

Prof. dr Đorđe Zrnić, dipl. inž.
Uglješa Bugarić, dipl. inž.

ANALIZA PROCESA ISTOVARA RASUTIH TERETA MODELIMA TEORIJE REDOVA ČEKANJA

UVOD

Terminal za istovar rasutih tereta (slika 1) egzistira kao veza, u celokupnom transportnom lancu, između reke i tehnološkog postrojenja. Funkcija terminala može da se definiše sledećim: Terminal za rasuti teret predstavlja organizaciju različitih aktivnosti, vezanih za rukovanje i upravljanje tokovima materijala od plovila do transportnog sistema tehnološkog postrojenja, koja obezbeđuje maksimalno opsluživanje sastava barži uz minimalne troškove. [1]

Rasuti materijali, koji se istovaraju, su različiti po: granulaciji i masi po jedinici zapremine. Materijali su relativno suvi tako da ne stvaraju kompaktnu masu i mogu slobodno da "teku", odnosno zauzimaju oblik suda u kome se nalaze (tovarni prostor barže). Značajna karakteristika ovih materijala je činjenica, da troškovi transporta i manipulacije predstavljaju značajni deo njihove finalne vrednosti. [1]

Pretovar rasutih materijala se obavlja pomoću pretovarnih mostova (dizalica) sa grabilicom (slika 2) ili pomoću uređaja za kontinualni istovar.

OSNOVNI POJMOVI TEORIJE REDOVA ČEKANJA [4]

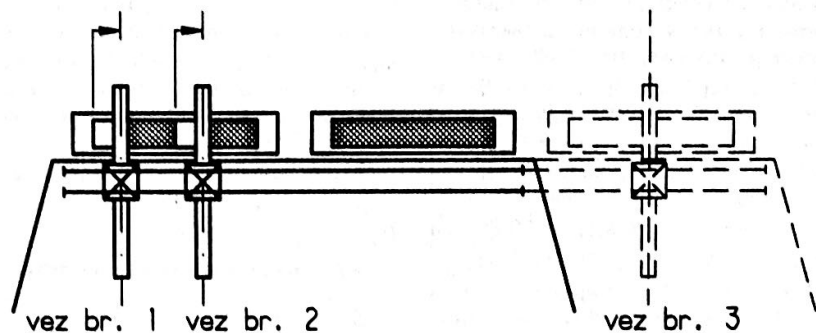
Jedinica koja zahteva opsluživanje – barža koja dolazi na istovar.

Tok jedinica – sve barže koje dolaze u luku (sistem).

λ – intenzitet nailaska barži (sastava barži), tj. recipročna vrednost srednjeg vremena između nailaska dve susedne jedinice.

Red čekanja – red koji obrazuju barže koje ne mogu biti odmah prihvaćene na istovar, takve barže se smeštaju na sidrište.

Kanali opsluživanja – sredstva kojima se obavlja istovar. U ovom slučaju to su pretovarni mostovi (dizalice) sa grabilicom.



Slika 1

Vreme opsluživanja – vreme potrebno da jedan kran istovari jednu baržu. Barže koje pristupaju u sistem nisu iste po nosivosti, a i materijal koji prevoze je različit. Iz tih razloga, uzima se da vreme istovara barže ima eksponencijalnu raspodelu sa sledećom funkcijom i gustinom raspodele:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t}; f(t) = \mu \cdot e^{-\mu \cdot t}, t \geq 0.$$

gde parametar μ predstavlja intenzitet istovara barži i jednak je recipročnoj vrednosti srednjeg vremena istovara barže tj. matematičkom očekivanju vremena istovara barže.

Sistem opsluživanja – pod sistemom opsluživanja podrazumeva se ulazni tok barži, pretovarni mostovi (kanali opsluživanja) i izlazni tok jedinica.

Granicu sistema sa jedne strane čini sidrište, dok sa druge strane je to operativna obala (mesto na kome se obavlja istovar).

KARAKTERISTIKE MODELA TEORIJE REDOVA ČEKANJA KORIŠĆENIH ZA ANALIZU ISTOVARA

Proces istovara barži je analiziran pomoću sledećih modela teorije čekanja:

– višekanalnog sistema opsluživanja sa ograničenim redom čekanja i grupnim

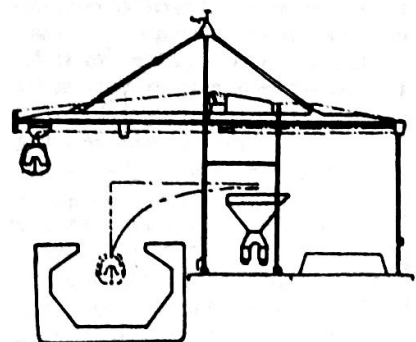
dolaskom jedinica u sistem (GRUP. DOL.),

– višekanalnog sistema opsluživanja sa ograničenim redom čekanja (KL. SIST.),

– višekanalnog sistema opsluživanja sa ograničenim redom čekanja i potpunom uzajamnom pomoći među kanalima (POT. POM.) i

– višekanalnog sistema opsluživanja sa ograničenim redom čekanja i delimičnom uzajamnom pomoći među kanalima (DEL. POM.).

Zajedničke karakteristike modela date su u tablici 1.



Slika 2

Tablica 1

Model	Karakteristike				
	broj kranova za istovar (n)	broj mesta u redu čekanja (m)	pravilo prihvataja barži na istovar	intenzitet ulaznog toka	intenzitet istovara barži
GRUP. DOL.	2 ili 3	32 ili 31	FIFO	λ_s	μ
KL. SIST.	2 ili 3	32 ili 31	FIFO	$r \cdot \lambda_s$	μ
POT. POM.	2 ili 3	32 ili 31	FIFO	$r \cdot \lambda_s$	μ
DEL. POM.	3	31	FIFO	$r \cdot \lambda_s$	μ

Broj pretovarnih mostova (dizalica) ograničen je na dva ili tri, zbog fizičke nemogućnosti da veći broj kranova istovremeno istovara jednu baržu (nema dovoljno prostora).

Veliki broj mesta u redu čekanja (kapacitet sidrišta) 32 ili 31, uslovljen je zahtevom da se u sistemu ne sme dozvoliti otkaz. To znači da sve barže koje prispeju u luku moraju biti prihvaćene.

Istovar barži se obavlja po FIFO disciplini, prva prispela – prva opslužena.

Kod modela sa grupnim dolaskom barži u sistem, intenzitet nailaska sastava barži iznosi λ_s . Da bi se ulazni tok sastava barži sveo na jednu baržu (što je potrebno za analizu preko ostala tri modela), potrebno je vrednost λ_s pomnožiti sa veličinom r koja predstavlja broj barži u sastavu.

Intenzitet opsluživanja barži je isti za sve primenjene modele.

MODEL SA GRUPNIM DOLASKOM BARŽI U SISTEMU I OGRANIČENIM REDOM ČEKANJA [4]

Ako grupa barži koja dolazi zatekne sve dizalice slobodne, prihvata se na opsluživanje na sledeći način: ako je $r > n$, n – barži se odmah opslužuje, dok $r - n$ barži staje u red čekanja, dok ako je $r < n$ sve barže se prihvataju na opsluživanje. U slučaju da grupa barži koja dolazi zatekne u sistemu k ($k < n$) na barži, tada će za slučaj $r > (n - k)$, $(n - k)$ barži biti prihvaćeno odmah na opsluživanje, a $r - (n - k)$ barži stati u red čekanja dok za slučaj $r < (n - k)$ sve barže biti prihvaćene na opsluživanje. Kada u sistemu ima k ($k > n$ i $k < (n + m)$) barži, grupa barži koja dolazi,

u slučaju da je $(k + r) < (n + m)$ biće prihvaćena u sistem i stae u red čekanja. U slučaju da je $(k + r) > (n + m)$ to će $(n + m) - k$ barži prihvaćeno u sistem (stae u red čekanja), a ostale će dobiti otkaz.

Stanje sistema se određuje prema broju barži u sistemu. Graf stanja sistema ima sledeći oblik (slika 3).

Na osnovu grafa stanja sistema dobijamo sistem diferencijalnih jednačina verovatnoća stanja sistema:

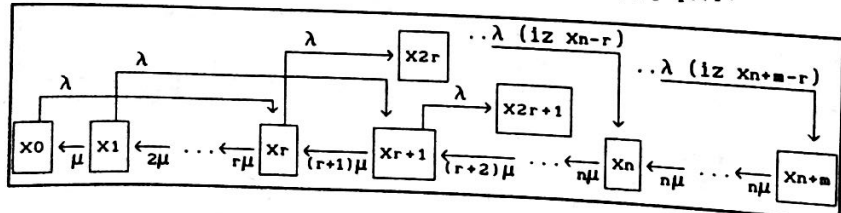
$$\begin{aligned}
 p_0(t) &= -\lambda(t) \cdot p_0(t) + \mu(t) \cdot p_1(t) \\
 p_1(t) &= -(\lambda(t) + \mu(t)) \cdot p_1(t) + 2 \cdot \mu(t) \cdot p_2(t); \\
 p_r(t) &= -(\lambda(t) + r \cdot \mu(t)) \cdot p_r(t) + (r + 1) \cdot \mu(t) \cdot p_{r+1}(t) + \lambda(t) \cdot p_0(t) \\
 p_{r+1}(t) &= -[\lambda(t) + (r + 1) \cdot \mu(t)] \cdot p_{r+1}(t) + (r + 2) \cdot \mu(t) \cdot p_{r+2}(t) + \lambda(t) \cdot p_1(t); \\
 p_n(t) &= -(\lambda(t) + n \cdot \mu(t)) \cdot p_n(t) + n \cdot \mu(t) \cdot p_{n+1}(t) + \lambda(t) \cdot p_{n-r}(t); \quad (za \ n > r) \\
 p_{n+m}(t) &= -n \cdot \mu(t) \cdot p_{n+m}(t) + \lambda(t) \cdot (p_{n+m-1}(t) + \dots + p_{n+m-r+1}(t))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_{r+1}(t) &= -[\lambda(t) + (r + 1) \cdot \mu(t)] \cdot p_{r+1}(t) + (r + 2) \cdot \mu(t) \cdot p_{r+2}(t) + \lambda(t) \cdot p_1(t); \\
 p_{r+2}(t) &= -[\lambda(t) + (r + 2) \cdot \mu(t)] \cdot p_{r+2}(t) + (r + 3) \cdot \mu(t) \cdot p_{r+3}(t) + \lambda(t) \cdot p_2(t); \\
 &\dots \\
 p_n(t) &= -(\lambda(t) + n \cdot \mu(t)) \cdot p_n(t) + n \cdot \mu(t) \cdot p_{n+1}(t) + \lambda(t) \cdot p_{n-r}(t); \\
 p_{n+1}(t) &= -n \cdot \mu(t) \cdot p_{n+1}(t) + \lambda(t) \cdot (p_{n+1-r}(t) + \dots + p_{n+1-1}(t))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_{n+m}(t) &= -n \cdot \mu(t) \cdot p_{n+m}(t) + \lambda(t) \cdot (p_{n+m-1}(t) + \dots + p_{n+m-r+1}(t)) \\
 &= -n \cdot \mu(t) \cdot p_{n+m}(t) + \lambda(t) \cdot (p_{n+m-1}(t) + \dots + p_{n+m-r+1}(t))
 \end{aligned}$$

U stacionarnom režimu rada sistema ($\lambda = const., \mu = const., t \rightarrow \infty$) sistem diferencijalnih jednačina prelazi u sistem algebarskih jednačina:

$$\begin{aligned}
 0 &= -\lambda \cdot p_0 + \mu \cdot p_1; \\
 0 &= -(\lambda + \mu) \cdot p_1 + 2 \cdot \mu \cdot p_2; \\
 0 &= -(\lambda + r \cdot \mu) \cdot p_r + (r + 1) \cdot \mu \cdot p_{r+1} + \lambda \cdot p_0; \\
 0 &= -[\lambda + (r + 1) \cdot \mu] \cdot p_{r+1} + (r + 2) \cdot \mu \cdot p_{r+2} + \lambda \cdot p_1; \\
 &\dots \\
 0 &= -(\lambda + n \cdot \mu) \cdot p_n + n \cdot \mu \cdot p_{n+1} + \lambda \cdot p_{n-r}; \\
 0 &= -n \cdot \mu \cdot p_{n+m} + \lambda \cdot (p_{n+m-1} + \dots + p_{n+m-r+1})
 \end{aligned}$$



Slika 3

$$\begin{aligned}
 &+ (r + 2) \cdot \mu \cdot p_{r+2} + \lambda \cdot p_1; (2) \\
 0 &= -(\lambda + n \cdot \mu) \cdot p_n + n \cdot \mu \cdot p_{n+1} + \lambda \cdot p_{n-r}; \quad (za \ n > r) \\
 0 &= -n \cdot \mu \cdot p_{n+m} + \lambda \cdot (p_{n+m-1} + \dots + p_{n+m-r+1});
 \end{aligned}$$

Rešavanjem sistema jednačina dobijaju se verovatnoće stanja: – za $k < n$

$$p_k = \frac{(\lambda + (k - 1) \cdot \mu)}{k \cdot \mu} \cdot p_{k-1} \quad (3)$$

u slučaju da je $k < n$ i $k > r$ verovatnoće stanja se izračunavaju kao:

$$\begin{aligned}
 p_k &= \frac{(\lambda + (k - 1) \cdot \mu)}{k \cdot \mu} \cdot p_{k-1} \\
 &\cdot p_{k-1} - \frac{\lambda}{k \cdot \mu} \cdot p_{k-r-1} \quad (4) \\
 &- za \ k > n
 \end{aligned}$$

$$p_k = \frac{(\lambda + n \cdot \mu)}{n \cdot \mu} \cdot p_{k-1} \quad (5)$$

u slučaju da je $k > n$ i $k > r$ verovatnoće stanja se izračunavaju kao:

$$p_k = \frac{(\lambda + n \cdot \mu)}{n \cdot \mu} \cdot p_{k-1} - \frac{\lambda}{n \cdot \mu} \cdot p_{k-r-1} \quad (6)$$

Iz uslova:

$$\sum_{k=0}^{n+m} p_k = 1 \quad (7)$$

verovatnoća p_0 izračunava se kao:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n+m} p_k(p_0)} \quad (8)$$

MODEL SISTEMA SA OGRANIČENIM REDOM ČEKANJA [4]

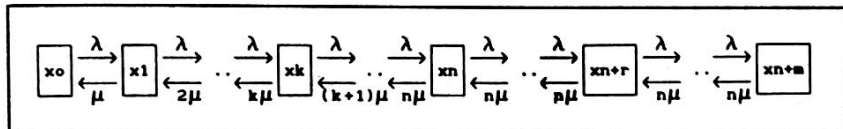
Svaka barža se istovara jednom dizalicom. Ako barža koja dolazi zatekne makar i jednu slobodnu dizalicu prihvata se odmah na opsluživanje ($k < n$). Ako barža koja dolazi zatekne sve dizalice zauzete i makar jedno slobodno mesto u redu čekanja, staje u red i čeka na opsluživanje ($r < m$). Ako barža koja dolazi zatekne sve dizalice zauzete i sva mesta u redu popunjena dobija otkaz ($r \geq m$).

– k predstavlja broj barži u sistemu koje se opslužuju, a r predstavlja broj barži u redu čekanja.

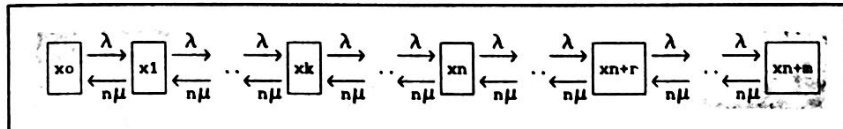
Stanje sistema se određuje prema broju barži u sistemu. Graf stanja takvog sistema ima sledeći oblik (slika 4).

MODEL SA POTPUNOM UZAJAMNOM POMOĆI MEĐU DIZALICAMA I OGRANIČENIM REDOM ČEKANJA [4]

Ako se u sistemu nalazi k barži ($k = 1, 2, \dots, n$) tada će sve dizalice istovarati brže. Dizalice će u tom slučaju biti ravnomerno raspoređene za istovar, zavisno od broja barži. Npr. ako se u sistemu nalazi jedna barža tada će je istovarati sve dizalice (ako je to fizički moguće), ako se u toku



Slika 4



Slika 5

istovara prve barže pojavi druga barža, polovina broja dizalica će preći da istovara drugu baržu, ako se u toku istovaranja prve dve barže pojavi treća to će 1/3 broja dizalica koji trenutno istovaraju barže, preći da istovara treću baržu itd. Na ovaj način će se odvijati istovar sve dok broj barži u sistemu ne bude jednak broju dizalica. U tom slučaju će svaka dizalica istovarati jednu baržu. U slučaju da je broj barži u sistemu veći od broja dizalica formira se red čekanja koji može da ima maksimalno m mesta. Barže koje dolaze u sistem kad u njemu ima već $n+m$ barži, dobijaju otkaz.

Stanje sistema se određuje prema broju barži u sistemu. Graf stanja ovog sistema ima sledeći oblik (slika 5).

NAPOMENA:

Verovatnoća zauzetosti svih dizalica jednaka verovatnoći zauzetosti jedne dizalice.

MODEL SA DELIMIČNOM UZAJAMNOM POMOĆI MEĐU DIZALICAMA I OGRANIČENIM REDOM ČEKANJA [4]

Ako barža zatekne sve dizalice slobodne, prima se na istovar i pri tom je opslužuje l ($l < n$) dizalica. Ako je $n > 2 \cdot l$, to će i druga barža biti istovarena sa l dizalica. Ako barža koja dolazi zatekne i - barži u sistemu, pri čemu je $(i+1) \cdot l \leq n$ to će i i -ta barža biti opslužena sa l dizalica, dok ako zatekne j - barži pri čemu je $(j+1) \cdot l > n$ i $j < n$ to će i j -ta biti prihvaćena na istovar. Ali se sada sve barže neće istovarati sa l dizalica, nego sa manjim brojem. U ovom slučaju dizalice se raspoređuju približno ravnomerno po baržama. Ako se u sistemu istovara $n-1$ barža

tada će sledeća barža biti prihvaćena na istovar i svaka dizalica će istovarati po jednu baržu. U slučaju da je broj barži veći ili jednak n a manji od $n+m$, barža koja dolazi staje u red i čeka na istovar, a ako je broj barži u sistemu jednak $n+m$, barža koja dolazi dobija otkaz.

Stanje sistema se određuje prema broju barži u sistemu. Razlikuju se sledeća stanja:

- x_i - u sistemu ima i - barži ($i = 0, 1, 2, \dots, h$) gde je $h = [n/l]$ - ceo deo broja n/l i svaka barža se istovara sa l dizalica.

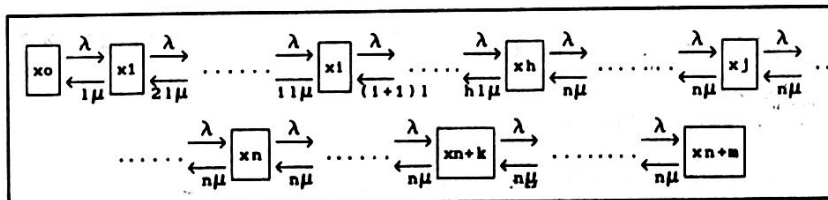
- x_j - u sistemu ima j - barži ($j = h+1, h+2, \dots, n$) sve dizalice istovaraju i ravnomerno su raspoređene po baržama.

- x_k - u sistemu ima k - barži ($k = n+1, n+2, \dots, n+m$), svaka dizalica istovara po jednu baržu i k - barži se nalazi u redu čekanja.

Graf stanja ovog sistema ima oblik (slika 6).

NAPOMENA:

Model sistema opsluživanja sa delimičnom pomoći među kanalima opsluživanja može se primeniti samo u slučaju da je broj kanala za opsluživanje veći ili jednak tri. U slučaju da je broj kanala za opsluživanje jednak dva ($n=2$) a broj kanala koji istovremeno opslužuju jedinicu takođe jednak dva ($l=2$), sistem opsluživanja sa delimičnom uzajamnom pomoći se svodi na sistem opsluživanja sa potpunom uzajamnom pomoći. Dok u slučaju da je broj kanala za opsluživanje jednak dva ($n=2$) a broj kanala koji istovremeno opslužuju jedinicu jednak jedan ($l=1$), sistem opsluživanja sa delimičnom uzajamnom pomoći se svodi na sistem sa čekanjem.



Slika 6

VEROVATNOĆE STANJA I KARAKTERISTIKE SISTEMA OPSLUŽIVANJA

U tablici 2. prikazani su izrazi za izračunavanje verovatnoća stanja sistema u zavisnosti od primenjenog modela koristeći oznake:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}; \alpha = \frac{\lambda}{n \cdot \mu} \text{ i } \rho_1 = \frac{\lambda}{l \cdot \mu}$$

U tablici 3. prikazani su izrazi za izračunavanje statističkih karakteristika sistema u zavisnosti od primenjenog modela.

ODREĐIVNJE SREDNJEG VREMENA ISTOVARA BARŽE

Vreme istovara barže je veoma značajno, jer od njega zavisi vreme koje će barža provesti kako u sistemu tako i u redu čekanja. Vreme potrebno za istovar barže određuje se na osnovu: vrste materijala koji se istovara, prosečne dužine pretovarnog ciklusa, količine materijala koju zahvati grabilica, veličine i nosivosti barže, veličine tovarnog prostora, broja pregrada na barži, zahtevanog stepena čistoće tovarnog prostora, broja pretovarnih mostova (kranova) koji istovaraju baržu itd. [1]

U tablici 4. navedene su promene nekih od uticajnih parametara u zavisnosti od vrste materijala koji se istovara.

Karakteristike barže (tovarni prostor je bez pregrada):

- nosivost: $Q = 1700 \text{ t}$,
- dimenzije: $L \times B \times H = 77 \times 11 \times 2.83 \text{ m}$,
- dimenzije tovarnog prostora: $67 \times 8.54 \times 2.97 \text{ m}$,

Uzimajući u obzir sve gore navedene parametre i na osnovu [2] i [5], srednje vreme potrebno da jedan pretovarni most istovara baržu iznosi:

$$\bar{t}_{is} = 4.6 \text{ h}$$

Vreme potrebno za istovar barže (T) može se takođe, približno odrediti iz izraza [1]:

$$T = \frac{Q_A}{K_A \cdot C} + \frac{Q_B}{K_B \cdot C} = \frac{1415}{510 \cdot 0.812} + \frac{285}{510 \cdot 0.3} = 5.28 \text{ h}$$

gde je:

$Q_A = Q - Q_B = 1415 \text{ t}$ - količina materijala koji se istovara u prvoj fazi rada, kada je barža dovoljno napunjena,

$Q_B = 285 \text{ t}$ [5] - količina materijala koji se istovara u drugoj fazi rada, kada je materijal blizu dna (čišćenje barže),

$K_A = 0.812$ - stepen iskorišćenja pretovarnog kapaciteta u prvoj fazi rada, obuhvata stepen punjenja grabilice, fizička svojstva materijala, gustinu materijala, vremenske uslove, sitne popravke, pro-

Tablica 2

Model:	Izrazi za izračunavanje verovatnoća stanja sistema
GR. DOL.	Verovatnoće stanja izračunavaju se iterativnim postupkom prema izrazima (3) - (8)
KL. SIS.	$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \alpha \cdot \frac{1-\alpha^m}{1-\alpha}}$ $p_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot p_0; k=1,2,\dots,n$ $p_{n+r} = \alpha^r \cdot \rho^n \cdot \frac{1}{n!} \cdot p_0; r=1,2,\dots,m$
POT. POM.	$p_k = \alpha^k \cdot \frac{1-\alpha}{1-\alpha^{n+m+1}}; k=1,2,\dots,n+m;$
DEL. POM.	$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^h \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^h}{h!} \cdot \sum_{k=h+1}^{n+m} \alpha^{k+h}}$ $p_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot p_0; k=1,2,\dots,h$ $p_k = \alpha^{k-h} \cdot \frac{\rho^h}{h!} \cdot p_0; k=h+1, h+2, \dots, n+m$

Tablica 3

Karakteristike sistema:	GR. DOL.	KL. SIST.	POT. POM.	DEL. POM.
Verovatnoća opsluživanja [P_{ops}]	$\sum_{k=0}^{n+m-r} p_k$	$1-p_{n+m}$	$1-p_{n+m}$	$1-p_{n+m}$
Srednji broj zauzetih dizalica (kanala) [\bar{n}_z]	$\sum_{k=0}^m k \cdot p_k + \sum_{k=n+1}^{n+m} p_k$			
Verovatnoća zauzetosti dizalice (kanala) [P_{zk}]	$1-p_0$			
Verovatnoća da su sve dizalice zauzete [P_{pzk}]	$\sum_{k=0}^m p_{n+k}$	$\sum_{k=0}^m p_{n+k}$	$1-p_0$	$\sum_{k=0}^m p_{n+k}$
Verovatnoća postojanja reda [P_{pr}]	$\sum_{k=1}^m p_{n+k}$			
Srednje vreme potpune zauzet. dizalica [\bar{t}_{pz}]	$\frac{1}{n \cdot \mu}$			
Srednje vreme potpune zauz. dizalica [\bar{t}_{npz}]	$\frac{1}{n \cdot \mu} \cdot \frac{1-P_{pzk}}{P_{pzk}}$			
Srednji broj barži u redu [\bar{k}_r]	$\sum_{k=i}^m i \cdot p_{n+1}$			
Srednje vreme koje barža provede u redu [\bar{t}_r]	$\frac{\bar{k}_r}{\lambda}$			
Srednji broj barži u sistemu [\bar{k}]	$\sum_{k=1}^{n+m} p_k$			
Srednje vreme koje barža provede u sistemu [\bar{t}]	$\frac{\bar{k}}{\lambda}$			

menu grabilice i druge nepredviđene faktore,

$K_B = 0.3$ - stepen iskorišćenja pretovarnog kapaciteta u drugoj fazi rada, zavisi od karakteristika materijala, oblika tovarnog prostora, zahtevanog stepena čišćenja barže itd.

$c = 510 \text{ t/h}$ - maksimalni kapacitet pretovarnog mosta.

Zbog preciznijeg načina određivanja vremena istovara (uzima se u obzir brzina kretanja kolica, brzina dizanja tereta, dužina trajanja pretovarnog ciklusa) usvojeno srednje vreme potrebno za istovar

Tablica 5

vid smetnji	vreme trajanja [dana/god.]
led	38
magla	6
vetar	3
Σ	47

Tablica 6

Intenzitet nailaska	sastava barži [λ]	jedne barže [λ]
I faza	0.09185	0.111
II faza	0.037	0.222

barže je: = 4.6 h što znači da kapacitet opsluživanja (istovara) barže jednim krajem iznosi:

$$\mu = \frac{1}{t_{is}} = 0.217 \text{ l/h}$$

ODREĐIVANJE SREDNJEG VREMENA IZMEĐU NAILASKA SASTAVA BARŽI

Rasuti materijal, koji se istovara, dovozi se pomoću sastava barži. U sastavu je moguće da se nađe 2, 4 ili 6 barži, što zavisi od tipa i nosivosti barže kao i od veličine plovnog puta.

Na bazi prikupljenih statističkih podataka vezanih za dopremu materijala rekom za dato proizvodno postrojenje (usvojen je sastav od 6 barži [3], [5]), uslova rada pretovarnog postrojenja (vremenski uslovi, tablica 5) organizacionih i drugih uslova, moguće je odrediti srednje vreme između nailaska sastava barži.

Iz tablice 5 dobija se da godišnji navigacioni period:

$$t_n = 365 - 47 = 318 \text{ dana}$$

Na osnovu projekta I faze izgradnje pretovarnog postrojenja [5], količina materijala koju je godišnje potrebno dopremiti je:

$$Q_d = 1440000 \text{ t/god.}$$

Prosečna količina materijala koja se dnevno doprema u luku iznosi:

$$Q_m = \frac{Q_d}{t_n} = \frac{1440000}{318} = 4528.3 \text{ t/dan}$$

Kako se materijal doprema sa sastavom od 6 barži, to jedan sastav dopremi:

$$Q_s = 6 \cdot Q = 6 \cdot 1700 = 10200 \text{ t materijala}$$

Konačno interval pristizanja sastava barži iznosi:

$$t_s = \frac{Q_s}{Q_m} = \frac{10200}{4528.3} = 2.2525$$

Tablica 4

materijal	gustina [kg/m ³]	zapremina grabilice [m ³]	dimenzije čeljusti grab. [m]	koeficij. punjenja grabilice	broj slojeva iz kojih se mat. istovara	nosivost kрана [t]
gvozd. ruda	2.7	3.2	3.5 x 1.75	0.7	2	12.5
gvozd. ruda	2.45	3.2	3.5 x 1.75	0.75	2	12.5
gvozd. ruda	2.2	3.2	3.5 x 1.75	0.8	2	12.5
krečnjak	1.3	5	4.25 x 2	0.8	3	12.5
antracit	0.8	5	4.25 x 2	0.85	5	12.5

dana ili 54.06 h, odakle se srednji interval pristizanja jedne barže može izračunati kao:

$$T_b = \frac{T_s}{6} = 9.343 \text{ h}$$

Projektom II faze izgradnje pretovarnog postrojenja [5] planira se udvostručiti količine materijala koja se godišnje doprema. Intenziteti nailaska sastava barži za prvu i drugu fazu izgradnje pretovarnog postrojenja dati su u tablici 6.

REZULTATI ANALIZE PROCESA ISTOVARA

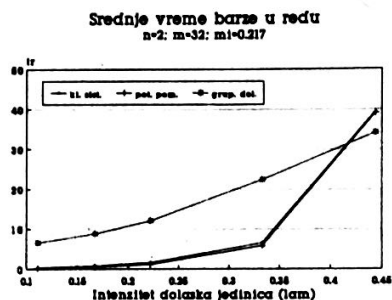
Analiza procesa istovara izvedena pod pretpostavkom da se istovar obavlja pomoću dva (stvarno stanje pretovarnog postrojenja) i tri kрана, za različite intenzitete nailaska sastava. Istovar pomoću tri kрана se rede primenjuje (ali nije nemoguć), jer je potrebno veće ulaganje u infrastrukturu (veća operativna obala, veći broj kranova i više prateće opreme).

Intenzitet nailaska barži je variran u granicama od $\lambda=0.111$ do $\lambda=0.444$, čime je obuhvaćen zahtevani kapacitet prve i druge faze izgradnje objekta kao i povremena preopterećenja, koja mogu nastati zbog lošeg terminiranja dolaska barži (mogući zastoji, kašnjenja, kvarovi).

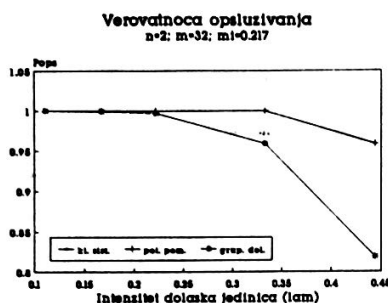
Rezultat analize predstavlja niz statističkih parametara kao što su: verovatnoća opsluživanja barže (sastava barži), srednji broj zauzetih dizalica, verovatnoća zauzetosti dizalica, verovatnoća zauzetosti svih dizalica, verovatnoća postojanja reda, srednje vreme nepotpune zauzetosti dizalica, srednji broj barži u redu, srednje vreme barže u redu, srednji broj barži u sistemu i srednje vreme barže u sistemu.

Na slikama 7–12 predstavljena je promena statističkih parametara za različite intenzitete nailaska barži (sastava barži), pod pretpostavkom da se pretovar obavlja pomoću dve dizalice i da postoji 32 mesta u redu čekanja.

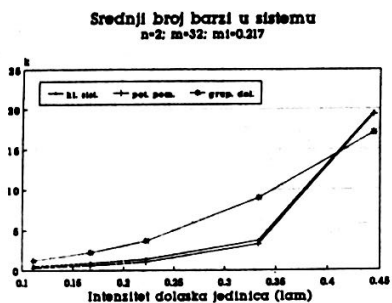
Na slikama 13–18 predstavljena je promena statističkih parametara za različite intenzitete nailaska barži (sastava



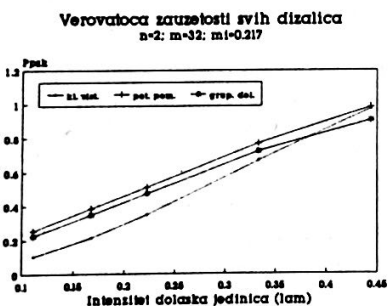
Slika 10



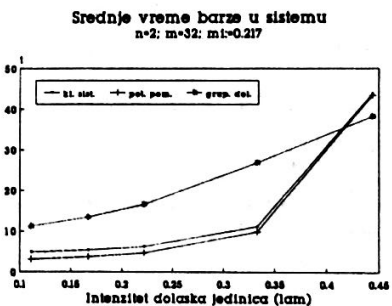
Slika 7



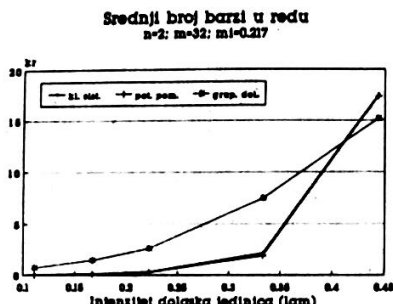
Slika 11



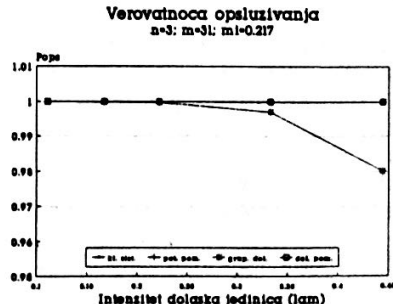
Slika 8



Slika 12

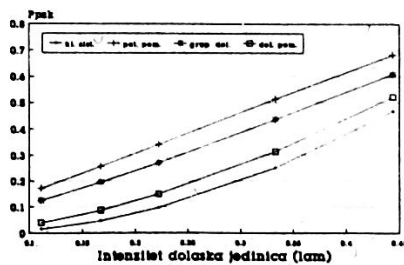


Slika 9



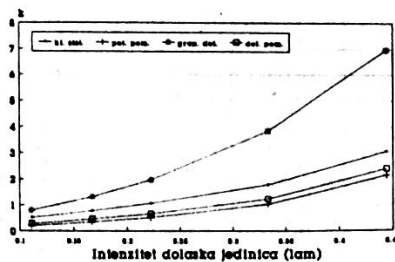
Slika 13

Verovatnoća zauzetosti svih dizalica
n=3; m=31; m1=0.217



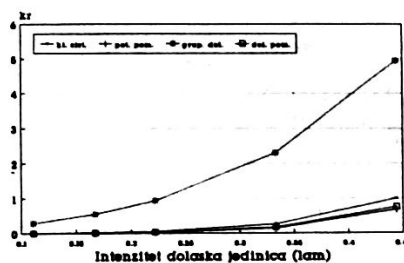
Slika 14

Srednji broj barži u sistemu
n=3; m=31; m1=0.217



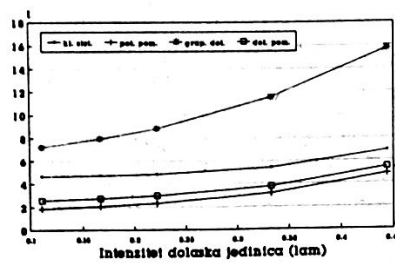
Slika 17

Srednji broj barži u redu
n=3; m=31; m1=0.217



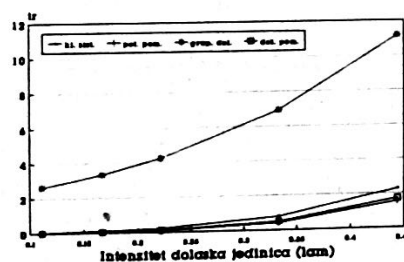
Slika 15

Srednje vreme barže u sistemu
n=3; m=31; m1=0.217



Slika 18

Srednje vreme barže u redu
n=3; m=31; m1=0.217



Slika 16

barži), pod pretpostavkom da se pretovar obavlja pomoću tri dizalice i da postoji 31 mesto u redu čekanja.

ZAKLJUČAK

Prikazani analitički modeli približno opisuju način rada pretovarnog postrojenja, strategiju rada dizalica i intenzitet nailaska sastava barži. U početnoj I fazi istovara baržu istovaraju dve dizalice (što odgovara modelu sa potpunom uzajamnom pomoći ako pretovarno postrojenje ima dve dizalice ili modelu sa delimičnom uzajamnom pomoći ako pretovarno postrojenje ima tri dizalice) nezavisno od to-

ga da li na sledećem vezu barža čeka na istovar. U II fazi istovara (čišćenje barže) baržu istovara samo jedna dizalica (što odgovara modelu višekanalnog sistema opsluživanja i modelu sa grupnim dolaskom barži u sistem) dok ostale dizalice (druga ili druga i treća) prelaze da istovaru sledeću baržu.

Intenzitet nailaska barži najrealnije se opisuje modelom sa grupnim dolaskom barži u sistem, dok kod ostalih modela barže pristupaju u sistem jedna po jedna. U svim primenjenim modelima smatrano je da se vreme između nailaska barži ponaša po eksponencijalnoj raspodeli. U stvarnom slučaju intenzitet nailaska barži je ravnomerniji zbog postojanja sidrišta (barže dolaze na sidrište, pa se odatle potiskivačem dovode do veza), usklađivanja termina isporuka materijala, kao i male verovatnoće da se fizički poklope trenuci dolaska barži.

Stvaran način rada pretovarnog postrojenja, strategiju rada dizalica i intenzitet nailaska barži moguće je jedino opisati simulacionim modelom.

Analizirajući dobijene rezultate zaključuje se da se za iste intenzitete nailaska barži, u slučaju da pretovarno postrojenje ima tri dizalice, verovatnoća opsluživanja povećava dok se verovatnoća zauzetosti dizalica, srednji broj barži i srednje vreme barži u redu i sistemu smanjuje.

Odluku da li graditi pretovarno postrojenje sa dve ili tri dizalice potrebno je doneti na osnovu ekonomske analize.

LITERATURA

- [1] Zrnić, Đ.: Design of a bulk-cargo terminal System for a steel works, using simulation modeling, 1 st International Congress in France, Industrial engineering and management, Tome 2, (AFCET, CEFI, GGI), Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Chatenay Malabry (Paris), str. 599-608.
- [2] Zrnić, Đ., Bojanić, Z., Bugarić, U.: Modeliranje procesa pretovara rasutog tereta prmenljive mase, "20. Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike", Kragujevac 1993.
- [3] Zrnić, Đ., Nedeljkov, D.: Mašinsko-tehnološki projekat istovara i transporta i sirovina (u okviru projekta "Idejno rešenje izgradnje pristanišnih, železničkih i skladišnih kapaciteta za potrebe MKS-a u Smederevu"; CIP, Mašinski fakultet i Građevinski fakultet; autori željezničkog dela projekta: R. Đokić, F. Januzović i Lj. Biočina; autori građevinskog dela projekta: dr D. Muškatirović, dr S. Stevanović i dr M. Lazović.
- [4] Vukadinović, V., S.: Masovno opsluživanje - treće dopunjeno izdanje, Naučna knjiga, Beograd 1988.
- [5] Zrnić, Đ.: Predlog izmene rešenja za Glavni projekat: I faza izgradnje integralne luke MK Smederevo, 2120-08 "Prijemno skladište" - tehnološki projekat - konsalting i revizija, radeno za MK Smederevo i "Ivan Milutinović - PIM" Beograd, Mašinski fakultet, Beograd, 1987/88. god., str. 52.