontejnerskom terminalu rentabilno poslovanje.

Problem određivanja optimalnog kapaciteta lučkoga kontejnerskog terminala svodi se na izračunavanje optimalnog broja pristana, budući da kapacitet pristana determinira potreban kapacitet ostalih podsustava lučkoga kontejnerskog terminala, a time i propusnu moć kontejnerskog terminala kao cjeline.

Međutim, u praksi je vrlo teško odrediti i dimenzionirati optimalan kapacitet lučkoga kontejnerskog terminala zbog oscilacija lučkog prekrcaja uvjetovanih neravnomjernim pristizanjem kontejnerskih brodova na terminal te nejednolikim trajanjem operacija s kontejnerima. Kontejnerski terminal bi trebao raspolagati rezervnim kapacitetom za slučajeve dnevnog ili mjesečnog maksimalnog prometa da bi se u svakom trenutku mogao obaviti prekrcaj kontejnera, ali takve bi rezerve kapaciteta smanjile stupanj iskorištenja terminala, a također bi povećale udio fiksnih troškova u njegovom poslovanju.

1. INTRODUCTION

The port container terminal is a very complicated system, composed from a certain number of subsystems that are mutually functionally linked and it is possible to examine them from different points of view: technical, technological, economical, legal,

To achieve the optimal functioning of the terminal it is necessary to mutually synchronize all production elements of the container service (equipment, cargo as a work object, and human potential) in the way that the outgoing quantity of one subsystem presents ingoing quantities of the following subsystem. During this process it is very important to define the capacity of the terminal that affects the possibility of accomplishing of the production plan that is set up, thereby a plan for realisation of port services.

The capacity of the port container terminal [12, pg.168] is the traffic capacity of the terminal, or the amount of throughput of certain berths on the terminal in the observed time unit. The optimal capacity of the port container terminal presumes that the capacities of separate elements of the system (infrastructure, suprastructure, human labour...) are mutually synchronised and with the existing demand for port operations with containers, they make a functional unit that enables the users to provide port services with the minimum stoppage, and ensure profitably operation of the container terminal.

The problem of determining optimal capacity of the port container terminal is reduced to calculating an optimal number of berths, since the capacity of the berth determines the necessary capacity of the other subsystems of the port container terminal and thereby the throughput of the entire container terminal.

However, in practice it is very difficult to determine and submit an optimal capacity of a port container terminal because of the fluctuation of port reload conditioned by the uneven arrival of container ships to the terminal and uneven duration of operations with containers. The container terminal should handle with the reserve capacity for cases of daily and monthly maximal traffic so the containers can at any moment be reloaded, but these capacity reserves would reduce the usage degree of the terminal, and also would increase a portion of fixed charges in its activity.

Jedan od načina određivanja optimalnog kapaciteta lučkoga kontejnerskog terminala je primjena kvantitativnih metoda, i to teorije redova čekanja, što je i cilj postavljen u ovome radu.

Odluka o optimalnom broju pristana kontejnerskog terminala zavisi od postavljenog kriterija optimizacije, primjerice: postotka iskorištenja pristana, duljine vremena čekanja broda u redu, broja brodova u redu čekanja ili troškova čekanja broda i nezauzetosti pristana, odnosno, odabire se onaj kriterij koji se smatra najvažnijim za efikasno funkcioniranje kontejnerskog terminala.

U ovome je radu prikazan model troškova primjenom kojega se određuje kombinacija broja pristana i dizalica na pristanu s najmanjim troškovima za zadani promet terminala.

Funkciju ukupnih troškova objavili su P. Schonfeld i S. Frank 1984. [5, str. 56-62] za kontejnersku luku s jednim pristanom. Kasnije, 1995. Z. Zenzerović u svojoj disertaciji [6, str. 224-244] proširuje model na luku s više pristana te grafičkim i računskim putem utvrđuje veličinu promjene pojedine vrste troška zavisno od broja pristana i dizalica. Č. Dundović i Z. Zenzerović objavljuju 2000. [1, str. 217-221] model troškova za luku generalnog tereta. Prethodni model je u knjizi Optimizacija sustava hrvatskih kontejnerskih luka 2001. [10, str. 73-98] primijenjen na realne podatke za kontejnerski terminal riječke luke uz neke modifikacije osnovnog modela.

Ovaj je rad nastavak prethodnih radova vezanih za model troškova s time da su formule za neke vrste troškova modificirane te primijenjene na kontejnerski terminal Brajdica.

2. TEHNIČKO -TEHNOLOŠKI ASPEKT KONTEJNERSKOG TERMINALA RIJEČKE LUKE

Tehničko-tehnološki aspekt kontejnerskog terminala obuhvaća sve elemente koji omogućuju funkcioniranje terminala predstavljeno brojnim stanjima kroz koja prolazi terminal: stanje mirovanja, pripremne radnje, prekrcaj, prijevoz, slagalište, U ovom je dijelu analizirano postojeće stanje tehničko-tehnoloških elemenata kontejnerskog terminala riječke luke Brajdica, budući da će ti elementi biti uključeni

One of the methods of determining the optimal capacity of the port container terminal is the application of the queuing theory, which is the main goal of this paper.

The decision of the optimal number of berths of the container terminal depends on the optimisation criteria, for example: the percentage of berth usage, the queueing duration of a ship, number of ships in the queue or the waiting costs of ships and disengagement of berth, thereby the criteria that is considered most important is chosen for the effective functioning of container terminal.

This paper shows a model of costs and how its application determines the combination of number of berths and cranes on the berth with the least costs for the given terminal traffic.

The function of the total costs was published by P. Schonfeld and S. Frank in 1984 [5, pg. 56-62] for a container port with one berth. Later, in 1995 Z. Zenzerović in her dissertation [6, pg.224-244] expands the model on the port with several berths and through graphics and calculations determines the change of every type of costs depending on the number of berths and cranes. Č. Dundović and Z. Zenzerović publish in 2000 [1, pg. 217-221] the model of costs for the general cargo port. The previous model is in the book System Optimisation of Croatian Container Ports in 2001 [10, pg.73-98] applied on real data for container terminal of the port of Rijeka with some modifications of the basic model.

This paper is the extension of the previous papers related to the cost model with the formulas for some types of costs modified and applied to the container terminal Brajdica.

2. TECHNICAL – TECHNOLOGICAL ASPECT OF THE PORT OF RIJEKA CONTAINER TERMINAL

The technical-technological aspect of the container terminal includes all elements that enable functioning of the terminal presented with numerous states through which the terminal passes: stagnation state, preparations, reloads, transportation, stacking area... The existing state of technical-technological elements of the port of Rijeka container terminal – Brajdi-

u model troškova prikazan u sljedećem dijelu ovoga rada.

2.1. Pristani

Na kontejnerskom terminalu riječke luke postoje dva lučka bazena, zapadni i južni bazen; iz praktičnih razloga uzeto je da terminal ima dva pristana: I. pristan koji obuhvaća Kostrensko pristanište-jug te II. pristan koji se sastoji od Kostrenskog pristaništa-zapad, RO-RO rampe i gata Brajdica.

Na starijoj obali, Kostrenskom pristaništu-zapad, nalazi se kontejnerski most Liebherr, koji više nije u funkciji te kontejnerski most Metalna, koji je u listopadu 2009. preseljen s južne obale čime je znatno povećan operativni kapacitet terminala. Na zapadnoj obali su se prekrcavali uglavnom RO-RO brodovi, manji kontejnerski brodovi ili kombinirani brodovi, koji su pored uobičajenih RO-RO operacija preko rampe obavljali i operacije s kontejnerima na palubi. Nakon ukidanja feeder linija brodaru Lošinjske plovidbe, ticanje RO-RO brodova je zamrlo. Tako je posljednje ticanje zabilježeno u lipnju 2008. godine (m/b LIPA 24. 06. 2008.) te se u budućnosti ne očekuju značajnije lučke manipulacije na RO-RO brodovima u prvom redu zbog njihove niske rentabilnosti. Međutim, instaliranjem Metalne na zapadnoj obali omogućen je prekrcaj manjih kontejnerskih brodova na feeder linijama koji se vežu na ovu obalu u slučaju zauzetosti pristaništa na južnoj obali. Pored navedenog, ovo se pristanište u sadašnjoj situaciji koristi za slaganje punih kontejnera.

Na Kostrenskom pristaništu-jug mogu se vezati brodovi do 30 000 dwt s gazom od 12 m. Premda je ova obala, s obzirom na lokaciju, nezaštićena od djelovanja valova, u praksi se pokazalo da su zastoji kod prekrcaja brodova uslijed vremenskih neprilika vrlo rijetki te su prisutni samo nekoliko dana u godini. Na ovoj se obali nalaze dva kontejnerska mosta korejskog proizvođača Samsung jednakih tehničko-tehnoloških značajki.

2.2. Kontejnerske dizalice

Kontejnerski most Liebherr je započeo s radom 26. 03. 1979. godine. Nakon višegodišnje eksploatacije od 2009. godine ne posjeduje više svjedodžbu za rad te se ne koristi.

ca is analysed in this section since these elements will be included in the cost model shown in the following section of this paper.

2.1. Berths

The container terminal in the port of Rijeka has two port basins, western and southern basin; for practical reasons it is considered that the terminal has two berths: I. berth located at the Kostrensko quay – SOUTH and II. berth located at Kostrensko quay – WEST, RO-RO ramp and jetty Brajdica.

The older berth, Kostrensko quay – WEST has two container cranes: "Liebherr", that is no longer in function and "Metalna", which was moved in 2009 from the south quay which caused the operating capacity of the terminal to significantly increase. Operations that were performed on the west quay were mostly handlings of RO-RO ships, smaller container ships and combined ships, which have besides the usual RO-RO operations through the ramp, performed operations with containers on the deck. After cancelling the feeder line of the ship-owner "Lošinjska plovidba", docking of RO-RO ships has stopped. The last docking was recorded in June 2008 (mv LIPA June 24th 2008) and any significant port manipulations are not expected in the future on RO-RO ships especially because of their low profitability. However, installing "Metalna" on the west quay enabled the handling of smaller container ships on the feeder lines that tie to this berth when the one on the south shore is not available. Besides the mentioned, this berth in the present situation is used for stacking full containers.

On the Kostrensko quay – SOUTH ships can tie up to 30 000 dwt with a 12 m draft. Even though this shore is, considering the location, unprotected from waves, stoppage of ships while reloading is very rare and it happens only a few days per year. Two container cranes of the Korean manufacturer Samsung of the same technical-technological features are located on this shore.

2.2. Container cranes

Container crane "Liebherr" started its work in March 26th 1979. After exploitation that lasted several years, it lost its work permit in 2009 and is no longer in use.

Kontejnarski most Metalna u funkciji je od 20. 09. 1987. godine. Preseljenje dizalice na zapadnu obalu obavljeno je zbog njenih tehničkih ograničenja (nedovoljna visina kraka i dohvat dizalice) zbog kojih nije u mogućnosti prekravati veće kontejnerske brodove. Pored toga, njenim instaliranjem na zapadnoj obali dva kontejnerska mosta Samsung na južnoj obali dobila su novih 40 metara operativnog prostora.

Iako se obalna dizalica Metalna koristi redovito za opsluživanje manjih brodova u slučaju zauzetosti Kostrenskog pristaništa-jug, zastoji u radu su vrlo česti zbog kvarova, dok je njeno održavanje sve skuplje. Također, zbog mogućeg kvara ili eventualnog remonta dizalice pojavljuje se problem sigurnosti rada.

Unatoč starosti, troškovi ove kontejnerske dizalice su ipak obuhvaćeni u izračunu ukupnih troškova obalnih kontejnerskih dizalica s obzirom da je danas, u uvjetima postojeće dužine pristana na južnoj obali, njena primjena i dalje značajna.

Obalne kontejnerske dizalice Samsung 1. i Samsung 2. su u eksploataciji od kraja 2002. godine, a nabavljene su od strane Lučke uprave koristeći robni kredit u paketu s brodoiskrcavačem za terminal za rasute terete u Bakru. Ove dizalice svojim tehničko-tehnološkim značajkama trenutno zadovoljavaju potrebe kontejnerskog terminala. Njihov dohvat iznosi 38 metara od šine što odgovara 14 kontejnera na brodu, dok je visina dizanja iznad kranske staze 31 metar, a ispod kranske staze 13 metara.

2.3. Prijevozno-prekrcajna sredstva

Mehanizacija slagališta riječkog kontejnerskog terminala se sastoji od autodizalica s hvatačem (engl. *reachstacker*), čelnih viličara s dugim nosačima vilica (engl. *forklift*) te tegljača (engl. *tugmaster*) s prikolicama i poluprikolicama.

Treba napomenuti da su još 1991. i 1992. godine na kontejnerskom terminalu Brajdica instalirana četiri portalna prijenosnika velikog raspona na gumenim kotačima (transtaineri), međutim, njihova eksploatacija nije nikada u potpunosti realizirana.

Osnovu slagališnih prekrcajno-prijevoznih sredstava čine autodizalice s hvatačem koje se ubrajaju u tzv. horizontalnu mehanizaciju. Riječki kontejnerski terminal danas raspolaže sa sedam autodizalica ukupne nosivosti 45 tona i

The container crane "Metalna" is in function since 20.09.1987. The relocation of the crane to the west coast is done because of its technical limits (insufficient arm height and crane outreach) which are the reason why it doesn't have the possibility of reloading larger container ships. Besides this, when it was installed on the west quay, two container cranes "Samsung" on the south quay received 40 new meters of operating area.

Even though the ship to shore crane "Metalna" is used on a regular basis for serving smaller ships when the Kostrensko quay – SOUTH is occupied, the activity stoppage is very frequent because of the tendency to break down and its maintenance is getting more expensive. Also, there is a work safety issue because of possible breakdown or possible repair of the crane.

Despite the age, the costs of this container crane are covered in the calculation of the total costs of container cranes considering that today, in the conditions of the existing length of the berth on the south quay, its performance is further significant.

The container cranes "Samsung 1." and "Samsung 2." are in usage since the end of 2002 and they are purchased by the Port authority using a commodity loan together with the ship unloaded for the bulk cargo terminal in Bakar. These cranes with their technical-technological features momentarily satisfy the needs of the container terminal. Their outreach is 38 meters from the track which is sufficient for 14 containers on the ship while the height of lifting above the rail is 31 meters and below rail 13 meters.

2.3. Transport-handling equipment

The machinery of the Rijeka container terminal stacking area consist of a reachstackers, of main forklifts with long fork carriers, tugmaster trailers and semi trailers.

It is worth mentioning that back in 1991 and 1992 four transtainers on rubber wheels were installed on the container terminal Brajdica, however, their usage was never exploited to the fullest.

The base of the transport-handling equipment operating on stacking area are reachstackers that are part of the so-called horizontal machinery. The container terminal in Rijeka has seven reachstackers of a lifting capacity of

tri autodizalice ukupne nosivosti 40 tona za manipulaciju s punim kontejnerima. Od navedenog broja šest autodizalica je marke Fantuzzi (godine proizvodnje od 2005. do 2009.) te po dvije dizalice marke Belotti-Triton (godina proizvodnje 2000.) i Kalmar (godine proizvodnje 2008. i 2010.). Za manipulaciju s praznim kontejnerima koristi se autodizalica marke Fantuzzi nosivosti 12 tona u eksploataciji od 2009. godine te dvije starije autodizalice marke Belotti nosivosti 6,5 tona proizvedene 1992. i 1993. godine. Manipulacija s praznim kontejnerima moguća je i autodizalicama veće nosivosti.

Za rad s praznim kontejnerima, pored autodizalica, koristi se i čelni viličar Fantuzzi s hvatačem nosivosti 16 tona koji se nalazi u eksploataciji od 1993. godine. Terminal također raspolaže i sa četiri čelna viličara Litostroj nosivosti 12,5 tona starijeg datuma proizvodnje koji se u slučaju potrebe mogu koristiti za manipulaciju s praznim kontejnerima od 20'. U mehanizaciju kontejnerskog terminala ubrajaju se i dva motorna viličara marke Lancer Boss nosivosti 25, odnosno 28 tona koja se danas rjeđe upotrebljavaju, a služe za rad s punim kontejnerima od 20'.

Za punjenje i pražnjenje kontejnera na kontejnerskom terminalu upotrebljavaju se u prvom redu viličari marke Linde i Lancer Boss koji se ubrajaju u prekrcajno-prijevozna sredstva Luke Rijeka d. d.

S obzirom da se danas, kada RO-RO tehnologija nije više prisutna, u brodskim prijevoznoprekrcajnim operacijama viličari ne koriste, za izračun ukupnih troškova njihov se udio neće uzeti u obzir.

Za obavljanje internog prijevoza unutar kontejnerskog terminala, koji uključuje brodske manipulacije, ukrcaj/iskrcaj vagona i druge operacije, koristi se šest tegljača Mafi nosivosti 24,3 tone, od kojih su dva u eksploataciji od 2008. godine, te jedanaest prikolica, od kojih četiri proizvedene 2008. godine imaju nosivost od 60 tona. Kontejnerski terminal za svoje potrebe također koristi dva tegljača Kalmar nosivosti 24,3 tone u vlasništvu Luke Rijeka d. d.

2.4. Ljudski potencijal

Na kontejnerskom terminalu riječke luke je zaposleno 45 djelatnika koji obuhvaćaju ured uprave, rukovoditelje, administrativno osoblje

45 tons and three reachstackers of a lifting capacity of 40 tons for manipulating with full containers. From the mentioned reachstackers, six are of the trademark "Fantuzzi" (years of production from 2005 to 2009) and two are of the trademarks "Belotti – Triton" (year of production 2000) and "Kalmar" (years of production 2008 and 2010). The reachstacker of the trademark "Fantuzzi" with the lifting capacity of 12 tons, in usage since 2009, and two older reachstackers of the trademark "Belotti" with the lifting capacity of 6.5 tons produced in 1992 and 1993, are used for manipulating with empty containers. The manipulation with empty containers is also possible with reachstackers with a higher lifting capacity.

For working with empty containers, besides reachstackers a main forklift "Fantuzzi" with a fork carrier with a lifting capacity of 16 tons is in usage since 1993. The terminal also has four head forklifts "Litostroj" with the lifting capacity of 12.5 tons that are old and can be used if necessary for manipulating with empty 20' containers. The machinery of the container terminal has two motor forklifts of the trademark "Lancer Boss" with the lifting capacity of 25, and 28 tons that are rarely used in the present and are used to work with empty 20' containers.

For carrying out the container stuffing and stripping operations on the container terminal, mostly the forklifts of the trademarks "Linde" and "Lancer Boss" are used that are handling equipment of "Luka Rijeka".

Considering that today, when RO-RO technology is no longer present, the forklifts are no longer used in the ship reloading operations, their share of costs will not be included in the calculation of total costs.

For performing the internal transport inside the container terminal, that includes the ship manipulations, loading/unloading wagons and other operations, six "Mafi" tugmasters are used with the capacity of 24.3 tons, of which two are in usage since 2008, and eleven trailers, of which four are manufactured in 2008 with a capacity of 60 tons. The container terminal uses for its own needs two tugmasters "Kalmar" with the capacity of 24.3 tons that are in the ownership of "Luka Rijeka".

te planere, organizatore, nadzornike prekrcaja i dispečere u operativnom poslovanju.

Od tog broja 21 djelatnik je zaposlenik Jadranskih vrata, poduzeća koje ima koncesiju na kontejnerskom terminalu, a ostali su djelatnici Luke Rijeka d. d. Za prekrcaj broda te za ukrcaj i iskrcaj kontejnera i druge skladišne manipulacije unajmljuju se lučko transportni radnici i rukovatelji transportnom mehanizacijom od strane Luke Rijeka d. d. ili drugih kooperantskih tvrtki. Treba napomenuti da broj tih djelatnika nije fiksna već se svakodnevno mijenja prema planiranom operativnom planu.

Međunarodni lučki operater ICTS¹ kao novi strateški partner i vlasnik 51 % dionica tvrtke Jadranska vrata, koja je njegovim ulaskom preimenovana u Adriatic Gate Container Terminal, predviđa u kraćem roku zapošljavanje 50 do 80 djelatnika iz Luke Rijeka d. d., ali i sa Zavoda za zapošljavanje.

2.5. Slagalište

Ukupna površina kontejnerskog terminala Brajdica iznosi približno 140 000 m².

Trenutno su građevinski radovi proširenja terminala zauzeli područje od približno 40.000 m², puni kontejneri se slažu na površini od približno 50 000 m², a prazni na prostoru od približno 25 000 m². Ostale površine od 25 000 m² zauzimaju javne prometnice, otvoreno skladište ispod nadstrešnice N6, mehanička radionica, ulazno/izlazni punkt i dr.

Teorijske postavke planiranja kapaciteta kontejnerskih terminala definiraju da po jednom metru pristana treba osigurati približno 10,64 TEU-a skladišnog prostora, što bi značilo da za 526 metra pristana potrebna površina slagališta treba omogućiti jednokratno uskladištenje za oko 5 600 TEU-a. Budući da se na kontejnerskom terminalu Brajdica za slaganje kontejnera koriste autodizalice s hvatačem, jednokratni kapacitet uskladištenja od približno 5 000 TEU-a odgovara teorijskim postavkama. Uporabom portalnih prijenosnika velikog raspona, odnosno skladišnih mostova kao vertikalne mehanizacije omogućila bi se bolja iskoristivost slagališne površine u odnosu na primjenu autodizalice s hvatačem.

¹ International Container Terminal Services

2.4. Human resource

On the container terminal of the Port of Rijeka 45 workers are employed that cover the management office, managers, administrative staff and planners, organisers, reload supervisors and dispatchers in operating activities.

Twentyone workers are employees of Jadranska vrata (Adriatic Gate), the company that has the concession for the container terminal, and the others are workers of the "Luka Rijeka". For ships reloads and for loading and unloading containers and other storage manipulations, port transport workers are hired and transport machinery managers are from "Luka Rijeka" and other cooperating companies. It should be mention that the number of these workers is not fixed and is changes every day according to the planned operating plan.

The international port operator ICTS¹, as a new strategic partner and owner of 51 percent of stock of the company Jadranska vrata, that is renamed by entering the new partnership into the Adriatic Gate Container Terminal, predicts in the closer future the employment of 50-80 workers from the "Luka Rijeka" or the Unemployment office.

2.5. Stacking area

The total surface area of the container terminal "Brajdica" is around 140 000 m².

Momentarily the construction works for expanding the terminal have occupied an area of almost 40 000 m², full containers are stocked on a surface of almost 50 000 m², and empty containers are stocked on an area of almost 25 000 m². The remaining surface of 25 000 m² is public roads, open storage area under shed N6, mechanical workshop, input/output point etc.

The capacity planning theory settings of container terminals define that per one meter of quay 10.64 TEU of storage area should be insured, that would mean for 526 meters of quay the necessary surface of stacking area should enable a single storage for approximately 5 600 TEU. Since the container terminal Brajdica uses reachstackers for stacking containers, the single storage capacity of approximately 5 000 TEU matches the theory settings. By using the transtainers as vertical machinery it would ena-

¹ International Container Terminal Services

Za slaganje punih kontejnera slagališni prostor se dijeli na 21 sekciju označenih sa S-1 do S-21. Između svih sekcija smještene su prometnice unutarnjeg transporta. Maksimalni broj pozicija u svakoj pojedinoj sekciji iznosi 12 u dužinu, 4 u širinu i 4 u visinu, odnosno 192 x 20' kontejnera. Poprečno, između sekcija S-13 i S-20 se nalazi prostor za slaganje kontejnera s opasnim teretom.

Područje ispod kontejnerskih mostova Liebherr i Metalna ima 22 mjesta u dužinu, 7 mjesta u širinu i 4 mjesta u visinu. Na taj se način na Kostrenskom pristaništu-zapad može složiti 616 TEU-a.

Prazni kontejneri u protekle dvije godine bilježe prosječni mjesečni promet od 10 000 TEU-a, a njihovo se skladištenje obavlja u sekcijama sjeveroistočno od sekcija namijenjenih slaganju punih kontejnera.

2.6. Brod

Troškovi broda na lučkom kontejnerskom terminalu, odnosno troškovi stajanja se sastoje od troškova broda tijekom boravka na terminalu, kao što su troškovi za lučke takse (taksa za korištenje operativne obale, taksa za tonažu i taksa za svjetionike), troškovi pilotaže, troškovi remorkera te troškovi priveza i odvoza.

Troškovi koji nastaju tijekom boravka broda na lučkom kontejnerskom terminalu obuhvaćaju više vrsta troškova od kojih se neki, s obzirom na korištenje kapaciteta broda, promatraju kao varijabilni, a neki kao fiksni troškovi [10, str. 91].

Fiksni troškovi nastaju već samim postojanjem određenih brodskih kapaciteta bez obzira na to iskorištavaju li se ti kapaciteti ili ne iskorištavaju, a uobičajeno se izražavaju i obračunavaju kao dnevni fiksni troškovi.

Varijabilni troškovi putovanja broda nastaju i za vrijeme njegova boravka na kontejnerskom terminalu. Pored troškova prekrcaja tereta (stivadorski troškovi), i svi drugi varijabilni troškovi nastaju, posredno ili neposredno, u vezi s prekrcajem tereta, odnosno za vrijeme boravka broda u lukama.

Prosječan kapacitet kontejnerskih brodova koji pristaju na terminal Brajdica iznosi 3 500 TEU-a. Budući da je cijena novih brodova promjenljiva veličina koja zavisi od stanja na trži-

ble the improved utilisation of stacking surface in relation to applying the reachstackers.

For stacking full containers the stacking area is divided into 21 sections marked with S-1 to S-21. Between all sections are roads of internal transport. The maximum number of positions in every single section is 12 in length, 4 in width and 4 in height, or 192 x 20' containers. Transversal, the area for stacking containers with dangerous cargo is between sections S-13 and S-20.

The area under container cranes "Liebherr" and "Metalna" has 22 spaces in length, 7 spaces in width and four spaces in height. In this manner the Kostrensko quay – WEST can store 616 TEU.

Empty containers in the last two years show an average monthly traffic of 10 000 TEU, and their storage is performed in sections northeast from the sections for stacking full containers.

2.6. Ship

The costs of a ship on the port container terminal, or in other words the costs of standing are composed of all costs of the ship while standing at the terminal, as the costs of the port taxes (taxes for using the operating costs, tonnage tax and lighthouse tax), costs of piloting, costs of tugboat and costs of mooring and transport.

The costs that occur during ship stay at the port container terminal cover several types of costs from which some, considering the usage of the ship capacity, are seen as variable and some as fixed costs [10, pg. 91].

The fixed costs occur already with the existence of certain ship capacities regardless if the capacities are used or not and usually are expressed in calculating daily fixed costs.

The variable travelling costs of the ship also occur during stay at the container terminal. Besides the costs of reload (stevedoring costs), all other variable costs occur, directly or indirectly, in relation to reload, or during the ship stay in the ports.

The average ship container capacity that dock at the terminal Brajdica amounts to 3 500 TEU. Since the price of new ships is changeable and depends on the market and contract between certain shipyards and ship-owners that

štu i ugovora između pojedinih brodogradilišta i broдача koji naručuju određeni brod, za potrebe izračuna troškova, u ovom je radu uzeta približna nabavna vrijednost kontejnerskog broda kapaciteta 3 500 TEU-a.

3. MODEL UKUPNIH TROŠKOVA KONTEJNERSKOG TERMINALA RIJEČKE LUKE

Model troškova kontejnerskog terminala Brajdica je predstavljen funkcijom ukupnih lučkih troškova koji sadrže: troškove pristana, troškove obalnih kontejnerskih dizalica, troškove prijevozno-prekrajnih sredstava, troškove dizaličara, troškove operatera, troškove slagališnog prostora, troškove boravka broda u luci, te troškove tereta.

Da bi se primijenio navedeni model potrebno je kontejnerski terminal definirati kao sustav opsluživanja, što je učinjeno u dijelu 3.1. ovoga rada. Postupak izračunavanja troškova prikazan je postupno u dijelu 3.2.

3.1. Definiranje lučkoga kontejnerskog terminala kao sustava opsluživanja

Lučki kontejnerski terminal je definiran kao sustav opsluživanja [12, str. 169] sa sljedećom strukturom: ulazne jedinice su kontejnerski brodovi koji formiraju (ili ne) red čekanja (zavisno od trenutne situacije) da bi bili opsluženi (iskrcaj kontejnera) na pristanu kontejnerskog terminala, te nakon obavljene usluge izašli iz sustava. Vrijedi i obrnuto, u slučaju ukrcaja kontejnera na brod.

Statističkom analizom podataka o broju pristiglih brodova prema danima i mjesecima odabranog kontejnerskog terminala ustanovljeno je da ne postoji značajna zavisnost u redosljedu dnevnih dolazaka kontejnerskih brodova, tj. da su dolasci brodova u statističkom smislu slučajni. Analogan zaključak dobiva se statističkom analizom duljine vremena opsluživanja kontejnerskih brodova.

Iz prethodnog zaključka slijedi da se broj dolazaka brodova i duljina vremena njihovog opsluživanja mogu uzeti kao slučajne varijable, a zatim empirijske razdiobe tih varijabli aproksimirati s odgovarajućim teorijskim razdiobama. U tom se slučaju za izračunavanje pokazatelja funkcioniranja lučkoga kontejnerskog termina-

order a certain ship; for calculating costs, an approximate purchasing price of a container ship with a capacity of 3 500 TEU is given in this paper.

3. MODEL OF TOTAL COSTS OF PORT OF RIJEKA CONTAINER TERMINAL

The cost model of the container terminal Brajdica is presented with the function of total port costs that contains: berths costs, costs of container cranes, costs of transport-handling equipment, crane operator costs, operator costs, stacking area costs, costs of ship stay in the port and cargo costs.

In order to apply the mentioned model it is necessary to define the container terminal as a serving system which is performed in section 3.1. of this paper. The procedure of calculating costs is shown gradually in section 3.2.

3.1. Defining the port container terminal as a serving system

The harbour container terminal is defined as a serving system [12, pg.169] with the following structure: the input units are container ships that form (or not) a queue (depending on the momentary condition) to be served (container unloads) on the container terminal quay and exit the system after the performed service. This could also be reversed, in case of container loading on the ship.

With the statistical data analysis of the number of arrived ships based on the days and months of the chosen container terminal, it is established that there is no significant dependency in the order of daily arrivals of container ships, or that the arrival of ships are random in a statistic sense. The analogical conclusion is given from the statistical analysis of the duration of serving container ships.

The previous conclusion shows that the number of ship arrivals and the duration of their serving can be taken as random variables, after that empiric distributions of these variables can be approximated with adequate theoretical distributions. In this case an analytical approach using the queuing theory can be applied for calculating the functioning indicators of the port container terminal.

la može primijeniti analitički pristup pomoću teorije redova čekanja.

Osnovni parametri lučkoga kontejnerskog terminala su intenzitet toka dolazaka brodova (λ) i intenzitet opsluživanja (μ). Za odabrani sustav kontejnerskog terminala parametar λ je prosječan broj kontejnerskih brodova, odnosno kontejnera koji pristižu na terminal tijekom promatrane vremenske jedinice (primjerice: tijekom godine, mjeseca ili dana), a μ je prosječan broj kontejnerskih brodova ili kontejnera koji se mogu opslužiti u jedinici vremena na pojedinom pristanu.

Prema klasifikaciji problema redova čekanja, kontejnerski terminal je sustav s čekanjem koji dozvoljava beskonačni broj brodova u redu čekanja i najčešće s Poissonovom razdiobom za dolaske brodova i vrijeme njihovog opsluživanja, odnosno s oznakom $M/M/S/\infty$.

Pokazatelji funkcioniranja kontejnerskog terminala izračunavaju se prema odgovarajućim formulama teorije redova čekanja [11, str. 20-26].

Efikasnost kontejnerskog terminala najčešće se u praksi određuje pomoću pokazatelja duljine vremena boravka broda na terminalu (vrijeme broda provedeno u redu čekanja i vrijeme opsluživanja broda) i ona se povećava ili povećanjem broja pristana ili skraćivanjem prosječnog vremena opsluživanja. Međutim, povećanjem broja pristana povećat će se vjerojatnost da su pristani slobodni, a to znači da će se povećati nezauzetost pristana. Isto tako, skraćivanje vremena opsluživanja broda može utjecati na kvalitetu usluge te na smanjenje broja dolazaka brodova. Zato se efikasnost kontejnerskog terminala najbolje može odrediti uvođenjem vrijednosnih pokazatelja, tj. pomoću troškova, budući da se u praksi čekanje broda plaća, a nezauzetost pristana se također može vrijednosno izraziti.

3.2. Izračun troškova kontejnerskog terminala Brajdica

Model troškova kontejnerskog terminala Brajdica je predstavljen funkcijom ukupnih lučkih troškova (C) koja sadrži sljedeće troškove: troškove pristana (C_b), troškove obalnih kontejnerskih dizalica (C_d), troškove prijevozno-prekrajnih sredstava (C_{pp}), troškove dizaličara (C_{id}), troškove operatera (C_{lp}), troškove slagališnog prostora (C_{wh}), troškove boravka broda u luci (C_w), te troškove tereta (C_Q).

The basic parameters of the port container terminal are the ship arrival intensity (λ) and the serving intensity (μ). In the chosen system of the container terminal, parameter λ is the average number of container ships, in other words the number of containers that arrive to the terminal during an observed time unit (for example: during the year, month or day), and μ is the average number of container ships or containers that can be served in a time unit at a certain quay.

According to the problem classification of the queue, the container terminal is a system with waiting which allows and indefinite number of ships in the queue mostly with the Poisson distribution for ship arrivals and the duration of their serving, or with the mark $M/M/S/\infty$.

The functioning indicators of the container terminal are calculated with the adequate formulas for the queuing theory [11, pg.20-26].

The efficiency of the container terminal is mostly defined using the indicator of duration of ship stay at the terminal (the duration of the ship in queue and the duration of the ship serving) and is increased either by increasing the number of berths or reducing the average serving time. However, by increasing the number of berths the probability that the berths are free will also increase which means that the unoccupancy of berths will increase. Also, reducing the time of ship serving can affect the quality of service and reduce the number of ship arrivals. So the efficiency of the container terminal can be best determined by using the value indicators, in other words with costs, since the waiting of the ship produce payments and the disengagement of the berths also carries a value.

3.2. Cost calculation of the container terminal Brajdica

The cost model of the container terminal Brajdica is presented with the function of total port costs (C) which includes the following costs: berths costs (C_b), costs of container cranes (C_d), costs of transport-handling equipment (C_{pp}), crane operator costs (C_{ld}), operator costs (C_{lp}), stacking area costs (C_{wh}), costs of ship stay in the port (C_w) and cargo costs (C_Q).

Therefore, the function of total costs of the container terminal system has the form:

Prema tome, funkcija ukupnih troškova sustava kontejnerskog terminala ima oblik:

$$C = C_b + C_d + C_p + C_{ld} + C_{lp} + C_{wh} + C_w + C_Q \quad (1)$$

gdje je C oznaka za ukupne troškove lučkoga kontejnerskog terminala izraženih u novčanim jedinicama u promatranoj jedinici vremena, primjerice u €/h.

Iznos pojedine vrste troška izračunava se prema odgovarajućim formulama (1) – (17).

3.2.1. Troškovi pristana

Troškovi pristana zavise od broja pristana (S) i jediničnih troškova po pristanu (c_b), a izračunavaju se prema formulama:

$$C_b = S \cdot c_b \quad (2)$$

$$c_b = \left[B_0 \cdot \frac{i(1+i)^{N_b}}{(1+i)^{N_b} - 1} + M_b \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \quad (3)$$

Ukupni troškovi pristana na terminalu Brajdica dobiveni su zbrajanjem troškova svakog pojedinog pristana.

Početna cijena I. pristana obuhvaća nabavnu vrijednosti pristana i pripadajuće kranske staze, dok je u početnu cijenu II. pristana uključena i vrijednost RO-RO rampe kao sastavnog dijela infrastrukture pristana:

– nabavna vrijednost Kostrenskog pristaništa-jug	1 890 193 €
– nabavna vrijednost kranske staze	150 108 €
Ukupno	2 040 301 €
– nabavna vrijednost Kostrenskog pristaništa-zapad	1 050 107 €
– nabavna vrijednost RO-RO rive	582 079 €
– nabavna vrijednost RO-RO rampe	195 229 €
– nabavna vrijednost gata Brajdica	3 606 239 €
Ukupno	5 433 654 €

S obzirom da se u budućnosti na terminalu ne očekuje promet RO-RO jedinicama, kao druga varijanta, koja se ocjenjuje prihvatljivijom, uzeta je ona bez vrijednosti RO-RO rive, rampe i gata Brajdica.

Ekonomski vijek trajanja pristana je procijenjen na 50 godina, kamatna stopa za infrastrukturu

$$C = C_b + C_d + C_p + C_{ld} + C_{lp} + C_{wh} + C_w + C_Q \quad (1)$$

where C is the symbol for total costs of the port container terminal expressed in money units in the observed time unit, for example in €/h.

The amount of a single type of cost is calculated with the matching formulas (2) – (17).

3.2.1. Berths costs

The berth costs depend on the number of berths (S) and unit cost per berth (c_b), and are calculated with the formula:

$$C_b = S \cdot c_b \quad (2)$$

$$c_b = \left[B_0 \cdot \frac{i(1+i)^{N_b}}{(1+i)^{N_b} - 1} + M_b \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \quad (3)$$

The total berth costs on the terminal Brajdica are obtained by adding the costs of every separate berth.

The initial price of I. berth includes the purchasing value of the berth and its crane path, while the initial price of II. berth includes the value of the RO-RO ramp as an integral part of the berth infrastructure:

– purchasing value of the Kostrensko quay – SOUTH	1 890 193 €
– purchasing value of the crane path	150 108 €
Total	2 040 301 €
– purchasing value of the Kostrensko quay –WEST	1 050 107 €
– purchasing value of RO-RO waterfront	582 079 €
– purchasing value of RO-RO ramp	195 229 €
– purchasing value of jetty Brajdica	3 606 239 €
Total	5 433 654 €

Considering that the future of the terminal is not expecting traffic for RO-RO units, as another variant that is estimated as more acceptable, is taken without for the value of the RO-RO waterfront, ramp and jetty Brajdica.

The economical life cycle of the berth is estimated to around 50 years, the infrastructure interest rate is 5%, while for the value of the annual costs of berth maintenance is taken by experience 10% of the purchasing price.

Tablica 1. Izračun troška po pristanu kontejnerskog terminala Brajdica**Table 1** Cost calculation per berth of the container terminal Brajdica

Pokazatelj <i>Indicators</i>	Tumač simbola <i>Meaning</i>	Jedinica Mjere <i>Measuring unit</i>	I. pristan <i>I. berth</i>	II. pristan <i>II. berth</i>	
				I. varijanta <i>I. variant</i>	II. varijanta <i>II. variant</i>
B_0	početna cijena pristana <i>initial price of berth</i>	€	2 040 301	5 433 654	1 050 107
N_b	ekonomski vijek trajanja pristana <i>the economical life cycle of berth</i>	godine <i>years</i>	50	50	50
i	kamatna stopa <i>interest rate</i>	%	5	5	5
M_b	trošak godišnjeg održavanja po pristanu <i>annual maintenance cost per berth</i>	€	204 030,10	543 365,40	105 010,70
c_b	jedinični trošak po pristanu <i>unit cost per berth</i>	€/h	36,05	96,00	18,55

turu iznosi 5%, dok se za vrijednost troška godišnjeg održavanja pristana uzima prema iskustvu 10% od njezove nabavne cijene.

Prema formulama (2) i (3) i na temelju podataka iz tablice 1. ukupni troškovi pristana na terminalu Brajdica (C_b) iznose $36,05 + 18,55 = 54,60$ €/h.

3.2.2. Troškovi obalnih kontejnerskih dizalica

Ukupan trošak obalnih kontejnerskih dizalica zavisi od broja pristana (S), broja dizalica po pristanu (d) i troška po pojedinoj dizalici (c_d). Iznos troška dobiva se pomoću formula:

$$C_d = S \cdot d \cdot c_d \quad (4)$$

$$c_d = \left[D_0 \cdot \frac{i(1+i)^{N_d}}{(1+i)^{N_d} - 1} + M_d \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \cdot (5)$$

Za ekonomski vijek trajanja dizalica uzima se 10 godina, kamatna stopa prema iskustvu iznosi 5%, a trošak godišnjeg održavanja po dizalici u praksi je 10% od iznosa nabavne cijene dizalice.

Pomoću formula (4) i (5) i podataka iz tablice 2. ukupni troškovi obalnih kontejnerskih dizalica na terminalu Brajdica iznose 327,54 €/h.

Treba istaknuti da na južnoj obali pri prekrcajnim manipulacijama po jednom brodu dvije

With the formulas (2) and (3) and based on the data from table 1, total berth costs on terminal Brajdica (C_b) amount $36.05 + 18.55 = 54.60$ €/h.

3.2.2. Costs of container cranes

The total costs of container cranes depends on the number of berths (S), the number of cranes per berth (d) and costs per crane (c_d). The costs are obtained with the formulas:

$$C_d = S \cdot d \cdot c_d \quad (4)$$

$$c_d = \left[D_0 \cdot \frac{i(1+i)^{N_d}}{(1+i)^{N_d} - 1} + M_d \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \cdot (5)$$

The economical life cycle of the cranes is considered 10 years, interest rate (by experience) is 5%, and the annual maintenance cost per crane is (in practice) 10% of the purchasing price.

According the formulas (4) and (5) and the data from table 2 total costs of container cranes on terminal Brajdica amount 327.54 €/h.

It should be emphasized that on the south coast during reload manipulations two Samsung cranes work per one ship at the same time, or the loading is performed with two ship gangs and the total costs for the container crane per ship are $C_d = 282.04$ €/h if the ship is served in

Tablica 2. Izračun troška po obalnoj kontejnerskoj dizalici na terminalu Brajdica
Table 2 Cost calculation per container crane on the terminal Brajdica

Pokazatelji <i>Indicators</i>	Tumač simbola <i>Meaning</i>	Jedinica Mjere <i>Measuring unit</i>	METALNA	SAMSUNG 1	SAMSUNG 2
D_0	početna cijena dizalice <i>initial price of crane</i>	€	1 736 689	5 382 517	5 382 517
N_d	ekonomski vijek trajanja dizalice <i>economical life cycle of crane</i>	godine <i>years</i>	10	10	10
i	kamatna stopa <i>interest rate</i>	%	5	5	5
M_d	trošak godišnjeg održavanja po dizalici <i>annual maintenance cost per crane</i>	€	173 668,90	538 251,70	538 251,70
c_d	jedinični trošak po dizalici <i>unit cost per crane</i>	€/h	45,50	141,02	141,02

Samsungove dizalice rade istodobno, odnosno ukrcaj se obavlja s dvije brodske ruke te je ukupni trošak kontejnerskih dizalica po jednom brodu $C_d = 282,04$ €/h, ako se brod opslužuje na Kostrenskom pristaništu-jug, odnosno $C_d = 45,50$ €/h, ako se brod opslužuje na zapadnoj obali.

3.2.3. Troškovi prijevozno-prekrcajnih sredstava

Troškovi prijevozno-prekrcajnih sredstava zavise od broja prijevozno-prekrcajnih sredstava (p) te jediničnog troška po pojedinom sredstvu (c_{pp}), a izračunavaju se po formulama:

$$C_{pp} = p \cdot c_{pp} \quad (6)$$

$$c_{pp} = \left[P_0 \cdot \frac{i(1+i)^{N_{pp}}}{(1+i)^{N_{pp}} - 1} + M_{pp} \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \quad (7)$$

S obzirom da je potrebno izračunati ukupni trošak tehnološkog procesa prekrcaja broda, uzete su u obzir početne cijene i troškovi novijih sredstava budući da se njima u pravilu obavljaju brodske manipulacije. Tako je početna cijena nove autodizalice s hvatačem Fantuzzi iznosila približno 315 000 €, proizvođača Kalmar 410 000 €, novi tegljači Mafi koštali su približno 140 000 €, a prikolice/poluprikolice

the Kostrensko quay – SOUTH, or $C_d = 45.50$ €/h if the ship is served on the west berth.

3.2.3. Costs of transport-handling equipment

The costs of transport-handling equipment depend on the number of transport-handling equipment (p) and unit cost per equipment (c_{pp}). They are calculated with the formulas:

$$C_{pp} = p \cdot c_{pp} \quad (6)$$

$$c_{pp} = \left[P_0 \cdot \frac{i(1+i)^{N_{pp}}}{(1+i)^{N_{pp}} - 1} + M_{pp} \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \quad (7)$$

Considering that it is necessary to calculate the total costs of the technological process of ship reloading, the initial prices and costs of new equipment are taken into consideration since they perform ship manipulations. The initial price of a reachstacker "Fantuzzi" costs around 315 000 €, of the manufacturer "Kalmar" 410 000 €, a new tugmaster "Mafi" costs around 140 000 €, and trailers/semi trailers 35 000 €. The average purchasing price of the last 8 purchased reachstackers is used for the initial price of a reachstacker that amounts 338 750 € per crane.

35 000 €. Za početnu cijenu autodizalica prihvaćen je prosjek nabavne cijene od 8 zadnje kupljenih autodizalica u iznosu od 338 750 € po jednoj dizalici.

Mehanizacija koja se koristi u prijevozno-prekrcajnim operacijama na terminalu Brajdica po jednoj brodskoj ruci sastoji se od jedne autodizalice, tri tegljača i tri prikolice. Međutim, kako je potrebno izračunati trošak prekrcaja broda s dvije brodske ruke na južnoj obali i trošak prekrcaja broda s jednom brodskom rukom na zapadnoj obali, u tablici 3. je uvršten odgovarajući broj sredstava koja sudjeluju u navedenim tehnološkim procesima.

Za ekonomski vijek trajanja mehanizacije je uzeto 7 godina, kamatna stopa iznosi 5%, dok se za vrijednost troška godišnjeg održavanja po sredstvu uzima 10% od vrijednosti njegove nabavne cijene.

Budući da se za brodove vezane na južnoj obali prekrcajne operacije obavljaju s dvije ruke, slijedi da u tom slučaju ukupni trošak prijevozno-prekrcajnih sredstava po jednom brodu iznosi $C_{pp} = 53,80$ €/h, dok je za prekrcaj na Kostrenskom pristaništu-zapad, trošak $C_{pp} = 26,90$ €/h.

The machinery that is used in the transport – handling operations at the terminal Brajdica per one ship gang consists of one reachstacker, three tugmasters and three trailers. However, as it is necessary to calculate the ship reload costs with two ship gangs on the south berth and the cost of ship reload with one ship gang on the west berth, table 3 shows the adequate number of equipment that participate in the mentioned technological processes.

The economical life cycle of machinery is considered 7 years; interest rate is 5% while 10% is taken from the purchasing price of the equipment to calculate the cost value for annual maintenance per equipment.

Since the reload operations of ship on the south berth are performed with two gangs, in this case the total cost of transport-handling equipment per ship amount to $C_{pp} = 53.80$ €/h, while the cost for reloading on the Kostrensko quay – WEST is $C_{pp} = 26.90$ €/h.

Based on the data from table 3 and formula (6) and (7), total costs of transport-handling equipment on terminal Brajdica (C_{pp}) amount to 80.70 €/h.

Tablica 3. Izračun troškova prijevozno-prekrcajnih sredstava na terminalu Brajdica
Table 3 The calculation of costs of transport-handling equipment on terminal Brajdica

Pokazatelji <i>Indicators</i>	Tumač simbola <i>Meaning</i>	Jedinica mjere <i>Measuring unit</i>	Autodizalice <i>Reachstackers</i>	Tegljači <i>Tugmasters</i>	Prikolice/ Poluprikolice <i>Trailers/ semi trailers</i>
P_0	početna cijena <i>initial price</i>	€	338 750	140 000	35 000
N_{pp}	ekonomski vijek trajanja <i>economical life cycle</i>	godine <i>years</i>	7	7	7
i	kamatna stopa <i>interest rate</i>	%	5	5	5
M_{pp}	trošak godišnjeg održavanja <i>cost of annual maintenance</i>	€	33 875	14 000	3 500
c_{pp}	jedinični trošak <i>unit cost</i>	€/h	10,55	4,36	1,09
P_1	broj prijevozno-prekrcajnih sredstava po jednom brodu – 2 brodske ruke <i>number of transport-handling equipment per ship – 2 ship gangs</i>	–	2	6	6
P_2	broj prijevozno-prekrcajnih sredstava po jednom brodu – 1 brodska ruka <i>number of transport-handling equipment per ship – 1 ship gang</i>	–	1	3	3

Na temelju podataka iz tablice 3. i formula (6) i (7) ukupni troškovi prijevozno-prekrcajnih sredstava na terminalu Brajdica (C_{pp}) iznose 80,70 €/h.

3.2.4. Troškovi ljudskog potencijala

Ukupni troškovi ljudskoga potencijala sadrže ukupne troškove dizaličara (C_{ld}) i ukupne troškove operatera (C_{lp}) koji se izračunavaju primjenom sljedećih formula:

Ukupni troškovi dizaličara

$$C_{ld} = \lambda \cdot d \cdot t_{ld} \cdot c_{ld} \quad (8)$$

Ukupni troškovi operatera

$$C_{lp} = n \cdot c_{lp} \quad (9)$$

Vrijeme rada grupe dizaličara (t_{ld}), tj. duljina vremena prekrcaja broda (h/dizalica/brod) izračunava se prema izrazu

$$t_{ld} = \frac{x \cdot y}{d^f} \quad (10)$$

Međutim, ako je t_{ld} manje od minimalnog vremena rada u smjeni, primjerice 7 sati, tada luka plaća minimalne sate, a ne stvarnu vrijednost t_{ld} . To znači da treba uzeti da je $t_{ld} = \max(t_{ld}, t_{min})$, gdje t_{min} označava minimalno trajanje smjene grupe radnika.

Intenzitet toka dolazaka brodova (λ) predstavlja prosječan broj ticanja, odnosno dolazaka brodova na kontejnerski terminal. S obzirom na tendenciju rasta broja brodova u proteklom desetljeću uzeti su najnoviji podaci za 2010. godinu. Međutim, kako se na jednom pristanu radi s dvije, a na drugom s jednom brodskom rukom, a to znači s dvije, odnosno jednom dizalicom, bilo je potrebno razdvojiti dolaske brodova po pristanu:

- I. pristan (2 dizalice) – 262 ticanja,
118 957 TEU, $\lambda = 0,0299$ brodova/h
- II. pristan (1 dizalica) – 23 ticanja,
2 682 TEU, $\lambda = 0,0026$ brodova/h.

Broj prekrcajnih TEU-a po brodu (x) izračunat je kao količnik godišnjeg prometa (u TEU) i broja ticanja brodova na terminalu u 2000. godini: za pristan s 1 dizalicom $x = 116$ TEU/brodu, a za pristan s 2 dizalice $x = 454$ TEU/brodu.

Za izračun vremena jednog radnog ciklusa dizalice (y) treba uzeti u obzir da normativ pre-

3.2.4. Costs of human resource

Total costs of human resource contain total costs of crane operators (C_{ld}) and total costs of operators (C_{lp}) that are calculated with the next formulas:

Total costs of crane operators

$$C_{ld} = \lambda \cdot d \cdot t_{ld} \cdot c_{ld} \quad (8)$$

Total costs of operators

$$C_{lp} = n \cdot c_{lp} \quad (9)$$

Operating time for crane operators (t_{ld}), or the duration of ship reload (h/crane/ship) is calculated with formula

$$t_{ld} = \frac{x \cdot y}{d^f} \quad (10)$$

However, if t_{ld} is less than the minimal operating time in each shift, for example 7 hours, then the port pays minimal hours, and not the real value t_{ld} . That means that $t_{ld} = \max(t_{ld}, t_{min})$, where t_{min} stands for the minimal duration of working shift.

The intensity of ship arrivals (λ), presents the average number of dockings, or the arrival of ships to the container terminal. Considering the increasing number of ships in the previous decade, the newest data is taken from 2010. However, since one berth is working with two ship gangs and two cranes, and the other with one ship gang and one crane, it was necessary to separate the arrival of ships per berth:

- I. berth (2 cranes) – 262 dockings,
118 957 TEU, $\lambda = 0,0299$ ships/h
- II. berth (1 crane) – 23 dockings,
2 682 TEU, $\lambda = 0,0026$ ships/h.

The number of reloaded TEU per ship (x) is calculated as the quotient of the annual traffic (in TEU) and number of ships docking at the terminal in 2010: for the berth with 1 crane $x = 116$ TEU/ship, and for the berth with 2 cranes $x = 454$ TEU/ship.

For calculating the life cycle of a crane (y) the reload standard that is 18-20 containers per one container ship should be taken into consideration. The average of reloaded containers per one Samsung crane is 15 containers/hour. Taking into consideration that 55-60% of the total number of reloaded containers are 40' contain-

krcaja iznosi 18 – 20 kontejnera po jednom kontejnerskom mostu. Prosjek prekranih kontejnera po jednoj Samsungovoj dizalici iznosi 15 kontejnera/sat. S obzirom da je od ukupnog broja prekranih kontejnera udio 40 stopnih kontejnera između 55 i 60%, slijedi da Samsungova dizalica u jednom satu prekrca prosječno 23 – 24 TEU-a. Kontejnerski most Metalna, ako nema većih zastoja u radu, ima podjednake učinke pa se može prihvatiti da y iznosi 0,042 h/TEU.

Koeficijent ometanja (f) određuje se empirijski i zavisi od broja dizalica.

Budući da jedan mjesec ima prosječno 176 radnih sati, a plaća dizaličara iznosi 5 000 kn, odnosno 682,12 €, trošak rada jednog dizaličara je 3,87 €/h.

U prekrcaju broda sudjeluju lučki transportni radnici i rukovatelji mehanizacijom. Potreban broj djelatnika se, s obzirom na odvijanje tehnološkog procesa prekrcaja broda, za jednu brodsku ruku sastoji od 1 nadzornika prekrcaja, 1 dispečera, 7 radnika, 2 dizaličara, 3 vozača i 1 autodizaličara. Za izračun ukupnih troškova ljudskog potencijala treba zbrojiti troškove nastale na jednom brodu koji radi s jednom brodom rukom i troškove koji nastaju na jednom brodu s dvije brodske ruke. U prvom slučaju ukupan broj djelatnika uključenih u tehnološki proces prekrcaja broda iznosi $n = 15$ operatera, dok je u drugom slučaju $n = 30$ operatera.

Prosječna plaća jednog operatera iznosi 5 000 kn, odnosno 682,12 €, pa je trošak rada jednog operatera, također, 3,87 €/h.

Vrijednosti pojedinih pokazatelja potrebnih za izračunavanje ukupnih troškova dani su u tablici 4.

Ukupni troškovi ljudskog potencijala na terminalu Brajdica iznose 179,15 €/h, od čega su troškovi dizaličara 5,00 €/h, a troškovi operatera 174,15 €/h.

3.2.5. Troškovi slagališta

Troškovi slagališta predstavljaju produkt potrebnog kapaciteta slagališta (k_{wh}), veličine slagališne površine po kontejneru (a) i troška po jedinici slagališne površine (c_{wh}).

Iznos troškova dobiva se primjenom sljedećih formula:

ers, a Samsung crane in one hour reloads an average of 23-24 TEU. Container crane "Metalna", if there are not any larger stoppages in work, has almost equal efficiency which means that y amounts to 0.042 h/TEU.

The interference coefficient (f) is determined empirically and depends on the number of cranes.

Since one month has an average of 176 working hours, and the pay of a crane operator is 5000 KN, or 682.12 €, the operating costs of one crane operator are 3.87 €/h.

The port transport workers and machinery operators participate in the ship reload. The necessary number of workers is, considering the technological process of the ship reloads, for one ship gang 1 reload supervisor, 1 dispatcher, 7 dockers, 2 crane operators, 3 drivers, and 1 reachstacker operator. For the calculation of total costs of human resource it is necessary to add up the costs that occur on one ship that works with one ship gang, and the costs that occur on one ship with two ship gangs. In the first case the total number of dockers included in the technological process of the ship reload is $n = 15$ operators, while in the second case $n = 30$ operators.

The average pay of an operator is 5000 KN, or 682.12 €, so the paying cost of one operator is also 3.87 €/h.

The values of certain indicators necessary for calculating total costs are given in table 4.

The total costs of human resource on terminal Brajdica amount to 179.15 €/h, from which the costs of crane operators are 5.00 €/h, and operators 174.15 €/h.

3.2.5. Stacking area costs

The stacking area costs present a product of necessary stacking area capacity (k_{wh}), size of stacking surface per container (a) and cost per unit of stacking surface (c_{wh}).

The amount of costs is obtained by using the next formula:

$$C_{wh} = k_{wh} \cdot a \cdot c_{wh} \quad (11)$$

$$k_{wh} = \lambda \cdot x \quad (12)$$

$$c_{wh} = \left[W_{h0} \cdot \frac{i(1+i)^{N_{wh}}}{(1+i)^{N_{wh}} - 1} + M_{wh} \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \quad (13)$$

Tablica 4. Izračun ukupnog troška ljudskog potencijala na terminalu Brajdica
Table 4 The calculation of the total costs of human resource on terminal Brajdica

Pokazatelj <i>Indicators</i>	Tumač simbola <i>Meaning</i>	Jedinica Mjere <i>Measuring unit</i>	Vrijednosti <i>Values</i>
λ	intenzitet dolazaka brodova – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>arrival rate – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	brod/h <i>ship /h</i>	0,0026 0,0299
d^*	broj dizaličara – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>number of crane operators – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	- -	2 4
x	broj prekranih kontejnera po brodu – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>number of reloaded container per ship – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	TEU/brod <i>TEU/ ship</i>	116 454
y	vrijeme jednog radnog ciklusa dizalice <i>duration of one life cycle of crane</i>	h/TEU	0,042
f	koeficijent ometanja – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>interference coefficient – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	- -	1,00 0,85
t_{ld}	vrijeme prekrcaja broda – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>duration of ship reload – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	h	4,872 10,593
n	broj operatera – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>number of operators – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	- -	15 30
c_{ld}	jedinični trošak rada dizaličara <i>unit cost for crane operator</i>	€/h	3,87
c_{lp}	jedinični trošak rada operatera <i>unit cost for operator</i>	€/h	3,87

Opaska: Simbol d u formuli (8) se odnosi na broj dizaličara, a u formuli (10) na broj dizalica. Razlika između broja dizalica i dizaličara je nastala zbog činjenice da jednu dizalicu opslužuju 2 dizaličara.

Remark: Symbol d in formula (8) refers to the number of crane operators, and in formula (10) the number of cranes. The difference between the number of cranes and crane operators occurs because of the fact that one crane is operated by 2 crane operators.

$$C_{wh} = k_{wh} \cdot a \cdot c_{wh} \quad (11)$$

$$k_{wh} = \lambda \cdot x \quad (12)$$

$$c_{wh} = \left[W_{h0} \cdot \frac{i(1+i)^{N_{wh}}}{(1+i)^{N_{wh}} - 1} + M_{wh} \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \quad (13)$$

Početna cijena slagališta pri izgradnji terminala sastoji se od vrijednosti instalacija vode, kolosijeka, skretnica, TT mreže i asfaltiranih površina. Poradi navedenog, vrijednost cijele površine slagališta izrazito je velika te će se ona reflektirati i na iznos ukupnog troška slagališta.

Ukupan broj ticanja na terminalu Brajdica u 2010. godini iznosio je 285 brodova s prometom od 121 639 TEU-a; slijedi da je $\lambda = 0,032$ broda/h i $x = 427$ TEU/brodu.

Na temelju dimenzija 20' kontejnera (širina 2,64 m, duljina 6,6 m, visina 2,64 m) veličina slagališne površine iznosi 17,4 m²/TEU. Budući

The initial price during building the terminal consists of the values of water installation, rails, railroad switch, TT network and asphalt surfaces. Because of the mentioned, the value of the complete stacking surface is very high and will reflect on the amount of the total costs of the stacking area.

The total number of dockings on terminal Brajdica in 2010 was 285 ships with the traffic of 121 639 TEU; resulting that $\lambda = 0.032$ ships/h and $x = 427$ TEU/ship.

Based on the dimensions of 20' containers (width 2.64 m, length 6.6 m, height 2.64 m) the size of the stacking surface is 17.4 m²/TEU. Since the average number of containers stack into height is four, the necessary surface per container is 4.35 m²/TEU.

The estimation of the economical life cycle of the stacking area is 100 years; interest rate for infrastructure is 5%, while the costs of annual stacking area maintenance are considered 3% of its purchasing price.

Tablica 5. Izračun ukupnog troška slagališta na terminalu Brajdica
Table 5 Calculation of total stacking area costs on terminal Brajdica

Pokazatelji <i>Indicators</i>	Tumač simbola <i>Meaning</i>	Jedinica mjere <i>Measuring unit</i>	Vrijednosti <i>Values</i>
λ	intenzitet dolazaka brodova <i>arrival rate</i>	brod/h <i>ship /h</i>	0,032
x	broj prekranih kontejnera po brodu <i>number of reloaded containers per ship</i>	TEU/brod <i>TEU/ ship</i>	427
k_{wh}	potreban kapacitet slagališta <i>required stacking area capacity</i>	TEU	13,66
a	slagališna površina po kontejneru <i>storage surface per container</i>	m ² /TEU	4,35
Wh_0	početna cijena slagališta <i>initial price of stacking area</i>	€	10 387 403
i	kamatna stopa <i>interest rate</i>	%	5
N_{wh}	ekonomski vijek trajanja slagališta <i>economical life cycle of stacking area</i>	godina <i>year</i>	100
M_{wh}	trošak godišnjeg održavanja slagališta <i>cost for annual maintenance of stacking area</i>	€	311 622
c_{wh}	trošak po jedinici slagališne površine <i>cost per unit of storage surface</i>	€/h	95,32

da se na terminalu Brajdica prosječno slažu četiri kontejnera u visinu, potrebna površina po jednom kontejneru iznosi 4,35 m²/TEU.

Ekonomski vijek trajanja slagališta procijenjen je na 100 godina, kamatna stopa za infrastrukturu iznosi 5%, dok se za vrijednost troška godišnjeg održavanja slagališta uzima 3% od njegove nabavne cijene.

Na temelju podataka iz tablice 5. i prema formulama (11) – (13) izračunat je ukupan trošak slagališta na terminalu Brajdica koji iznosi $C_{wh} = 5664,00$ €/h.

3.2.6. Troškovi boravka broda

Izračun ukupnog troška kontejnerskog broda na terminalu Brajdica prikazan je u tablici 6., a troškovi su dobiveni prema formulama (14) – (16):

$$C_w = \lambda \cdot W \cdot c_w \quad (14)$$

$$\mu = 1 / (t_{ld} + t_m) \rho = \lambda / \mu \quad (15)$$

$$c_w = \left[W_0 \cdot \frac{i(1+i)^{N_w}}{(1+i)^{N_w} - 1} + M_w \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \cdot (16)$$

Based on the data from table 5 and the formulas (11) – (13) the calculation of the total costs of the terminal Brajdica stacking area is $C_{wh} = 5664.00$ €/h.

3.2.6. Costs of ship stay

The calculation of the total costs of a container ship at terminal Brajdica is shown in table 6; the costs are obtained with the formulas (14) – (16):

$$C_w = \lambda \cdot W \cdot c_w \quad (14)$$

$$\mu = 1 / (t_{ld} + t_m) \rho = \lambda / \mu \quad (15)$$

$$c_w = \left[W_0 \cdot \frac{i(1+i)^{N_w}}{(1+i)^{N_w} - 1} + M_w \right] \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \cdot (16)$$

Value W is one of the indicators of the port functioning obtained by applying the queuing theory, and the manner of calculating depends on the type of problem of the queue considering the elements that determine the type of problem of the queue: distribution of ship arrival, distribution of serving time, serving discipline and number of berths. The types of queues M/M/1/∞ and M/M/S/∞ are used for this paper since they

Veličina W je jedan od pokazatelja funkcioniranja luke dobiven primjenom teorije redova čekanja, a način izračunavanja zavisi od vrste problema reda čekanja s obzirom na elemente koji određuju vrstu problema reda čekanja: razdiobu dolazaka brodova, razdiobu vremena opsluživanja, disciplinu opsluživanja i broj pristana. U ovome je radu odabran red čekanja tipa $M/M/1/\infty$ i $M/M/S/\infty$ budući da je to najčešći slučaj za procese opsluživanja u lukama, odnosno kontejnerskim terminalima.

Ekonomski vijek trajanja broda procijenjen je na 20 godina, kamatna stopa iznosi 5%, dok je za vrijednost troška godišnjeg održavanja uzeto 2% od nabavne cijene broda.

Vrijednosti ostalih pokazatelja objašnjeni su u prethodnim dijelovima ovoga rada.

are the most common cases of serving processes in port container terminals.

The estimation of an economical life cycle of a ship is 20 years; interest rate is 5%, while the value of annual maintenance costs is considered 2% of the purchasing price of the ship.

The values of the remaining indicators are explained in the previous sections of this paper.

The total costs of ship stay at terminal Brajdica are $C_w = 179.24$ €/h; thereof the costs of ship stay of the berth with 1 gang amount to 5.09 €/h, and of the berth with 2 ship gangs 174.15 €/h.

This difference is the result of the fact that II. berth on which the reload manipulations are performed with one crane/ship gang works only

Tablica 6. Izračun ukupnog troška broda na terminalu Brajdica
Table 6 Calculation of total ship costs on terminal Brajdica

Pokazatelji <i>Indicators</i>	Tumač simbola <i>Meaning</i>	Jedinica mjere <i>Measuring unit</i>	Vrijednosti <i>Values</i>
λ	intenzitet dolazaka brodova – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>arrival rate – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	brod/h <i>ship/h</i>	0,0026 0,0299
t_{id}	vrijeme prekrcaja broda – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>duration of ship reload – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	h	4,872 10,593
t_m	vrijeme pristajanja/isplovljavanja broda <i>duration of docking /leaving port</i>	h	1
μ	intenzitet opsluživanja – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>service rate – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	brod/h <i>ship/h</i>	0,1703 0,0863
ρ	stupanj opterećenja pristana – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>traffic intensity – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	- -	0,015 0,346
S	broj pristana <i>number of berths</i>	-	2
W_Q	vrijeme čekanja na slobodan pristan – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>waiting time for available berth – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	h	0,0910 6,1430
W	prosječno vrijeme boravka broda na terminalu – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>average time of ship stay at terminal – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	h	5,9630 17,7305
i	kamatna stopa <i>number of berths</i>	%	5
W_0	početna vrijednost broda <i>initial ship value</i>	€	28 706 760
N_w	ekonomski vijek trajanja broda <i>economical life cycle of ship</i>	godina <i>years</i>	20
M_w	trošak godišnjeg održavanja broda <i>cost of annual ship maintenance</i>	€	574 135,20
c_w	trošak po jedinici broda <i>cost per ship unit</i>	€/h	328,50

Ukupni troškovi boravka broda na terminalu Brajdica iznose $C_w = 179,24$ €/h; od toga troškovi broda na pristanu s 1 brodskom rukom iznose 5,09 €/h, a na pristanu s 2 brodske ruke 174,15 €/h.

Ovakva razlika rezultat je činjenice da II. pristan na kojem se prekrcajne manipulacije obavljaju jednom dizalicom, odnosno brodskom rukom radi samo prema potrebi, tj. kada na I. pristanu nema slobodnog veza, što se može uočiti prema broju vezanih brodova i prekrcanih TEU-a².

U usporedbi s I. pristanom na II. je pristanu vrijeme prekrcaja duže, smanjen je broj opsluženih brodova, povećana duljina čekanja broda u redu, što je rezultiralo većim iznosom troškova.

3.2.7. Troškovi tereta

Za izračun sveukupnih troškova kontejnerskog terminala uzimaju se u obzir i troškovi tereta s obzirom da su interesi vlasnika tereta i lučkog terminala međusobno interakcijski povezani. Terminalu je u interesu da je otprema kontejnera što brže, odnosno da je njihovo zadržavanje na slagalištu što kraće kako bi se oslobodio prostor za novi teret.

Ukupni troškovi tereta zavise od intenziteta toka dolazaka brodova u luku (λ), duljini vremena boravka broda u luci (W), koje zavisi, pored ostalog, od broja pristana i broja dizalica po pristanu te količini tereta (Q), odnosno broja kontejnera na brodu i iznosu troška po kontejneru (c_Q).

Iznos ukupnog troška tereta izračunava se pomoću formule

$$C_Q = \lambda \cdot W \cdot Q \cdot c_Q \quad (17)$$

Postupak izračunavanja proveden je na temelju podataka iz tablice 7. Trošak po kontejneru dobiven je na temelju kalkulacije troškova stajanja jednog kontejnerskog broda i njegovog tereta.

Primjenom formule (17) i podataka iz tablice 7. ukupni troškovi tereta na terminalu Brajdica iznose $C_Q = 654,71$ €/h; za teret na brodovima s prvog pristana 4,86 €/h, a za teret na brodovima s drugog pristana 649,85 €/h. Ponovno se javlja velika razlika između troškova za prvi i drugi pristan koja je objašnjena u točki 3.2.6.

² Cf.supra. 3.2.4.

when necessary, i.e. when there is no available space at I. berth, which can be obvious according the number of docked ships and reloaded TEU².

In comparison with I. berth, on the II. berth the duration of reload is longer, the number of served ships is less and the duration of ship being in queue is longer, which results in larger costs.

3.2.7. Cargo costs

For calculating all costs of the container terminal the cargo costs are taken into account considering that the interests of the cargo owner and port terminal are mutually interactively linked. The interest of the terminal is that the container dispatchment is as fast as possible, or that their retaining in the stacking area is as short as possible to make available space for a new cargo.

The total cargo costs depend on the intensity of ship arrival into the port (λ), duration of ship stay in the port (W), which among others depends on the number of berths, the number of cranes per berth and amount of cargo (Q), the number of containers on the ship and the costs per container (c_Q).

The total amount of cargo costs is calculated with the formula

$$C_Q = \lambda \cdot W \cdot Q \cdot c_Q \quad (17)$$

The procedure of calculating is done based on the data from table 7. The cost per container is obtained based on the calculations of costs of the standing of one container ship and its cargo.

By using formula (17) and data from table 7 total cargo costs on terminal Brajdica amount to $C_Q = 654.71$ €/h; for shiploads from the first berth 4.86 €/h, and for shiploads from the second berth 649.85 €/h. Again there is a great difference between costs for first and second berth that is explained in point 3.2.6.

3.2.8. Total costs of container terminal Brajdica

Single costs from table 1 to 7 are included in table 8.

² Cf.supra. 3.2.4.

Tablica 7. Izračun ukupnih troškova tereta na terminalu Brajdica**Table 7** Calculation of total cargo costs at terminal Brajdica

Pokazatelji <i>Indicators</i>	Tumač simbola <i>Meaning</i>	Jedinica mjere <i>Measuring unit</i>	Vrijednosti <i>Values</i>
λ	intenzitet dolazaka brodova – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>arrival rate – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	brod/h ship/h	0,0026 0,0299
W	prosječno vrijeme boravka broda na terminalu – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>average time of ship stay at terminal – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	h	5,9630 17,7305
Q	prosječna količina tereta po brodu – 1 brodska ruka / 1 ship gang <i>average amount of cargo per ship – 2 brodske ruke / 2 ship gangs</i>	TEU/ brod TEU / ship	116 454
c_Q	jedinični trošak po kontejneru <i>unit cost per container</i>	€/h	2,7

3.2.8. Sveukupni troškovi kontejnerskog terminala Brajdica

Pojedinačni troškovi iz tablica 1. do 7. uvršteni su radi preglednosti u tablicu 8.

Da bi se mogla donijeti odluka o optimalnom rješenju, odnosno optimalnom kapacitetu kontejnerskog terminala Brajdica uspoređene su različite varijante zavisno od prometa i broja dizalica po pristanu i dobivene vrijednosti unesene u prethodnu tablicu:

- Varijanta A – 2 pristana, 3 dizalice; dvije na prvom i jedna na drugom pristanu
- Varijanta B – 2 pristana, 2 dizalice; jedna na prvom i jedna na drugom pristanu
- Varijanta C – očekivani promet 300 000 TEU-a, 2 pristana; dvije dizalice

To find an optimal solution, or the optimal capacity of container terminal Brajdica, different variants are compared depending on the traffic and number of cranes per berth and obtained values included in the previous table:

- Variant A – 2 berths, 3 cranes; two on the first and one on the second berth
- Variant B – 2 berths, 2 cranes; one on the first and one on the second berth
- Variant C – the expected traffic 300 000 TEU, 2 berths; two cranes on first and one on the second berth, 400 + 100 TEU/ ship.

To show the costs of the container terminal according to the existing traffic and capacity, the calculation of variant A analyses the present condition with two container cranes "Samsung"

Tablica 8. Ukupni troškovi kontejnerskog terminala Brajdica (€/h)**Table 8** Total costs of container terminal Brajdica (€/h)

Vrsta troška <i>Type of cost</i>	A	B	C
C_b	54,60	54,60	54,60
C_d	327,54	186,52	327,54
C_{pp}	80,70	53,80	80,70
$C_{ld} + C_{lp}$	179,15	120,61	186,05
C_{wh}	5 664,00	5 664,00	14 180,76
C_w	179,24	430,29	837,76
C_Q	654,71	1 591,50	4 131,42
Sveukupno <i>Total</i>	7 139,94	8 101,32	19 798,83

na prvom i jedna na drugom pristanu,
400 + 100 TEU/brodu.

Kako bi se prikazali troškovi kontejnerskog terminala prema postojećem prometu i kapacitetu izračunata je varijanta A koja analizira sadašnje stanje s dvije obalne kontejnerske dizalice Samsung na Kostrenskom pristaništu-jug i jednim kontejnerskim mostom Metalna na Kostrenskom pristaništu-zapad.

Primjenom varijante B, koja također uzima u obzir trenutni slagališni kapacitet terminala i ostvareni promet u 2010. godini, ali uz uporabu jedne dizalice po svakom pristanu, smanjuju se troškovi dizalice, prijevozno-prekrcajnih sredstava i ljudskog potencijala, što je bilo i za očekivati. Međutim, uočava se znatni porast troškova broda i tereta što konačno dovodi do povećanja ukupnih troškova za približno tisuću €/h u odnosu na varijantu A.

Dakle, u uvjetima postojećeg prometa i kapaciteta terminala optimalno rješenje je varijanta A s dva pristana i tri dizalice.

Varijanta C obuhvaća sadašnje tehničko-tehnološke značajke kontejnerskog terminala, dvije dizalice na južnom pristanu i jednu na zapadnom, uz očekivano povećanje prometa na 300 000 TEU-a. Analiza dobivenih rezultata pokazuje povećanje ukupnih troškova za 12,6 tisuća €/h u odnosu na varijantu A, što je posljedica povećanja troškova broda, tereta te napose slagališta. Iz prikazanog se zaključuje da je s obzirom na predviđeno povećanje prometa nužno što prije dovršiti postojeći projekt proširenja kontejnerskog terminala da bi se ubrzale prekrcajne operacije na terminalu i time smanjili troškovi čekanja brodova.

Treba naglasiti da Kostrensko pristanište-zapad nije predviđeno za daljnju eksploataciju u budućnosti s obzirom na ograničenja u pogledu dubine mora i dužine pristana³, budući da se na tom pristanu obavljaju prekrcajne operacije manjih feeder brodova samo u slučaju zauzetosti južne obale, u prvom redu zbog pouzdanijih tehničko-tehnoloških performansi, odnosno manje učestalosti kvarova Samsungovih dizalica u odnosu na dizalicu Metalna⁴. U tom kontekstu taj će se pristan primjenjivati u prijelaznoj fazi do završetka produženja južnog pristaništa i izgradnje nove operativne obale

at the Kostrensko quay – SOUTH and one container bridge "Metalna" on Kostrensko quay – WEST.

With the application of variant B, that also takes into account the momentary stacking area capacity of the terminal and achieved traffic in 2010, but with the usage of one crane per berth, the costs of the cranes, transport-handling equipment and human resource are reduced, as expected. However, there is a significant increase of ship costs that finally leads to increasing total costs for nearly one thousand €/h in relation to variant A.

So, in conditions of the existing traffic and terminal capacity, the optimal solution is variant A with two berths and three cranes.

Variant C covers the present technical-technological features of the container terminal, two cranes on the south berth and one on the west, with the expected traffic increase to 300 000 TEU. The analyses of the given results shows the increase of total costs of 12.6 thousand €/h in relation to variant A, which is the consequence of increasing ship, load and especially stacking area costs. The conclusion is that considering the predicted increase of traffic, it is necessary to finish the existing project of expanding the container terminal to speed up the reload operations on the terminal and reduce the ships waiting costs.

It should be emphasised that Kostrensko quay – WEST is not predicted for further exploitation in the future considering the limits related to the sea dept and length of quay³, since reload operations of smaller feeder ships are done on this quay only when the south quay is not available, especially because of the more reliable technical-technological performances, or less frequent breakdowns of Samsung cranes in relation to the cranes "Metalna"⁴. In this context the berth will be used in the transitional phase till the ending of the extension of the south quay and construction of the new operating quay that will be 328 meters long. The sea dept will be 14.5 meters at the new quay that being constructed.

After upgrading the existing quay on the south, two container cranes with technical features necessary for servicing container ships of

³ Prema dobivenim informacijama iz Adriatic Gate Container Terminal.

⁴ Cf.supra 2.1., 2.2.

³ By the given results from Adriatic Gate Container Terminal.

⁴ Cf.supra 2.1., 2.2.

dužine 328 metara. Uz novi pristan, čije je izgradnja u tijeku, dubina mora iznositi će 14,5 metara.

Nakon dogradnje postojećeg pristana na jugu bit će postavljene još dvije obalne kontejnerske dizalice tehnički značajki potrebnih za servisiranje kontejnerskih brodova Post-Panamax generacije kapaciteta od 8 000 do 10 000 TEU-a. Dva nova kontejnerska mosta imat će mogućnost dohvata 16 kontejnera na brodu, širine 40 metara, a visina dizanja iznad kolosijeka iznositi će 35 metara. Na taj način, postojeće dvije kontejnerske dizalice moći će prelaziti na novi produženi dio obale te će biti omogućeno opsluživanje broda s tri, odnosno četiri mosta, zavisno od veličine broda.

S ciljem bolje iskoristivosti slagališne površine planom proširenja terminala predviđa se instalacija dva para portalnih prijenosnika velikog raspona (*engl. transtainer*) na skladišnom prostoru punih kontejnera. Primjenom tih skladišnih mostova zamijenila bi se postojeća horizontalna tehnologija prekrcaja koja koristi autodizalice s hvatačem.

Plan proširenja terminala predviđa, također, uređenje približno 167 000 m² površine lučkog područja, dok će se po završetku dogradnje površina slagališta kontejnera s postojećih 56 100 m² povećati na 103 600 m².

Nakon realizacije planiranih projekata kontejnerski terminal Brajdica bit će osposobljen za prihvata približno 500 000 TEU godišnje.

4. ZAKLJUČAK

Za optimalno funkcioniranje kontejnerskog terminala od posebne je važnosti definirati kapacitet terminala koji utječe na mogućnosti ostvarenja postavljenog plana proizvodnje, a time i plana realizacije lučkih usluga.

Problem određivanja optimalnog kapaciteta lučkoga kontejnerskog terminala svodi se na izračunavanje optimalnog broja pristana, budući da kapacitet pristana determinira potreban kapacitet ostalih podsustava lučkoga kontejnerskog terminala, a time i propusnu moć kontejnerskog terminala kao cjeline.

Jedan od načina određivanja optimalnog kapaciteta lučkoga kontejnerskog terminala je primjena kvantitativnih metoda, i to teorije redova čekanja. U ovom je radu prikazan model

the Post-Panamax generation with the capacity of 8 000 to 10 000 TEU will be placed on the south quay. Two new container cranes will be 40 meters wide, with lifting height of 35 meters over the rail with the range of grabbing 16 containers from the ship. The two existing container cranes will be expanded on the new quay and will enable the serving of a ship with three or four cranes, depending on the size of the ship.

With the better usage of the stacking surface according to the extension of the quay, two pairs of large range transtainers will be installed on the storage surface for full containers. By using these shore container cranes, the existing horizontal reload technology that uses reach-stacker would be replaced.

The plan for extending the terminal also predicts development of nearly 167 000 m² of port surface while after upgrading the container stacking surface with the existing 56 100 m² will increase to 103 600 m².

After achieving the planned projects, container terminal Brajdica will be enabled for except nearly 500 000 TEU per year.

4. CONCLUSION

For optimal functioning of the container terminal it is especially important to define the capacity of the terminal that affects the possibility of achieving the production plan, and the realization plan for port services.

The problem of determining the optimal capacity of the port container terminal is reduced to calculating the optimal number of berths, since the capacity of berths determines the necessary capacity of the other subsystems of the port container terminal, and the transmission capacity of the entire container terminal.

One of the ways of determining the optimal capacity of port container terminal is the application of quantitative methods, in other words, queuing theory. This paper shows the cost model that determines the combination of number of berths and cranes per berths with the least costs for the given traffic of the terminal.

The cost model of the container terminal Brajdica is presented with the function of total port costs that contains the next costs: berths costs, costs of container cranes, costs of transport-handling equipment, crane operator costs,

troškova primjenom kojega se određuje kombinacija broja pristana i dizalica na pristanu s najmanjim troškovima za zadani promet terminala.

Model troškova kontejnerskog terminala Brajdica je predstavljen funkcijom ukupnih lučkih troškova koja sadrže sljedeće: troškove pristana, troškove obalnih kontejnerskih dizalica, troškove prijevoznoprekrcajnih sredstava, troškove dizaličara, troškove operatera, troškove slagališnog prostora, troškove boravka broda u luci, te troškove tereta.

Da bi se mogla donijeti odluka o optimalnom rješenju, odnosno optimalnom kapacitetu kontejnerskog terminala Brajdica uspoređene su različite varijante zavisno od prometa, broja pristana i dizalica po pristanu.

Na temelju dobivenih rezultata zaključeno je da je u uvjetima postojećeg prometa i kapaciteta terminala optimalno rješenje varijanta s dva pristana i tri dizalice, što je realna situacija na terminalu Brajdica. Međutim, ako se sadašnje tehničko-tehnološke značajke kontejnerskog terminala, s dvije dizalice na južnom pristanu i jednu na zapadnom, usporede s očekivanim prometom od 300 000 TEU-a, tada dobiveni rezultati pokazuju znatno povećanje ukupnih troškova terminala, što je posljedica povećanja troškova broda, tereta te napose slagališta.

Iz prikazanog se zaključuje da je, s obzirom na predviđeno povećanje prometa, nužno što prije dovršiti postojeći projekt proširenja kontejnerskog terminala da bi se ubrzale prekrcajne operacije na terminalu i time smanjili troškovi čekanja brodova.

Primjena modela troškova omogućuje donošenje odgovarajućih poslovnih odluka za bilo koji terminal te za terminale u sadašnjim ili budućim uvjetima poslovanja, čime je ostvaren cilj postavljen u uvodu ovoga rada.

operator costs, costs of stacking surface, costs of ship stay in the port and cargo costs.

To find the optimal solution, or the optimal capacity of the container terminal Brajdica, different variants are compared depending on traffic, number of berths and cranes per berth.

Based on the results, the conditions of the existing traffic and the capacity of the terminal, the optimal solution is the variant with two berths and three cranes, which is the real situation on the terminal Brajdica. However, if the present technical-technological features of the container terminal, with two cranes on the south quay and one on the west quay, compared to the expected traffic of 300 000 TEU, then the given results show a significant increase of the total terminal costs, which is the result of the increasing ship, cargo and especially stacking costs.

The conclusion is that, considering the predicted traffic increase, it is necessary to finish the project for expanding the container terminal as soon as possible to speed up the reload operations on the terminal and reduce the ship waiting costs.

The application of the cost model enables to bring the right business decisions for any terminal and for the terminals in present and future working conditions, which achieves the goal set in the introduction of this paper.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Dundović, Č., Z. Zenzerović, An optimal capacity planning model for general cargo seaport, *Promet*, 12 (2000), 5-6, str. 207-215.
- [2] Dundović, Č., *Lučki terminali*, Rijeka, Pomorski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci, 2002.
- [3] Jurjević, M., *Teorija redova čekanja u funkciji planiranja kapaciteta lučkih kontejnerskih terminala*, završni rad, Rijeka, M. Jurjević, 2010.
- [4] Newell, G. F., *Application of queueing theory*, London, Chapman and Hall, Port Development, United Nations, TD/B/C.4/175/Rev.1, New York, 1985.
- [5] Schonfeld, P., Frank; S., *Optimizing the use of a containership Berth*, *Transportation Research Record*, 984, January 1984., str. 56-62.
- [6] Zenzerović, Z., *Optimizacijski modeli planiranja kapaciteta morskih luka*, doktorska disertacija, Rijeka, Z. Zenzerović, 1995.
- [7] Zenzerović Z., T. Poletan, *Utjecaj propusne moći pristana na efikasnost lučkog kontejnerskog terminala*, *Pomorski zbornik*, 35 (1997), str. 57-72
- [8] Zenzerović, Z., M. Mrnjavac, *Modelling of port container terminal using the queueing theory*, *Trasporti Europei*, 6 (2000), 15, str.. 54-58.
- [9] Zenzerović, Z., *Model određivanja optimalnog kapaciteta lučkoga kontejnerskog terminala*, *Optimizacija sustava hrvatskih kontejnerskih luka*, poglavlje 3., *Visoka pomorska škola u Rijeci*, Fakultet za turistički i hotelski menadžment Opatija, Rijeka, 2001., str. 47-71.
- [10] Zenzerović, Z., S. Bešlić, T. Poletan, *Model ukupnih troškova lučkoga kontejnerskog terminala*, *Optimizacija sustava hrvatskih kontejnerskih luka*, poglavlje 4., *Rijeka*, *Visoka pomorska škola u Rijeci*, Fakultet za turistički i hotelski menadžment Opatija, str. 73-98.
- [11] Zenzerović, Z., *Teorija redova čekanja*, II. dio, *Stohastički procesi*, Rijeka, Pomorski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci, 2003.
- [12] Zenzerović, Z., *Kvantitativne metode u funkciji optimalnog funkcioniranja sustava kontejnerskog prijevoza morem*, *Pomorski zbornik*, 43 (2005), str. 165-191.

