

UNIVERZITET U BEOGRADU  
MAŠINSKI FAKULTET

DORDE ZRNIĆ  
DUŠAN PETROVIĆ

STOHAŠTIČKI PROCESI U  
TRANSPORTU

STOCHASTIC PROCESSES IN THE  
MATERIAL FLOW

BEOGRAD, 1994.

UNIVERZITET U BEOGRADU  
MAŠINSKI FAKULTET

DORĐE ZRNIĆ  
DUŠAN PETROVIĆ

STOHAISTIČKI PROCESI U  
TRANSPORTU

STOCHASTIC PROCESSES IN THE  
MATERIAL FLOW

BEOGRAD, 1994.

# UNIVERZITET U BEOGRADU

Prof. dr Đorđe Zrnić, dipl. ing.  
Mr Dušan Petrović, dipl. ing.

## STOHAŠTIČKI PROCESI U TRANSPORTU

## STOCHASTIC PROCESSES IN THE MATERIAL FLOW

Recenzenti

Dragutin Popović, red. profesor  
Dr Velimir Simonović, red. profesor

Izdavač Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
Beograd, 27. marta 80

Štampanje odobrila  
Komisija za izdavačku delatnost Mašinskog fakulteta  
u Beogradu 07.04.1993.

Glavni i odgovorni urednik  
Prof. dr Martin Bogner, dipl. ing.

Za izdavača  
Milena Lukić, dipl. filozof

Tiraž: 200 primeraka

Štampa: Grafički atelje "Galeb"

---

Preštampavanje ili umnožavanje nije dozvoljeno

# PREDGOVOR

Kretanje materijala zauzima značajno mesto u industrijskim sistemima i kao ključni podsistem proizvodnih skladišnih i sličnih sistema praktično opredeljuje njihovu efikasnost. Razvoj teorije i prakse projektovanja sistema kretanja materijala zauzima izuzetno značajno mesto jer je to prva karika koja omogućuje formiranje kvalitetnijeg rešenja. Modeliranje i razvoj modela koji se koriste u projektantskoj praksi predstavljaju deo postupka projektovanja koji stalno mora da se razvija u cilju dobijanja povoljnih rešenja.

Primena i razvoj odgovarajućih modela u procesu modeliranja sistema kretanja materijala zahteva poznavanje i proučavanje neophodnih parametara koji karakterišu njihovo ponašanje. Proučavanje ovih parametara ukazuje na izrazito postojanje stohastičkih procesa u ponašanju realnih sistema. U teoriji je razvijen niz modela (analitičkih i simulacionih) stohastičkog karaktera ali je za njihovo korišćenje neophodno poznavanje realnih promena pojedinih parametara sistema (raspodela vremenskih parametara, broj jedinica u sistemu i sl.).

Knjiga obuhvata analizu realnih procesa kretanja materijala, njihovu sintezu i prikaz dobijenih neophodnih ulaznih parametara koji se koriste u procesu modeliranja. Ovaj način omogućuje korišćenje postojećih i razvoj novih modela kojima će moći znatno bolje da se opiše realni sistem. Formirana baza podataka o radu i ponašanju izvedenih sistema kretanja materijala koristi se kao izvor znanja za projektovanje novih sistema i rekonstrukciju postojećih. Baza podataka i dobijene zakonitosti o ponašanju sistema na osnovu istraživanja, predstavljaju nov pristup ovoj problematici i doprinose razvoju modeliranja i projektovanja u ovoj oblasti.

Treba istaći da sprovedena istraživanja i ostvareni rezultati koji su dati u ovoj knjizi nisu do sada poznati u svetskim razmerama tako da predstavljaju doprinos modeliranju i projektovanju sistema kretanja materijala i daju knjizi monografski karakter.

Knjiga je podeljena na osam poglavlja:

I poglavlje - dati su osnovni prilazi u analizi sistema kretanja materijala koji su upoređeni po ostvarenim rezultatima,

II poglavlje - data je veza između proizvodnih sistema i sistema kretanja materijala,

III poglavlje - dat je prikaz osnovnih pravaca za rešavanje sistema kretanja materijala,

IV poglavlje - data je analiza parametara koji utiču na sistem kretanja materijala,

V poglavlje - data je razlika između determinističkog i stohastičkog pristupa sistemu kretanja materijala,

VI poglavlje - dat je prikaz stohastičkih procesa koji su značajni za ovu oblast,

VII poglavlje - prezentirani su dobijeni rezultati analize sistema kretanja materijala sa formiranom bazom podataka i zakonitostima o ponašanju sistema, VIII poglavlje - dato je završno razmatranje, istaknuti su dobijeni rezultati i ukazano na pravce daljeg razvoja.

Koristimo priliku da se zahvalimo profesorima Mašinskog fakulteta Dragutinu Popoviću i Dr Velimiru Simonoviću na obavljenoj recenziji, kao i Uglješi Bugariću dipl. ing. na tehničkoj obradi knjige.

Značaj istraživanja koja su prikazana u knjizi podstakao je autore da daju predgovor sa detaljnim opisom sadržaja po poglavljima i spiskom tablica i slika sa potrebnim objašnjenjima i na engleskom jeziku čime je učinjen pokušaj približavanja sadržaja knjige autorima iz sveta.

U Beogradu, mart 1994.

AUTORI

#### IZVOD IZ RECENZIJE

... Knjiga predstavlja monografsko delo o problemu analize i projektovanja sistema kretanja materijala kao ključnih podsistema proizvodnih, skladišnih i drugih radnih sistema koji praktično opredeljuju njihovu efikasnost. ...

... Knjiga koja je pred nama predstavlja sintezu do sada ostvarenih rezultata u razvoju i uvođenju pristupa i metoda rešavanja sistema kretanja materijala kao stohastičkog problema, koji se prezentiraju u obliku sistematizacija i klasifikacija proizvodnih i skladišnih sistema i njihovih delova sa aspekta problema i ponašanja sistema kretanja materijala i odgovarajućih stohastičkih promena ulaznih i izlaznih variabla koje određuju zadatke i rešenja sistema i uslove njegove optimizacije; zatim analiza rezultata ponašanja pojedinih vrsta sredstava transporta - transportnih uređaja kao i postavljanje sistema prikupljanja, sređivanja i obrade podataka i na taj način formiranja baza podataka koji se mogu koristiti u rekonstrukcijama postojećih i projektovanju sistema kretanja materijala u novim rešenjima proizvodnih, skladišnih i drugih radnih sistema. Treba posebno istaći da sprovedena istraživanja i ostvareni rezultati koji se ovde daju nisu do sada poznati u svetskim razmerama tako da predstavljaju izuzetan doprinos razvoju pristupa i metoda tretiranja problema kretanja materijala. ...

## PREFACE

One of the main parameters for the development of the industry of a country is the development of the material flow system. The area of material flow in industry must be examined through integral movement of material and goods through process such as production, warehousing, assembling etc. This problem today is an element that contains reserve of abilities for rationalization of production.

The time that material spends in the production process is directly related to the material flow system and by this it's connected with the whole cycle time of production. The cost of transport and moving of material can not be neglected. A well designed system of material flow enables rational use of devices and optimal time of stay of material and parts in production.

Development of material flow system considers meeting the goals of the development of production system which is through days getting more complex. This means that greater number of parameters influence the work of the system and they are of stochastic character. This means that the different approach and analyze in design of the system must be used.

Models for representing the material flow system are developed and theoretical cultivated. The designer must choose and use the models which best represent the real system. The problem is how to represent the real system, which parameters to use to enter the model so that the results in the best way represent the behavior of the real system of material flow.

For that part of work it is best to form a data base on behavior of the systems which would be used in designing providing in this way better description and evaluation of parameters which are used in the models. This data base should be used in developing new models for modeling of real systems. Because of the nature of material flow system knowledge of stochastic elements of the system has the priority and the most value.

The whole book is devoted to this problem. The main idea is that the user or the designer of factories, warehouses, transport system etc., or the designer of industrial plants is able to use the results and main trends of behavior of the systems, subsystems and devices given in the book for his better designing. The basic influence on the material flow system and vice versa with the presented data base is able and the use of the models is quicker and effective and the gained results are more sophisticated. The representation of the real system in this way is qualitatively better. The material in the book is presented in eight chapters.

I chapter - gives the main approach to the material flow system with a brief view on up to date approaches to this area. The evolution in approaches from deterministic to stochastic aims is underlined. Compare between the approaches i presented by a unique table with all of the analyzed results.

II chapter - is devoted to the connection between the production system and the material flow system. The connection is based on the types of the layout witch exists in the plants of industry.

III chapter - deals with some of the main approaches of solving material flow system problems. Two approaches the Toyota with Kanban system and MRP - II system are given and the differences are pointed out due to there influence on the material flow system.

IV chapter - gives an analyze of parameters which have the most influence on the material flow and their description. The main parameters that influences the material flow systems which are here analyzed are: layout, flow of material, type of material, transport units, transport devices, time of transport and manipulation, warehouses, plant buildings etc.

V chapter - presents the difference of deterministic and stochastic approach in solving the material flow systems together with their influence on the system. The influence of stochastic processes on the material flow system is underlined.

VI chapter - is basically turned to stochastic process which exist in the material flow systems and their analyses. The statistical computer program IMM-F-TEST for examining data base results made on working system of stochastic values is presented.

VII chapter - is the central and main part of the book. In this chapter data base of results is created and presented. The data base gives the main behavior of system of material flow in different industrial systems, as well as the behavior of transport device which are used in the systems. Using the data base trends of behavior of industrial systems and sub systems and devices are formed. They are used in modeling and designing of material flow systems and with this in designing of factories, warehouses and other industrial systems.

VIII chapter - is the conclusion of the work. The significant results are pointed out and a view of gained results is given.

## LIST OF TABLES

table 1.1. -brief view on up to date approach of material flow system analyses with the main results.

table 1.2. -brief view on up to date approach of analyses of transport devices and their influences on the material flow system.

table 3.1. -schematic models - their common application.

table 3.2. -mathematical models - classification based on their main characteristics

table 7.1. -list of warehouses which material flow systems were analyzed.

table 7.2. -list of factories which material flow systems were analyzed.

- table 7.3. -list of systems in which the transport devices - fork lift trucks were analyzed.
- table 7.4. -list of systems in which the transport devices - trucks were analyzed.
- table 7.5. -list of systems in which the transport devices - cranes were analyzed.
- table 7.6. -list of systems in which the transport devices - high bay cranes were analyzed.
- table 7.7. -list of systems in which the transport units were analyzed.
- table 7.8. -overview of distribution probability of input and output of production and warehouse systems for all analyzed systems.
- table 7.9. -overview of distribution probability of behavior of transport devices which were analyzed in various systems.
- table 7.10. -overview of deterministic and stochastic processes which were recognized in the analyze of the material flow systems in production and warehouse surroundings.
- table 7.11. -overview of the deterministic and stochastic process which were recognized in the analyze of the work of transport devices of material flow system.

## LIST OF FIGURES

- figure 2.1. -elements of the production system.
- figure 3.1. -classification of models - block diagram.
- figure 3.2. -classification of models based on their characteristics.
- figure 4.1. -histogram representing the velocity of people flow in the industrial plants.
- figure 4.2. -diagram of velocity of people flow (80% of the max. flow) in different surroundings.
- figure 4.3. -diagram of velocity of people flow in industrial plants given on the base of research done in the Institute of the Material Flow - Mechanical faculty University of Belgrade.
- figure 5.1. -knot point - borders, input and output.
- figure 6.1. -stochastic process - variety of states.
- figure 6.2. -algorithm of the program IMMF-TEST 3.0 for statistical analyses on data base results of working systems material flow.
- figure 6.3. -results of the program - one example.
- figure 6.4. -experimental and theoretical curves of gained results of the program.
- figure 7.1. -relationship of the inputs and outputs of the material flow system.
- figure 7.2. -input and output probability distributions of the production systems which produces one product on product arrangement of layout.
- figure 7.3. -input and output probability distributions of the production systems producing more than one products on product arrangement of layout.



- figure 7.4. -input and output probability distributions of the production systems - fixed arrangement of the layout.
- figure 7.5. -input and output probability distributions of the production systems - process arrangement of the layout.
- figure 7.6. -input and output probability distributions of the warehouse systems (block and rack storage of the final products) which comes after the production system and supports the out door transport system.
- figure 7.7. -input and output probability distributions of the warehouse systems (block and rack storage in receiving material) which comes after the production system and supports the out door transport system.
- figure 7.8. -input and output probability distributions of the warehouse systems in production which comes after the continuous production and before discontinuous production.
- figure 7.9. -input and output probability distributions of the warehouse systems in production which comes after the discontinuous production and before continuous production.
- figure 7.10. -input and output probability distributions of the assembly line with continuous transport system.
- figure 7.11. -probability distribution of the fork lift truck - standard operation, part of the cycles.
- figure 7.12. -probability distribution of the fork lift truck - loading and unloading operation.
- figure 7.13. -probability distribution of the fork lift truck - cycles of the work - short transport path.
- figure 7.14. -probability distribution of the fork lift truck - cycles of the work - medium transport path.
- figure 7.15. -probability distribution of the fork lift truck - cycles of the work - long transport path.
- figure 7.16. - influence of the length of the transport path for fork lift truck due to stochastic and deterministic process of his work.
- figure 7.17. -probability distribution of the crane - cycles of the work.
- figure 7.18. -probability distribution of the high bay crane - cycles of the work.
- figure 7.19. -probability distribution of the high bay crane - cycles of the order picking.
- figure 7.20. -probability distribution of the high bay crane translator - cycles of the work.
- figure 7.21. -probability distribution of the truck - out door transport.
- figure 7.22. -probability distribution of the transport unit - cycles of the palletisation.
- figure 7.23. -probability distribution of the transport unit - packing and sorting on the palette.
- figure 7.24. -probability distribution of the transport unit - packing on the palette.

# SADRŽAJ:

UVOD .....	1
1. KRETANJE MATERIJALA .....	4
1.1. DOSADAŠNJA ISKUSTVA I PRAVCI RAZVOJA U OBLASTI KRETANJA MATERIJALA .....	6
2. PROIZVODNI SISTEM I KRETANJE MATERIJALA .....	15
2.1. RASPORED PROSTORA I OPREME - LAYOUT .....	16
2.1.1. LAYOUT PREMA PROCESU .....	16
2.1.2. LAYOUT PREMA PROIZVODU .....	17
2.1.3. SISTEMI SA FIKSNIM POZICIJAMA PROIZVODA .....	18
2.1.4. KOMBINOVANI LAYOUT .....	18
3. NEKI PRISTUPI REŠAVANJU PROBLEMA KRETANJA MATERIJALA .....	19
3.1. JAPANSKA I EVRO-AMERIČKA PROIZVODNA FILOZOFIJA .....	19
3.1.1. OSNOVE PRISTUPA SHIGEO SHINGA /35/ .....	20
3.1.2. OSNOVE PRISTUPA TOYOTA SISTEMA .....	21
3.1.3. OSNOVE PRISTUPA MRP II SISTEMA .....	22
3.1.4. OSNOVNE RAZLIKE IZMEĐU JAPANSKOG I EVRO-AMERIČKOG PRISTUPA PROBLEMU FORMIRANJA PROIZVODNIH SISTEMA .....	23
3.2. SISTEMSKI PRISTUP .....	26
3.3.1. MODELI .....	28
4. PARAMETRI KOJI UTIČU NA KRETANJE MATERIJALA .....	34
4.1. RASPORED PROSTORA I OPREME - LAYOUT .....	34
4.2. TOKOVI MATERIJALA U SISTEMU .....	35
4.3. VRSTE MATERIJALA KOJI SE KREĆE U SISTEMU .....	36
4.4. TRANSPORTNA JEDINICA - JEDINIČNI TERET .....	37
4.5. TRANSPORTNI UREĐAJI .....	37
4.6. VREME TRANSPORTA (RUKOVANJA) MATERIJALOM .....	39
4.7. TRANSPORTNI PUTEVI - SAOBRAĆAJNICE .....	40
4.8. SKLADIŠTA .....	41
4.9. ZALIHE MATERIJALA .....	42
4.10. PRIJEM I ODPREMA MATERIJALA .....	43
4.11. KRETANJE LJUDI U INDUSTRIJSKIM SISTEMIMA /61/ .....	43
4.12. OBLIK ZGRADE .....	46

5. KRETANJE MATERIJALA - DETERMINISTIČKI I STOHAISTIČKI PRISTUP .....	48
6. STOHASTIKA KAO ELEMENT SISTEMA KRETANJA MATERIJALA.....	53
6.1. STOHAISTIČKI PROCESI .....	53
6.2. OBRADA I SISTEMATIZACIJA SNIMLJENIH PODATAKA .....	57
7. ANALIZA SISTEMA KRETANJA MATERIJALA .....	64
7.1. VREMENSKI PARAMETRI KOJI SU OD ZNAČAJA ZA SISTEM.....	65
7.2. ANALIZA RADA POSTOJEĆIH SISTEMA KRETANJA MATERIJALA.....	66
8. ZAKLJUČAK.....	94
LITERATURA.....	99

## 6. STOHASTIKA KAO ELEMENT SISTEMA KRETANJA MATERIJALA

Stohastički procesi su faktor koji bitno utiče na kretanje materijala. Da bi ova oblast mogla da se proučava i modeliraju realni sistemi potrebno je poznavanje stohastičkih procesa. Iz pregleda literature posvećene ovoj oblasti (poglavlje 1.) uočava se da se je proučavanje kretanja materijala počelo determinističkim pristupom. Kasnije se stohastički procesi uvode u analizu određenih elemenata i sa razvojem ove oblasti zauzimaju ključno mesto u modeliranju sistema. U razvoju matematičkih modela značajnu ulogu ima teorija redova čekanja /17/ i proučavanje stohastičkih modela treba početi od ovih procesa.

Fenomen redova čekanja je izuzetno značajan tamo gde postoje uska grla. Modeli teorije čekanja daju dobre rezultate pri analizi postojećih sistema transporta kao i pri projektovanju novih sistema za analizu rada kritičnih tačaka sistema. Pri tome je neophodno proučavati veličine koje karakterišu sistem: raspodelu intervala između dolaska jedinica u sistem i raspodelu vremena zadržavanja u procesu - opsluživanja. Ove veličine su najčešće slučajne i omogućavaju da se definiše sistem opsluživanja.

Raspodele koje karakterišu sistem kretanja materijala moraju se poznavati da bi se izabrao odgovarajući model. Mogu se pretpostaviti od strane projektanta. Ovakav pristup se često koristi kada se malo zna o procesu ili sistemu. U projektantskoj praksi mnogo je bolje koristiti iskustva o ponašanju sličnih sistema i proizvoljnost u pristupu zameniti preporučenim distribucijama promenljivih koje karakterišu sistem. Ponašanje sistema i raspodela promenljivih mogu se dobiti analizom postojećih sistema i njihovom generalizacijom. Odnosno neophodno je formirati bazu podataka o ponašanju promenljivih tako da se odgovarajućim modelima mogu da opišu realni sistemi i dobijeni rezultati imaju veću upotrebnu vrednost.

### 6.1. STOHAISTIČKI PROCESI

Postoji više vrsta stohastičkih procesa zavisno od veze promenljivih. Definisane stohastičkog procesa je nemoguće bez predhodnog definisanja slučajne veličine. U transportnim procesima većina uticajnih faktora se mogu

tretirati kao slučajne veličine. To se odnosi na dolazak jedinica u sistem, vreme zadržavanja delova u sistemu, izlaz jedinica iz sistema i sl.

Najznačajnija odlika stohastičkih procesa je veza slučajnih promenljivih  $X(t)$  sa drugim članovima porodice. U svakom slučaju funkcija  $F_x(X,t)$  stvarno opisuje zavisnost slučajno promenljivih stohastičkih procesa. Zbog značaja ovog parametra treba razmotriti osnovne veze koje postoje i na koji način se dolazi do određene klasifikacije stohastičkih procesa prema vezi koja postoji između promenljivih u porodici.

Prema vezi koja postoji između slučajnih promenljivih mogu se stohastički procesi podeliti na [17]: stacionarne procese, nezavisne procese, Markovljev proces, proces umiranja i rađanja, polu Markovljev proces, proces slučajnog kretanja i proces obnavljanja.

Stacionaran proces. Stohastički proces  $X(t)$  je stacionaran ako je izraz  $F_x(X,t)$  invarijantan u odnosu na intervale vremena za sve vrednosti argumenta, tj. ako se uzme konstantno  $\tau$  mora da važi:

$$F_x(X;t+\tau) = F_x(X;t)$$

gde obeležavanje  $t+\tau$  definiše vektor  $(t_1+\tau; t_2+\tau; \dots; t_n+\tau)$ .

Nezavisni proces, najjednostavniji stohastički proces koji se razmatra je onaj gde slučajni interval u kome  $\{X(t)\}$  formira grupu nezavisnih slučajnih promenljivih tj. veza funkcije distribucije verovatnoće za ovaj stohastički proces može da se razlikuje u proizvodu:

$$f_x(X,t) = f_{x_1 \dots x_n}(X_1, X_2, \dots, X_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = f_{x_1}(X_1; t_1) \dots f_{x_n}(X_n; t_n)$$

Odnosno to znači da ne postoji nikakva zavisnost između slučajno promenljivih kod ovih procesa.

Markovljev proces. A. A. Markov je stvorio jedinstvenu i veoma korisnu formu zavisnosti između slučajno promenljivih koje čine stohastički proces, koja je sada poznata kao Markovljev proces. Markovljev proces sa diskretnim stanjima prostora se definiše kao Markovljev lanac. Grupa slučajnih promenljivih  $\{X_n\}$  formira Markovljev lanac ako verovatnoća da sledeća vrednost (stanje)  $X_{n+1}$  zavisi samo od sadašnje vrednosti stanja  $X_n$  a ne od prethodnih vrednosti, odnosno imamo slučajnu sekvencu u kojoj se zavisnost pruža nazad jednu jedinicu u vremenu. Na taj način celokupna prošlost utiče na budućnost procesa u sumiranoj vrednosti tekuće vrednosti procesa.

Kod vremenski diskretnog Markovljevog lanca trenutci kada se stanje menja mogu se predodrediti da budu u celobrojnim vrednostima 0,1,2, ..., n. U slučaju vremenski kontinualnog Markovljevog lanca, transakcije između stanja mogu da se dogode u bilo kom trenutku u vremenu, Markovljev proces je takav da se uticaj prošlosti sumira u specifikaciju tekućeg stanja, što uvodi velika ograničenja za distribuciju vremena da proces može da ostane u datoj fazi. U stvari za vremenski diskretan Markovljev proces ovo vreme zadržavanja se distribuira po eksponencijalnoj raspodeli, dok se kod vremenski kontinualnih Markovljevih procesa ovo opisuje geometrijskom raspodelom jer je to jedina funkcija raspodele koja ne zavisi od prethodnih vrednosti ("bez sećanja").

Izražen analitički Markovljev proces se može napisati kao:

$$P \{ X(t_{n+1}) = x_{n+1} \mid X(t_n) = x_n, X(t_{n-1}) = x_{n-1}, \dots, X(t_1) = x_1 \} = \\ = P \{ X(t_{n+1}) = x_{n+1} \mid X(t_n) = x_n \}$$

gde je:  $t_1 < t_2 < \dots < t_n < t_{n+1}$ ,

Proces umiranja i rađanja. Vrlo važan specijalni slučaj Markovljevih lanaca koji može biti diskretan, kontinualan i u kome se transakcija stanja odvija samo između susednih stanja. Može da se izborom grupe celobrojnih predstavi kao diskretno stanje prostora (a da se ne gubi generalnost), proces umiranja i rađanja zahteva da ako  $X_n = i$  tada  $X_{n+1} = i-1$  ili za  $X_n = i$ ,  $X_{n+1} = i+1$  ne može da se ostvari ni jedno drugo stanje.

Polu Markovljev proces. U diskretnom Markovljevom lancu pravilo je da se u svakom jediničnom intervalu vremena od procesa zahteva da napravi transakciju iz tekućeg stanja u neko drugo stanje. Verovatnoća transakcije je proizvoljna, mada zahtev da se transakcija obavi u svakom intervalu vremena vodi činjenici da vreme provedeno u jednom stanju se raspoređuje po geometrijskom zakonu. Ovo uvodi velika ograničenja koje ako želimo da umanjimo, odnosno da uvedemo proizvoljnu distribuciju, vreme ostajanja u nekom stanju vodi nas direktno do notacije diskretnog polu Markovljevog procesa. Kod ovog procesa moguće je da vreme između transakcija se ponaša po proizvoljnoj distribuciji verovatnoće, stim da se u trenutcima transakcije stanja procesa ponaša kao običan Markovljev proces.

Kod kontinualnih polu Markovljevih procesa dozvoljeno je da se transakcije obavljaju u bilo kom trenutku vremena. Prema Markovljevom procesu zahteva se eksponencijalna distribucija vremena u stanju ali se sada kod ovog procesa dozvoljava proizvoljna distribucija, što omogućava daleko veću generalnost u pristupu.

Proces slučajnog kretanja (random walks). Za proces slučajnog kretanja može se govoriti o subjektu koji se kreće među stanjima u nekom (recimo diskretnom) prostoru stanja. Najznačajnije je identifikovati lokaciju subjekta u prostoru stanja. Osnovna odlika procesa slučajnog kretanja je da je sledeća pozicija koju proces zauzima jednaka prethodnoj poziciji plus slučajna promenljiva čija vrednost je nezavisno izvučena iz slučajne distribucije. Ova distribucija se ne menja sa stanjem procesa. To znači da sekvenca slučajne promenljive  $\{S_n\}$  se ponaša po procesu slučajnog kretanja ako :

$$S_n = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad n = 1, 2, \dots$$

gde je:

$$S_0 = 0 \text{ a}$$

$X_1, X_2, \dots$  - su sekvence nezavisno slučajno promenljivih. Indeks  $n$  u stvari određuje broj stanja transakcija kroz koje proces prolazi, pod uslovom da je interval ovih transakcija uzet iz diskretne grupe, tada se dobija diskretni proces slučajnog kretanja. Ako se oni uzimaju iz kontinijuma onda imamo kontinualni proces slučajnog kretanja.

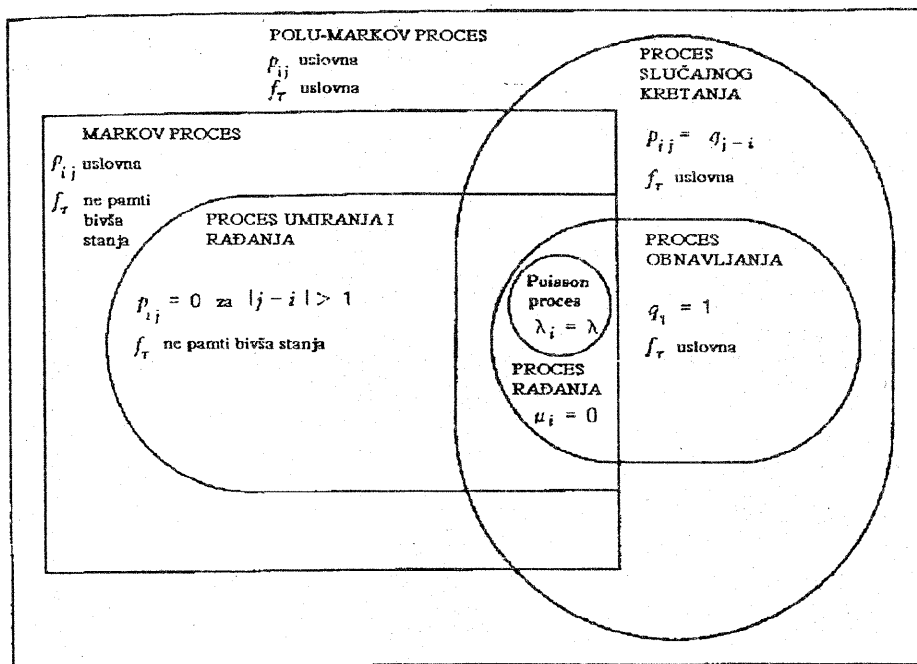
Predpostavlja se kod ovih procesa da interval između ovih transakcija je distribuiran po bilo kojoj raspodeli tako da je proces slučajnog kretanja u stvari specijalan slučaj polu Markovljevog procesa.

Proces obnavljanja je proces koji je povezan sa procesom slučajnog kretanja, s tim da je kod ovog interes usmeren ne na praćenje subjekta kroz stanja već na kvantifikaciju broja transakcija koje se odigravaju u funkciji vremena.

Grafički prikaz ovih osnovnih stanja sa vezama i oblastima preklapanja dat je na slici 6.1. /17/.

Očigledno je da stohastički procesi u kretanju materijala imaju vrlo značajnu ulogu. To znači da poznavanje ponašanja slučajnih promenljivih sistema kretanja materijala vodi ka poznavanju ponašanja samog sistema, stim da je vrlo značajno poznavanje veza koje postoje između odgovarajućih karakterističnih promenljivih. To za sistem kretanja materijala znači poznavanje veličina kao što su: dolazak u sistem, zadržavanje u procesu - opsluživanje, odlazak iz sistema i sl. i kakva je njihova međusobna zavisnost.

Ovi podaci su veoma značajni za projektovanje kompleksnih sistema da bi se unapred odredio karakter ponašanja na bazi sličnih karakterističnih veličina koje su objene snimanjem drugih sistema i koje su generalizovane ušle u bazu podataka.



slika 6.1.

## 6.2. OBRADA I SISTEMATIZACIJA SNIMLJENIH PODATAKA

U industrijskim sistemima gde su obavljena snimanja težilo se snimanju podataka koji utiču na rad sistema kao što su:

- ulaz u sistem (način dolaska, vremenska raspodela vremena između dolazaka jedinica ili materijala, količina, način transporta, vrsta pakovanja itd.),
- proces opsluživanja (vreme, raspodela, itd.),
- organizacija i upravljanje tokom materijala,
- uređaji koji se koriste za transport i manipulaciju,
- kako su postavljene i organizovane čvorne tačke i da li se javljaju redovi čekanja i međuskладиšta,
- izlaz iz sistema (način odlaska jedinica, vremenska raspodela vremena između odlaska jedinica, količina, način transporta, veze sa ostalim delovima sistema itd.),
- vremenski parametri zadržavanja jedinica u sistemu,
- raspodela vremenskih parametara trajanja karakterističnih ciklusa pri transportu i manipulaciji u osnovnim tokovima materijala i u odnosu na vrstu uređaja koji se koriste.

Podaci koji su prikupljeni koriste se da bi se doneo zaključak o posmatranoj pojavi (proces, rad uređaja i sl.). Statistički metod koji je korišćen omogućava da se na osnovu podataka dobijenih snimanjem izvedu opšti zaključci o posmatranom procesu ili radu uređaja. Statističko zaključivanje je induktivno, na osnovu informacija dobijenih ispitivanjem ili snimanjem samo izvesnog broja elemenata populacije, za koje se kaže da obrazuju uzorak, donosi se zaključak o karakteristikama cele populacije. Tehnika uzimanja uzoraka mora biti takva da obezbedi reprezentativni uzorak, tj. da uzeti uzorak sadrži osobine populacije iz koje je uzet.

Statistički osnovni skup ili statistička populacija se definiše kao skup svih vrednosti nekog obeležja, odnosno slučajne promenljive  $X$  sa funkcijom raspodele  $F(x)$  i zakonom verovatnoće  $f(x)$ . Slučajna promenljiva  $X$  naziva se populaciona promenljiva ili slučajna promenljiva osnovnog skupa. I obrnuto, za ma koji osnovni statistički skup postoji prekidni ili neprekidni raspored sa zakonom verovatnoće  $f(x)$  po kome su raspoređeni elementi ovog skupa. Oblast definisanosti slučajne promenljive  $X$  je statistički osnovni skup. Dakle, svaki element statističke populacije je vrednost slučajne promenljive  $X$ . Svaka statistička populacija u odnosu na posmatrano obeležje  $X$  može se opisati pomoću funkcije rasporeda  $F(x)$ , odnosno zakona verovatnoće  $f(x)$ . Ako je populacija konačna funkcija rasporeda koja je opisuje stepenasta funkcija. Međutim, ako je populacija konačna ali brojna ova funkcija rasporeda se može aproksimirati neprekidnom funkcijom rasporeda, koja približno opisuje raspored populacije.

Kada se kaže eksponencijalna populacija, normalna populacija, ili uopšte populacija sa zakonom verovatnoće  $f(x)$ , podrazumeva se statistička populacija čiji su elementi vrednosti slučajne promenljive  $X$  koja ima



eksponecijalni raspored, normalan raspored ili raspored sa zakonom verovatnoće  $f(x)$ .

Prilikom snimanja evidentiraju se frekvencije i verovatnoće slučajnih veličina (ulaz i izlaz iz sistema, ciklusi transportnih uređaja i sl.), odnosno odgovarajuće raspodele istih. Podaci se prikazuju histogramski. Iskustvo pokazuje da raspodele frekvencija i raspodele verovatnoće nekih slučajnih veličina kao i odgovarajući histogrami ukazuju obično na znatne nepravilnosti i neravnomernosti. Histogrami ovih raspodela su često sa mnogim skokovima i padovima ali pri povećanju broja posmatranja pod uslovima da se sačuva jednorodnost posmatrane pojave, sve više dolaze do izražaja izvesne pravilnosti u raspodeli frekvencija i verovatnoće slučajnih veličina. Histogrami u obliku poligonalnih linija pri povećanom broju eksperimenata gube nepravilnost, stepenaste linije se izravnavaju i histogrami dobijaju izgled neke neprekidne krive.

Da bi se problem proučavanja ovih raspodela uprostio, empirijske raspodele zamenjuju se teorijskim raspodelama koje ih najbolje opisuju. Postoji više teorijskih raspodela koje su približne empirijskim raspodelama. Teorijske raspodele koje se obično koriste kod modeliranja kretanja materijala u industrijskim sistemima su: ravnomerna raspodela, Erlangova raspodela, normalna raspodela, ekspancijalna raspodela i Poasonova raspodela /22,36,77,84/.

U primenjenoj statistici i teoriji uzoraka obično se donose ocene osnovnih skupova, odnosno populacija i raspodela, na osnovu podataka dobijenih proučavanjem njihovih uzoraka. Ocene ove vrste zovu se statističke ocene i odluke. Da bi se do ovih ocena i odluka došlo obično se uvode pretpostavke ili procene i one se zovu statističke hipoteze. Statističke hipoteze mogu da se definišu kao pretpostavke zakona raspodele verovatnoće nekog obeležja osnovnog skupa, odnosno populacije, a koje mogu da se provere na osnovu uzorka. Statističke hipoteze proveravaju se statističkim ogledom ili testom, a sam postupak proveravanja usvojenih hipoteza naziva se statističko testiranje ili samo testiranje.

U primeni postoji veliki broj postupaka za testiranje hipoteza ili proveru statističkih hipoteza kao što su: Studentov test, Gosset-ov test, Pearsonov ili  $\chi^2$  - test, Kolgomorovljev ili Kolgomorov-Smirnovljev test itd.

Provera statističkih hipoteza obavlja se na osnovu podataka iz uzorka. U tu svrhu koristi se pogodno izabrana slučajna veličina koja zavisi od posmatranih vrednosti i čiji zakon raspodela se zna (tačno ili približno). Za proučavanje problema kretanja materijala veliku primenu ima provera hipoteza o pretpostavljenoj raspodeli jer se uvek interesujemo za zakone raspodele vremenskih parametara koji bitno utiču na kretanja materijala. Ovo testiranje se obavlja pomoću neparametarskih kriterijuma značajnosti. Princip dobijanja takvih kriterijuma i provera hipoteza pomoću njih obavlja se na osnovu izračunatih vrednosti neke nove slučajne veličine, veličine čiji zakon raspodele se zna, a koji je dobijen pod pretpostavkom da je hipoteza tačna. Zatim se izračunata vrednost upoređuje sa kritičnom vrednošću /36/.

Za statističku obradu podataka (uzorka) sa testiranjem hipoteza korišćen je program IMM-F-TEST /28,29,30/. Program omogućava na jednostavan i brz način obradu snimljenih podataka i testiranje hipoteza o raspodelama vremenskih parametara proccsa. Uglavnom su razmatrani vremenski parametri. Na slici 6.2. dat je algoritam rada programa sa svim opcionim mogućnostima.

Testiranje je, u zavisnosti od uzorka, moguće izvršiti na pripadnost teorijskim diskretnim i kontinualnim raspodelama.

Uzorci kod kojih slučajne veličine imaju diskretan karakter, mogu se testirati na pripadnost /30/:

1. Binomnoj, 2. Poasonovoj, 3. Geometrijskoj i
4. Hipergeometrijskoj raspodeli.

Uzorci kod kojih slučajne veličine imaju kontinualan karakter, mogu se testirati na pripadnost:

1. Erlangovoj, 2. Normalnoj, 3. Ekspencijalnoj i
4. Ravnomernoj raspodeli.

Moguće je izabrati opciju po kojoj se uzorak testira na pripadnost Erlangovoj ili Normalnoj raspodeli u zavisnosti od vrednosti stepena Erlangove raspodele  $k$  (granica je  $k > 25$ ).

Prilikom statističke obrade uzoraka, kod kojih slučajne veličine imaju diskretan karakter, izračunava se: matematičko očekivanje i disperzija, dok se kod statističke obrade uzoraka, kod kojih slučajne veličine imaju kontinualan karakter, izračunava: minimalni i maksimalni član, srednja vrednost, disperzija i srednje kvadratno odstupanje, dužina intervala, broj intervala i granice intervala. /29,30/

U daljem radu program, pri testiranju uzorka na pripadnost diskretnim teorijskim raspodelama, izračunava verovatnoće prema izabranoj raspodeli i vrednosti  $\chi^2_{sr}$  u zavisnosti od realizacija kao i njihove sume, dok pri testiranju uzorka na pripadnost kontinualnim raspodelama, deli uzorak po intervalima, izračunava verovatnoću prema izabranoj raspodeli i vrednosti  $\chi^2_{sr}$  po intervalima, nakon čega program sabira apsolutne učestanosti, verovatnoće i vrednosti  $\chi^2_{sr}$  po intervalima. /28,29,30/

Programom se testira uzorak sa pragom značajnosti  $\alpha = 0.01$ . Ako se hipoteza o pripadnosti datog uzorka određenoj teorijskoj raspodeli prihvati, istovremeno se određuje i najveći prag značajnosti sa kojim je moguće prihvatiti hipotezu. Ovaj postupak omogućuje kvalitativno sagledavanje stepena verodostojnosti ispitivanog uzorka u odnosu na teorijsku verovatnoću (porast parametra  $\alpha$  ukazuje na veću verodostojnost hipoteze). Ukoliko hipotezu nije moguće prihvatiti sa pragom značajnosti  $\alpha = 0.01$ , ona se odbacuje ali se izračunava prvi sledeći prag značajnosti sa kojim je moguće prihvatiti hipotezu. Ukoliko je tako izračunat prag značajnosti manji od 0.0005 hipoteza o pripadnosti uzorka izabranoj teorijskoj raspodeli se definitivno odbacuje. Za hipotezu koja je prihvaćena, formiran je i nacrtan odgovarajući empirijski poligon sa odgovarajućom krivom i formirana je i nacrtana teorijska kriva kojoj empirijska raspodela najviše odgovara. /28,29,30/

Na slici 6.3 dat je jedan karakterističan primer izlaznih rezultata, dok je na slici 6.4 dat odgovarajući dijagram empirijske raspodele-histogram i teoretska kriva raspodele koja najbolje opisuje datu empirijsku krivu a na osnovu rezultata iz tablice na slici 6.1.

Za izabrane reprezentativne industrijske sisteme u kojima je obavljeno snimanje i prikupljanje podataka izvršena je obrada i testiranje rezultata odnosno, dobijene su odgovarajuće teoretske raspodele. Podaci snimanja obrađeni su na sledeći način:

- za svaku proizvodnu celinu data je skica sa osnovnim rasporedom prostora i opreme i prikazom šta je snimano i gde je to obavljeno,

- za svaku celinu dat je spisak snimljenih parametara sa kratkim opisom šta je snimljeno,

- formirana je tablica obrađenih podataka u koju su ušli svi podaci o obimu uzorka, minimalnom i maksimalnom članu, disperziji, srednjem kvadratnom odstupanju, verovatnoći realizacije određenih stanja, kao i podaci o prihvatanju hipoteze sa parametrima teoretske raspodele koja je najpribližnija empirijskoj raspodeli u slučaju da je testirana hipoteza prihvaćena,

- formiran je dijagram empirijske raspodele (histogram) i odgovarajuće teoretske raspodele koja je najbolje opisuje.

Svi snimljeni podaci su sistematizovani u obliku histograma i testirani na sledeće teoretske raspodele:

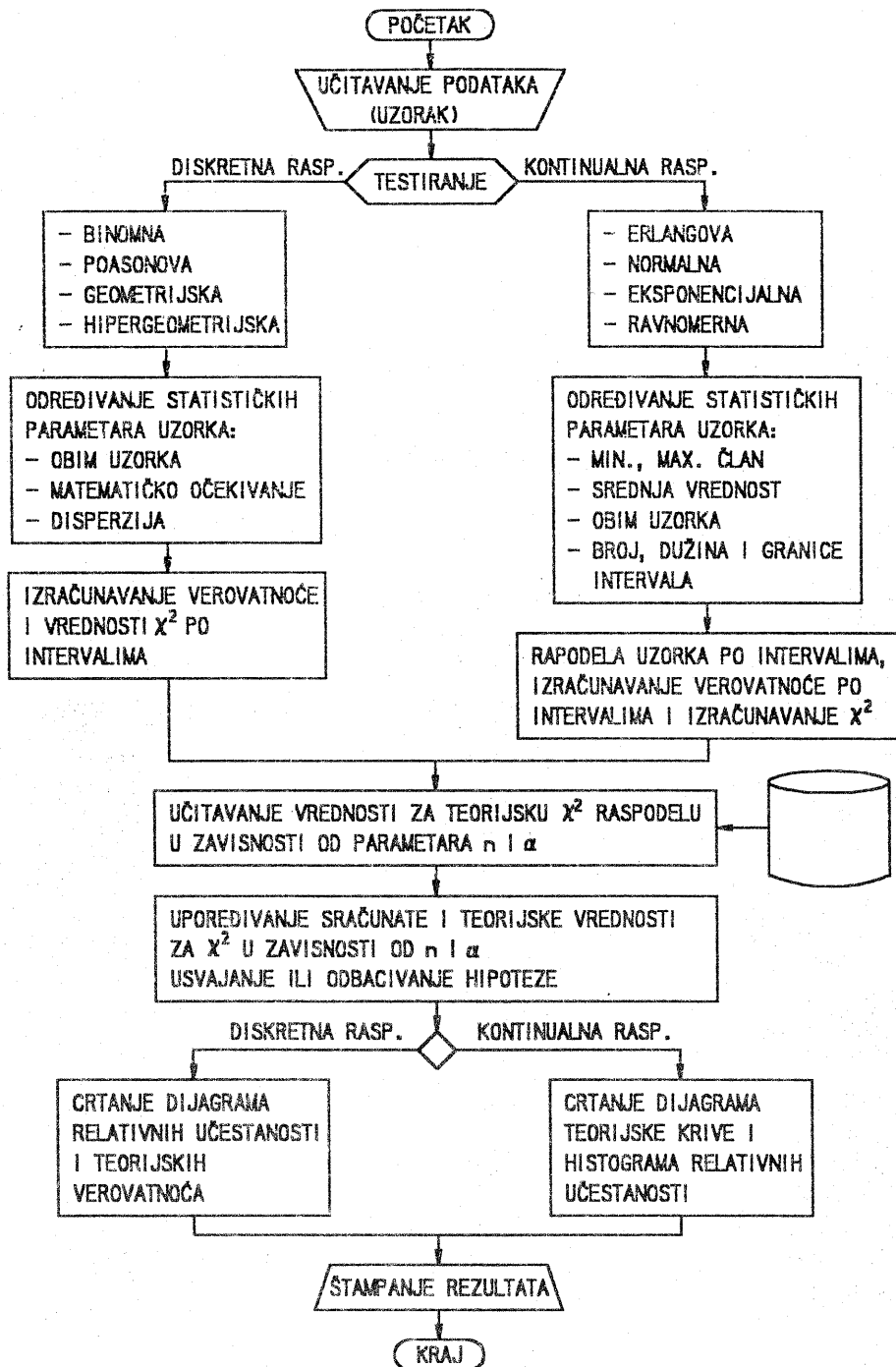
- normalnu raspodelu, u daljem tekstu oznaka (N),

- Erlangovu raspodelu ( $E_k$ ), parametra k, celobrojnih vrednosti k = 1-25, dok se za vrednosti parametra k>25 ova raspodela aproksimira normalnom raspodelom,

- eksponencijalnu raspodelu (E-1),

- ravnomernu raspodelu.

Za testiranje hipoteza o pripadnosti snimljenih podataka odgovarajućim teoretskim raspodelama korišćen je  $\chi^2$  - test. Obrada podataka, testiranje i crtanje empirijskih histograma i teoretskih raspodela obavljeno programom IMMF - TEST (verzija 3.).



slika 6.2.

KARAKTERISTIKE UZORKA :

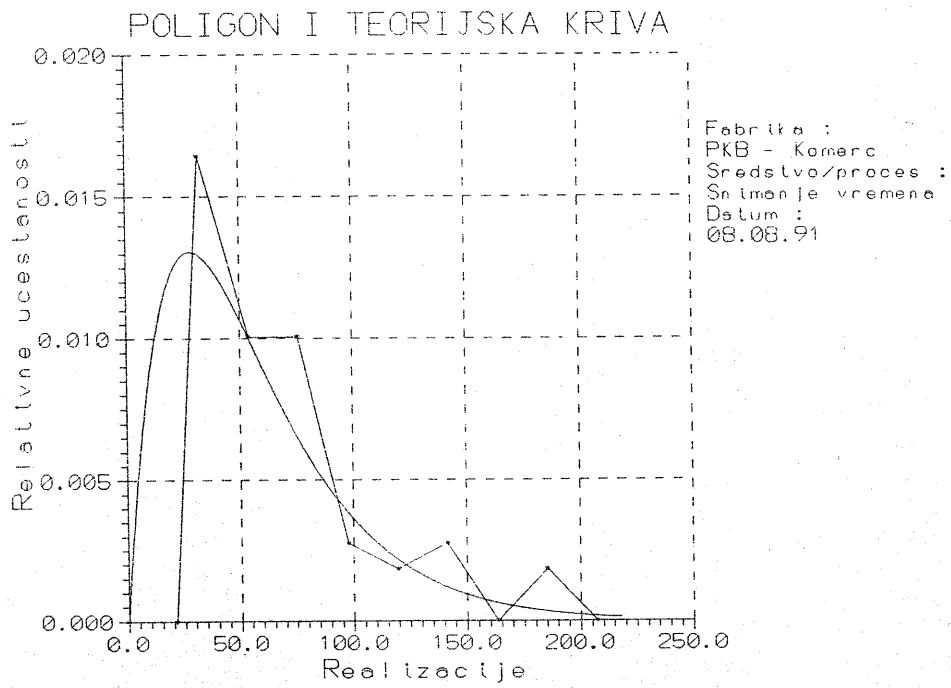
Obim uzorka	N	=	50
Minimalni clan	Xmin	=	10.1667
Maximalni clan	Xmax	=	185.3333
Srednja vrednost	Xsr	=	55.4240
Disperzija	D[x]	=	1644.6007
Srednje kvadratno odstupanje	$\sigma[x]$	=	40.5537
Broj intervala	Ki	=	8
Duzina intervala	h	=	21.8958
Stepen Erlangove raspodele	k	=	2
Parametar Erlangove raspodele	$\lambda$	=	0.0355

Intervali	Ucestanosti	Verovatnoce	HISR
10.1667 - 32.0625	18	0.3147	0.326
32.0625 - 53.9583	11	0.2556	0.248
53.9583 - 75.8542	11	0.1794	0.459
75.8542 - 97.7500	3	0.1110	1.170
97.7500 - 119.6458	2	0.0641	0.453
119.6458 - 141.5417	3	0.0355	0.846
141.5417 - 163.4375	0	0.0191	0.954
163.4375 - 185.3333	2	0.0206	0.913
	50	1.0000	5.370

IZVESTAJ :

Teorijska vrednost za 5 stepeni slobode i prag znacajnosti  
 $\alpha = 0.3000$  za HI-KVADRAT raspodelu iznosi  $HI_t = 6.0640$   
 Posto je  $HI_t > HIsr$  [ $6.0640 > 5.3702$ ] mozemo prihvatiti hipotezu  
 da uzorak ima Erlangovu raspodelu sa parametrima  $k = 2$  i  $\lambda = 0.035$   
 sa pragom znacajnosti  $\alpha = 0.01$ .

slika 6.3.



slika 6.4.

## 7. ANALIZA SISTEMA KRETANJA MATERIJALA

Sistem unutrašnjeg transporta predstavlja pažljivo odabrano i svestrano ispitano rešenje problema kretanja materijala za određeni projektni zadatak. On obično rezultira kao integralni niz operacija, aktivnosti i toka informacija, tesno povezanih u cilju izvršavanja funkcije na način koji je izvodljiv i ekonomski opravdan.

Da bi ovakvi sistemi mogli da rade bez zastoja oni moraju da imaju odgovarajući kapacitet. Odstupanje od optimalnog kapaciteta dovodi do neefikasnog iskorišćenja opreme (više uređaja nego što je potrebno) ili do stvaranja velikih redova čekanja (manje uređaja nego što je potrebno), odnosno nagomilavanja materijala u pojedinim fazama procesa. Zadatak projektanta je da pravilno postavi sistem kretanja materijala da bi zadovoljio traženi kapacitet. U tu svrhu koriste se odgovarajući modeli procesa koji omogućuju nalaženje takve strukture transportnog sistema da se zadovolje uslovi postavljeni transportnim zadatkom /77/.

Potrebno je raspolagati nizom podataka o samom procesu da bi mogli da se koriste matematički modeli. Za primenu determinističkih modela potrebno je poznavati sve ulazne veličine i njihove zavisnosti, dok je za primenu stohastičkih modela potrebno poznavati raspodele relevantnih vremenskih parametara (karakter promene). Do raspodela vremenskih parametara moguće je doći snimanjem istih na sistemima koji su u eksploataciji. /27/

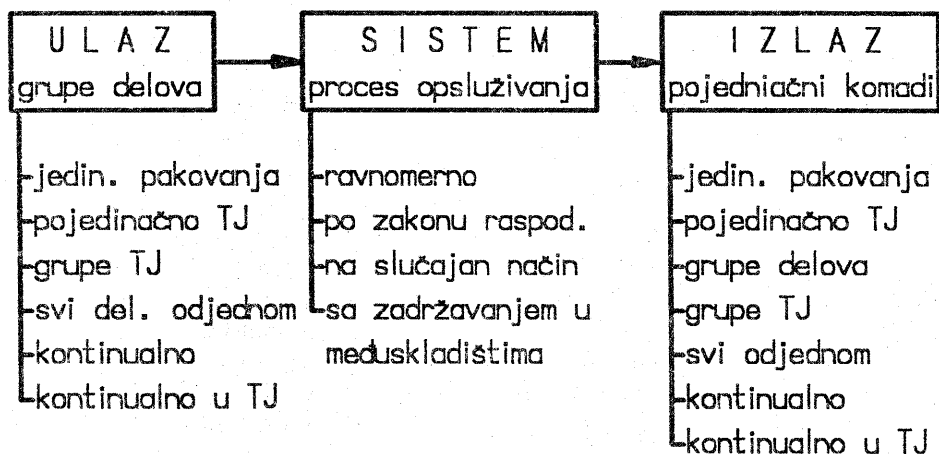
Za projektanta koji radi na formiranju novog sistema poznavanje podataka o raspodelama relevantnih parametara sličnih sistema je značajno jer na bazi njih on može da korišćenjem odgovarajućih modela predvidi ponašanje novo projektovanog sistema. Primenom odgovarajućih raspodela mogu se dobiti osnovni pokazatelji o radu novog sistema u željenim situacijama.

Poznavanje ovih parametara omogućuje korišćenje poznatih stohastičkih modela. Najviše korišćeni modeli u oblasti kretanja materijala su modeli teorije redova čekanja. Oni su posebno pogodni za proučavanje sistema opsluživanja npr. unutrašnji transport skladištenje itd. Pored ovih modela koristi se i metoda simulacije za analizu transportnih tokova. Simulacija sistema kretanja materijala omogućava da se detaljno ispituju pojedini elementi transportnog sistema ali i ceo transportni sistem.

Primućstvo postupka simulacije u odnosu na analitičke modele je da često daje tačnije rezultate i nije potrebna skupa i dugotrajna provera rezultata dobijenih u eksploatacionim uslovima.

## 7.1. VREMENSKI PARAMETRI KOJI SU OD ZNAČAJA ZA SISTEM

Kada se govori o proizvodnom sistemu uvek se postavlja pitanje koliko taj sistem može da proizvede u nekom vremenskom periodu, odnosno koliki je izlaz iz datog sistema. U vezi sa ovim značajno je kako delovi odnosno proizvodi izlaze iz sistema u funkciji vremena (kontinualno, u grupama, svi odjedanput itd.). Zatim je važno kako organizovati dolazak materijala do procesa da bi se ostvario željeni izlaz, koliko se materijal zadržava u procesu, gde se nagomilava i zašto, jer su to podaci koji presudno utiču na željeni izlaz. Kombinacija veza ulaza i izlaza sa sistemom data je na slici 7.1.



slika 7.1.

Svakako da na proizvodni sistem znatno utiče rešenje kretanja materijala i predviđeni kapacitet. Od trenutka dopreme materijala u sistem, dalje kretanje i manipulacija materijalom odvija se u okviru podsistema unutrašnjeg transporta. Pravilno projektovan i dimenzionisan sistem unutrašnjeg transporta omogućava brzo i efikasno kretanje materijala sa minimalnim zadržavanjem tako da se dobija željeni izlaz iz sistema. Za pravilno funkcionisanje sistema takođe je potrebno obezbediti i odgovarajući ulaz u sistem. Očigledno je da u svakom proizvodnom sistemu je neophodna veza između ulaznog toka, proizvodnog procesa i izlaza iz sistema. Osnovni podsistemi proizvodnog sistema koji su uključeni u datu vezu su: tehnološki, transportni, informacioni i kontrola. Treba istaći, da efikasnost proizvodnog sistema znatno zavisi od rešenja kretanja materijala: količine, dinamike, putanje, transportnih sredstava i projekovanog sistema.

Problem projektovanja sistema kretanja materijala uslovljen je poznavanjem zahteva proizvodnje i specifičnih uslova eksploatacije. Pošto je svaki proizvodni sistem u okviru kojeg se nalazi i transportni sistem, problem za



sebe, to se za ocenu ponašanja projektovanog sistema mogu koristiti samo podaci o sličnim izvedenim sistemima, tako da je opravdano analizirati postojeće sisteme, ustanoviti zavisnosti pojedinih klasa sistema, primenjenih uređaja, odnosno poznavati odgovarajuće veličine kojim je to moguće opisati. Veličine koje su relevantne za opisivanje sistema su: ukupan broj jedinica u sistemu opsluživanja, broj jedinica koji čeka na opsluživanje, raspodela vremena opsluživanja i dolazaka jedinica, vreme zadržavanja jedinica u sistemu i u redu čekanja, opterećenje sistema - intenzitet protoka, verovatnoća određenih stanja sistema i sl.

Pomoću ovih veličina dolazi se do prosečnog ponašanja sistema koji se posmatra. Pažnja je usmerena na izračunavanje verovatnoće da će se sistem naći u specifičnom stanju u ma koje slučajno izabrano vreme. Poznavanje takvog stanja vodi direktno ka parametrima koji su interesantni.

## 7.2. ANALIZA RADA POSTOJEĆIH SISTEMA KRETANJA MATERIJALA

Kao što je do sada rečeno osnovni način dobijanja raspodela vremenskih parametara koji su značajni za analizu, projektovanje i realizaciju sistema kretanja materijala je snimanje željenih podataka na sistemima koji su u eksploataciji. Napravljen je reprezentativni uzorak industrijskih sistema u Srbiji, na kojima je obavljeno snimanje. Osnovni kriterijumi za izbor su bili:

- zastupljenost različitih proizvodnih sistema po tehnologiji rada i rasporedu prostora i opreme, različitih skladišnih i montažnih sistema, tako da su zastupljeni svi sistemi koji se javljaju u industriji,

- sistemi su birani iz najvećih industrijskih centara u Srbiji i to oni koji reprezentativno prikazuju trenutno stanje u industriji,

- ograničenja su bili troškovi transporta i snimanja, kao i želja i mogućnosti kolektiva da učestvuju u realizaciji ovog rada što je uslovalo da većina sistema bude iz Beogradskog industrijskog basena.

Na ovako izabranom uzorku je obavljeno snimanje i prikupljanje podataka. Za snimanje izabrane su sledeće celine:

- SOUR "Srbijanka" Valjevo, gde je analiziran rad sistema skladišta i sistema kretanja materijala od proizvodnih linija, preko pakovanja, skladišta do odpreme, sa analizom rada transportnih uređaja,

- RO "Podgorka OOUR Industrija" Osječina, gde je analiziran rad sistema skladišta i kretanja materijala od proizvodnih linija do skladišta, unutar sistema skladišta do odpreme, sa posebnom analizom rada transportnih uređaja,

- FV "Gradac" Valjevo, gde je analiziran rad visoko regalnog skladišta sa pratećim kretanjem materijala u okviru sistema i analiziran je rad transportnih uređaja,

- Ivo Lola Ribar - FKS Fluidomatic, gde je analizirana jedna proizvodna celina (radionica) sa sistemom kretanja materijala sa posebnim osvrtom na

zadržavanje delova u procesu obrade i manipulaciju materijalom između mašina,

-Industrija precizne mehanike - IPM - linija za montažu karburatora putničkih vozila, gde je analizirano kretanje materijala od ulaska do izlaza iz ovog dela proizvodnje,

-IPM -linija za izradu pumpi, gde je analizirano kretanje delova i zadržavanje u procesu proizvodnje,

-IPM -linija za izradu bregastih osovina , gde je analizirano kretanje materijala gde je transport organizovan kontinualnim sredstvima transporta,

-RO Brodogradilište Beograd, gde je analiziran deo toka materijala (table lima) od prijema preko skladišta, pripreme (peskirnica sa bojenjem), do distribucije u proizvodnju, sa posebnim osvrtom na sistem transporta i uređaje za transport, analiza je obuhvatila povezivanje više vrsta različitih uređaja u jedan transportni sistem,

-IMT - FOM Beograd, modelarnica, gde je analiziran sistem kretanja materijala pri grupnom rasporedu mašina, odnosno analiziran je tok materijala između odgovarajućih grupa mašina i ulaza i izlaza,

-ILR - Lola FAD - linija za frikciono-pneumatske spojnice, gde je analiziran tok materijala pri linijskom tipu rasporeda mašine - linijska proizvodnja za familiju delova,

-IMT - linija kočnica, gde je analizirano kretanje materijala na liniji sa posebnim osvrtom na analizu vreme čekanja i između odgovarajućih mašina pri linijskoj organizaciji proizvodnje,

-Rudarsko Topioničarski Basen Bor, gde je analiziran transport između skladišta repromaterijala i proizvodnog pogona koji su dislocirani (dug put transporta),

-Zmaj Zemun - fabrika točkova, gde su analizirani tokovi materijala u procesu proizvodnje sa posebnom pažnjom usmerenom na tačke prekida gde se javljaju međuskladišta zbog promene vrste uređaja za transport i manipulaciju,

-Industrija kugličnih ležajeva - IKL - gde je obavljena analiza dolaznih tokova materijala do fabrike (sistem kamiona), i analiza načina istovara koji se obavlja viljuškama,

-Zmaj Zemun - gde je obavljena analiza rada transportno manipulativnih uređaja u visoko regalnom skladištu i onih koji opslužuju skladište u odpremi i dopremi robe.

-IEP Arandelovac - gde je analiziran tok materijala na vagonu od pakovanja preko pečenja do odpakivanja i paletizacije za isporuku konačnim korisnicima.

-IMT Novi Beograd - gde je analiziran rad linije za obradu zupčanika za traktore i to po vrstama obrade.

-Radoje Dakić Podgorica - gde je analiziran rad transportnih uređaja u okviru sistema fabrike.

-RTB Bor - analizirana je mašinska radionica za proizvodnju i održavanje opreme za potrebe RTB - a tako što je posebno analizirana svaka grupa mašina prema vrsti obrade.

-Zastava Promet Beograd - gde je analiziran rad skladišnih sistema od dolaska robe kamionom preko skladištenja, komisioniranja, odpreme kamionom i dostavnim vozilima.

-Centromarket skladište Surčin - gde je analizirana doprema, skladištenje i odprema robe iz sistema skladišta.

-IMR Beograd - gde je analizirana montažna linija tj. vreme trajanja pojedinih grupa srodnih montažnih operacija.

-DMB namenska proizvodnja Beograd - gde je analizirana dužina trajanja operacija obrade na fleksibilnim proizvodnim sistemima.

Rezultati dobijeni obradom snimljenih podataka prikazani su u tablicama 7.1.-7.7. i to tako da je dato šta je snimano, odgovarajuća oznaka snimljenih podataka (veza sa dokumentacijom Instituta za mehanizaciju) i koja teoretska raspodela odgovara empirijskim podacima.

Obradeni podaci prikazani tabelarno ukazuju na mogućnost sistematizovanja u dve osnovne grupe podataka:

-podatke koji se odnose na sistem, odnosno na rad celog sistema proizvodnje ili podsistema skladišta, montaže ili kretanja materijala, i tretira ulaz i izlaz iz istog preko vremena između dolazak odnosno odlazaka jedinica iz sistema i preko prosečnog broja jedinica na ulazu i izlazu;

-podatke koji se odnose na podsistem kretanja materijala, odnosno na transportne uređaje koji se javljaju u svakom od sistema, odnosno na transportne jedinice koje egzistiraju u sistemu, preko vremena trajanja karakterističnih ciklusa pri obavljanju osnovnih operacija u različitim sistemima.

Sistemi koji su analizirani kao celine mogu se podeliti na: proizvodne sisteme sa rasporedom opreme prema procesu - grupni raspored, rasporedom opreme prema proizvodu - linijska proizvodnja za jedan ili više proizvoda, sa layout-om sa fiksnim pozicijama proizvoda, skladišne podsisteme regalnog i visokoregalnog tipa i montažu.

tablica 7.1.

FABRIKA	PROIZVODNA CELINA	ULAZ	RASPODELA	IZLAZ	RASPODELA
1. Skladište VA	broj paleta	G1	E-4	G2	E-3
2. Skladište Podgorica	br. paleta (bistri sokovi i sirupi)	W1 W2	E-6 E-6	W3 W4	E-2 E-2
3. Skladište Podgorica	br paleta (rakija votka, marmel.)	W5 W6	E-5 E-5	W7 W8	E-2 E-3
4. Skladište Podgorica	zbirno stanje za celine 2 i 3	W9	E-6	W10	E-3
5. ZMAJ - fabrika točkova (međuskklad.)	međuskладиšte ispred linije za farbanje	S1	E-24	S2	E-7
6. ZMAJ - fabrika toškova (međuskklad.)	međuskладиšte naplataka	S3	E-6	S5	E-4
7. ZMAJ - fabrika točkova (međuskklad.)	međuskладиšte diskova	S4	E-14	S5	E-4
8. ZMAJ - visokoregal. skladište	rezervni delovi na paletama	O1	E-3	O2	E-4
9. ZMAJ - visokoregal. skladište	zajednička manipulacija	NJ1	E-2	NJ1	E-2
10. ZMAJ - visokoregal. skladište	broj paleta koje se dovezu	NJ2	E-5	-	-
11. CENTRO-MARKET - reg. sklad.	broj paleta godišnje	CM4	E-9	-	-

tablica 7.2.

FABRIKA	PROIZVODNA CELINA	ULAŽ	RASPOD.	IZLAZ	RASPOD.
F O M (grupni raspored)	strugovi	F1	E-1	F2	E-2
	glodalice	F3	E-1	F4	E-3
	kopirne glodalice	F5	E-5	F6	E-2
	brisilice i glodalice	F7	E-2	F8	E-2
	velike mašine	F9	E-1	F10	E-2
	koord. bušilice	F11	E-2	F12	E-1
	portalne glodalice	F13	E-3	F14	E-2
	glodalica i rad. bušilice	F15	E-3	F16	E-2
LOLA-FAD (linijski raspored)	ručna obrada	F17	E-3	F18	E-2
	klip	A1	N	A2	N
	cilindar	A3	N	A4	N
	navrtka	A5	N	A6	N
	disk	A7	N	A8	N
	zbirni ulaz za 4 dela	A9	N	A10	N
IPM (montaža)	zbirni izlaz za 9 delova	A11	N	A12	N
	ručna montaža karburatora i transport konvejerom	B1	N	B2	E-23
RTB-BOR (maš. radionica grupni raspored)	strugovi	RB2	E-1	RB2	E-1
	glodalice	RB5	E-1	RB8	E-1
	termička obada	RB11	N (E-29)	RB9	E-18

tablica 7.2. (nastavak)

FABRIKA	PROIZVODNA CELINA	OZNAKA	RASPOD.
IMT - obrada zupčani- ka sa transportom konvejerom (linijski raspored 10 mašina)	zadržavanje dela na 1. mašini	I1	N (E-155)
	zadržavanje dela na 2. mašini	I2	N (E-142)
	zadržavanje dela na 3. mašini	I3	N (E-75)
	zadržavanje dela na 4. mašini	I4	N (E-92)
	zadržavanje dela na 5. mašini	I5	N (E-153)
	zadržavanje dela na 6. mašini	I6	N (E-179)
	zadržavanje dela na 7. mašini	I7	N (E-102)
	zadržavanje dela na 8. mašini	I8	N (E-143)
	zadržavanje dela na 9. mašini	I9	N (E-210)
	zadržavanje dela na 10. mašini	I10	N (E-203)
	ukupno zadržavanje u sistemu	I11	E-13
Proizvodnja bregastih osovina, transport ko- nvejerom (10 mašina)	ulaz delova u proces	K1	E-6
	ulaz delova u drugi deo sistema	K2	Ravnom.
	izlaz delova iz sistema	K3	N
RTB-BOR mašinska radionica (grupni raspored)	zadržavanje na obradi struganja: po dokumentaciji (dato vreme) snimljeno vreme	RB3 RB4	E-1 E-1
	zadržavanje na obradi glodanja: po dokumentaciji (dato vreme) snimljeno vreme	RB7 RB6	E-1 E-1
	zadržavanje na termičkoj obradi: po dokumentaciji (dato vreme)	RB10	E-1
IMR (montaža)	skidanje motora	IM1	N
	montaža radilice	IM2	N
	montaža klipa	IM3	N
IMP - linija za proizvodnju pumpi (linijski raspored)	ulaz u sistem	M1	E-9
	izlaz iz sistema	M2	E-11
	vreme obrade na jednoj mašini	M3	N
	vreme ukupnog rada u sistemu	M4	E-9
ILR-FUS Fluidmatik (grupni raspored)	ulaz delova na dan	V1	E-1
	ulaz delova za više dana	V2	E-1
	vreme obrade	V3	E-1
	ukupno vreme rada svih mašina	V4	E-1
Brodograd. Beograd (uređaj za peskiranje)	vreme peskiranja	U1	N
	vreme opsecanja tabli lima	U10	N
	dolazak materijala u sistem	U11	E-31
	izlaz materijala iz sistema	U12	N
DMB - namenska proizvodnja delova na fleksibilnoj proizvo- dnoj liniji (linijski raspored 6 mašina)	zadržavanje delova na maš. OC2331	NK1	E-8
	zadržavanje delova na maš. OC21765	NK2	E-3;E-4
	zadržavanje delova na maš. OC21741	NK3	N (E-36; E-59)
	zadržavanje delova na maš. OC21455	NK4	E-6; E-7
	zadržavanje delova na maš. OC21736	NK5	N (E-44; E-48)
	zadržavanje delova na maš. OC21334	NK6	E-9
IMT - obrada zupčani- ka sa transportom viljuškarem (linijski raspored 7 mašina) Zadržavanje delova na obradi	zaobljavanje	IM1	N (E-189)
	struganje	IM2	N (E-170)
	struganje	IM3	N (E-154)
	brijanje	IM4	N (E-116)
	provlačenje	IM5	N (E-62)
	struganje	IM6	N (E-72)
	ozublivanje	IM7	N (E-120)

tablica 7.3.

TRANSPORTNO SREDSTVO - VILJUŠKAR	OZNAKA	RASPODELA
Skladište - Valjevo:		
Ciklus uskladištenja u regalno skladište	G7	N
Ciklus utovara palete u vozilo	G8	N
Skladište - Gradac:		
Ciklus transporta u skladištu (viljuškar 1)	L5	E-25
Vreme zahvatanja palete u skladištu	L6	N
Ciklus transporta u skladištu (viljuškar 1)	L7	E-24
Vreme odlaganja palete u skladištu	L8	N
Ciklus transporta u skladištu (viljuškar 2)	L9	E-18
Vreme zahvatanja palete u skladištu	L10	N
Ciklus transporta, pakovanje - skladištenje	L12	E-16
Vreme odlaganja palete u skladište	L13	E-15
Skladište Podgorka Valjevo:		
Vreme između dolazaka (sirupi i voćni sokovi)	W11	N
Vreme između odlazaka (sirupi i voćni sokovi)	W12	N
Ciklus pri dolasku (sirupi i voćni sokovi)	W13	N
Ciklus pri odlasku (sirupi i voćni sokovi)	W14	N
Ciklus pri dolasku iz pogona (marmelada)	W15	N
Ciklus pri dolasku iz pogona (votka)	W16	N
Ciklus pri dolasku iz pogona (rakija)	W17	N
Brodogradilište BEOGRAD:		
Ciklus između skladišta i zone dohvata kрана	U3	N
Ciklus od peskirnice do pogona	U7	N
RTB - BOR:		
Ciklus transporta skladište - proizvodnja	R1	N
Vreme utovara i manipulacije u skladištu	R2	N
Vreme istovara u proizvodnoj hali	R3	E-16
IKL - Beograd:		
Ciklus utovara različitih roba u kamione	P4	E-9
Ciklus istovara kamiona	P5	E-6
ZMAJ - Zemun:		
Ciklus viljuškara koji opslužuje skladište	O3	E-25
Ciklus viljuškara od VRS do izlaza	O5	E-9
CENTROMARKET - regalno skladište:		
Ciklus transporta od kamiona do regalnog skladišta	CM1	N (E-47)
Ciklus transporta od kamiona do blok skladišta	CM2	N (E-93)
RADOJE DAKIĆ - montaža:		
Ciklus transporta (grupa viljuškara)	RD2	E-8
Ciklus transporta (viljuškar 1)	RD3	E-5
Ciklus transporta (viljuškar 2)	RD4	E-7
TRANSPORTNO SREDSTVO - KOLICA	OZNAKA	RASPODELA
Skladište Podgorka Valjevo:		
Ciklus transporta u skladištu	W18	N
RADOJE DAKIĆ (montaža):		
Ciklus transporta	RD1	E-3

tablica 7.4.

TRANSPORTNO SREDSTVO - KAMION	OZNAKA	RASPODELA
IKL - Beograd:		
Dolazak kamiona u sistem (broj)	P1	Ravnom.
Vreme između dolazaka kamiona	P2	E-1
Odlazak kamiona iz sistema (broj)	P3	Ravnom.

tablica 7.5.

TRANSPORTNO SREDSTVO - MOSNI KRAN	OZNAKA	RASPODELA
Brodogradilište BEOGRAD:		
Ciklus pri manipulaciji lima za povoljniji smeštaj na rolgang	U1	E-9
Ciklus pri postavljanju tabli na rolgang	U2	E-24
Ciklus pri donošenju tabli iz peskirnice	U4	N
Vreme između dva donošenja tabli iz peskirnice	U5	N
Ciklus u hali pri postavljanju tabli na mašinu	U8	N
Ciklus pri odnošenju otpada od mašina	U9	E-21
RADOJE DAKIĆ (montaža):		
Ciklus transporta (kran 22)	RD5	E-5
Ciklus transporta (kran 21)	RD6	E-9
Ciklus transporta (kran 20)	RD7	E-7
Ciklus transporta (kran 23)	RD8	E-4

tablica 7.6.

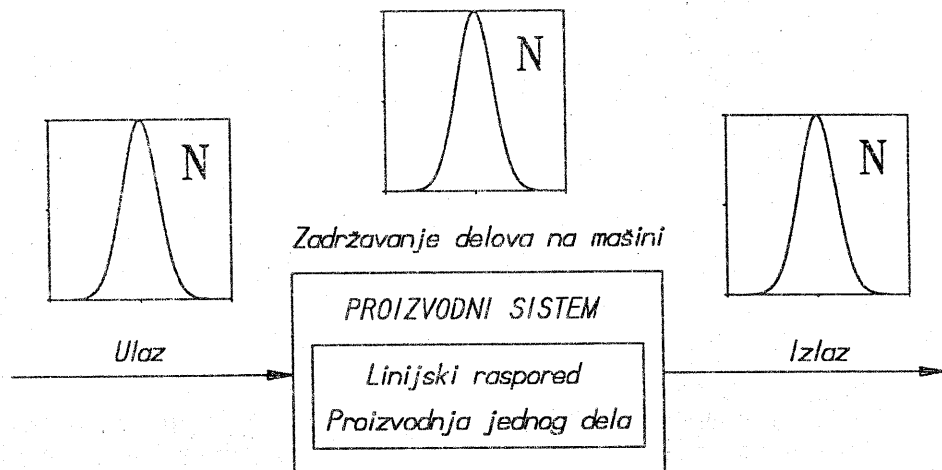
TRANSPORTNO SREDSTVO - VISOKO REG. DIZALICA	OZNAKA	RASPODELA
ZMAJ - Zemun, visoko regalno skladište:		
Ciklus - ručno komisioniranje	O4	E-7
Ciklus - komisioniranje cele palete	O6	N
Deo ciklusa - put P <sub>0</sub> - P <sub>1</sub>	NJ3	N
Deo ciklusa - put P <sub>1</sub> - P <sub>2</sub>	NJ4	N
Deo ciklusa - put P <sub>2</sub> - P <sub>0</sub>	NJ5	N
Složeni ciklus	NJ6	N
Jednostruki ciklus	NJ7	N
NAPOMENA: Koordinate tačaka P <sub>0</sub> , P <sub>1</sub> i P <sub>2</sub> su karakteristične koordinate koje su date na osnovu FEN propisa za priračun prosečnog ciklusa visoko regalne dizalice /70/		
Visoko regalno skladište - Gradac:		
Ciklus uskladištenja - VRD1	L1	N
Ciklus uskladištenja - VRD2	L2	N
Ciklus rada prevodnice VRD1	L3	E-10
Ciklus rada prevodnice VRD2	L4	E-15

tablica 7.7.

TRANSPORTNO SREDSTVO - KAMION	OZNAKA	RASPODELA
Skladište - Valjevo, formiranje transportne jedinice:		
Vreme pakovanja proizvoda u kutije	G4	N
Vreme odlaganja kutija na paletu	G5	E-5
Vreme formiranja palete (vreme 1 i 2 zajedno)	G3	N
Depaletizacija kutija sa marmeladom	G6	E-7
Vreme paletizacije (tetrapak sokovi)	G10	N
Vreme depaletizacije (tetrapak sokovi)	G9	N
CENTROMARKET - regalno skladište:		
Vreme paletizacije	CM3	N (E-34)

Tablice 7.1. i 7.2. daju prikaz dobijenih podataka. Sistematizovani podaci ukazuju na određene zakonitosti koje su karakteristične za svaku vrstu sistema. Upravo data podela sistema izvršena je i prema karakterističnim vrednostima koji se javljaju kod vremenskih parametara sistema.

Za linijsku proizvodnju, kada se proizvodi jedan deo na liniji (ustaljen obim proizvodnje i tehnologija proizvodnje), ulaz i izlaz delova se uglavnom ponaša po normalnoj raspodeli, stim da se u u manjem broju slučajeva može pojaviti i ravnomerna raspodela. Za ove sisteme karakteristično je da se vreme trajanja pojedinih operacija - vreme zadržavanja delova na mašinama ponaša po normalnoj raspodeli (tablica 7.2.). Na slici 7.2. dat je grafički prikaz ovih sistema sa karakterističnim vrednostima i raspodelama vremenskih parametara.



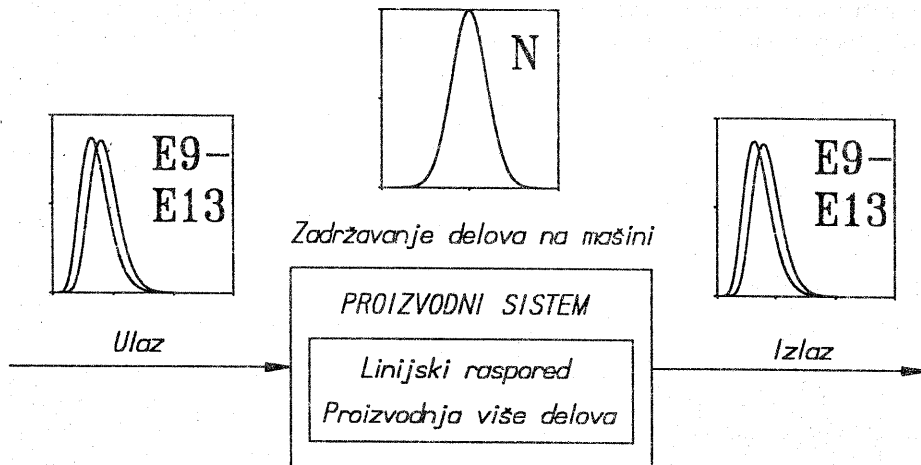
slika 7.2.

Ovakvi rezultati ukazuju na ujednačen i ravnomeran tok materijala i delova kroz sistem. Odstupanja od srednjih vrednosti su mala, odnosno tok se može smatrati determinisanim. Za projektovanje ovakvih sistema moguće je koristiti determinističke modele. Parametri sistema mogu da se precizno odrede pre početka projektovanja, odnosno u projektovanje može da se uđe sa prosečnim vrednostima koje se eksplicitno računaju a odstupanja od srednjih vrednosti su zanemarljiva. Tehnološka vremena se koriste kao polazni podatak za zadržavanje delova na mašinama. Transportni sistem može da se precizno usvoji ako je kriterijum za izbor kapacitet pretovara a merodavni parametar za određivanje kapaciteta transporta je poznat transportni put sa količinama delova koji se kreću a koje su date tehnologijom. Kod ovakvih sistema transportni podsistem je ravnomerno opterećen poslom.

Za linijsku proizvodnju kada se na liniji proizvodi više različitih delova (familija delova sličnih po obliku, masi i tehnologiji izrade), dobijaju se rezultati koji ukazuju da parametri ulaza i izlaza imaju manju ravnomernost toka materijala i delova u odnosu na već pomenutu linijsku proizvodnju. Teoretska raspodela koja najbolje opisuje vremenske parametre ulaza i izlaza iz sistema je



Erlangova raspodela sa parametrom  $k$  koji uzima vrednosti 9 - 13 (tablica 7.2.). Na slici 7.3. dat je prikaz sistema sa karakterističnim raspodelama ulaza i izlaza iz sistema. Ovako dobijena teoretska raspodela je posledica toka materijala i delova kroz sistem jer određeni delovi nemaju obradu na svim mašinama, odnosno javlja se veći broj različitih pojedinačnih tokova koji formiraju jedinstven tok koji je analiziran. Zbog sličnosti tehnologije izrade delova vreme zadržavanja delova na mašinama može da se prikaže normalnom raspodelom kao i u predhodnom slučaju.

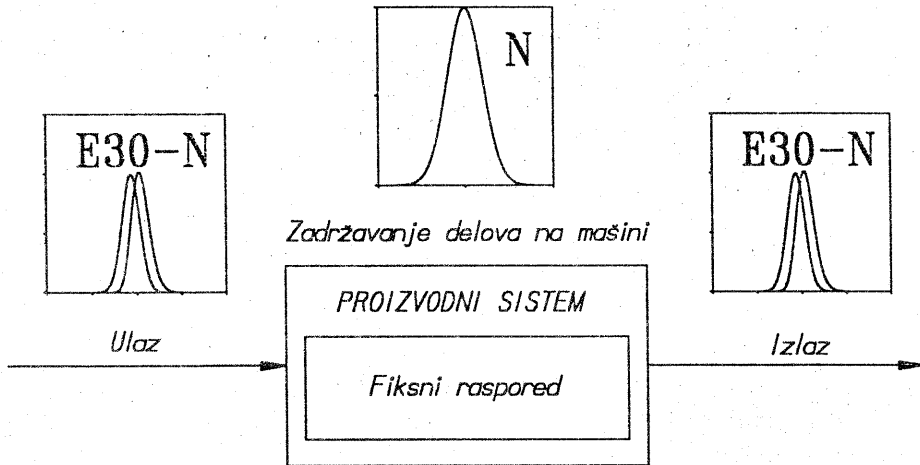


slika 7.3.

U ovim sistemima javlja se veća stohastika koja je posledica toka materijala kroz proces. Naime zbog zanemarljivog odstupanja vremena zadržavanja delova na svakoj mašini ( $N$ -raspodela) neravnomernost koja se javlja u sistemu je zbog različitog toka materijala za svaki deo (različite dužine transportnog puta itd.). Ovde mogu da se primene deterministički modeli za deo sistema koji se odnosi na rad mašina, pa čak i na rad celog sistema ali su onda rezultati koji se dobijaju dosta neprecizni i mogu se koristiti samo za grube orijentacione proračune. Podaci koji se odnose na vreme obrade odnosno zadržavanje delova na mašinama mogu da se tretiraju kao determinističke vrednosti koje su date u tehnološkom postupku. Za preciznije proračune moraju da se koriste stohastički modeli. Transportni sistem mora tako da se dimenzioniše da može da obuhvati stohastiku koja je prisutna u sistemu, a kapacitet istog mora da bude u funkciji neravnomernosti opisanom Erlangovom raspodelom sa  $k = 9-13$ .

Kod proizvodnih sistema gde se predmet rada ne pomera - raspored opreme sa fiksnom lokacijom predmeta rada, vremenski parametri ulaznog i izlaznog procesa najbolje se opisuje teoretskom Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k = 30$  i većim sve do normalne raspodele (tablica 7.2.). Kod ovih sistema zastupljena je velika ravnomernost. Na slici 7.4. dat je grafički prikaz sistema sa osnovnim teoretskim raspodelama ulaza i izlaza iz sistema.

Po vremenskom ponašanju osnovnih parametara ovih sistema za njihovo opisivanje mogu da se koriste deterministički modeli jer se sve vrednosti mogu koristiti sa svojim srednjim vrednostima. Erlangova raspodela sa parametrom  $k > 25$  može da sasvim dobro aproksimira normalnu raspodelu. To znači da se kod proizvodnih sistema sa fiksnom pozicijom radnog predmeta svi vremenski parametri mogu dobro prikazati normalnom raspodelom, odnosno u projektovanje može da se uđe sa vrednostima koje su determinističke (srednje vrednosti) jer je odstupanje od ovih vrednosti malo. Ovi sistemi mogu da se analiziraju istim modelima koji se koriste i za linijsku jednopredmetnu proizvodnju. Transportni sistem može da se precizno dimenzioniše i on radi pod ravnomernim opterećenjem ali ovaj sistem mora biti fleksibilniji u odnosu na linijsku proizvodnju.

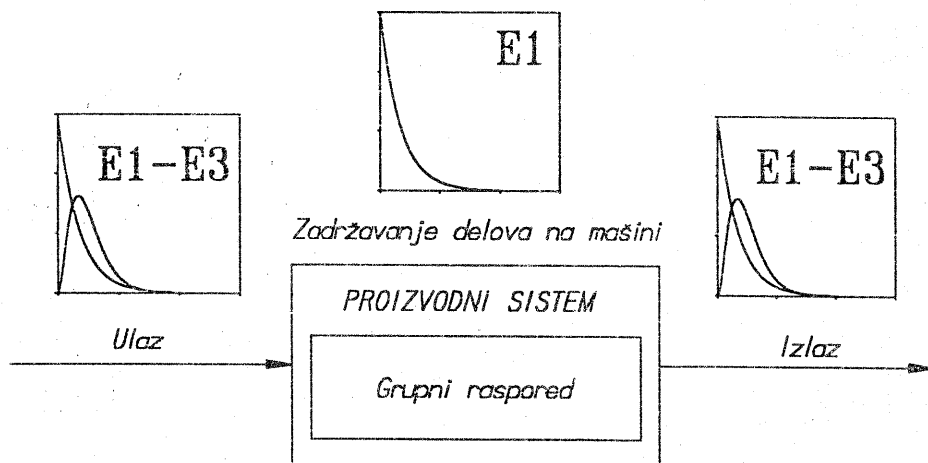


slika 7.4.

Kod proizvodnih sistema sa grupnim rasporedom opreme i proizvodnjom više vrsta delova vremenski parametri ulaza i izlaza iz sistema najbolje se opisuju raspodelom Erlanga sa parametrom  $k = 1-3$ . Rezultati obradenih podataka prikazani su u tabeli 7.2., dok je na slici 7.5. grafički prikazan sistem sa odgovarajućim raspodelama na ulazu i izlazu iz sistema. Ovakva raspodela vremenskih parametara sistema ukazuje na postojanje velikih odstupanja od predviđenih i računskih vrednosti sistema, odnosno javlja se velika stohastika koja u mnogome utiče na tok materijala i delova kroz sistem. Raspodela vremena trajanja operacija - vremena zadržavanja delova na mašinama ponaša se po Eksponencijalnoj raspodeli. Ovako ponašanje je posledica obrade različitih delova na određenoj grupi mašina. Sve dosad prikazano o ovim sistemima ukazuje na prisustvo elemenata stohastike u radu sistema što se posebno odražava na tokove materijala.

Različito opterećenje sistema transporta (zbog različite tehnologije rada, drugačijeg redosleda kretanja između mašina i različite potrebe za obradom na pojedinim grupama mašina), predstavlja veliki problem kod

dimenzionisanja istog i određivanja optimalnog kapaciteta. Svi vremenski parametri imaju velike rasponne vrednosti, tako da se ne može srednjim vrednostima realno da opiše sistem. Za opisivanje i analizu ovih sistema moraju se koristiti stohastički modeli. Kada se koriste analitički modeli treba uzimati najnepovoljniji slučaj raspodele promenljivih zbog mogućih velikih odstupanja od prosečnih vrednosti. Ovakvi sistemi zahtevaju angažovanje transportnog sistema većeg kapaciteta zbog neravnomernosti ili se u suprotnom slučaju javlja nagomilavanje delova u međuskладиštima.



slika 7.5.

Kod fleksibilnih proizvodnih linija je mogla da se obavi samo analiza vremena zadržavanja delova na pojedinim mašinama jer celovitih fleksibilnih sistema (proizvodni i transportni deo) nema u funkciji i industriji. Fleksibilnost je uglavnom zastupljena u proizvodnom delu dok se operacije transporta obavljaju uglavnom klasičnim uređajima. S obzirom na ovakvu fleksibilnost sistema u proizvodnji i vreme zadržavanja delova na mašinama se ponaša različito:

- po Normalnoj raspodeli (N) za standardne operacije za standardne operacije koje se javljaju kod većine proizvoda.

- po Erlangovoj raspodeli (E) sa parametrima  $k = 3-9$  za operacije koje su specifične za određene proizvode. Za ove operacije variranje vremena zadržavanja je veće sa izraženom stohastikom.

Za do sada pomenute sisteme proizvodnje sa odgovarajućim transportnim podsystemom karakteristično je da su raspodele ulaznih vremenskih i izlaznih vremenskih parametara u istim granicama teorijskih raspodela, tj. proces proizvodnje sa transportom ne povećava niti smanjuje neravnomernost izlaza u odnosu na vremenske parametre ulaza. To znači da ako se promeni raspodela ulaznih parametara na isti način se menjaju i izlazni vremenski parametri. Postoji analogija ulaza i izlaza iz sistema. Značajno je podvući da preko promene transportnog sistema i njegovih karakteristika

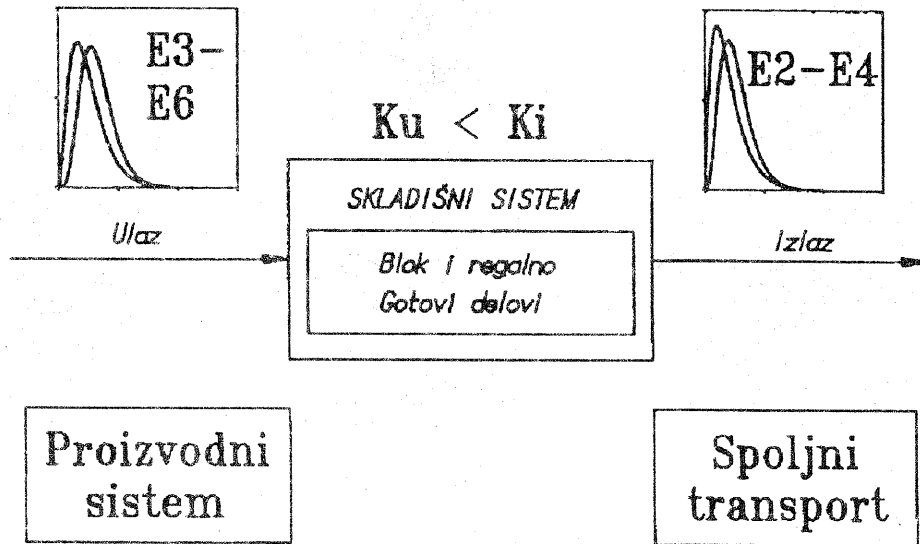
moguće je uticati na opšte vremenske parametre sistema odnosno na izlaz kao element koji je od posebnog značaja za željene rezultate. Treba naglasiti da je upravo podsistem transporta taj koji može najlakše da utiče na izlaz ali tako da se počne od odgovarajuće korekcije ulaza jer postoji analogija ulaznih i izlaznih vremenskih parametara.

Kod skladišnih sistema javlja se različita situacija. Analizirana su skladišta u kojima se skladišti roba i delovi koji dolaze iz procesa proizvodnje, paletnog, regalnog i visokoregalnog tipa, kao i međuskladišta koja se javljaju u procesu proizvodnje a posledica su različitih tokova materijala.

Kod skladišnih sistema koji su u funkciji proizvodnog procesa (skladišta finalnih proizvoda), uočava se tendencija povećanja neravnomernosti izlaznih vremenskih parametara u odnosu na ulazne parametre kao posledica rada u skladišnom sistemu. Naime kod konvencijalnih skladišta (uglavnom su to blok i regalna skladišta) ulaz odnosno vremenski parametri ulaznih veličina ponašaju se tako da ih je najbolje opisati Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k$  koji je u intervalu  $k=3-6$ . Izlazni odnosno vremenski parametri izlaznih veličina opisuju se takođe Erlangovom raspodelom ali parametar  $k$  uzima vrednosti  $k = 2-4$ . Ilustracija ovog su tablice 7.1. Drugim rečima u odgovarajućim sistemima uglavnom izlazna raspodela ima parametar ( $k_i$ ) koji je manji od parametara ulaznih raspodela ( $k_u$ ) odnosno:

$$k_i > k_u$$

Ovo ukazuje na pojavu veće neravnomernosti kod izlaza iz sistema. Ovo se grafički može prikazati kao na slici 7.6.

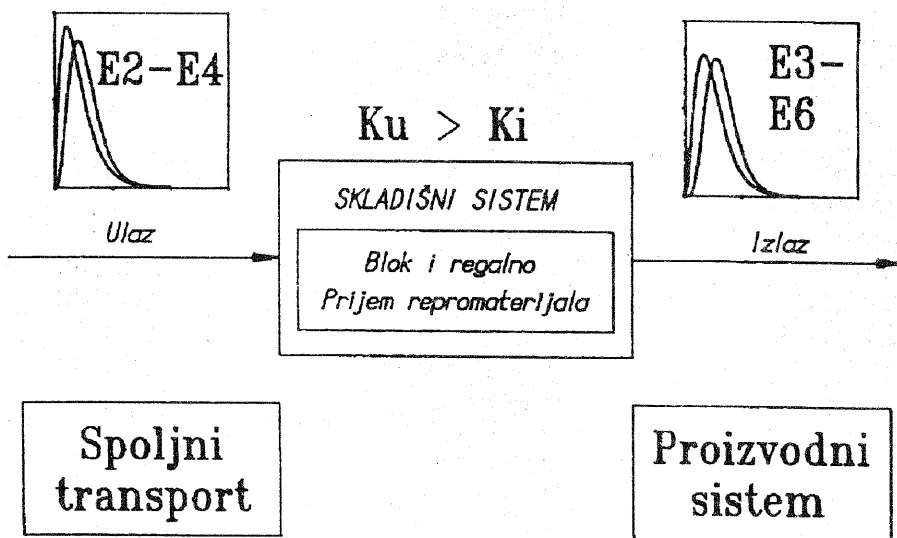


slika 7.6.

Treba reći da je u svim ovim sistemima tok materijala i podleže čestim promenama i neravnomernostima na šta ukazuje dobijena Erlangova raspodela sa parametrom  $k = 2-6$ . Stohastičnost kao kriterijum se ovde uvodi jer dolazi do

promene osnovnih parametara koji karakterišu proces u vremenu (menja se broj zahteva za transportom, dužina trajanja ciklusa opsluživanja, ulaz i izlaz iz sistema i sl.) Ovo znači da je odstupanje vrednosti vremenskih parametara od srednjih vrednosti značajno. Svakako da je ovo i posledica same tehnologije rada jer se odprema iz ovakvih sistema obavlja periodično, najčešće po Poasonovom toku, i u funkciji je rešenja spoljnjeg transporta odnosno uređaja spoljnjeg transporta. Ako se pogleda primer najčešće korišćenog uređaja spoljnjeg transporta za odpremu - drumskog sredstva transporta, jasno je da kada se napuni jedan kamion dolazi do prekida dok se drugi kamion ne postavi za punjenje i proces nastavi (ovo je jedan od povoljnijih slučajeva jer se često u ovakvim slučajevima čeka na dolazak drugog vozila). Doprema je takođe sa velikim neravnomernostima što je posledica i činjenice da se u skladište roba odnosno delovi dopremaju sa više mesta iz proizvodnje, a i svi delovi nisu isti. Ovo znači da se i ovdje javlja stohastika sa znatnim odstupanjem vrednosti od srednjih vrednosti.

Ista analogija važi i za skladišta koja predhode procesu proizvodnje samo što se odprema iz finalnih skladišta ponaša kao prijem kod prijemnih skladišta, a prijem kod finalnih skladišta odgovara odpremi kod prijemnih skladišta repromaterijala za proizvodnju, kao što je to prikazano na slici 7.7.



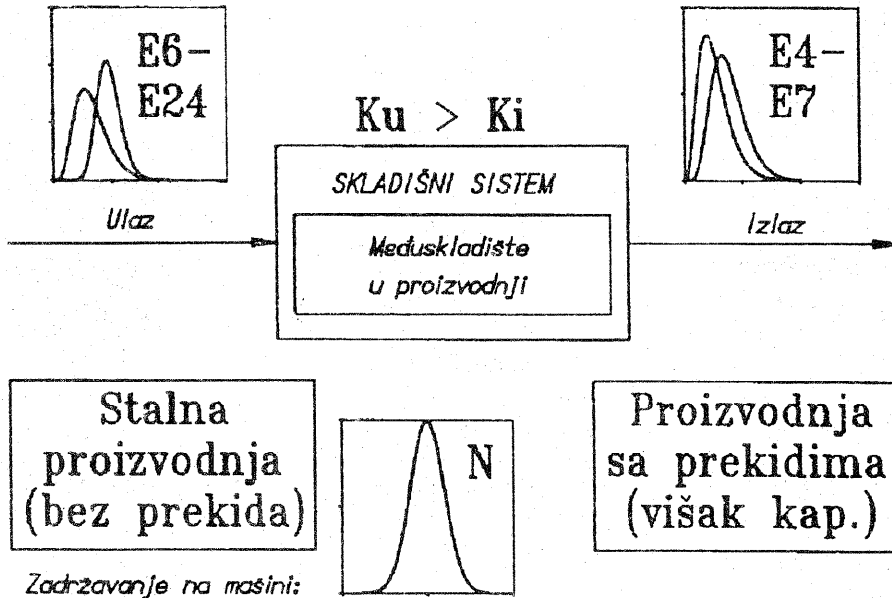
slika 7.7.

Kod skladišnih sistema ovog tipa uvek je problem odrediti optimalni kapacitet sistema kretanja materijala kao i njegov tip. Posledica toga je da se često javlja manji koeficijent vremenskog iskorišćenja uređaja transporta odnosno ima ih više da bi mogli da omoguće rad sistema kada se javi neravnomernost, što nije slučaj sa drugom opremom.

Kod međuskладиšta u proizvodnji javlja se nešto drugačija situacija nego kod skladišta. naime ulaz i odgovarajući vremenski parametri ovog podsistema su ravnomerniji i ponašaju se najbliže Erlangovoj raspodeli sa parametrom  $k=6-24$ , dok je izlaz i odgovarajuće vremenske parametre moguće opisati Erlangovom teoretskom raspodelom sa parametrom  $k = 4-7$ . To znači da je izlaz kao i kod skladišta neravnomeran, što potvrđuju rezultati u tablici 7.1., a što je prikazano na slici 7.8. I ovdje treba podvući da je:

$$k_u > k_i$$

stim što je razlika kod međuskладиšta znatno izraženija. Ulaz je u ovim podsistemima znatno uravnoteženiji što se može jednim delom objasniti da se proizvodnja permanentno odvija i da se međuskладиšte stalno puni, i to obično delovima koji su isti ili vrlo slični (familijija delova), a s obzirom da se vremena zadržavanja delova na mašinama odnosno vreme obrade ponaša uglavnom po normalnoj raspodeli, odnosno približno po srednjoj vrednosti i dolazak delova u međuskладиšte teži da se ponaša po istom zakonu. Do odstupanja dolazi zbog transporta ili zbog vremena formiranja transportne jedinice i sl. i zbog toga se javlja Erlang višeg reda.

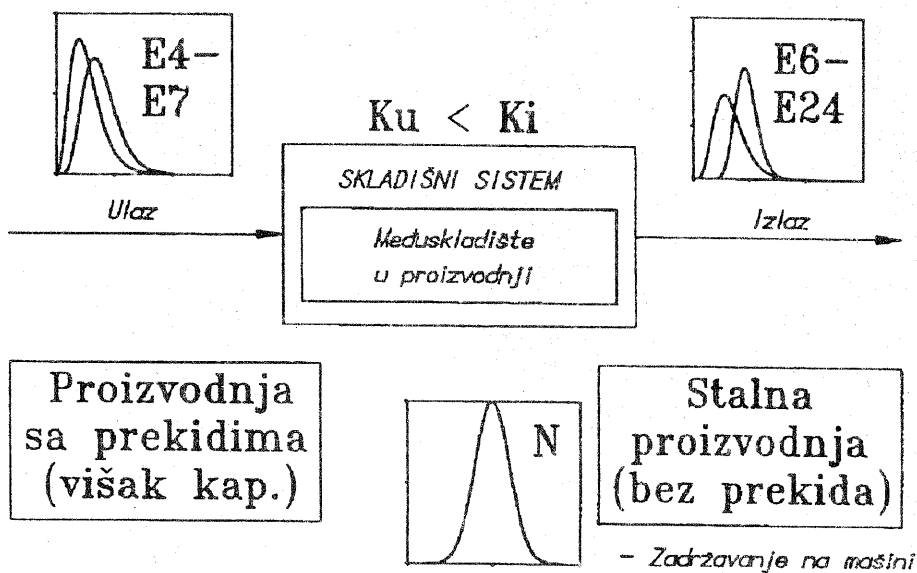


slika 7.8.

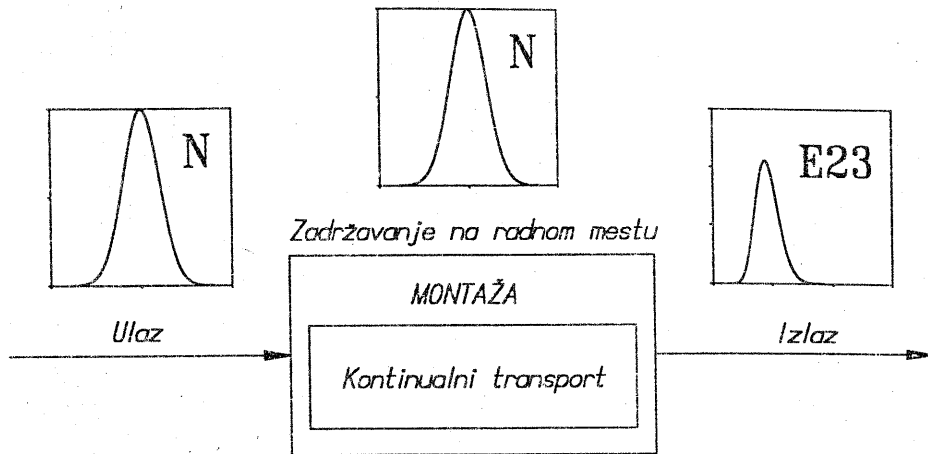
Izlaz iz međuskладиšta je po vremenskim parametrima vrlo sličan onom iz skladišta. I kod međuskладиšta se javlja više tražnji koje nisu konstantne već su funkcija operacija koje se obavljaju na mašinama koje imaju upražnjen kapacitet pa rade periodično što uslovljava neravnomernu tražnju.

Analogija važi i za međuskladišta koja se periodično pune sa mašina koje imaju višak kapaciteta pa periodično rade, a snabdevaju mašine koje permanentno rade. U ovom slučaju imamao da ono što je rečeno za izlaz važi sada za ulaz u ovo međuskladište, kao i da ono rečeno za ulaz sada važi za izlaz iz sistema, kao što je to prikazano na slici 7.9.

Kod sistema montaže, kod kojih je usvojen kontinualni sistem transporta (konvejserski ili sličan), ulaz u sistem se može opisati normalnim zakonom raspodele. Ovo je zato što je proces montaže determinisan i tražnja za delovima koju zadovoljava transportni sistem odvija se po normalnoj raspodeli odnosno po srednjoj vrednosti sa malim odstupanjem. Na izlazu iz sistema javlja se određena stohastika koja se opisuje Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k = 23$ . Rezultati su dati u tablici 7.2., dok je grafički prikaz ulaznih i izlaznih vremenskih parametara dat na slici 7.10.. Ovakvi rezultati su posledica pre svega tehnologije rada, na kraju procesa montaže delovi se obično zbog kontrole i probnog rada zadržavaju različito vreme što utiče na pojavu stohastike. Ove operacije zbog tehnologije rada traju vremenski različito što uslovljava neravnomernost na izlazu. Karakteristično je da klasičan sistem montaže sa kontinualnim podsistemom transporta ima ujednačen i ravnomeran tok materijala i transportni sistem ne povećava neravnomernost niti dovodi do stohastike u sistemu.



slika 7.9.



slika 7.10.

Analiza sistema kao celine ukazuje da je jedan od značajnih faktora koji utiče na stohastiku rada sistema upravo podsystem kretanja materijala odnosno transportni sistem. Zbog toga potrebno je posebnu pažnju usmeriti na analizu ovog dela sistema. Poznavanje rada ovog podsystema, izbor optimalnog kapaciteta, transporta i njegov sinhroni rad znatno utiču na rad celog sistema.

Analizu kretanja materijala treba početi od analize vremenskih parametara rada jer se njihovim poznavanjem mogu definisati aktivnosti transportniog sistema. Vremenski parametri koji su značajni za rad ovog podsystema su: vreme trajanja prosečnog ciklusa rada sa definisanjem odstupanja i stepena neravnomernosti, broj ciklusa koji se realizuje sa definisanjem vršnog broja u jedinici vremena, vremenski parametri povezivanja više uređaja u podsystem transporta (vreme čekanja na mestu pretovara i sl), vreme potrebno da se ostvari transportni zadatak i zbog toga potreban broj uređaja koji treba da rade, verovatnoća da se sistem nađe u određenoj situaciji itd.

Svaki transportni sistem sastavljen je od transportnih uređaja (elementi sistema) koji obavljajući osnovne operacije transporta zajedno sa ostalim uređajima čine podsystem kretanja materijala. Proučavanje ovog dela sistema svodi se na proučavanje rada transportnih uređaja, njihove međuzavisnosti i sposobnosti povezivanja u sistem. U industriji najzastupljeniji su sledeći uređaji koji se koriste za transport materijala:

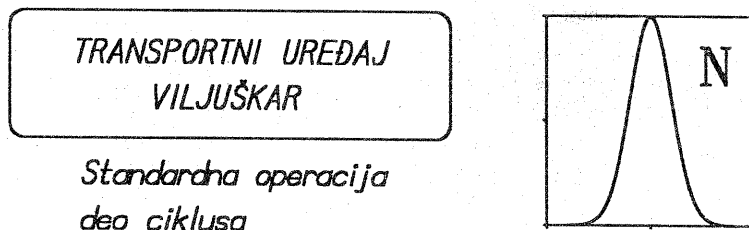
- viljuškar - obavlja operacije transporta između pogona ili proizvodnih celina, u proizvodnim celinama, skladištima i montažnim radionicama,
- visoko regalne dizalice - koje obavljaju transport i skladištenje u savremenim skladišnim i distributivnim sistemima u industriji.
- kranovi - obavljaju operacije transporta u proizvodnim i montažnim halama, i u delu skladišta uglavnom na prijeku i odpremi materijala i delova,
- uređaji kontinualnog transporta - sa specifičnim načinom rada
- ostvarivanje transporta sa objedinjavanjem funkcije međuskadišta,



Sistemi kontinualnog transporta su zbog svoje tehnologije rada analizirani kao podsistemi kretanja materijala u okviru analize proizvodnih i montažnih celina jer se oni ne mogu analizirati posebno preko uređaja već kao ceo podsistem.

Svakako da je najrasprostranjeniji i najviše u primeni u našoj industriji od svih transportnih uređaja viljuškar. Ovo mobilno transportno sredstvo se koristi za potrebe manipulacije i kretanja materijala u proizvodnim, montažnim i skladišnim sistemima. Rad viljuškara odvija se uglavnom u ciklusima. Kod njegovog rada mogu se razlikovati standardne operacije koje se pojavljuju jedanput ili više puta u okviru svakog ciklusa. U te operacije spadaju pre svih: zahvatanje materijala odnosno ttransportne jedinice (obično palete) koje obuhvata pozicioniranje vozila, izvlačenje/uvlačenje viljušaka, postavljenke viljušaka pod transportnu jedinicu sa podizanjem u transportni položaj (blagi nagib tereta prema vozilu zbog stabilnosti i sigurnosti pri transportu); odlaganje tereta odnosno transportne jedinice koja obuhvata pozicioniranje vozila, izvlačenje/uvlačenje viljušaka, samo spuštanje tereta, postavljanje vozila za transport bez tereta; okretanje pod  $90^\circ$  i  $180^\circ$ ; podizanje ili spuštanje transportne jedinice zbog utovara ili istovara sa vozila spoljnjeg transporta ili uskladištenja u regal ili blok skladište itd.

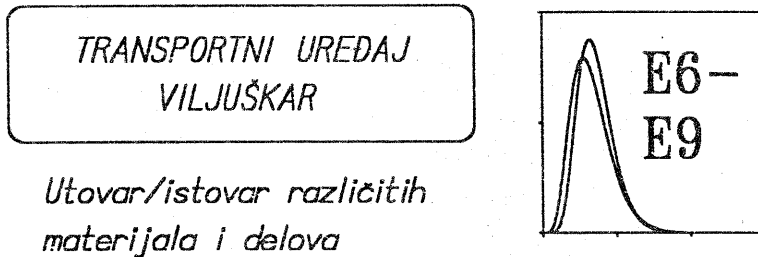
Analiza rezultata snimanja upravo ovih operacija koje su sastavni deo svakog ciklusa ukazuju da je vremensko ponašanje parametara operacija najbliže teoretskoj normalnoj raspodeli, što se može videti na osnovu rezultata datih u tabeli 7.3.. To znači da se ovi standardizovani elementi ciklusa ponašaju po normalnoj raspodeli što ukazuje na minimalno odstupanje od srednje vrednosti. U potpunosti se za određivanje vremenskih parametara ovih operacija mogu koristiti detrninističke vrednosti odnosno deterministički modeli. Na primer dovoljno tačne podatke daje detrninistički model odnosno proračun koji je prikazan u okviru poglavlja 4. gde se govori o vremenu trajanja operacija transporta. Analiza rezultata snimanja ovih operacija dat je na slici 7.11.



slika 7.11.

Ova analiza važi za one cikluse koji se ponavljaju i gde se osnovni paramateri ne menjaju bitno u vremenu. Ovo se odnosi na dužinu transportnog puta, način zahvatanja i odlaganja tereta (visina podizanja i spuštanja), i sl. Nemogu se primeniti kada se oni menjaju odnosno kada se viljuškar koristi kao transportno sredstvo između više različitih lokacija pa se javlja različiti put transporta i različiti zahtevi za transport a time i različito vreme trajanja ciklusa.

Stohastika se javlja kod standardizovanih operacija utovara i kod tereta koji nisu isti po masi, gabaritu, i obliku pakovanja. U tom slučaju operacije utovar-istovar najbolje se opisuju Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k$  koji uzima vrednosti od 6-9 (tablica 7.3.). Ovaj slučaj je dosta čest kod skladišnih sistema jer se tu javlja više vrsta roba sa kojima se radi sa različitim transportnim jedinicama. Kod proizvodnih sistema ovaj slučaj se javlja samo kada su sistemi veliki i kada objedinjuju proizvodnju velikog broja različitih proizvoda koji se dalje šalju kao polufabrikati (livnice, željezare itd) i razlikuju se u transportnim jedinicama koje se primenjuju u sistemu. Ova zavisnost se može grafički prikazati kao na slici 7.12.



slika 7.12.

Svi dosad analizirani procesi koji su obeleženi kao standardizovani, ako se tretiraju tako da se meri broj realizovanih procesa u jedinici vremena ukazuju da se ti podaci mogu opisati normalnom raspodelom. I ova činjenica ukazuje na standardizovanost pomenutih operacija, odnosno da oni malo odstupaju od srednje vrednosti. To znači da se u proračunima mogu uzeti kao deterministički. Ovo je značajan podatak za projektovanje jer se na bazi njih može odrediti tačan kapacitet pretovara.

Sve do sada rečeno o radu viljuškara ukazuje na deterministiku pomenutih veličina, a stohastika koja se javlja kod njegovog rada očigledno je povezana sa ostalim elementima ciklusa, stohastika očigledno postoji što potvrđuje analiza podataka za rad celih sistema u kojima figurišu viljuškari kao elementi sistema. Ova činjenica odnosno pretpostavka ukazuje da deo ciklusa koji se odnosi na vreme transporta kao funkcija pređenog puta sa ili bez tereta, je onaj element koji uslovljava stohastiku i neravnomernost rada viljuškara. Valjanost pretpostavke potvrđuju obrađeni podaci dati u tablici 7.3., jer analiza podataka ciklusa transporta ukazuje na postojanje neravnomernosti. Naime očigledno je da je dužina transporta vrlo bitna za vremenske parametre ciklusa transporta. Obzirom da je ovaj deo od posebnog interesa za proučavanje problematiku ciklusa transporta u odnosu na dužinu transportnog puta može se podeliti na:

- cikluse koji imaju kratak put transporta, (pri manipulaciji na prijemno odpremnoj zoni u skladištu i proizvodnji, opsluživanju sistema sa malim brojem mašina i sl.),

-cikluse koji imaju srednji put transporta, (rad na opsluživanju mašina sa grupnim rasporedom, transport između odeljenja u mašinskim radionicama, komunikacija skladište - proizvodnja, transport u remontnim radionicama i sl.),

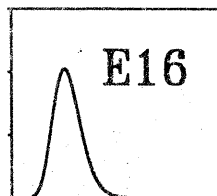
-ciklusi koji imaju dugačak put transporta, (transport između pogona u velikim fabrikama i sistemima koji je često vezan za transport između više odvojenih objekata i sl.).

Za svaki od pomenutih ciklusa dobijaju se različiti rezultati. Ciklus sa kratkim putem transporta najbolje se opisuje Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k = 16-18$  (tablica 7.3.) što je grafički dato na slici 7.13. Ciklus sa srednjim putem transporta najbolje se opisuje Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k = 24-25$  (tablica 7.3.) što je grafički prikazano na slici 7.14..

**TRANSPORTNI UREĐAJ  
VILJUŠKAR**

*Ciklus rada - kratak  
put transporta*

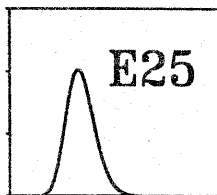
slika 7.13.



**TRANSPORTNI UREĐAJ  
VILJUŠKAR**

*Ciklus rada - srednji  
put transporta*

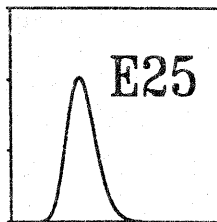
slika 7.14.



**TRANSPORTNI UREĐAJ  
VILJUŠKAR**

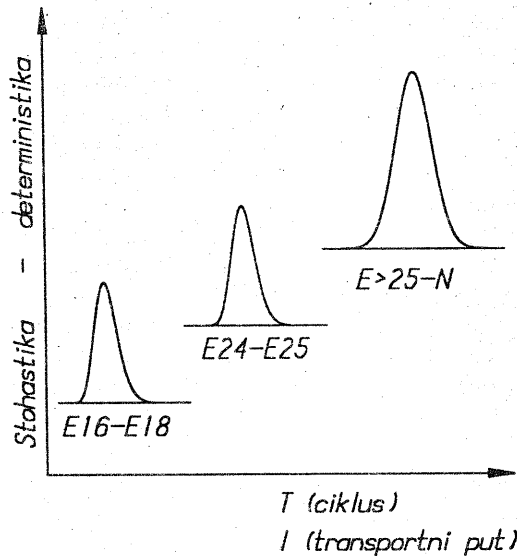
*Ciklus rada - dug  
put transporta*

slika 7.15.



Ova analiza ukazuje da je stohastika u obrnutoj srazmeri sa dužinom transportnog puta i vremenom trajanja ciklusa transporta, odnosno ona je najveća kod ciklusa sa kratkim putem transporta i najkraćim vremenom trajanja ciklusa. Jedna od činjenica koja objašnjava ovako ponašanje kod vremenski kratkih ciklusa sa kratkim transportnim putem, je da poremećaji koji

se javljaju u sistemu bitno utiču na sam proces. Bilo kakva nepredviđena prepreka, zastoje u radu, kvar ili neka slična nepravilnost bitno remeti i utiče na ciklus što ima za posledicu veću neravnomernost i stohastiku. Zbog kratkog transportnog puta i većeg broja ponavljanja ovih ciklusa i najmanji poremećaj u dužini puta, što je neminovno zbog tehnologije rada, utiče na ukupno trajanje ciklusa odnosno na različitu dužinu trajanja i povećanu neravnomernost. Svi pomenuti poremećaji koji su uvek prisutni pri kretanju materijala sa porastom vremenske dužine trajanja ciklusa gube od značaja da bi se kod onih sa dugačkim transportnim putem sa velikim vremenskim trajanjem ciklusa sasvim izgubio njihov uticaj i vremenski parametri težili srednjoj vrednosti odnosno, ponašali bi se po normalnoj raspodeli, i njihove vrednosti mogle da se tretiraju kao determinističke. Rezultati analize su prikazani na slici 7.16.

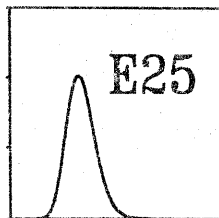


slika 7.16.

Tipičan predstavnik transportnih uređaja koji rade na ograničenom prostoru je kran, koji obavlja operacije transporta i manipulacije materijalom i delovima u proizvodnim pogonima. Rad kрана je analiziran u najuobičajenijem okruženju tj. u pogonu sa stalnom proizvodnjom na zadacima transporta i manipulacije delovima od ulaza, preko opsluživanja mašina do izlaza iz sistema. Analizirani su ciklusi rada kрана (tablica 7.5.) i dobijeni rezultati ukazuju da se vremenski parametri ciklusa najbolje opisuju Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k = 21-24$  i normalnom raspodelom. Normalna raspodela se javlja tamo gde su istorodni transportni zadaci odnosno gde se ponavljaju isti ciklusi. Na slici 7.17. dat je grafički prikaz analize rezultata. Očigledno je da se pri radu kрана na poslovima opsluživanja proizvodnje javlja malo odstupanje vremenskih parametara od srednjih vrednosti. Oni se mogu smatrati determinističkim i pri projektovanju se mogu koristiti kao takvi.

TRANSPORTNI UREDAJ  
KRAN

*Ciklus rada*



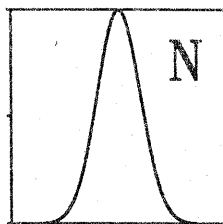
slika 7.17.

U grupu transportnih uređaja koji rade na ograničenom prostoru spadaju i visoko regalne dizalice. Ovi uređaji se danas sve više primenjuju i predstavljaju sinonim za savremene skladišne i distributivne sisteme. Zbog sve većeg značaja i primene u industrijskoj praksi posebna pažnja je posvećena upravo radu ovih uređaja. Iako spadaju u istu grupu uređaja kao i kranovi oni imaju niz specifičnosti u radu koje stvaraju tu razlikuju. Ovo se pre svega odnosi na proces komisioniranja odnosno pripremu robe za distribuciju koje se realizuje korišćenjem visoko regalnih dizalica.

Analiza ciklusa rada visoko regalne dizalnice od ulaza do izlaza paleta iz skladišta ukazuje da se vremenski parametri ciklusa najbolje opisuju normalnom raspodelom, što se vidi iz tablice 7.6., i na slici 7.18. Evidentno je da postoji potpuna analogija sa ciklusom kрана kada se radi o vremenskim parametrima. Sve ukazuje da je i ovde izražena deterministika tj. malo odstupanje od srednje vrednosti vremenskih parametara.

TRANSPORTNI UREDAJ  
VISIKO REGALNA DIZALICA

*Ciklus rada*

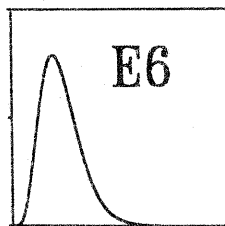


slika 7.18.

Stohastika se javlja kada se visoko regalna dizalica koristi za ručno komisioniranje, odnosno kada čovek na dizalici ručno odabira robu u skladištu. U ovom slučaju ciklus visoko regalne dizalnice se najbolje opisuje Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k = 7$  (tablica 7.6.), što se može videti na slici 7.19..

**TRANSPORTNI UREĐAJ  
VISIKO REGALNA DIZALICA**

*Ciklus ručnog komisioniranja*

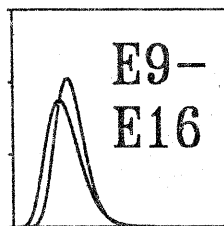


slika 7.19.

U skladišnim sistemima sa visoko regalnim dizalicama vrlo često se javlja slučaj da jedna dizalica radi u više hodnika. Ovaj slučaj se javlja kada je dinamika dopreme i odpreme robe relativno mala pa jedna dizalica može da opsluži više hodnika. Tada se za premeštanje visoko regalne dizalice iz hodnika u hodnik koristi posebni uređaj takozvana prevodnica. Analiza rada prevodnica visoko regalne dizalice, omogućava da se sveobuhvatnije sagleda rad celog skladišnog sistema. Ciklusi rada prevodnice mogu se opisati Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k = 10-16$ , što se vidi iz tablice 7.6., i na slici 7.20..

**TRANSPORTNI UREĐAJ  
PREVODNICA**

*Ciklus rada prevodnice  
za visokoregalnu dizalicu*



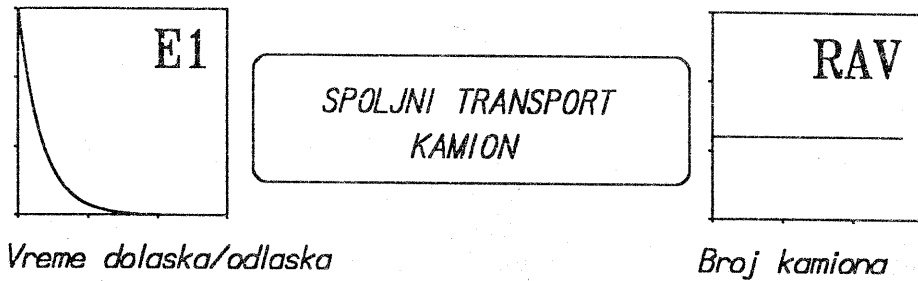
slika 7.20.

Rezultat analize ukazuje da je u radu prevodnice prisutna stohastika jer je zahtev za njenim korišćenjem slučajan događaj koji zavisi od asortimana robe u skladištu, njegovog rasporeda u hodnicima i sl. Na smanjenje stohastike utiče bolji raspored robe u hodnicima odnosno regalima, planiranje rada visoko regalne dizalice sa grupisanjem naloga za odpremu i optimizacija procesa komisioniranja (koncentracija operacija komisioniranja u jednom hodniku prema skupljenim nalogima pa tek onda prelazak u drugi hodnik itd.).

U dosadašnjim analizama bilo da se radi o celim sistemima ili o transportnim uređajima kao elementima sistema kretanja materijala često se pominjalo: prijem robe, istovar-utovar, odprema robe i sl. Ove kategorije su uvek povezane sa sredstvima spoljnog transporta koja su u radu uvek na granici tih sistema a time utiču i na rad celog sistema (uticaj okruženja). Tipičan predstavnik tih sredstava je kamion kojim se obavlja većina dopreme i odpreme robe do i od proizvodnih i skladišnih sistema.

Zbog toga interesantno je proučiti vremenske parametre pojavljivanja kamiona u sistemu i to preko dva karakteristična parametra: prosečnog vremena

između dolazaka i prosečnog broja kamiona koji dolaze-odlaze do i od sistema. Za kamione vreme između dolazaka ili odlazaka iz sistema može se opisati eksponencijalnom raspodelom dok se prosečan broj kamiona koji dolazi-odlazi iz sistema ponaša po ravnomernoj raspodeli (tablica 7.4.) što se vidi na slici 7.21. Ovi podaci su od značaja jer su oni u direktnoj vezi sa sistemom kretanja materijala i bitno utiču na njegov rad. (slika 7.21.)



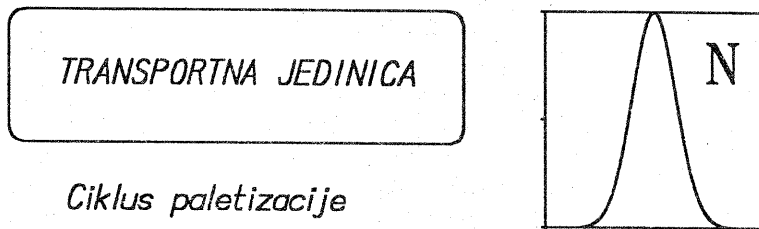
slika 7.21.

Komponenta koja je bitna kada se analizira sistem kretanja materijala u industrijskim sistemima, je i transportna jedinica. Formiranje transportnih jedinica utiče na funkcionisanje sistema kretanja materijala i zbog toga je značajno proučavanje svih parametara koji su vezani za ovaj proces. Kada se govori o transportnoj jedinici odmah se misli na promenu transportno - tehničkih stanja robe. To su procesi: paletizacije i depaletizacije, pakovanja, zaštite itd.

Posebno je interesantno za oblast kretanja materijala proučavanje vremenskih parametara formiranja transportnih jedinica jer su one u direktnoj vezi sa radom transportnih uređaja odnosno sa sistemom kretanja materijala. Uopšte uvođenje transportne jedinice vodi ka smanjenju stohastike u sistemu.

Analiza rezultata koji su prikazani u tablici 7.7., ukazuju na dve osnovne stvari:

- ukupan proces paletizacije koji obuhvata sve operacije (pakovanje, slaganje i sl.) može se opisati normalnom raspodelom, slika 7.22.;



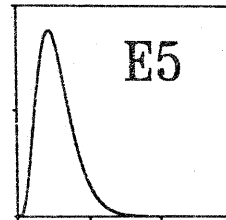
slika 7.22.

- ručno slaganje u osnovno pakovanje jedinica (kutije i sl.), i njihovo slaganje na paletu može se opisati Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k=5$ ,

(slika 7.23.) dok obrnuti proces, ručno skidanje osnovnog pakovanja sa palete može se opisati teoretskom Erlangovom raspodelom sa parametrom  $k = 7$  (slika 7.24).

TRANSPORTNA JEDINICA

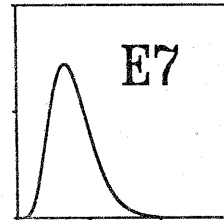
*Pakovanje i slaganje  
na paletu*



slika 7.23.

TRANSPORTNA JEDINICA

*Slaganje na palete*



slika 7.24.

Iz ovog se može zaključiti da pojedini delovi procesa paletizacije mogu da imaju veću neregularnost u radu, dok se ukupni proces paletizacije sa većim brojem podoperacija stabilizuje i ponaša se po normalnoj raspodeli. Karakteristično za ove procese je i činjenica da su procesi formiranja transportne jedinice ljudskim radom uvek neravnomerniji u odnosu na obrnute procese (raspakivanje i rasformiranje transportnih jedinica).

Snimljeni i obrađeni podaci mogu se sistematizovati i na druge načine koji se razlikuju od prezentiranog. Naime ako se kao kriterijum uzme tip raspodele (sa jedne strane ravnomerna raspodela kao raspodela koja najbolje opisuje sisteme koji imaju minimalno odstupanje vremenskih parametara od neke srednje vrednosti, preko normalne i Erlangove raspodele i njenog posebnog slučaja eksponencijalne raspodele kojom se opisuju sistemi koji imaju velika odstupanja od neke srednje vrednosti sa druge strane), odnosno neravnomernosti u rada sistema koja se najbolje opisuje datom raspodelom vremenskih parametara onda se dobijaju rezultati prikazani u tablici 7.8. Ova tablica daje matrični prikaz rezultata i sistematizaciju sistema preko tri karakteristične veličine: ulaza u sistem (U), izlaza iz sistema (I), i prosečnog vremena zadržavanja delova ili materijala na radnom mestu ili mašini (Z). Sistemi su složeni prema stepenu neravnomernosti koja se javlja kod pomenutih ključnih parametara procesa i sistema.

Na ovaj način data sistematizacija rezultata istraživanja u mnogome olakšava rad na projektovanju novih sistema ili rekonstrukciji postojećih sistema



jer se na bazi ovih rezultata može adekvatno opisati i analizirati odnosno dovoljno tačno predvideti ponašanje sistema korišćenjem raspodela istih.

Sličan pristup moguće je ostvariti i sa rezultatima koji se odnose na transportne uređaje i transportne jedinice kao osnovne elemente svakog sistema kretanja materijala. I ovde kao kriterijum za sistematizaciju može da se uzme stepen neravnomernosti raspodele, odnosno neravnomernost u rada uređaja i jedinica. Ovi parametri se najbolje opisuju normalnom i Erlangovom raspodelom. Na ovaj način dobijaju se rezultati prikazani u tablici 7.9. Oni mogu da se koriste u projektantskoj praksi za uvođenje novih sistema ili prilikom rekonstrukcije i analize postojećih sistema čije vremenske parametre možemo unapred pretpostaviti sa velikom sigurnošću.

Kao kriterijum za podelu mogu da se uzmu transportni procesi u sistemima (deterministički i stohastički). Tada pojedini podsistemi mogu da se sistematizuju kao što je dato u tablici 7.10. Matrica koja opisuje rad celih sistema pokazuje koji sistemi mogu da se posmatraju i analiziraju determinističkim veličinama, koji stohastičkim veličinama, a koji sistemi imaju i jednih i drugih veličina i mogu da se tretiraju sa oba pristupa ili da se delimično tretiraju jednim a delimično drugim pristupom.

Primenjujući isti kriterijum (deterministike i stohastike) na transportne uređaje i transportne jedinice dobija se matrica zavisnosti data u tablici 7.11. Tablica jasno ukazuje koji delovi transportnog sistema i koji vremenski parametri, koji ih karakterišu, mogu da se analiziraju determinističkim modelima, koji stohastičkim modelima i koji se nalaze na granici između ova dva suprotna slučaja.

tablica 7.8.

		RASPODELE												
SISTEMI	RAV	N	E>25	E 24-20	E 19-15	E 14-10	E 9-8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1
Fiksni raspored		U I Z												
Linjski raspored 1. deo		U I Z												
Montaža		U Z		I		U I *****								
Linjski raspored više delova		Z						*****						
Međusklađište iza proizvodnje					U			I						
Međusklađište pre proizvodnje					I			U						
Sklađište odpremno											U	I		
Sklađište prijemno												I	U	
Grupni raspored													U	I Z *****

Legenda:

U - ulaz;

I - izlaz;

Z - zadržavanje delova na mašini ili nekom radnom mestu;

\*\*\* - oblast koju obuhvata neka od veličina.

tablica 7.9.

TRANSPORTNI UREDAJI:	RASPODELE												
	N	E>25	E 24-20	E 20-16	E 15-10	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1
Viljuškar standardne operacije	***												
Paletizacija	***												
Visoko regalna dizalica ciklus	***												
Viljuškar - ciklus dug put transporta	*****												
Viljuškar - ciklus srednji put transporta		****											
Kran ciklus		****											
Viljuškar - ciklus kratak put transporta			****										
Prevodnica ciklus				*****									
Viljuškar utovar - istovar					*****								
Visoko regalna dizalica ručno komisioniranje							***						
Skidanje sa palete							***						
Pakovanje i slaganje na paletu									***				***

tablica 7.10.

TRANSPORTNI UREĐAJI	DETERMINISTIKA	DELIMIČNA DETERMINISTIKA I STOHAISTIKA	STOHAISTIKA
Viljuškar standardizovane operacije	██████████		
Paletizacija	██████████		
Kamioni broj dolazaka u vremenu	██████████		
Visoko regalna dizalica ciklus rada	██████████		
Viljuškar - ciklus dug put transporta	██████████		
Viljuškar - ciklus srednji put transporta	██████████		
Kran - ciklus opsluživanje proizvodnje	██████████		
Viljuškar - ciklus kratak put transporta		██████████	
Prevodnica - ciklus visoko regalna dizalica		██████████	
Viljuškar utovar i istovar		██████████	
Visoko regalna dizalica ručno komisioniranje			██████████
Skidanje robe sa palete			██████████
Pakovanje robe na paletu			██████████

Legenda:

██████████ - odlast koju obuhvata neka od veličina.

tablica 7.11.

SISTEMI	DETERMINISTIKA	DELIMIČNA DETERMINISTIKA I STOHAISTIKA	STOHAISTIKA
Proizvodni fiksni raspored	██████████		
Proizvodni linijski raspored proizvodnja jednog dela	██████████		
Montaža	██████████		
Proizvodni linijski raspored proizvodnja više delova	██████████		
Međuskladišta u proizvodnji		██████████	
Skladišta prijemna i odpremna		██████████	
Proizvodni grupni raspored			██████████

Legenda:

██████████ - odlast koju obuhvata dati sistem.

## LITERATURA

- /1/ Achard, G., Proth, J. M.: Fast evaluation of an unreliable transfer line with limited transportation devices, *Int.J.Prod.Res.*, Vol 28-2-90, London, str. 301 - 311.
- /2/ Apple, J., M.: Unutrašnji transport i rukovanje materijalom, Atlanta, Georgija, Industrijski inženjering IV, 1984.
- /3/ Beisteiner, F., Moldaschul, J.: Planung von innerbetrieblicher Transportsystemen, *Fordern + heben*, 10/86, Mainz.
- /4/ Buzacott, J., A.: Queueing modele of Kanban and MRP controlled production system, 5th International Working Seminar on Production Economics, Igls, Austria 1988.
- /5/ Deleersnyder, J-L., Hoodgson, T., J., O'Grady, P., J.: Batching policy in Kanban system, Graduate School of Management, University of Rochester, 1987.
- /6/ Foot, N., I., S.: Pedestrian traffic flow, DMG, DRS, Journal: Design research and methods, 7 part 2, 1973.
- /7/ Garrett, J., L., Silver, M.: *Production Management Analysis*, 2nd Edition, Harcourt Brace Jovanovich Inc., USA 1973.
- /8/ Gojnić, G.: Vertikalni transport, Saobraćajni fakultet, Beograd 1990.
- /9/ Gudehus, T.: Pufferplatze und Auslastbarket von Regalfordezeugen, fth, Nr 15, 1972.
- /10/ Gudehus, T.: Warteschlangen und Wartezeiten in Warenverteil und Lagersystemen, publ. DEMAG-Systemtechnik, Hagen.
- /11/ Hall, A., D.: Three-Dimensional Morphology of System Engineering, *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics III*, 1969.
- /12/ Hankin, B., D., Wright, R., A.: Passenger flow in subways, *Operation Research Quarterly*, S part 2, 1958.
- /13/ Hopp, W., Pati, N., Jones, P.: Optimal inventory control in a production flow system with failures, *Int.J.Prod.Res.* Vol 27-8-89, London, str. 1367 - 1384.
- /14/ Johri, P.: Interaktive algorithms for estimating the capacity of automated production lines with finite buffer, *Int.J.Prod.Res.* Vol 27-4-89, London, str. 687 - 699.
- /15/ Karmarkar, U., S., Kekre, S.: Batching policy in Kanban systems, Graduate School of Management, University of Rochester, 1987.
- /16/ Kimura, O., Terada, H.: Design and analysis of pull system. A method of multi-stage production control. *Int.J.Prod.Res.* 19, 1981.

- /17/ Kleinrock, L.: Queueing systems, Volume 1, Theory, University of California, Los Angeles 1975.
- /18/ Lalić, N.: MRP II sistem i strategija daljeg razvoja programskih proizvoda za njegovu podršku, YUBAMCS bilten II no 2, UNISYS, Beograd 1989.
- /19/ Maynard, H., B.: Industrijski inženjering IV knjiga, III izdanje, McGraw-Hill Book Co., Privredni pregled, 1984.
- /20/ Mileusnić, N.: Organizacija procesa proizvodnje, Privredni pregled, Beograd 1977.
- /21/ Nasri, F., Affisco, J.: Setup cost reduction in a inventory model with finite-range stochastic lead times, Int.J.Prod.Res., Vol 28-1-90, London, str. 199 - 212.
- /22/ Nenadović, M.: Matematička obrada podataka dobijenih merenjem, Srpska Akademija Nauka i Umetnosti, Beograd 1983.
- /23/ O'Flaherty, C., A., Perkinson, M., H.: Movement on a city center footway, Traffic engineering and control, 13, 1972.
- /24/ Ohne, T.: Toyotin proizvodni sistem, JMA.
- /25/ Older, S., J.: Movement of pedestrians on footways in shopping streets, Traffic engineering and control, 10, 1968.
- /26/ Petrić, J., Popović, S., i saradnici: Metode planiranja u složenim organizacijama udruženog rada, Naučna knjiga, Beograd 1982.
- /27/ Petrović, D.: Prilog određivanju kapaciteta transportnog sistema kod stohastičkih procesa kretanja u metaloprađivačkoj industriji, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd 1991.
- /28/ Petrović, D., Bugarić, U.: Paket programa IMMF-TEST, Institut za mehanizaciju - Mašinski fakultet (interna dokumentacija), Beograd 1989/90.
- /29/ Petrović, D., Bugarić, U., Zrnić, Đ.: Analiza i obrada stohastičkih veličina neophodnih za modeliranje transportnih sistema, Transport u industriji, Mašinski fakultet, Beograd 1992. str.129 - 34.
- /30/ Petrović, D., Bugarić, U., Zrnić, Đ.: Analiza i obrada stohastičkih veličina kod sistema kretanja materijala, Prvi međunarodni naučno - stručni skup "Teška mašinogradnja" TM '93., Kruševac - Vrnjačka Banja 1993., str. 138 - 142.
- /31/ Popović, D.: Fabrička postrojenja (skripta), Mašinski fakultet, Beograd 1962.
- /32/ Pourbabai, B.: Analysis and design of an Integrated material handling system, Int.J.Prod.Res., 26, 1988.
- /33/ Radenković, B., Zrnić, Đ., Čuprić, N.: Simulacioni model sistema za spajanje i račvanje pri transportu jediničnih tereta, 17. SYMOPIS, Kupari 1990., str.1417 - 420.
- /34/ Reed, R., Jr.: Plant Layout: Factors, Principles, and Techniques, Richard D.Irwin, INC, Homewood Illinois 1961.
- /35/ Shigeo, S.: Nova Japanska proizvodna filozofija, Jugoslovenski zavod za produktivnost rada, Beograd 1986.
- /36/ Simonović, V.: Uvod u teoriju verovatnoće i matematičku statistiku, Građevinska knjiga, Beograd 1989.

- /37/ Smunth, T., L., Perkins, W., C.: Stochastic unpaced line design review and further experimental results, *Journal of Operations Management*, 5/351.
- /38/ So, K., C.: On the efficiency of unbalancing production lines, *Int.J.Prod.Res.* Vol 27-4-89, London, str. 717 - 729.
- /39/ So, K., C., Pinault, S., C.: Allocating buffer storages in a pull system, AT&T Engineering Research Centre, 1987.
- /40/ Sretenović, M.: Mogućnost racionalizacije pretovarno-skladišnih procesa koji se realizuju viljuškarom primenom stohastičkih modela odlučivanja, Disertacija, Saobraćajni fakultet, Beograd 1984.
- /41/ Tabe, T., Muramatsu, R., Tanaka, Y.: Analysis of production ordering quantities and inventory variations in a multi-stage production system, *Int.J.Prod.Res.* 18, 1980.
- /42/ Tatomirović, M., Velimirović, S.: Transport u proizvodnji, ZIK, Izdavački centar, Beograd 1977.
- /43/ Taylor, Francis: Vol 27-4-89, London, str. 599 - 611.
- /44/ Togawa, K.: Study on fire escapes basing on the observation of multitrude currents (in Japanese), Report No 14, Building Research Institute, Japan 1955.
- /45/ Tregenza, P.: The design of interior circulation - people and buildings, London 1976.
- /46/ Zrnić, Đ.: Simulacija transportnih procesa, II Naučno-stručni skup o transportnim procesima u industriji, SMEITS, Beograd 1978., str. 47 - 59.
- /47/ Zrnić, Đ.: Izbor optimalnog sistema transporta u procesu uskladištenja komadnih materijala u paletnim skladištima, Disertacija, Mašinski fakultet, Beograd 1978.
- /48/ Zrnić, Đ.: Analiza transportnih procesa u paletnim skladištima, Mašinstvo u procesnoj tehnici, Beograd 1978.
- /49/ Zrnić, Đ.: A Method for Planning Materials Handling System in Warehousing, Proceedings of the 3rd International Conference on Automation in Warehousing, Part 1, IFS Chicago, USA, novembar 1979, str. 143 - 151.
- /50/ Zrnić, Đ.: Primena postupka simulacije u projektovanju transportnih sistema, Zbornik, Treće savetovanje, Građevinska mehanizacija u savremenoj praksi, Mašinski fakultet-Beograd i Proizvođači građevinske mehanizacije, Niš 1979, str. 59 - 67.
- /51/ Zrnić, Đ.: Primena teorije redova čekanja, Treći seminar o transportnim procesima u industriji, SMEITS, Beograd 1979, str. 39 - 52.
- /52/ Zrnić, Đ.: A Method of Planning Materials Handling System in Warehousing, Proceed. of the 3rd ICAW, Part 2, IFS, Stratford-upon-Avon, UK, juni 1980., str. 333 - 348.
- /53/ Zrnić, Đ.: Desing of a Bulk-Cargo Terminal System for a Steel Works, using Simulation Modeling, Proc. 1st Int. Congres IEM, Tome 2, Paris 1986, str. 599 - 608.
- /54/ Zrnić, Đ.: Projektovanje fabrika, III prošireno i dopunjeno izdanje, Beograd 1993.

- /55/ Zrnić, Đ., Kajgo, D., Dokić, R., Petrović, D.: Tehno-ekonomska studija transportno-manipulativnog sistema unutar Metalurškog kombinata, Smederevo, IES, CIP, Mašinski fakultet, Beograd 1985. /56/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Studija procesa uskladištenja repromaterijala, Projekat skladišta limova, repromaterijala, gotove robe i građe i međupogonskog transporta, rađeno za fabriku drumskih vozila, OOUR PDV, "GOŠA" Smederevska Palanka, Mašinski fakultet, Beograd 1985/86.
- /57/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Analiza transportno manipulativnog sistema željezare, IX Naučno stručni skup o Transportnim procesima u industriji, SMEITS, Beograd 1986.
- /58/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Projektovanje sistema skladišta i međupogonskog transporta za fabriku drumskih vozila, IX Naučno stručni skup o Transportnim procesima u industriji, SMEITS, Beograd 1986.
- /59/ Zrnić, Đ., Petrović, D. i saradnici: Idejno rešenje remontne radionice za potrebe Beogradskih elektrana, Mašinski fakultet, rađeno za Energoprojekt, Beograd 1987.
- /60/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Uticaj kretanja ljudi na rešenje layout-a, X naučno stručni skup o transportnim procesima u industriji, SMEITS i MFBGD, Beograd 1988.
- /61/ Zrnić, Đ., Petrović, D., Kosanić, N., Šelmić, R., Bukumirović, M.: Fleksibilni tehnološki sistemi u metaloprerađivačkoj industriji Beograda, deo projekta: Istraživanje fleksibilnih transportnih sistema i uređaja u industriji prerade metala, OZN Beograd 1987/88. /62/ Zrnić, Đ., Petrović, D., i saradnici: Identifikacija osnovnih problema u radu transportnih sistema i osnovne postavke za primenu fleksibilnih transportnih sistema u reprezentativnim pogonima Beogradske industrije, X Naučno stručni skup o transportnim procesima u industriji, SMEITS I MFBGD, Beograd 1988.
- /63/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Idejno rešenje skladišno - distributivnog centra Genex, Mašinski fakultet, Beograd 1989.
- /64/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Projektovanje skladišno distributivnog sistema sa posebnim ograničenjima, Logistik Saobraćajni fakultet Beograd, 1989.
- /65/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Kretanje materijala kao preduslov dobrog korišćenja kapaciteta u industriji, Produktivnost Mašinski fakultet, Beograd 1989.
- /66/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Idejno rešenje skladišno - distributivnog centra Genex, Novo rešenje sa novim korisnicima, Mašinski fakultet, Beograd 1990.
- /67/ Zrnić, Đ., Petrović, D., Jojić, R.: Razvoj CAD sistema za projektovanje paletnih skladišta, Industrijski sistemi - IS 90, Novi Sad 1990.
- /68/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Skladište rezervnih auto delova Zastava promet, Mašinski fakultet, Beograd 1990.
- /69/ Zrnić, Đ., Petrović, D., Jojić, R.: Softverska podrška (CAD) za projektovanje skladišnih sistema, Saopštenja br. 1 Mašinskog fakulteta, Beograd 1991.



- /70/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Prilog sistematizaciji podataka kod stohastičkih procesa kretanja materijala u industriji, SYMOPIS-91, Beograd 1991., str. 387 - 390.
- /71/ Zrnić, Đ., Petrović, D.: Novi skladišno distributivni centar rezervnih auto delova, 12. skup "Transport u industriji", Beograd 1992.
- /72/ Zrnić, Đ., Radenković, B., Čuprić, N.: Modeliranje sistema za ulaz-izlaz paleta u visokoregalnim skladištima, Racionalizacija transporta i manipulisanja br. 4., god. XXV, Beograd 1990.
- /73/ Zrnić, Đ., Radenković, B., Čuprić, N.: Prilog određivanju elemenata za spajanje i račvanje sistema za transport jediničnih tereta, Industrijski sistemi - IS 90, Novi Sad 1990.
- /74/ Zrnić, Đ., Radenković, B., Čuprić, N.: Određivanje intenziteta protoka elemenata za spajanje tokova kod tokova različitih prioriteta, 12. Jugoslovenski simpozijum, NU-Roboti-FTS, Cavtat 1990., str. 157 - 164.
- /75/ Zrnić, Đ., Radenković, B., Čuprić, N.: A study of the material flow systems (input/output) in high bay warehouses, International Journal of Production Research, 1991.
- /76/ Zrnić, Đ., Savić, D.: Analiza transportnih procesa u laboratorijskim uslovima, Šesti međunarodni simpozijum Kompjuter na sveučilištu, Dubrovnik 1984., str. 628.1 - 628.8.
- /77/ Zrnić, Đ., Savić, D.: Simulacija procesa unutrašnjg transporta, II dopinjeno i prošireno izdanje, Beograd 1987.
- /78/ Zrnić, Đ., Čuprić, N., Radenković, B.: Analiza transportnih procesa ulazno izlazne zone visokoregalnih skladišta, Saopštenja Mašinskog fakulteta 1/1992., Beograd 1992.
- /79/ Zrnić, Đ., Čuprić, N., Radenković, B.: A Study of Input/Output Systems in High-Bay Warehouses, 12th International Conference on Automation in Warehousing, New Orleans 1992.
- /80/ Wemmerlov, U., Hyier, N.: Cellular manufacturing in the US industry: a survey of users, Int.J.Prod.Res. Vol 27-4-89, London, str. 717 - 729.
- /81/ White, J., A.: The Changing World of Material Handling, Material Flow, vol 4., no 3., 1987.
- /82/ Wittrock, R., J.: Sheduling algorithms for flexible flow lines, IBM Journal of Research & Development 29, str. 401 - 412.
- /83/ Wittrock, R., J.: An Adapteble Scheduling Algorithms for Flexible Flow Lines, Research Report RC 11387.
- /84/ Vukadinović, S.: Masovno opsluživanje - treće dopunjeno izdanje, Naučna knjiga, Beograd 1988.
- /85/ Material Flow, Elsevier - Amsterdam, časopis, 1986.