

Promena radnih parametara sistema za pretovar rasutih tereta u nestacionarnom režimu rada

Prof. dr ĐORĐE ZRNIĆ, dipl. inž. i UGLJEŠA BUGARIĆ, dipl. inž., Institut za mehanizaciju, Mašinski fakultet, Beograd

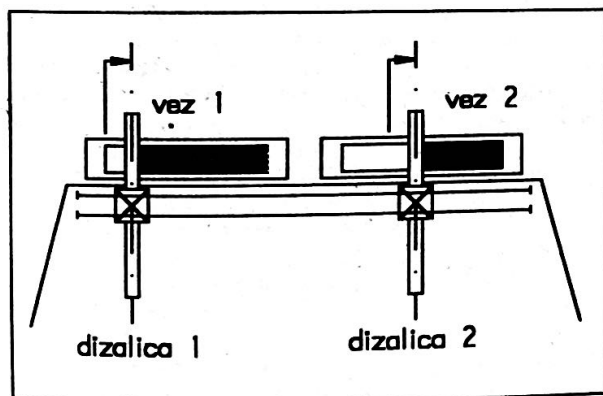
Originalni naučni rad
UDC:656.073.23=861

U radu je analizirana promena (u vremenu) radnih parametara sistema za pretovar rasutih tereta od početnog trenutka (sistem je u početnom trenutku prazan), do trenutka dostizanja stacionarnog režima rada sistema. Prelaz iz nestacionarnog u stacionarni režim rada određuje se na osnovu predloženog kriterijuma. Analiza je izvedena primenom višekanalnog modela teorije redova čekanja sa grupnim dolaskom jedinica u sistem (sastava barži), ograničenim redom čekanja i otkazom koji se odnosi na celu grupu (celokupan sastav barži).

Terminal za pretovar rasutih tereta (slika 1.) egzistira kao veza, u celokupnom transportnom lancu, između reke i skladišta ili tehnološkog postrojenja. Funkcija terminala može da se definiše sledećim: Rečni terminal za pretovar rasutog tereta predstavlja organizaciju različitih aktivnosti, vezanih za rukovanje i upravljanje tokovima materijala od plovila do tran-

na karakteristika ovih materijala je činjenica, da troškovi transporta i manipulacije predstavljaju značajni deo njihove finalne vrednosti [1].

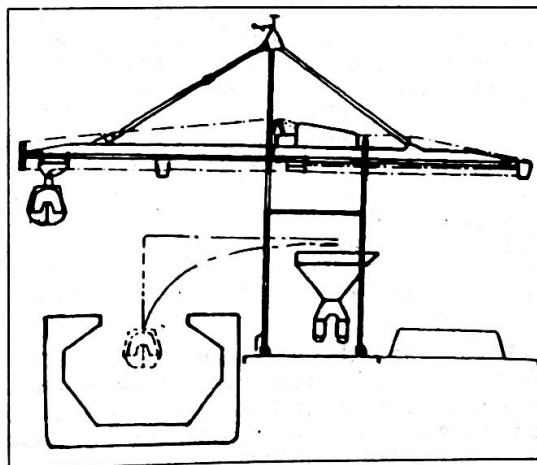
Pretovar rasutih materijala moguće je obavljati pomoću pretovarnih mostova (dizalica) sa grabilicom (slika 2.) ili pomoću uređaja za kontinualni pretovar.



Sl. 1

sportnog sistema skladišta ili tehnološkog postrojenja, koja obezbeđuje maksimalno opsluživanje sastava barži uz minimalne troškove.

Rasuti materijali, koji se istovaruju, su različiti po: granulaciji i mast 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). Značaj-



Sl. 2

MODELIRANJE TERMINALA ZA PRETOVAR RASUTIH TERETA PRIMENOM TEORIJE REDOVA ČEKANJA

Modeliranje terminala, kao faza projektovanja sistema za pretovar rasutih tereta, služi za određivanje osnovnih radnih parametara, kapaciteta i dimenzionisanje terminala za pretovar. Terminal za pretovar rasutih tereta predstavlja najvažniji podsistem sistema za

Prof. dr Đorđe Zrnić, Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80

Rad primljen: 3. 11. 1994.

pretovar, jer on predstavlja mesto gde materijal prelazi sa vodnog sredstva transporta (barža) na kopnena sredstva transporta (npr. trakasti transporter) i samim tim ukoliko nije dobro projektovan može da predstavlja usko grlo u sistemu pretovara.

Prilikom izrade idejnih projekata sistema za pretovar, modeliranje terminala izvodi se jednostavnijim analitičkim modelima teorije redova čekanja, jer se sa njima na lakši način (nije potreban računarski program) dolazi do okvirnih radnih parametara potrebnih za projektovanje terminala za pretovar.

Detaljni proračuni, primenom složenih analitičkih modela teorije radova čekanja uz uzimanje u obzir nestacionarnosti, stohastike i drugih kompleksnih aktivnosti vezanih za rad terminala za pretovar, primenjuju za određivanje radnih parametara terminala pri izradi glavnih projekata sistema za pretovar.

Rad sistema za pretovar rasutih tereta biće analiziran primenom nestacionarnog višekanalnog modela sistema sa ograničenim redom čekanja, grupnim dolaskom jedinica u sistem i otkazom celokupne grupe. Otkaz cele grupe podrazumeva da, ukoliko nije moguće prihvatiti celu grupu, otkaz ne dobijaju samo one jedinice koje nemogu da stanu u red čekanja, već celokupan sastav barži.

MODEL SA GRUPNIM DOLASKOM BARŽI U SISTEM, OGRANIČENIM REDOM ČEKANJA I OTKAZOM CELOKUPNE GRUPE [2, 3, 4 i 5]

Ako sastav barži koji dolazi zatekne sve dizalice slobodne, prihvata se u sistem tako što se onoliko barži iz sastava koliko ima dizalica odmah prihvataju na opsluživanje (svaku baržu istovara po jedna dizalica), a ostale barže iz sastava staju u red čekanja. Kada je određen broj dizalica zauzet, iz sastava barži koji dolazi biće odmah prihvaćeno na opsluživanje onoliko barži koliko je dizalica slobodno, dok će ostale barže iz sastava stati u red čekanja. U slučaju da su sve dizalice zauzete, a broj slobodnih mesta u redu čekanja je veći ili jednak broju barži u sastavu, celokupan sastav barži koji dolazi će biti prihvaćen u sistem i staće u red čekanja. Za slučaj kada su sve dizalice zauzete i kada je broj slobodnih mesta u redu čekanja manji od broja barži u sastavu koji dolazi celokupan sastav barži dobija otkaz.

Radi lakšeg sagledavanja rada modela, jednačine koje opisuju promenu verovatnoća stanja za dati model će biti postavljene za stvarno pretovarno postrojenje sa dve dizalice, trideset dva mesta u redu čekanja i sastav od šest barži ($c = 2; m = 32; r = 6$). [3]

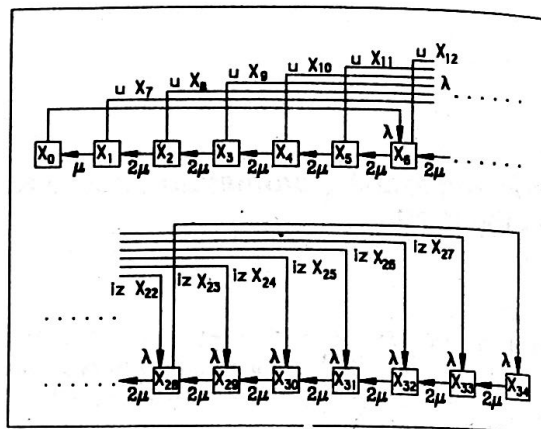
Stanje sistema se određuje prema broju barži u sistemu. Graf stanja sistema je prikazan na slici 3.

Na osnovu grafa stanja sistema dobijamo sistem diferencijalnih jednačina (opšti slučaj) verovatnoća stanja sistema:

$$p'_0(t) = -\lambda(t) \cdot p_0(t) + \mu(t) \cdot p_1(t);$$

$$p'_1(t) = -[\lambda(t) + \mu(t)] \cdot p_1(t) + 2 \cdot \mu(t) \cdot p_2(t);$$

$$p'_i = -[\lambda(t) + 2 \cdot \mu(t)] \cdot p_i(t) + 2 \cdot \mu(t) \cdot p_{i+1}(t);$$



Sl. 3

za $i = 2, 3, 4, 5$

$$p'_i(t) = -[\lambda(t) + 2 \cdot \mu(t)] \cdot p_i(t) + 2 \cdot \mu(t) \cdot p_{i+1}(t) + \lambda(t) \cdot p_{i-6}(t);$$

za $i = 6, \dots, 28$

$$p'_i(t) = -2 \cdot \mu(t) \cdot p_i(t) + 2 \cdot \mu(t) \cdot p_{i+1}(t) + \lambda(t) \cdot p_{i-6}(t);$$

za $i = 29, \dots, 33$

$$p'_{34}(t) = -2 \cdot \mu(t) \cdot p_{34}(t) + \lambda(t) \cdot p_{28}(t); \quad (1)$$

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

$$0 = -\lambda \cdot p_0 + \mu \cdot p_1;$$

$$0 = -(\lambda + \mu) \cdot p_1 + 2 \cdot \mu \cdot p_2;$$

$$0 = -(\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot p_i + 2 \cdot \mu \cdot p_{i+1};$$

za $i = 2, 3, 4, 5$

$$0 = -(\lambda + 2 \cdot \mu) \cdot p_i + 2 \cdot \mu \cdot p_{i+1} + \lambda \cdot p_{i-6};$$

za $i = 6, \dots, 28.$

$$0 = -2 \cdot \mu \cdot p_i + 2 \cdot \mu \cdot p_{i+1} + \lambda \cdot p_{i-6};$$

za $i = 29, \dots, 33.$

$$0 = -2 \cdot \mu \cdot p_{34} + \lambda \cdot p_{28};$$

Prilikom analize sistema diferencijalnih jednačina (1) uočava se da postoje uslovno dve vrste nestacionarnosti i to kada su:

1. parametri λ i μ promenljivi u vremenu, i sistem (u opštem slučaju) sve vreme radi u nestacionarnom režimu, i

Tabl 1

Radni parametri terminala za pretovar rasutih tereta:	Grupni dolazak jedinica u sistem
Verovatnoća opsluživanja [P _{ops}]	$\sum_{k=0}^{c+m+r} p_k$
Srednji broj zauzetih dizalica (kanala) [c _z]	$\sum_{k=0}^c k \cdot p_k + c \cdot \sum_{k=c+1}^{c+m} p_k$
Verovatnoća da su sve dizalice zauzete [P _{pzk}]	$\sum_{k=0}^m p_{c+k}$
Verovatnoća postojanja reda [P _{pr}]	$\sum_{k=1}^m p_{c+k}$
Srednji broj barži u redu čekanja (na sidrištu) [N _w]	$\sum_{k=1}^m k \cdot p_{c+k}$
Srednje vreme koje barža provede u redu čekanja (na sidrištu) [t _w]	$\frac{N_w}{\lambda}$
Srednji broj barži u sistemu [N _s]	$\sum_{k=1}^{c+m} k \cdot p_k$
Srednje vreme koje barža provede u sistemu [t _{ws}]	$\frac{N_s}{\lambda}$

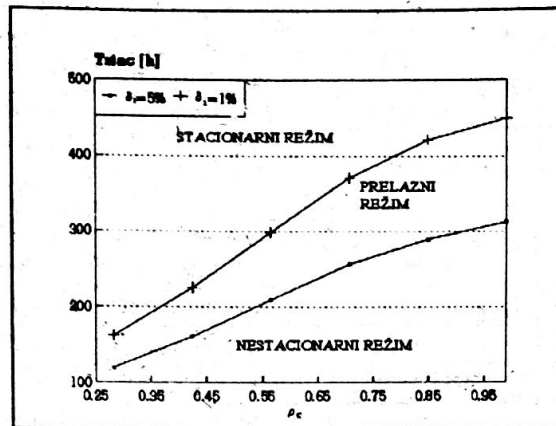
2. parametri λ i μ su konstantni, tada sistem radi u nestacionarnom režimu određeno vreme (dok se ne dostigne stacionarni režim), bez obzira na to kakvo je bilo početno stanje sistema. [3]

U ovom radu biće analizirana samo "druga" vrsta nestacionarnog režima rada sistema.

Rešavanjem sistema diferencijalnih jednačina dobija se promena verovatnoća stanja u vremenu, dok se rešavanjem sistema algebarskih jednačina dobijaju verovatnoće stanja sistema u stacionarnom režimu rada. Posle dovoljno dugog vremena rada, sistem iz nestacionarnog režima prelazi u stacionarni režim reda. Promena verovatnoća stanja u toku vremena je asimptotska. Verovatnoće stanja, dobijene rešavanjem sistema diferencijalnih jednačina (1) u toku vremena, asimptotski se približavaju stacionarnim vrednostima verovatnoća koje se dobijaju rešavanjem sistema algebarskih jednačina (2).

Egzaktan kriterijum za određivanje trenutka prelaska sistema iz nestacionarnog u stacionarni režim ne postoji. Moguće je jedino približno odrediti vremenski interval u kome sistem prelazi iz nestacionarnog u stacionarni režim rada. Približan vremenski trenutak od koga možemo smatrati da je sistem u stacionarnom režimu rada, dovoljno tačan za inženjerske proračune, moguće je odrediti na osnovu razlike verovatnoća stanja u nestacionarnom i stacionarnom režimu rada. Trenutak kada ta razlika bude manja od neke zadate vrednosti možemo smatrati za trenutak ulaska sistema u stacionarni režim rada. [6]

Kriterijum primenjen u ovom radu (3) zasniva se na relativnoj grešci razlike verovatnoća. Trenutak kada apsolutne vrednosti relativne greške razlike svih verovatnoća stanja budu manje od 5% je trenutak ulaska sistema u stacionarni režim rada.



Sl. 4

$$\delta_i = \frac{|p_i(t) - p_i|}{p_i} \cdot 100 \leq 5\%; \quad \text{za } \forall i \in (0, 1, \dots, 34) \quad (3)$$

gde je:

$p_i(t)$ - promena i-te verovatnoće u vremenu, dobijena rešavanjem sistema (1),

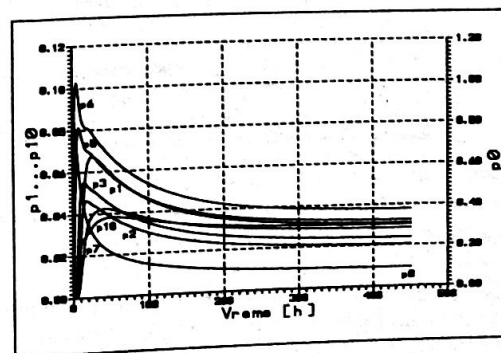
p_i - verovatnoća stacionarnog stanja sistema, dobijena rešavanjem sistema (2).

Približan trenutak dostizanja stacionarnog režima rada sistema zavisi od granica primenjenog kriterijuma. Što su granice kriterijuma uže (npr. 1%, 0,5%, ...) period dostizanja stacionarnog režima je duži.

U tabeli 1. prikazani su osnovni radni parametri terminala za pretovar rasutih tereta.

REZULTATI ANALIZE PROCESA PRETOVARA

Analiziran je procesa pretovara koji se obavlja pomoću dve dizalice i sa 32 mesta u redu čekanja (veličina sidrišta), za različite konstantne intenzitete opterećenja kanala (dizalice) ρ_c . Na osnovu [3], srednje vreme potrebno da jedna dizalica istovari jednu baržu iznosi $t_{is} = 5.1$ h, dok srednji interval nailaska sastava barži iznosi $t_{db} = 2.2525$ dana ili 54.06 h. Ana-



Sl. 5

Tabl. 2

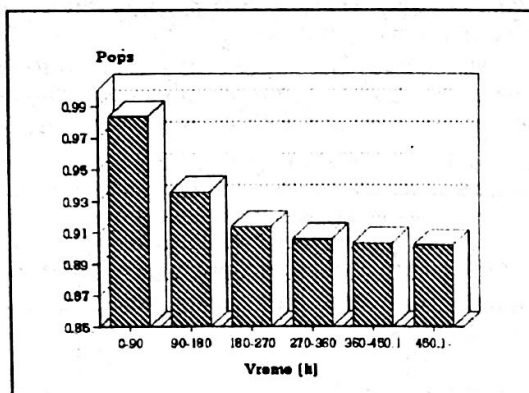
P_c	režim	P_{ops}	c_z	P_{pzk}	P_{pr}	N_w	t_w	N_s	t_{ws}
0,2827	S.R.	1	0.5654	0.2504	0.2151	0.858	7.735	1.424	12.829
	N-S.R.	1	0.5045	0.2250	0.1939	0.744	6.701	1.248	11.246
0.4241	S.R.	0.9994	0.8476	0.3858	0.3423	1.780	10.693	2.628	15.785
	N-S.R.	0.9998	0.7650	0.3486	0.3086	1.497	8.992	2.262	13.588
0.5654	S.R.	0.9960	1.1262	0.5255	0.4808	3.335	15.024	4.461	20.097
	N-S.R.	0.9977	1.0207	0.4748	0.4317	2.704	12.183	3.725	16.781
0.7068	S.R.	0.9834	1.3901	0.6629	0.6232	5.797	20.892	7.187	25.902
	N-S.R.	0.9903	1.2593	0.5971	0.5562	4.532	16.333	5.791	20.871
0.8481	S.R.	0.9533	1.6169	0.7847	0.7543	9.178	27.564	10.795	32.420
	N-S.R.	0.9720	1.4627	0.7045	0.6696	6.964	20.916	8.427	25.309
0.9895	S.R.	0.9017	1.7844	0.8769	0.8566	12.987	33.432	14.771	38.026
	N-S.R.	9.9391	1.6227	0.7909	0.7636	9.803	25.235	11.425	29.412

liza je izvođenja za stacionarni režim rada sistema kao i za vremenski period potreban da sistem pređe u stacionarni režim rada (nestacionarni režim rada). U početnom trenutku sistem je prazan, tj. $p_0(0) = 1$, $p_i(0) = 0$, za $i = 1, 2, \dots, 34$.

Dijagram na slici 4. prikazuje, u zavisnosti od opterećenja kanala (dizalice), režime rada sistema (nestacionarni, prelazni i stacionarni režim), tj. vremenski period posle kojeg sistem ulazi u stacionarni režim rada.

U tablici 2. prikazane su promene, u zavisnosti od intenziteta opterećenja dizalice, radnih parametara u stacionarnom režimu rada i srednje vrednosti radnih parametara u nestacionarnom režimu rada sistema za pretovar rasutih tereta.

Dijagram na slici 5. prikazuje promenu nekoliko prvih verovatnoća stanja sistema u vremenu, od početnog trenutka do trenutka dostizanja stacionarnog režima rada sistema za pretovar.

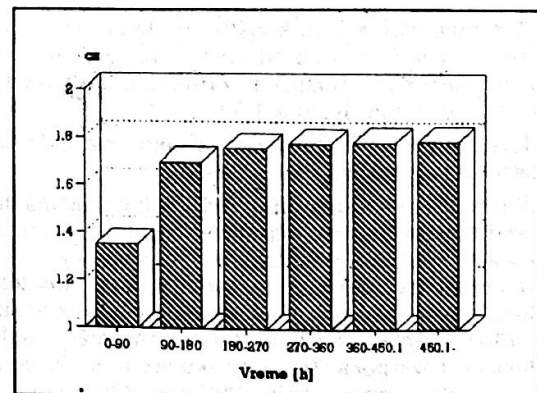


Sl. 6

Na slikama 6 - 13 predstavljena je promena u vremenu radnih parametara sistema za pretovar rasutih tereta u nestacionarnom režimu rada, za intenzitet opterećenja kanala (dizalice) blizak jedinici ($\rho_c = 0.95$).

ZAKLJUČAK

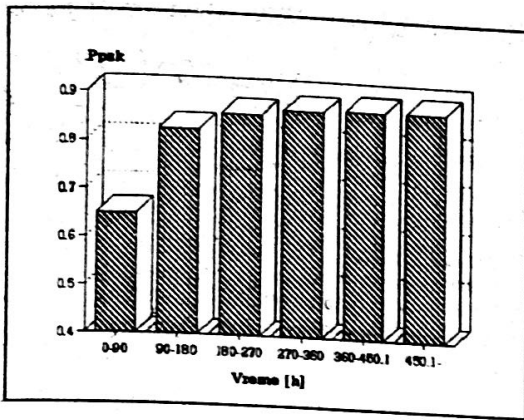
Na osnovu praktičnih iskustava sistem za pretovar, pod dejstvom spoljašnjih uticaja, odstupanja dolaska sastava barži od planiranih, otkaza dizalica, vremenskih uslova itd., prekida rad što ponekad može da



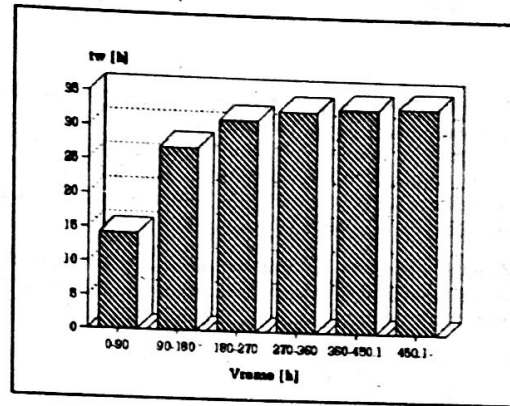
Sl. 7

doveđe do pražnjenja sistema. Po prestanku dejstva spoljašnjih uticaja, pri ponovljenom početku rada, bez obzira na stanje u kome je sistem prekinuo rad, nastupa nestacionarni period rada sistema. Ova činjenica pokazuje neophodnost analize "druge" vrste nestacionarnosti u radu terminala za pretovar rasutih tereta. "Prva" vrsta nestacionarnosti u radu sistema za pretovar, gde svaka dizalica istovara po jednu baržu, praktično nije moguća. Promena intenziteta istovara u posmatranom vremenu, pri istovaru sa dizalicama i grabilicom, povlačila bi za sobom promenu same dizalice, dok se manje neravnomernosti u dolasku sastava barži nivelišu postojanjem sidrišta.

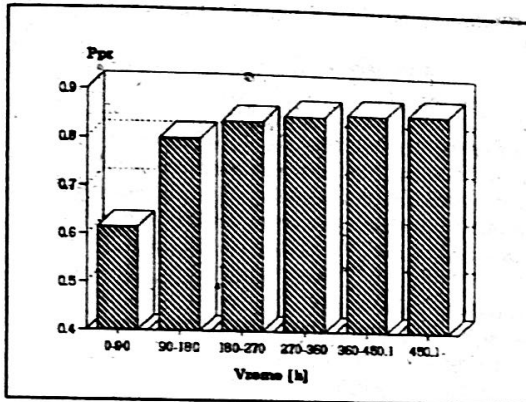
Rezultati sprovedene analize pokazuju da je nestacionarni režim rada povoljniji sa aspekta efikasnosti sistema od stacionarnog režima rada sistema za pretovar. Međutim, pošto su navedeni spoljašnji uticaji stohastičkog karaktera (nije ih moguće predvideti), to se pri projektovanju terminala za pretovar rasutih tereta



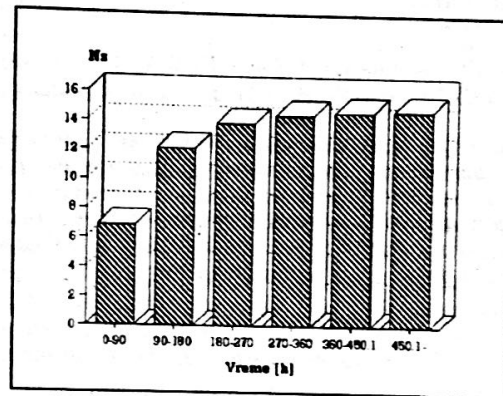
Sl. 8



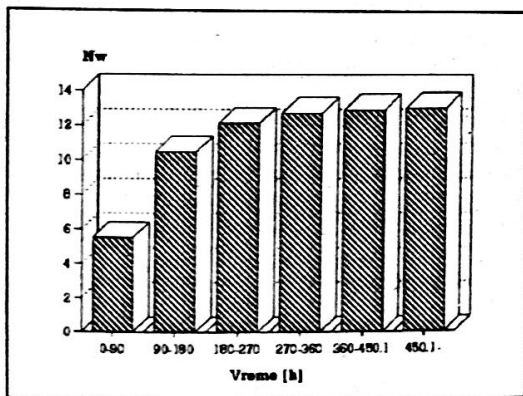
Sl. 11



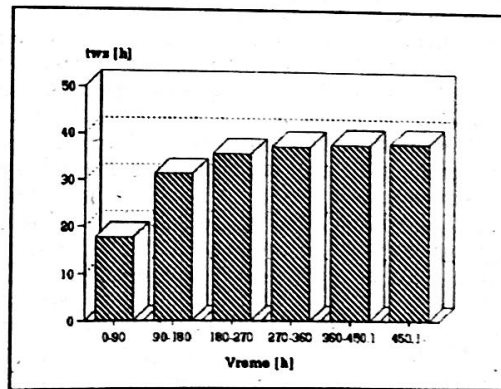
Sl. 9



Sl. 12



Sl. 10



Sl. 13

kao relevantni parametri uzimaju oni iz stacionarnog režima rada.

Pri detaljnom projektovanju terminala za pretovar rasutih tereta neophodno je uzeti u obzir "drugu" vrstu nestacionarnog režima rada sistema, jer se potrebno vreme da sistem uđe u stacionarni režim rada ne može zanemariti. Naročito se na nestacionarni režim rada sistema mora obratiti pažnja ukoliko pretovarni sistem radi sa velikim opterećenjem ($\rho_c \approx 1$) i relativno

čestim prekidima, jer tada nestacionarni režim rada sistema za pretovar traje od 10 - 15! dana.

Ova vrsta nestacionarnosti se može uzeti u obzir preko jednog popravnog koeficijenta kojim bi se množili odgovarajući radni parametri stacionarnog režima rada sistema. Ovi popravni koeficijenti bi se morali određivati na osnovu empirijskih podataka o radu pretovarnog sistema u određenom vremenskom periodu.

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), pp. 599-608.
- [2] Zrnić, Đ., Bugarić, U., Analiza procesa istovara rasutih tereta modelima teorije redova čekanja, Racionalizacija transporta i manipulisanja br. 1/94, pp. 3-8.
- [3] Zrnić, Đ., Bugarić, U., Design of a bulk - cargo system using non-stationary queuing models with bulk arrivals, Transactions, Faculty of Mechanical Engineering, issue. 2/93 Vol. XXII, Beograd 1993, pp. 7-11.
- [4] Vukadinović, V., S., Masovno opsluživanje, treće dopunjeno izdanje, Naučna knjiga, Beograd 1988.
- [5] Kleinrock, L., Queing systems, vol. 1 & 2, John Wiley & Sons, Toronto, Canada 1975.
- [6] Zrnić, Đ., Bugarić, U., The influence of the non-stationary state on the buk - cargo terminal operation, Transactions, Faculty of Mechanical Engineering, Beograd 1994, (prihvaćeno za štampu u julu 1994.).

SUMMARY

MODIFICATION OF WORK PARAMETERS OF THE BULK-CARGO UNLOADING SYSTEM IN NON-STATIONARY WORK ORDER

In this paper was discussed modification (in time period) of work parameters of the bulk-cargo unloading system, from beginning of work (in the beginning, system is empty), until stationary work order is reached. Transition from non-stationary to stationary work order is determined by given criterion. Analysis is performed by using of the multi-channel model of queuing theory with bulk arrival of units to the system (composition of barge), limited waiting queue and cancellation (cancellation is related to the whole composition of barge).