

Dr. sc. Zdenka Zenzerović / Ph. D.

Mr. sc. Nataša Antonini / M. Sc.

Mr. sc. Siniša Vilke / M. Sc.

Sveučilište u Rijeci / University of Rijeka

Pomorski fakultet u Rijeci /

Faculty of Maritime Studies Rijeka

Studentska 2

51000 Rijeka

Hrvatska / Croatia

METODOLOŠKI PRISTUP ISTRAŽIVANJU PROCESA OPISLUŽIVANJA CASE STUDY - KONTEJNERSKI TERMINAL RIJEČKE LUKE¹

Sažetak

Za optimalno funkcioniranje kontejnerskog terminala od posebne je važnosti definirati kapacitet terminala koji će omogućiti ostvarenje definiranog plana proizvodnje, a time i plana realizacije lučkih usluga. 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. Cilj ovoga rada je prikazati metodološki pristup, odnosno metode primjenom kojih je moguće odrediti značajke i pokazatelje funkcioniranja lučkoga kontejnerskog terminala, a koji su temelj za donošenje odgovarajućih poslovnih odluka za promatrani terminal. Prikazana metodologija je testirana na primjeru kontejnerskog terminala riječke luke "Brajdica".

Ključne riječi: korelacija, razdiobe vjerojatnosti, neparametarski testovi, teorija redova čekanja, kontejnerski terminal riječke luke "Brajdica"

1. UVOD

Lučki diskontinuitet² je pojam kojim je profesor Ante Turina [16] označio kolebanja u procesu proizvodnje lučke usluge kad u određeno vrijeme u luci nema brodova pa se ne iskrcava, odnosno ukrcava teret s/na brod ili pak kad u danima ili satima istog razdoblja brodovi moraju čekati na obavljanje određenih lučkih usluga. Posljedica je takvih kolebanja neravnomjernost lučkog prometa, tj. nejednolika količina tereta, broja putnika ili brodova tijekom promatranog razdoblja.

Ta se činjenica odnosi na sve vrste luka pa tako i na lučke kontejnerske terminale, tijekom godine, mjeseci i dana, ponavlja u određenim vremenskim ciklusima i prisutna je u svim lukama bez obzira na geografski položaj i državne granice, a rezultat je utjecaja različitih čimbenika (sezonska uvjetovanost, nepravilnost "proizvodnje" lučke usluge zbog tehničkih, tehnoloških i organizacijskih razloga, elementarni poremećaji, ...).

¹ Ovaj rad je rezultat istraživanja na projektu: Kvantitativne metode u funkciji optimalnog upravljanja pomorskim sustavom, broj projekta: 112-1121722-3308, koji financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

² Termin "diskontinuitet" nije najadekvatniji, jer taj pojam u lučkom prekrcaju ne znači prekid procesa proizvodnje lučke usluge, što bi se moglo zaključiti prema terminu, iako ponekad u luci može doći do takvog prekida. Zbog navedenih razloga predlažu se termini: "neravnomjernost", "neujednačenost" ili "oscilacije" lučkog prekrcaja, odnosno lučkog prometa koji će biti korišteni u ovom radu.

Oscilacije prometa u lukama, koje se ne mogu izbjeći ni predvidjeti količinski u sadašnjosti i budućnosti, utječu na problem dimenzioniranja svih elemenata koji sudjeluju u procesu proizvodnje lučke usluge, posebno na utvrđivanje potrebnog broja pristana. Naime, luka bi trebala raspolagati rezervnim kapacitetima za slučajeve dnevnog ili mjesečnog maksimalnog prometa (tzv. "špica") da bi se u svakom trenutku mogao obaviti lučki prekrcaj, ali takve bi rezerve kapaciteta smanjile stupanj njihova iskorištenja. Neravnomjernost prometa ne utječe samo na veličinu prekrcajnih i skladišnih kapaciteta u luci, već i na broj zaposlenih koji bi trebao biti usklađen s promjenama kapaciteta, a sve se to negativno odražava na poslovanje luke.

Problem dimenzioniranja optimalnog kapaciteta kontejnerskog terminala moguće je riješiti primjenom odgovarajućih kvantitativnih metoda. Cilj je ovoga rada prikazati metodološki pristup, odnosno metode kojima se određuju značajke i pokazatelji funkcioniranja lučkoga kontejnerskog terminala, a koji su temelj za donošenje odgovarajućih poslovnih odluka za promatrani terminal. U tu svrhu su korištene statističke metode (deskriptivna statistika, metoda korelacije, testiranje hipoteze, neparametarski testovi) i metode operacijskih istraživanja (teorija redova čekanja).

U znanstvenoj i stručnoj literaturi je dosad objavljen niz radova vezanih uz primjenu teorije redova čekanja (vidjeti popis literature), međutim nije prikazan redosljed metoda koje je neophodno primijeniti da bi se došlo do rezultata potrebnih za optimalno poslovno odlučivanje, što je učinjeno u ovom radu.

Prikazana metodologija ilustrirana je na primjeru kontejnerskog terminala riječke luke "Brajdica".

2. STATISTIČKA ANALIZA DOLAZAKA KONTEJNERSKIH BRODOVA I VREMENA NJIHOVOG OPSLUŽIVANJA

Analiza toka dolazaka kontejnerskih brodova i vremena njihovog opsluživanja se provodi na način da se najprije ispita postojanje veze između pristiglih brodova i vremena kada su ti brodovi stigli na terminal, a nakon dobivenog zaključka odrede odgovarajuće razdiobe vjerojatnosti koje slijede navedene varijable.

2.1. Međuzavisnost broja brodova i dana pristizanja na kontejnerski terminal

S obzirom na oscilacije dolazaka brodova za pretpostaviti je da ne postoji nikakva veza između broja kontejnerskih brodova i dana kada su ti brodovi pristigli na terminal. Da bi se ispitala postavljena pretpostavka primijenjena je metoda korelacije za grupirane elemente [15, str. 119].

Preduvjet za primjenu ove metode je prikupljanje podataka o broju pristiglih brodova po danima za odabrane godine. U sljedećem koraku podaci se sređuju na način da je broj brodova grupiran prema broju brodova idućeg dana i broju brodova prethodnog dana. U tu svrhu se sastavlja korelacijska tablica u kojoj pojavu X predstavlja broj brodova idućeg dana, a pojavu Y broj brodova prethodnog dana. Podaci u tablici dobivaju se zbrajanjem svih slučajeva gdje je za određeni broj brodova, broj brodova prethodnog dana iznosio Y , a istodobno broj brodova idućeg dana X .

Jakost veze između broja brodova idućeg i prethodnog dana pokazuje koeficijent korelacije koji se izračunava prema formuli [15, str. 124]

$$r = \frac{\sum f_{x_i y_j} \cdot X_i Y_j - N \bar{X} \bar{Y}}{N \sigma_x \sigma_y}, \quad (1)$$

gdje je:

- f – frekvencija (broj dana)
- N – ukupan broj dana
- σ_x – standardna devijacija za pojavu X (broj brodova idućeg dana)
- σ_y – standardna devijacija za pojavu Y (broj brodova prethodnog dana)
- \bar{X} – aritmetička sredina za pojavu X
- \bar{Y} – aritmetička sredina za pojavu Y .

Koeficijent korelacije³ poprima vrijednosti u intervalu $[-1, 1]$. Kada se koeficijent korelacije približava ± 1 , veza među pojavama je jaka, kada je jednak ± 1 pojave su linearno zavisne, a kada je koeficijent korelacije blizu nuli veza je slaba. Predznak koeficijenta korelacije pokazuje je li veza prema smjeru pozitivna ili negativna.

Na temelju dobivene vrijednosti koeficijenta korelacije zaključuje se postoji li značajna ili slučajna zavisnost u redosljedu dnevnih dolazaka brodova.

Budući da su vrijednosti koeficijenta korelacije, prema dosadašnjim iskustvima autora [20, str. 47–52] vrlo blizu nule, izlazi da nema značajne zavisnosti u redosljedu dnevnih dolazaka brodova na kontejnerski terminal, što znači da se dolasci brodova mogu promatrati kao nezavisni, u statističkom smislu slučajni i da se može uzeti da je broj brodova koji pristižu na kontejnerski terminal slučajna (stohastička) varijabla.

Analogno se provodi ispitivanje i za varijablu duljina vremena opsluživanja brodova, odnosno broj opsluženih brodova.

Da bi se pokazalo da nema bitne razlike između koeficijenata korelacije za pojedine godine (razdoblja) primjenjuje se postupak testiranja hipoteze, odnosno ispitivanje pretpostavke da ne postoji značajna razlika između njihovih vrijednosti [15, str. 333–334].

Postupak testiranja se odvija na sljedeći način:

$$H_0: r_1 - r_2 = 0 \text{ i } H_1: r_1 - r_2 \neq 0.$$

Empirijske vrijednosti koeficijenata korelacije se transformiraju pomoću odgovarajuće tablice u z_1 i z_2 . Standardna greška razlike između dviju vrijednosti z iznosi:

$$se(z_1 - z_2) = \sqrt{\frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3}}, \quad (2)$$

³ Vrijednost koeficijenta korelacije moguće je dobiti primjenom računalnih programa dostupnih na Internetu [11], [12].

gdje su n_1 i n_2 ukupan broj dana. Hipoteza o jednakosti koeficijenata korelacije se prihvaća kada se razlika $|\hat{z}_1 - \hat{z}_2|$, koja se dobiva primjenom tablice za preračunavanje r u vrijednost \hat{z} , nalazi u intervalu

$$0 \pm t \cdot se(z_1 - z_2), \quad (3)$$

gdje je t koeficijent pouzdanosti ($t = 1,96$ za razinu značajnosti od 5%). Ako je izračunata razlika u intervalu prihvaćanja nul hipoteze, tada nema dovoljno argumenata da se ta hipoteza odbaci, a to dalje znači da se prihvaća da se koeficijenti korelacije za navedene godine međusobno ne razlikuju bitno. Drugim riječima, na temelju prethodnog zaključka slijedi da nije potrebno ispitivanje međuzavisnosti provoditi za svaku godinu pojedinačno, već je dovoljno uzeti samo jednu godinu ili razdoblje od više godina kao reprezentanta promatrane pojave.

2.2. Određivanje razdiobe vjerojatnosti za pristigle kontejnerske brodove i duljinu vremena njihovog opsluživanja

Dosadašnja istraživanja [20], [22] su pokazala da su broj pristiglih brodova i duljina vremena opsluživanja broda slučajne varijable; zbog toga nije moguće unaprijed odrediti vrijednosti tih varijabli, ali je moguće odrediti njihove razdiobe vjerojatnosti.

Da bi se mogle izračunati vjerojatnosti realizacije slučajnih varijabli koje predstavljaju broj dolazaka brodova i broj opsluženih brodova na kontejnerskom terminalu potrebno je raspolagati podacima o broju dolazaka brodova po danima, zatim provesti statističku analizu tih podataka te usporediti empirijsku razdiobu s odabranim teorijskim razdiobama, odnosno odrediti teorijsku razdiobu s kojom se može aproksimirati empirijska razdioba.

Pretpostavka da je empirijska razdioba raspoređena prema nekoj teorijskoj razdiobi ispituje se testovima za verifikaciju statističkih hipoteza, tzv. neparametarskim testovima, od kojih se u praksi najčešće koriste χ^2 -test (hi-kvadrat test) i Kolmogorov-Smirnovljev test⁴. Testiranjem se donosi odluka da se prihvaća ili nul hipoteza H_0 : empirijska razdioba se ponaša prema odabranoj teorijskoj razdiobi ili alternativna hipoteza H_1 : empirijska razdioba se ne ponaša prema odabranoj teorijskoj razdiobi.

Ako se nakon primjene testa dobije zaključak da se empirijska razdioba ponaša prema nekoj teorijskoj razdiobi tada se ta razdioba može prihvatiti kao razdioba na temelju koje se donose zaključci o promatranoj empirijskoj razdiobi.

Primjena χ^2 -testa se temelji na vrijednosti χ^2 koja se dobiva pomoću formule

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f_{ii})^2}{f_{ii}}, \quad (4)$$

gdje je:

⁴ Detaljnije o uporabi ovih testova vidjeti u literaturi iz statistike u poglavlju o neparametarskim testovima [6], [14], [18], [19]. Također se čitateljima preporučuju računalni programi koji se mogu naći na Internetu [4], [11], [12].

f_i – originalna (empirijska) frekvencija i -te vrijednosti slučajne varijable u uzorku,
 f_{ii} – odgovarajuća teorijska (očekivana) frekvencija,
 n – broj klasa, odnosno broj parova vrijednosti f_i i f_{ii}
 $N = \sum f_i$.

Teorijske frekvencije se izračunavaju po formuli

$$f_{ii} = N \cdot P(x_i), \quad (5)$$

gdje je N ukupan broj jedinica, a $P(x_i)$ su odgovarajuće vjerojatnosti.

Odluka o prihvaćanju ili odbacivanju postavljene hipoteze bazira se na usporedbi izračunate vrijednosti χ^2 i tablične vrijednosti χ_0^2 koja se očitava iz Tablica kritičnih vrijednosti χ^2 – razdiobe zavisno od broja stupnjeva slobode (k) i stupnja značajnosti (α), odnosno na temelju vjerojatnosti p_i koja pripada izračunatoj vrijednosti χ^2 .

Kolmogorov–Smirnovljev test (*KS*-test) uspoređuje empirijsku $F_n(x)$ s teorijskom $F(x)$ funkcijom razdiobe. Apsolutna vrijednost maksimalne razlike empirijske funkcije razdiobe i pretpostavljene teorijske

$$D_n = \max |F_n(x) - F(x)|, \quad (6)$$

(gdje je n broj elemenata u uzorku) je slučajna varijabla koja ima svoju razdiobu vjerojatnosti. Kolmogorovom razdiobom konstruira se kritična oblast testa, na način ako je maksimalna razlika u jednoj točki (tj. za određenu vrijednost ispitivanog obilježja) prevelika i nađe se u kritičnoj oblasti, tada treba odbaciti hipotezu H_0 da obilježje X u osnovnoj populaciji ima pretpostavljenu razdiobu.

Značajno ograničenje primjene *KS*-testa je da pretpostavljena teorijska funkcija razdiobe mora biti neprekidna, za razliku od χ^2 -testa koji je izvorno kreiran za diskretne razdiobe vjerojatnosti, ali se može prilagoditi i za kontinuirane razdiobe [6, str. 261].

Pored navedenih testova spominje se i Anderson–Darling test⁵.

Prema iskustvima autora kao i objavljenim stručnim i znanstvenim radovima [2, str. 78], [5], [8, str. 356], [22, str. 54], broj brodova često slijedi Poissonovu razdiobu, a taj se zaključak odnosi i na vrijeme opsluživanja broda⁶.

Kada rezultati testa pokažu da se navedene varijable ne prilagođavaju dovoljno dobro niti jednoj od odabranih teorijskih razdioba, tada statistika ne daje pravo prihvaćanja nul hipoteze, odnosno primjenu zakonitosti teorijske razdiobe na zaključivanje o empirijskoj razdiobi. Međutim, pojedini statističari predlažu ili metodu simulacije [8, str. 358] ili prihvaćanje pretpostavljene razdiobe kao aproksimaciju realnog problema [17], [3], s obrazloženjem [6, str. 265] da realne razdiobe vjerojatnosti koje opisuju statističke zakonitosti realnih slučajnih pojava su samo približno normalne, približno eksponencijalne, te da je testiranje "donekle objektivna način" za utvrđivanje odgovarajućeg modela. Računalni program WinQSB [1]

⁵ Detalji se mogu naći u uputama računalnih programa EasyFit [4] i Statgraphics [11].

⁶ Međutim, moguće je da se uz iste podatke, primjenom jednog testa ili više testova dobiva zaključak o prihvaćanju različitih razdioba vjerojatnosti [6, str. 245].

također koristi aproksimaciju i metodu simulacije za probleme reda čekanja tipa $G/G/S$ i za redove čekanja kojima je stupanj opterećenja kanala $\rho \geq 1$.

3. DEFINIRANJE LUČKOGA KONTEJNERSKOG TERMINALA KAO SUSTAVA OPSLUŽIVANJA

Da bi se lučki kontejnerski terminal mogao definirati kao sustav opsluživanja najprije se, primjenom teorije redova čekanja, određuju osnovni parametri: prosječan broj kontejnerskih brodova (odnosno kontejnera) koji pristižu na terminal u promatranoj jedinici vremena i prosječan broj kontejnerskih brodova (odnosno kontejnera) koji se mogu opslužiti u jedinici vremena na terminalu. Zatim se na temelju tih parametara izračunavaju odgovarajući pokazatelji funkcioniranja lučkoga kontejnerskog terminala, da bi se na kraju, zavisno od postavljenog kriterija optimalnosti, donijela odluka o optimalnom kapacitetu lučkoga kontejnerskog terminala.

3.1. Sustavni pristup istraživanju kontejnerskog terminala

Lučki kontejnerski terminal je dio lučkog sustava namijenjen prekrcaju kontejnera izravnim ili posrednim rukovanjem između kontejnerskih brodova i kopnenih prijevoznih sredstava, i obrnuto te ostalim djelatnostima vezanim za promet kontejnera. Zbog neravnomjernosti dolazaka brodova i kopnenih vozila te organizacije tehnološkog procesa na kontejnerskom terminalu, u praksi prevladava posredno rukovanje kontejnerima preko slagališta [21, str. 36].

Lučki kontejnerski terminal je otvoreni sustav koji neprekidno i vrlo intenzivno komunicira s okolinom i usko je vezan sa sustavom pomorskog prometa, sustavom kopnenog prekrcaja i ostalim sustavima koji su nositelji uslužnih aktivnosti neophodnih u prometu kontejnera.

Lučki kontejnerski terminal je složen sustav sa sljedećim podsustavima kao svojim elementima [21, str. 36–37]:

- podsustav brod predstavlja element na koji je usmjerena aktivnost, a obuhvaća brodove, odnosno kontejnere prema vrsti i količini,
- podsustav operativna obala uključuje pristane, obalne kontejnerske dizalice i krcalište (operativna površina namijenjena operacijama s kontejnerima),
- podsustav slagalište je otvoreni prostor uređen za smještaj i čuvanje različitih vrsta kontejnera do njihovog ukrcaja na brod ili utovara na kopneno vozilo,
- podsustav prometnica za unutarnji prijevoz čine željeznički kolosijeci, željeznička postrojenja te cestovne prometnice,
- podsustav rukovanja kontejnerima obuhvaća operacije s kontejnerima na sidrištu, pristanu i slagalištu,
- podsustav organizacije je element terminala sa zadatkom planiranja, koordinacije, nadzora i kontrole prekrcajnog procesa, administrativnog praćenja kontejnera, fakturiranja usluga lučkoga kontejnerskog terminala.

Elementi lučkoga kontejnerskog terminala su tehničke, tehnološke, ekonomske, pravne i organizacijske prirode i nalaze se u odnosima međusobne funkcionalne povezanosti.

Projektiranje svakog podsustava zasebno onemogućuje definiranje lučkoga kontejnerskog terminala kao cjeline, odnosno određivanje veza između navedenih podsustava. Stoga sustavni pristup nalaže da se svi elementi lučkoga kontejnerskog terminala trebaju razmatrati zajedno kao podsustavi u međusobnoj interakciji da bi se moglo pratiti poslovanje lučkoga kontejnerskog terminala i postići njegovo optimalno funkcioniranje.

Budući da kapacitet pristana determinira potreban kapacitet ostalih podsustava lučkoga kontejnerskog terminala, a time i propusnu moć kontejnerskog terminala kao cjeline, problem određivanja optimalnog kapaciteta lučkoga kontejnerskog terminala svodi se na izračunavanje optimalnog broja pristana, što će biti prikazano u ovom radu.

3.2. Pokazatelji funkcioniranja lučkoga kontejnerskog terminala

Iz prethodnih zaključaka 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 terminala može primijeniti analitički pristup pomoću teorije redova čekanja.

Lučki kontejnerski terminal definira se kao sustav opsluživanja sa sljedećom strukturom [21, str. 50]: ulazne jedinice su kontejnerski brodovi koji formiraju (ili ne) red čekanja (zavisno od trenutačne 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.

Sa stajališta teorije redova čekanja lučki kontejnerski terminal ima ove značajke [21, str. 52]:

- Kontejnerski terminal je otvoreni sustav budući da izvori ulaznog toka, tj. brodovi nisu sastavni dio sustava.
- Kontejnerski terminal je jednokanalni ili višekanalni sustav (zavisno od broja pristana), s time da se na sidrištima formiraju redovi čekanja brodova za pojedine pristane.
- Broj pristiglih kontejnerskih brodova kao i duljina vremena opsluživanja, odnosno vrijeme boravka broda na pristanu raspoređeni su prema određenim teorijskim razdiobama (najčešće prema Poissonovoj ili Erlangovoj razdiobi reda k , gdje je k prirodan broj). Vrijeme opsluživanja broda zajedno s vremenom provedenim u redu čekanja predstavlja vrijeme boravka broda na terminalu i jedan je od važnijih pokazatelja funkcioniranja lučkoga kontejnerskog terminala.
- S obzirom na disciplinu čekanja kontejnerski je terminal sustav u kojem se opsluživanje najčešće obavlja prema pravilu FIFO (prvi stigao–prvi opslužen), ali je moguće da postoje brodovi s prioritetom u opsluživanju.

Osnovni parametri lučkoga kontejnerskog terminala su intenzitet toka dolazaka brodova λ i intenzitet opsluživanja μ .

Za odabrani sustav kontejnerskog terminala parametar λ predstavlja prosječan broj kontejnerskih brodova (odnosno kontejnera) koji pristižu na terminal tijekom promatrane vremenske jedinice (primjerice: tijekom godine, mjeseca ili dana) ili recipročnu vrijednost prosječnog vremenskog intervala između dva uzastopna dolaska broda $\lambda = 1 / \bar{t}_{arr}$.

Analogno se objašnjava i intenzitet opsluživanja μ koji predstavlja prosječan broj kontejnerskih brodova (odnosno kontejnera) koji se mogu opslužiti u jedinici vremena na pojedinom pristanu ili recipročnu vrijednost prosječnog trajanja usluživanja $\mu = 1/\bar{t}_{serv.}$. Parametar μ predstavlja propusnu moć jednog pristana, a umnožak $S \cdot \mu$, gdje je S oznaka za broj pristana, propusnu moć, odnosno kapacitet kontejnerskog terminala.

Količnik intenziteta toka dolazaka i intenziteta opsluživanja je stupanj opterećenja pristana ili intenzitet prometa. U praksi se vrijednosti parametara λ i μ određuju na temelju empirijskih podataka ili procjenom zavisno od cilja i predmeta istraživanja.

Na temelju definicije kontejnerskog terminala kao sustava opsluživanja i osnovnih parametara terminala izračunavaju se pokazatelji funkcioniranja lučkoga kontejnerskog terminala: koeficijent iskoristivosti kontejnerskog terminala, vjerojatnost opsluživanja, prosječan broj brodova u redu čekanja, odnosno na terminalu, prosječno vrijeme broda u redu čekanja, odnosno provedeno na terminalu,

Prema klasifikaciji problema redova čekanja, kontejnerski terminal je sustav s čekanjem koji dozvoljava beskonačni broj brodova u redu čekanja s oznakom $M/M/S/\infty$ ili $G/G/\infty$, zavisno od teorijske razdiobe za dolaske i vrijeme opsluživanja broda.

Pokazatelji funkcioniranja kontejnerskog terminala izračunavaju se prema odgovarajućim formulama teorije redova čekanja⁷ [22, str. 19–26].

Promjena broja pristana utječe na povećanje odnosno smanjenje vrijednosti pojedinih pokazatelja kontejnerskog terminala: povećanjem broja pristana smanjuje se broj brodova u redu čekanja i na terminalu te vrijeme čekanja i vrijeme boravka broda na terminalu, a povećava neiskorištenost pristana.

Na temelju pokazatelja o funkcioniranju kontejnerskog terminala može se postaviti pitanje kako odrediti broj pristana da se čekanje broda i pristana svede na najmanji mogući iznos.

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.

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.

⁷ Osim navedenog izvora formule za izračunavanje pokazatelja sustava opsluživanja mogu se naći u knjigama iz teorije redova čekanja [3], [7], [8], [17]. Čitateljima se preporuča korištenje odgovarajućih računalnih programa, primjerice WINQSB koji se može naći na <http://winqsb.en.softonic.com/download> (travanj 2012).

4. STUDIJA SLUČAJA – Kontejnerski terminal riječke luke "Brajdica"

Primjena predloženih metoda proučavanja procesa opsluživanja na lučkim kontejnerskim terminalima prikazana je na primjeru kontejnerskog terminala riječke luke.

4.1. Tehničko-tehnološke značajke kontejnerskog terminala "Brajdica"

Do 2011. godine vlasnik kontejnerskog terminala "Brajdica" bila je tvrtka Jadranska vrata u stopostotnom vlasništvu Luke Rijeka. Novi strateški partner i vlasnik 51 % dionica tvrtke Jadranska vrata, koja je njegovim ulaskom preimenovana u Adriatic Gate Container Terminal, je međunarodni lučki operater ICTS (International Container Terminal Services).

Kontejnerski terminal "Brajdica" raspolaže s dva pristana: Kostrensko pristanište – JUG te Kostrensko pristanište – ZAPAD. Dužina južnog pristana iznosi 295 metara, a dubina mora uz obalu 12 metara, dok je zapadni pristan dug 164 metara s dubinom mora uz obalu od 11 metara. Na zapadnom pristanu se nalazi obalna kontejnerska dizalica "Metalna", koja je preseljena s južnog pristana 2009. godine radi povećanja operativnog kapaciteta terminala. "Metalna" se koristi isključivo za prekrcaj manjih brodova, i to u slučaju zauzetosti južnog veza, budući da je dohvat dizalice ograničen i dozvoljava samo niže dizanje kontejnera. Na južnom pristanu trenutno su u eksploataciji dvije obalne kontejnerske dizalice korejskog proizvođača Samsung koje svojim tehničko-tehnološkim značajkama osiguravaju potrebe prekrcanja kontejnerskog terminala.

Mehanizacija slagališta riječkog kontejnerskog terminala se sastoji od autodizalica s hvatačem, čelnih viličara s dugim nosačima vilica te tegljača s prikolicama i poluprikolicama. Osnovu slagališnih prekrcajno –prijevoznih sredstava čine autodizalice s hvatačem koje se ubrajaju u tzv. horizontalnu mehanizaciju.

Postojeća ukupna površina kontejnerskog terminala riječke luke iznosi približno 140 000 m² od čega je površina slagališta kontejnera 56 100 m².

Radi povećanja kapaciteta kontejnerskog terminala i mogućnosti servisiranja većih brodova u tijeku je izgradnja nove operativne obale u dužini od 328 metara u produžetku postojećeg Kostrenskog pristaništa – JUG s dubinom mora uz pristan od 14,5 metara. Kostrensko pristanište – ZAPAD koristit će se u prijelaznoj fazi do završetka produženja južnog pristaništa te nije predviđeno za daljnju eksploataciju u budućnosti s obzirom na ograničenja u pogledu dubine mora i duljine pristana. Na tom pristanu se danas obavljaju prekrcajne operacije manjih feeder brodova samo u slučaju zauzetosti južne obale.

Nakon dogradnje postojećeg pristana na jugu će biti postavljene još dvije obalne kontejnerske dizalice eksploatacijskih značajki potrebnih za servisiranje kontejnerskih brodova Post-Panamax generacije kapaciteta od 8 000 do 10 000 TEU-a. Na taj će način postojeće dvije kontejnerske dizalice moći prelaziti na novi produženi dio obale i tako omogućiti prekrcaj broda s tri, odnosno četiri mosta, zavisno od veličine broda.

Projekt proširenja terminala predviđa instalaciju dva para portalnih prijenosnika velikog raspona na skladišnom prostoru punih kontejnera kako bi se postigla bolja iskoristivost slagališne površine. Primjenom tih skladišnih mostova postojeća horizontalna tehnologija prekrcanja zamijenila bi se vertikalnom tehnologijom.

Rekonstrukcija i nadogradnja terminala predviđa 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 opisanih projekata kapacitet kontejnerskog terminala "Brajdica" iznosit će približno 500 000 TEU–a godišnje.

4.2. Statistička analiza prometa kontejnerskog terminala "Brajdica"

Analiza kretanja kontejnerskog prometa riječke luke [11] pokazuje da, nakon izrazitog pada koji se zbog ratnih događanja već počeo osjećati devedesetih godina te nastavio sve do kraja desetljeća, od 2001. godine kreće porast prometa. Tako je u 2000. godini prekrano 9 722 TEU–a, da bi se pozitivna tendencija kretanja prometa kontejnera nastavila sve do 2008. godine kada je ostvareno 168 761 TEU–a, odnosno 17 puta veći promet u odnosu na 2000. godinu. U 2009. godini zabilježen je pad kontejnerskog prometa (prekrano je 130 740 TEU-a) generiran u prvom redu smanjenjem uvoza uslijed gospodarske krize, dok je tijekom 2010. godine ostvaren oporavak prometa rastom od 4% u odnosu na godinu dana ranije.

Uspoređujući broj brodova pristiglih na kontejnerski terminal s ostvarenim prometom uočeno je da broj brodova raste sporije u odnosu na količinu prometa što je u skladu s dolaskom sve većih brodova na terminal, odnosno veće količine prekranih kontejnera po pojedinom brodu. Tako je u 2008. godini na terminal privezano 256 brodova ili 33,3% više nego u 2003. godini, dok je u istom razdoblju promet povećan za gotovo 6 puta.

Međutim, za sveobuhvatnu analizu nisu dovoljni samo podaci o godišnjem prometu i ticanju brodova već treba uzeti u obzir promet po mjesecima i danima koji, zbog oscilacija, znatno utječe na dimenzioniranje kapaciteta terminala.

Na temelju metodologije iz dijela 2.1. ovoga rada ispitana je veza između broja brodova i dana pristizanja na terminal "Brajdica"; sastavljena je korelacijska tablica za broj brodova pristiglih idućeg i prethodnog dana u razdoblju od 2000. do 2010. godine. S obzirom na prethodno objašnjene različite tendencije kretanja godišnjeg prometa uzeto je u razmatranje razdoblje od 2000. – 2006. te od 2000. – 2010. godine. Za prvo razdoblje dobiven je koeficijent korelacije $r = -0,0378641$, a za drugo $r = -0,00021421$.

S obzirom da su obje vrijednosti koeficijenata korelacije vrlo blizu nule, slijedi zaključak da ne postoji značajna zavisnost u redosljedu dnevnih dolazaka brodova na terminal "Brajdica" u navedenim razdobljima, što znači da se dolasci brodova mogu promatrati kao nezavisni, tj. da su dolasci brodova u statističkom smislu slučajni.

Testiranjem koeficijenata korelacije za razdoblje od 2000. – 2006. i 2000. – 2010. ispitana je pretpostavka da ne postoji značajna razlika između tih koeficijenata. Prema (2) i (3) interval prihvaćanja hipoteze glasi $0 \pm 0,0496$; razlika $|\hat{z}_1 - \hat{z}_2| = 0,0379 - 0,0002 = 0,0377$ se nalazi u tom intervalu na temelju čega se zaključuje da se na razini 5% značajnosti prihvaća pretpostavka da se koeficijenti korelacije u oba skupa međusobno ne razlikuju.

Iz navedenog slijedi da se broj dolazaka brodova na kontejnerski terminal "Brajdica" može uzeti kao slučajna varijabla, a zatim empirijske razdiobe te varijable aproksimirati s odgovarajućim teorijskim razdiobama. Isti se zaključak dobiva i za varijablu vrijeme boravka broda na kontejnerskom terminalu.

4.3. Usporedba empirijskih s teorijskim razdiobama

Ispitivanje o slaganju empirijske razdiobe s nekom od teorijskih razdioba provedeno je primjenom neparametarskih testova (vidjeti 2.2. ovoga rada).

4.3.1. Dolasci brodova

S obzirom na različite tendencije kretanja prometa, empirijska razdioba za broj brodova pristiglih na terminal "Brajdica" je prema ocjeni autora sastavljena za tri razdoblja, i to: od 2000.–2006., 2007.–2010. i 2000.–2010., a izračunati pokazatelji prikazani u tablici 1.

Tablica 1. Deskriptivna statistika za dolaske brodova na terminal "Brajdica" u razdoblju od 2000.–2010.

Pokazatelj	2000. – 2006.	2007. – 2010.	2000. – 2010.
1. Broj brodova dnevno (x)	0 – 4	0 – 4	0 – 4
2. Broj dana (f)	2 557	1 461	4 018
3. Prosj. broj brodova dnevno (\bar{X})	0,45483	0,67967	0,53659
4. Standardna devijacija (σ)	0,65782	0,69543	0,68030
5. Mod (M_0)	0	1	0
6. Koef. asimetrije (α_3)	1,32	0,80871	1,10154
7. Koef. zaobljenosti (α_4)	1,29	0,63425	0,87884

Rezultati iz prethodne tablice pokazuju da je prosječan broj pristiglih brodova dnevno iznosio manje od jednog broda, da je najviše dana bilo bez ijednog broda, odnosno s jednim brodom (razdoblje 2007.–2010.), a s obzirom da se broj brodova kretao dnevno od 0 – 4 broda, slijedi da empirijske razdiobe nisu simetrične, već desnostrano asimetrične i manje zaobljene u odnosu na normalnu razdiobu.

Ovi rezultati već ukazuju na "ponašanje" razdiobe dana prema broju brodova. Međutim, s odgovarajućim neparametarskim testovima moguće je izračunati "veličinu" slaganja empirijske razdiobe s odabranim teorijskim razdiobama.

U tu svrhu su korišteni računalni programi EasyFit 5.5 [4], Statistica 6 [12], Statgraphics 9.3.–9.4. [11] i dobiveni rezultati navedeni u tablicama 2.–4.

Tablica 2. Rangiranje razdiobe brodova pristiglih na terminal "Brajdica" prema vrsti testa, vrsti teorijske razdiobe i razdoblju na koje se odnose podaci (EasyFit 5.5)

Razdoblje	2000. – 2006.		2007. – 2010.		2000. – 2010.	
	$K-S$	$A-D$	$K-S$	$A-D$	$K-S$	$A-D$
Teorijska razdioba						
1. Binomna	3	2	1	4	3	3
2. D. uniformna	1	4	3	3	1	4
3. Geometrijska	4	3	4	2	4	2
4. Poissonova	2	1	2	1	2	1

Opaska: $K-S$ Kolmogorov–Smirnovljev test, $A-D$ Anderson–Darling test

Na temelju rezultata iz prethodne tablice slijedi da bi se mogla prihvatiti pretpostavka da se razdioba pristiglih brodova ponaša prema Poissonovoj razdiobi. Međutim, prema ulaznim podacima neprihvatljiv je rang 1 za diskretnu uniformnu razdiobu po $K-S$ testu, tim više što se na osnovi rednog broja ranga ne može zaključiti prihvaća li se H_0 ; daljnjim istraživanjem ustanovljeno je da su kritične vrijednosti izvan intervala prihvaćanja nul hipoteze. K tome treba dodati da ovaj program ne uključuje ostale testove kao što je primjerice, χ^2 -test koji se u statističkoj literaturi preporuča i za prekidne i kontinuirane empirijske razdiobe [6, str. 261].

Zbog toga je bilo potrebno koristiti i ostale računalne programe (tablice 3. i 4.).

Tablica 3. χ^2 -test za razdiobu pristiglih brodova na terminal "Brajdica" u razdoblju od 2000. – 2010. (Statistica 6)

Razdoblje	2000. – 2006.	2007. – 2010.	2000. – 2010.
1. Binomna	9,2008 (0,010)	31,5063 (0,000)	0,7975 (0,671)
2. Poissonova	4,0513 (0,132)	91,4273 (0,000)	42,533 (0,000)
3. Normalna	2 680,5 (0,000)	1 525,34 (0,000)	4 225,2 (0,000)

Program Statistica za diskontinuirane slučajne varijable (broj brodova) koristi samo χ^2 -test. Prema dobivenim rezultatima⁸ najbolje je slaganje broja pristiglih brodova s Poissonovom razdiobom u razdoblju od 2000.– 2006. te s binomnom razdiobom u razdoblju od 2000.– 2010. godine.

Tablica 4. Rangiranje broja pristiglih brodova na terminal "Brajdica" prema vrsti testa, vrsti teorijske razdiobe i razdoblju na koje se odnose podaci (Statgraphics 9.3.– 9.4.)

Razdoblje	2000.– 2006.			2007.– 2010.			2000.– 2010.		
	$K-S$	$A-D$	χ^2	$K-S$	$A-D$	χ^2	$K-S$	$A-D$	χ^2
1. Binomna	–	–	4,469 (0,215)	–	–	91,240 (0,00)	–	–	42,468 (0,00)
2. Poissonova	–	–	4,487 (0,213))	–	–	91,427 (0,00)	–	–	42,533 (0,00)
3. Normalna	0,385 (0,00)	362,5 (<0,01)	575,4 (0,00)	0,275 (0,00)	140,8 (<0,01)	120,83 (0,00)	0,345 (0,00)	477,92 (<0,01)	635,25 (0,00)

Opaska: $K-S$ Kolmogorov–Smirnovljev test, $A-D$ Anderson–Darling test, χ^2 – test; vrijednosti u zagradama su vjerojatnosti p_i

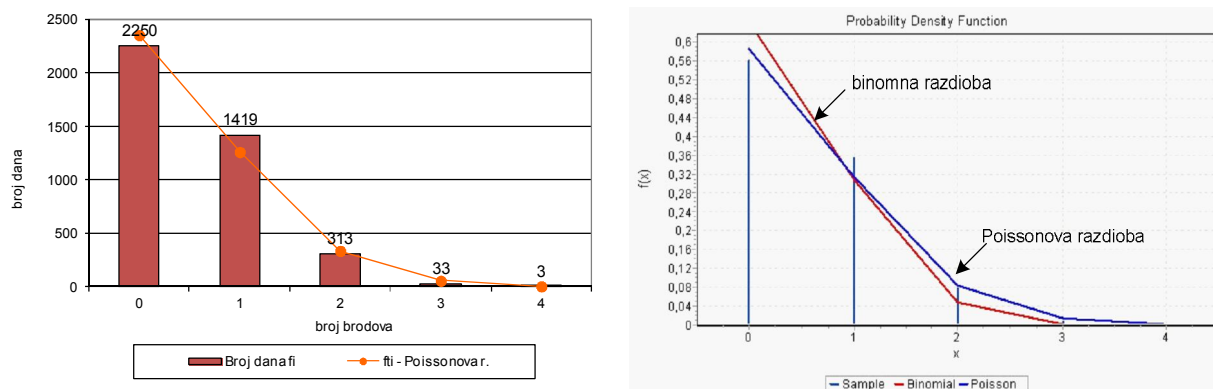
Primjenom računalnog programa Statgraphics dobiveni rezultati za različite testove dovode do zaključka da je razdiobu brodova pristiglih na kontejnerski terminal riječke luke najbolje aproksimirati binomnom, odnosno Poissonovom razdiobom.

⁸ U tablicama 3. i 4. u okruglim zagradama su vjerojatnosti p_i na temelju kojih se donosi zaključak o prihvaćanju (ili ne) nul hipoteze; vjerojatnosti nisu jednake 0, međutim, u ovu su tablicu unesene njihove vrijednosti s manjim brojem decimala.

Vrijednosti p_i manje od 0,05 označavaju neprihvaćanje nul–hipoteze da se empirijska razdioba ponaša prema odabranoj teorijskoj razdiobi na razini 5% značajnosti, odnosno 0,01 na razini 1% značajnosti.

Iz tablica 2.– 4. slijedi zaključak da se dolasci brodova na kontejnerski terminal "Brajdica" najbolje slažu s binomnom i Poissonovom razdiobom što potvrđuje grafikon 1.

Grafikon 1. Usporedba dolazaka brodova na kontejnerski terminal "Brajdica" s binomnom i Poissonovom razdiobom u razdoblju od 2000.–2010.



4.3.2. Vrijeme opsluživanja

Kao što je navedeno u dijelu 3.2. ovoga rada intenzitet opsluživanja predstavlja broj opsluženih brodova u jedinici vremena, a može se odrediti kao recipročna vrijednost trajanja usluge (vremena opsluživanja).

Za kontejnerski terminal "Brajdica" autori su raspolagali s podacima o duljini vremena opsluživanja broda za razdoblje od 2007. do 2010. godine na temelju kojih su izračunati pokazatelji prikazani u tablici 5.

Tablica 5. Deskriptivna statistika za vrijeme opsluživanja broda na terminalu "Brajdica" u razdoblju 2007.– 2010.

Pokazatelj	2007. – 2010.
1. Vrijeme opsluživanja (x)	1 – 89,5 sati
2. Broj brodova (f)	997
3. Prosj.vrijeme opsluživanja (\bar{X})	14,17870 sati
4. Standardna devijacija. (σ)	8,45785 sati
5. Mod (M_0)	6,75 sati
6. Koef. asimetrije (α_3)	1,80
7. Koef. zaobljenosti (α_4)	8,78

Prosječno vrijeme opsluživanja broda iznosilo je 14,1787 sati, međutim, za najveći broj brodova vrijeme opsluživanja je trajalo 6,75 sati; koeficijenti asimetrije i zaobljenosti pokazuju da je razdioba vremena opsluživanja desnostrano asimetrična i s većom zaobljenosti od normalne razdiobe.

Testiranje razdiobe vremena opsluživanja s obzirom na slaganje s odabranom teorijskom razdiobom provedeno je primjenom neparametarskih testova i računalnih programa EasyFit 5.5, Statistica 6 i Statgraphics 9.3.– 9.4.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablicama 6.– 8.

Tablica 6. Rangiranje razdiobe vremena opsluživanja broda na terminalu "Brajdica" prema vrsti testa i vrsti teorijske razdiobe u razdoblju 2007.–2010. (EasyFit 5.5)

Test Teorijska razdioba	<i>K-S</i>	<i>A-D</i>	χ^2
1. Gamma	1 (0,2960)	6 (< 0,20)	16 (< 0,01)
2. Gen. Pareto	2 (0,1454)	48 (<0,01)	N/A
3. Beta	3 (0,1295)	1 (\leq 0,20)	8 (< 0,01)
4. Gamma (3P)	5 (0,1273)	2 (\leq 0,20)	3 (<0,01)
5. Gen. Gamma (4P)	8 (0,0925)	3 (<0,20)	7 (<0,01)
6. Log-Pearson 3	7 (0,0962)	4 (<0,20)	2 (< 0,01)
7. Pearson 6 (4P)	15 (0,0391)	8 < 0,20)	1 (< 0,01)

Opaska: *K-S* Kolmogorov–Smirnovljev test, *A-D* Anderson–Darling test, χ^2 – test, N/A – nedostupno

Tablica 7. χ^2 –test za razdiobu vremena opsluživanja broda na terminalu "Brajdica" u razdoblju 2007.– 2010. (Statistica 6)

Test Teorijska razdioba	<i>K-S</i>	χ^2
1. Eksponencijalna	0,22596 (<0,01)	220,8099 (0,000)
2. Gamma	0,04113 (<0,10)	11,5922 (0,003)
3. Normalna	0,09267 (<0,01)	99,8644 (0,000)
4. Log-normal	0,04713 (<0,05)	36,4755 (0,000)

Opaska: *K-S* Kolmogorov–Smirnovljev test, χ^2 – test

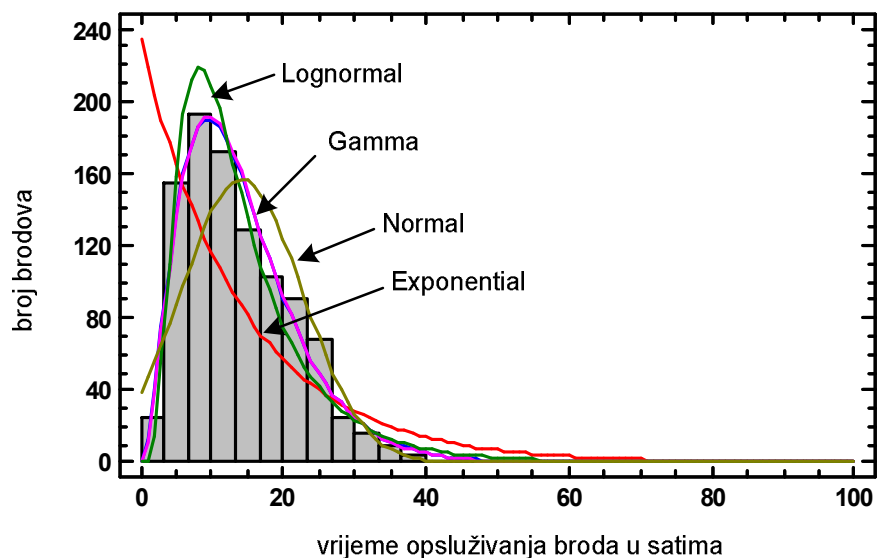
Tablica 8. Rangiranje razdiobe vremena opsluživanja broda na terminalu "Brajdica" prema vrsti testa i vrsti teorijske razdiobe u razdoblju 2007.–2010. (Statgraphics 9.3.– 9.4.)

Test Teorijska razdioba	<i>K-S</i>	<i>A-D</i>	χ^2
1. Erlangova	0,9923 (0,0000)	–	116,641 (0,0000)
2. Eksponencijalna	0,2260 (0,0000)	86,9355 (<0,01)	529,359 (0,0000)
3. Gamma	0,0409 (0,0713)	1,5411 (\geq 0,10)	123,140 (0,0000)
4. Lognormal	0,0471 (0,0239)	3,5001 (<0,05)	141,917 (0,0000)
5. Normalna	0,0927 (0,0000)	–	317,042 (0,0000)

Opaska: *K-S* Kolmogorov–Smirnovljev test, *A-D* Anderson–Darling test, χ^2 –test

Iz tablica slijedi da se na temelju podataka za razdoblje od 2007.–2010. razdioba vremena opsluživanja ponaša prema gamma razdiobi, što potvrđuje grafikon 2.

Grafikon 2. Usporedba vremena opsluživanja broda na kontejnerskom terminalu "Brajdica" s odabranim teorijskim razdiobama u razdoblju od 2007.–2010.



4.4. Određivanje optimalnog broja pristana na kontejnerskom terminalu "Brajdica"

Iz prethodnih rezultata slijedi da je na kontejnerskom terminalu "Brajdica" na temelju dosadašnjeg prometa, a zbog usporedbe s varijablom vrijeme opsluživanja broda, za razdoblje od 2007.–2010. prosječan broj pristiglih brodova iznosio $\lambda = 0,6797$ brodova dnevno. Uzevši u obzir prosječno vrijeme opsluživanja broda od 14,1787 sati izlazi da je propusna moć, odnosno kapacitet pristana u tom razdoblju procijenjen na $\mu = 24 \text{ sata} / 14,1787 \text{ sati} = 1,6927$ brodova/dan te da je stupanj opterećenja terminala u razdoblju od 2007.–2010. ($\rho = \lambda/\mu$) iznosio svega 0,40 (40%).

Za izračunavanje pokazatelja funkcioniranja kontejnerskoga terminala primijenjen je računalni program WINQSB [1].

Prema opcijama koje navedeni program nudi ulazni parametri su prosječan vremenski razmak između dva uzastopna dolaska broda ($1/\lambda$) te prosječno vrijeme zadržavanja broda na terminalu ($1/\mu$). To znači da je za daljnje istraživanje potrebno analizirati varijablu vremenski razmak između dva uzastopna dolaska broda prema shemi 4.3. ovoga rada da bi se odredila teorijska razdioba koju slijedi navedena varijabla ili, što je jednostavnije, izračunati recipročnu vrijednost od prosječnog broja pristiglih brodova λ .

Ovim istraživanjem se došlo do zaključka da je proces opsluživanja na kontejnerskom terminalu "Brajdica" problem reda čekanja tipa $M/G/S$. Primjenom programa WINQSB vrijednosti pokazatelja su unesene u tablicu 9. Radi usporedbe u tablici su dani rezultati za razdoblje od 2007.–2010. te posebno za 2010. Također je razmatrana varijanta procesa opsluživanja s prometom očekivanim u sljedećim godinama od 300 000 TEU pa je pretpostavljeno prosječno 529 pristiglih brodova godišnje s približno 500-550 TEU-a po brodu ($\lambda = 1,450$ brodova/dan), a na temelju podataka o radu terminala "Brajdica" u 2010. [23] prosječan broj opsluženih brodova (jedan pristan s dvije dizalice) je iznosio $\mu = 2,0712$ brodova/dan.

Tablica 9. Pokazatelji funkcioniranja kontejnerskog terminala "Brajdica" u razdoblju od 2007.– 2010. te za prognozirani promet od 300 000 TEU-a

Pokazatelj	Oznaka	Jedinica	2007.–2010. <i>M/G/1</i>	2010. <i>M/G/1</i>	Prognoza <i>M/M/1</i>
1. Broj pristana	S	pristan	1	1	1
1. Intenzitet dolazaka	λ	brodovi/dan	0,6797	0,7178	1,450
2. Intenzitet opsluživanja	μ	brodovi/dan	1,6927	2,0712	2,071
3. Stupanj opterećenja	ρ	%	40,15	34,66	0,70
4. Brodovi na pristanu	L	brodovi	0,5630	0,4640	2,3349
5. Brodovi u redu čekanja	L_Q	brodovi	0,1614	0,1176	1,6348
6. Vrijeme na terminalu	W	sati	19,8781	15,5135	38,65
7. Vrijeme u redu čekanja	W_Q	sati	5,6996	3,9309	27,06
8. Vjerojatnost nezauzetosti pristana	P_0	%	59,85	65,34	28,99

Opaska: *M/G/1* označava sustav opsluživanja s jednim pristanom, dolascima brodova prema Poissonovoj razdiobi i vremenom opsluživanja prema gamma razdiobi s parametrima za razdoblje od 2007.–2010 $a=0$, $b=2,8103$ i $c=5,0452$, a za 2010. s parametrima $a=0$, $b=3,2506$ i $c=3,5632$.

Rezultati iz prethodne tablice pokazuju da je u 2010. godini, u odnosu na razdoblje 2007.-2010., povećan intenzitet toka dolazaka brodova, kao i intenzitet opsluživanja, što je utjecalo na smanjenje broja brodova i duljinu vremena provedenog u redu čekanja i na pristanu.

Međutim, treba naglasiti da ovi rezultati nisu dovoljno usporedivi, jer je za 2010. uzet u obzir samo jedan pristan, iako se na njemu odvija najveći dio prometa na terminalu.

Povećanje prometa na terminalu će smanjiti nezauzetost pristana, ali će se povećati broj brodova, kao i vrijeme provedeno u redu čekanja i na terminalu. Sve to dokazuje da je, očekujući nove brodove s kontejnerima, opravdana izgradnja novog pristana s odgovarajućim brojem dizalica čija je realizacija u tijeku.

Prema 3.2. ovoga rada optimalan broj pristana se određuje na temelju postavljenog kriterija optimizacije koji je izražen u naturalnim ili vrijednosnim jedinicama. S obzirom na složenost sustava opsluživanja na kontejnerskom terminalu autori preporučuju da se optimalno rješenje odredi koristeći model ukupnih troškova koji obuhvaća troškove svih sudionika u procesu opsluživanja (brod, pristan, teret), a koji je detaljno prikazan u radu [23].

5. ZAKLJUČAK

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

Lučki kontejnerski terminal je sustav složen od određenog broja međusobno zavisnih podsustava. Problem određivanja optimalnog kapaciteta lučkoga kontejnerskog terminala svodi se na izračunavanje optimalnog broja pristana, s obzirom da kapacitet pristana determinira potreban kapacitet ostalih podsustava, a time i propusnu moć kontejnerskog terminala u cjelini.

Međutim, zbog oscilacija prekrcaja kontejnera uvjetovanih neravnomjernim pristizanjem brodova na lučki kontejnerski terminal te nejednolikim trajanjem operacija s kontejnerima, u praksi nije jednostavno utvrditi i dimenzionirati optimalan kapacitet terminala.

Jedan od načina određivanja optimalnog kapaciteta lučkoga kontejnerskog terminala je primjena odgovarajućih kvantitativnih metoda. U ovom je radu prikazan metodološki pristup, odnosno metode kojima se određuju značajke i pokazatelji funkcioniranja lučkoga kontejnerskog terminala, a koji su baza za donošenje odgovarajućih odluka vezanih za poslovanje terminala. U tu svrhu su prikazane odgovarajuće statističke metode i metode operacijskih istraživanja.

Prikazana metodologija je primijenjena na kontejnerski terminal riječke luke „Brajdica“, međutim, ta se metodologija može primijeniti za bilo koji terminal u sadašnjim ili budućim uvjetima poslovanja uz preduvjet raspolaganja odgovarajuće statističke baze podataka.

LITERATURA

- [1] Chang, Y. L., WinQSB, Decision Support Software for MS/OM, John Wiley & Sons, Inc., 1998. <http://winqsb.en.softonic.com/download> (travanj, 2012.)
- [2] El-Naggar, M.E., Application of queuing theory to the container terminal at Alexandria seaport, Journal of Soil Science and Environmental Management, Vol. 1(4), pp. 77–85, June 2010.
- [3] Gross, D., Harris, C. M., Fundamentals of Queueing Theory, Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [4] EasyFit 5.5, <http://www.mathwave.com/downloads.html> (studeni, 2011.)
- [5] Kuo Tu-Cheng, Huang Wen-Chih, Wu Sheng-Chieh, Cheng Pei-Lun, A Case Study of Inter-arrival Time Distributions of Container Ships, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 14, No. 3, pp. 155–164, 2006.
- [6] Pauše, Ž., Uvod u matematičku statistiku, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [7] Petrić, J., Operaciona istraživanja, knjiga druga, Savremena administracija, Beograd, 1987.
- [8] Petrić, J., et all, Operaciona istraživanja, Zbirka rešenih zadataka, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [9] Petz, B., Osnovne statističke metode za nematematičare, Naklada Slap, Jastrebarsko, 1997.
- [10] Queueing Theory, Concept and Applications, The Icfai University Press, Hyderabad, Editors: B.V.S., Prasad and B. Kanaka, India, 2009.
- [11] Statgraphics Centurion XVI.I, <http://www.statgraphics.com/downloads.htm> (ožujak, 2012.)
- [12] Statistica 6.0, StatSoft, 2001.
- [13] Statistika tvrtke Adriatic Gate Container Terminal d.d.
- [14] Suhr, E., Applied Probability for Engineers and Scientists, McGraw-Hill, N.York, 1997.
- [15] Šošić, I.–Serdar, V., Uvod u statistiku, Školska knjiga, Zagreb, 2002.
- [16] Turina, A., Lučki prekrcaj i njegov diskontinuitet, Zbornik Više Pomorske škole u Rijeci, 1949. – 1964.; Rijeka, 1964., str. 149–158.
- [17] Vukadinović, S., Elementi teorije masovnog opsluživanja, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [18] Vukadinović, S., Popović, J., Matematička statistika, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 2008.

- [19] Vuković, N., Statistička analiza, Naučna knjiga, Beograd, 1987.
- [20] Zenzerović, Z., Optimizacijski modeli planiranja kapaciteta morskih luka, doktorska disertacija, Ekonomski fakultet Rijeka, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 1995. (neobjavljeno)
- [21] 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.
- [22] Zenzerović, Z., Teorija redova čekanja, Stohastički procesi II.dio, Pomorski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2003.
- [23] Zenzerović, Z., Vilke, S., Jurjević, M., Teorija redova čekanja u funkciji planiranja kapaciteta kontejnerskog terminala riječke luke, Pomorstvo, 25/1 (2011.), Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2011., str. 45–69.