

VELIKI SISTEMI MEHANIZACIJE I PROJEKTOVANJE UKUPNIH PERFORMANSI

Prof. dr Đorđe Zrnić,
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

U radu je prikazana mogućnost primene postupka TPD - Total Performance Design u projektovanju kompleksnih transportnih sistema. Posebna pažnja je poklonjena vrednovanju performansi sistema i njegovih komponenti, identifikaciji čvornih tačaka – elementarnih podsistema ESS (uskih grla sistema) i njihovoj optimizaciji kao sredstvu za poboljšanje performansi celokupnog sistema. Za kompleksne transportne sisteme (posebno za projektovanje velikih sistema) prikazan je postupak za optimizaciju performansi. Dat je pragmatičan pristup u kome se kombinuje simulacioni model sa više dimenzionalnim postupkom vrednovanja (zasnovanom na teoriji korisnosti).

Ključne reči: složeni transportni sistemi, veliki sistemi (Large Scale Systems), optimizacija, procena performansi, transport, projektovanje sistema.

UVOD

Projektovanje velikih i složenih transportnih sistema (Large Scale Systems) predstavlja poseban izazov za projektanta i to kako sa gledišta izbora i rasporeda opreme (prostorno i tehnološki), tako i odgovarajućih softvera kada se radi o programski upravljanim sistemima. Pošto se radi o sistemima uglavnom velike složenosti i dimenzija, velikih kapaciteta i instalisane snage sa različitim stepenom veza između elemenata (od veoma labavih do potpuno krutih) i sa međusobnim uticajima koji mogu da budu determinisani ili određeni stohastičkim veličinama njihova analiza i izbor rešenja za dati projektni zadatak se može tražiti samo primenom razvijenog postupka modeliranja na nivou sistema. Korišćen je sistemski prilaz kao način koji daje najbolje rezultate i model kao istraživački medijum koji omogućava da se posmatra kompleksna realnost. U toku istraživanja korišćene su brojne reference, ali se naglašava samo nekoliko (Bauer i Wegener 1975, Kobayashi 1978, Mesarović i Takahara 1975, Sage 1979, Zrnić 1979, Zrnić 1996, Zrnić 1997, Zrnić i ostali 1999 a, b, Zrnić i Jovanović 1999 a, b, Jovanović i Zrnić 2002).

Termin Large Scale Systems (LSS) se najčešće koristi za označavanje sistema sa velikim brojem komponenti koje treba da sarađuju na dostizanju zajedničkog cilja, pokušavajući da učine efikasno korišćenje raspoloživih resursa. U opštem slučaju LSS sastoje se od

mnogobrojnih podsistema sa međusobnim uzajamnim dejstvom koji izvršavaju različite planirane i upravljačke funkcije. Upravljanje takvim sistemima najčešće se ostvaruje sa hijerarhijskom strukturom, sa planiranom funkcijom na najvišem nivou koja se bavi optimalnošću i efikasnošću rada i upravljačkim funkcijama na nižem nivou koje ispunjavaju željene ciljeve višeg nivoa i bave se problemima neizvesnosti i sigurnosti (pouzdanosti) sistema. Mnogi od gore razmatranih sistema su kritični sa aspekta sigurnosti; mali nedostaci u njihovoj konstrukciji mogu da rezultiraju u bitnom riziku na ljudske živote i/ili okolinu. Šta više, veličina sistema je takva da čak i mala poboljšanja njihovih performansi mogu da vode do bitnih finansijskih dobiti. Iz ovoga se vidi da postoji jasna potreba da se povećaju sigurnost i efikasnost, odnosno da se dobiju visoke performanse LSS sistema.

Transportni sistemi najčešće pripadaju klasi kompleksnih sistema, a većina od njih grupi velikih sistema (LSS). Navode se neke od njihovih osnovnih karakteristika (Zrnić 1996):

- **multikriterijumski cilj** (vektorska ciljna funkcija (GF) nije linearna kombinacija svojih komponenti; lokalni ciljevi su često u konfliktnom odnosu,
- **granice sistema** (često nejasne u odnosu na okolinu, određuju se na osnovu iskustva i tekućih zahteva),
- **podsistemi** (u dostizanju lokalnih ciljeva optimizacija podleže dodatnim

ograničenjima, koja dolaze od drugih podsistema ili sa višeg nivoa; sužava se mogućnost direktne optimizacije lokalnog cilja),

- **komponente** (veliki broj komponenti i koordinata stanja; mogu da se grupišu u veće jedinice koje čine osnovnu strukturu bloka višeg nivoa; hijerarhijska organizacija - strukturna i upravljačka),
- **rast sistema** (na jednoj tački ekspanzije sistema dolazi do zasićenja, tako da dalji rast dovodi do suprotnih efekata, uticaji na granice rasta su: kapacitet, pouzdanost, osetljivost itd.; agregacija podsistema ima smisla samo ako se formira zajednička globalna GF),
- **upravljanje** (objekat upravljanja nije homogen, ciljevi upravljanja ne mogu se izraziti u opštem slučaju u kvantitativnom vidu; na svakom nivou se rešava upravljački triplet: objekat, cilj, ograničenja, i
- **metode** (nema formalnih metoda pomoću kojih se problemi horizontalne i vertikalne dekompozicije i lokalne i globalne optimizacije precizno rešavaju; promenljive se opisuju kvantitativno i kvalitativno).

Projektovanje i izgradnja velikih transportnih sistema (LSS) zahteva angažovanje znatnih investicija i sa obzirom na njihov značajni doprinos u ukupnim troškovima poslovanja potrebno je angažovati stručnjake raznih specijalnosti za njihovu uspešnu realizaciju. Ovi sistemi su prisutni u lukama, na lučkim terminalima za pretovar kontejnera i rasutih tereta, na železnici, aerodromima, građevinarstvu, rudarstvu, termoelektranama, obuhvataju fleksibilne transportne sisteme u proizvodnji i montaži, u skladišno distributivnim centrima, poštama, itd.

Cilj ovog rada je da prikaže neke elemente originalnog razvijenog postupka za modeliranje transportnih sistema i ukaže na značaj i neke probleme u modeliranju i projektovanju od izbora tipa do konačnog rešenja, a posebno uticaj sistema na razvoj, projektovanje, konstrukciju i performanse pojedinih njegovih elemenata.

OPŠTA RAZMATRANJA

Kretanje materijala (proces definisan grafom toka, intenzitetom toka i vremenom ciklusa) treba da poveže niz diskretnih procesa (često

stohastičkog karaktera) i omogući funkcionisanje ovako kompleksnih sistema. Sistem se sastoji od velikog broja tokova koji se ukrštaju, spajaju i razdvajaju i čine složenu transportnu mrežu. Postoji značajan međusobni uticaj jednih tokova na druge što otežava određivanje stvarnog kapaciteta sistema.

Složenost transportnih sistema zahteva razvoj posebne metodologije za izbor modela. Analitički modeli koji se najčešće koriste (modeli teorije čekanja) za analizu globalnih rešenja mogu da ocene performanse sistema (Zrnić 1997). Međutim, čak i sa uprošćavanjima i dekompozicijom sistema često nije moguće adekvatno postaviti odgovarajući analitički model. Poseban problem predstavlja klasifikacija realnih procesa na determinističke i stohastičke i primena odgovarajućeg modela. Sa stanovišta projektantske prakse deterministički pristup je jednostavniji, međutim, mogućnost njegove primene je ograničena. Stohastički pristup realnije opisuje proces i njegov dinamički karakter.

Potreba za predviđanjem i procenom performansi sistema egzistira od inicijalne koncepcije projektovanja arhitekture sistema do njegovog rada posle instalisanja. U fazi planiranja novog sistema projektant obično mora da napravi dva tipa predviđanja (Zrnić 1996). Prvo da predvidi prirodu primene (funkciju) i nivo opterećenja sistema (karakter radnog opterećenja). Pri tome, termin opterećenje sistema znači iznos zahteva za opsluživanjem koji se postavlja sistemu. Drugi tip predviđanja se bavi izborom rešenja baziran na hardverskoj i softverskoj tehnici i tehnologiji koja je na raspolaganju u periodu razvoja planiranog sistema. Ovde je osnovni kriterijum za izbor odnos performansi i troškova.

Projektovanje sistema zahteva jasno razumevanje kompleksnih interakcija između individualnih komponenti sistema. Relativno je lako napraviti specifikaciju koja obuhvata sve komponente sistema i parametre koji se odnose na performanse sistema. U procesu modeliranja nastaju teškoće pošto je celokupni sistem više nego suma njegovih komponenti.

Pri tome je lakše identifikovati skup kritičnih parametara, odnosno mnogo lakše mogu da se nađu odnosi ili postave jednačine koje daju relaciju ukupnih performansi sistema prema ovim parametrima. Treba napomenuti da kataloške vrednosti pojedinih komponenti

(uređaja) sistema i njihove performanse daju najčešće više nego indicije kako će celokupni sistem da se ponaša. Tačnost ovih predviđanja se zasniva na stepenu naših mogućnosti da prikazemo karakteristike rada komponenti sistema, na nivou performansi sistema.

Predviđanje performansi celokupnog sistema je teško pošto je priroda interakcije u opštem slučaju nelinearna i nedeterministička, tako da problem može da se svede na izolovanje i optimizaciju čvornih tačaka (resurse čije mogućnosti ozbiljno ograničavaju performanse celokupnog sistema), vodeći pri tome računa o međusobnim uticajima sistema na elemente sistema i obrnuto. Kada se stvori "usko grlo" u sistemu ostali resursi su lako opterećeni tako da se gubi njihova potencijalna produktivnost. Na primer, kada se dalje povećava opterećenje sistema, povećava se red čekanja kritičnog resursa, dok praktično nema povećanja reda čekanja na drugim resursima (opada stepen iskorišćenja).

Čvorna tačka ili elementarni podsistem (ESS) predstavlja mesto na kome se obavljaju tehnološke operacije, tok materijala se usporava radi pretovara, ili privremeno zaustavlja, dele ili sakupljaju transportni tokovi, menja transportno - tehničko stanje tereta, ili se privremeno skladišti materijal. Po definiciji ESS je podsistem koji se ne može dalje dekomponovati bez narušavanja zadate funkcije i koji je pogodan za optimizaciju u toku systemske analize (Zrnić 1979). Osnovni cilj uvođenja pojma ESS je da se njegove granice tako definišu da omoguće optimizaciju elementarnog podsistema na najpovoljniji način. Pri tome se prepušta projektantu da odredi odgovarajući skup elemenata ovoga podsistema. Na primer, ESS može da bude pretovarni most na terminalu za rasute terete (optimizacija kretanja kolica i pogona dizanja u cilju smanjenja pretovarnog ciklusa, ili mobilna drobilica (S_{13}) koja se pominje u poglavlju 4.

Procena performansi sistema u fazi projektovanja je veoma složen i odgovoran

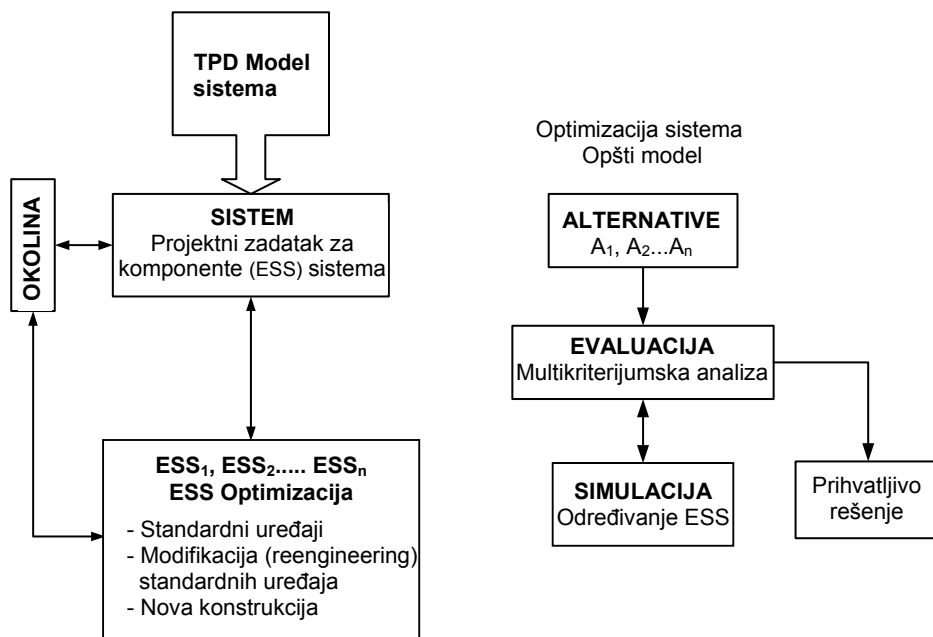
posao, tako da je razrađena metodologija za ocenu pojedinih mera kvaliteta opsluživanja:

- orijentisanih prema korisniku (npr. procenat narudžbina isporučen na vreme, procenat narudžbina koji je isporučen sa izmenama, broj reklamacija, prosečno vreme odgovora na reklamacije, vreme naručivanja, indeks zadovoljenja naručilaca, vreme odziva sistema, itd.) i
- orijentisanih prema sistemu (npr. vreme čekanja, vreme u sistemu, iskorišćenje resursa, sigurnost, pouzdanost, itd.).

METODA TPD I MODEL NA NIVOU SISTEMA

Osnovna ideja postupka TPD - Total Performance Design (Zrnić 1996) je da koordinira metode operacionih istraživanja za analizu na nivou sistema i metode optimizacije na nivou pojedinih komponenti. Posebno u slučaju kada je moguće standardne komponente modifikovati (reengineering process), ili kada je potrebno razviti novu konstrukciju pojedinih komponenti. U oba slučaja zahtevi koje postavlja sistem se tretiraju kao projektni zadatak za komponente. Pri tome u toku celog procesa projektovanja analiziraju se međusobni uticaji sistema, komponenti i okoline (slika 1).

Prikazani model na nivou sistema omogućava integrisano razmatranje simulacionog modela i metode višekriterijumskog vrednovanja. Prilaz je baziran na sledećem konceptu: simulacioni model se kombinuje sa formalnim procesom vrednovanja da bi se započeo iterativni proces traženja rešenja. Rezultati simulacije u ma kom vremenskom trenutku mogu se podvrgnuti formalizovanoj proceduri vrednovanja koja sadrži višekriterijumsku strukturu ciljeva. Postupak omogućava vrednovanje performansi sistema, kao i indikatora opšte korisnosti. Predloženi proces planiranja omogućava da u izboru alternativa pored projektanta učestvuju i donosioci odluka



Slika 1. Postupak TPD

Simulacioni modeli mogu da predstave kompleksan sistem, ali ne generišu optimalna rešenja, oni samo opisuju posledice datih alternativnih rešenja. Rešenju planiranog problema se prilazi eksperimentalno, pomoću iterativnog procesa učeći o ponašanju modeliranog sistema pod različitim uslovima i izolovanju čvornih tačaka, elementarnih podsistema (ESS). Eksperimentalni karakter simulacije korespondira na specifičan način sa iterativnim procesom odlučivanja. Razvijeni model vrednovanja je baziran na teoriji korisnosti (utility theory). U modelu kompleksan objekat koji se vrednuje je rastavljen na njegove nezavisne dimenzije pomoću hijerarhije cilja. Model evaluacije dobija podatke iz simulacionog modela i vrednuje ih koristeći višeciljnu strukturu. To dozvoljava da iterativan postupak dovodi do uspešnih "boljih" rešenja. Ovo čini da proces traženja rešenja postaje proces učenja, u kome kroz iterativnu primenu simulacije i evaluacije se prilazi projektnom rešenju koje je prihvatljivo.

Algoritam za sprovođenje višekriterijumske analize očekivane korisnosti može da se opiše u nekoliko koraka (Zrnić 1979). Ukoliko u procesu odlučivanja, treba izvršiti izbor između n različitih alternativa V_i ($i=1, 2, \dots, n$) i ako u procesu evaluacije učestvuje m kriterijuma K_j ($j=1, 2, \dots, m$), sledeći koraci su neophodni za sprovođenje ove analize:

- određivanje multidimenzionalnog cilja (K_j ; $j=1, 2, \dots, m$),
- prikazivanje alternativa kroz dostizanje cilja; formiranje matrice ispunjenja cilja (K_{ij}), alternativa V_i ,
- prikazivanje vrednosti alternativa preko m jednodimenzionalnog redosleda prioriteta; formiranje matrice vrednosti cilja $|n_{ij}|$, $j = \text{const}$,
- analiza međusobne nezavisnosti kriterijuma formirane matrice vrednosti cilja $|n_{ij}|$, i ,
- prikazivanje vrednosti alternativa preko m – dimenzionalnog rasporeda prioriteta; formiranje matrice vrednosti korisnosti $|N_{ij}|$.

Ocena pojedinih alternativa zavisi od vrednosti alternativnog rešenja u jednodimenzionalnom redosledu prioriteta $|n_{ij}|$ i težine (značaja) pojedinih kriterijuma g_j . Vrednost korisnosti je data izrazom: $N_i = \sum g_j \cdot n_{ij}$

IDENTIFIKACIJA PODSISTEMA I ELEMENATA SISTEMA

Identifikacija podsistema i njegovih elemenata se dobija dekompozicijom složenog sistema. Pri tome kriterijumi dekompozicije su najčešće funkcionalni, prostorni ili organizacioni. Najčešće se koristi funkcionalna dekompozicija, koja može da se izvede na dva načina, i to kao:

- strukturna dekompozicija, kada se međusobne veze mogu posmatrati kao binarne (Worfield 1974), ili kao veze sa različitim intenzitetom (Sidney 1972), i

- analitička dekompozicija sistema primenom operatora veza (Mesarović i Takahara 1975)

Koncept binarnih matrica (Worfield 1974), je jednostavniji za primenu u praksi, uvodi se za razmatranje funkcionalnog strukturalnog modeliranja i koristi se za opisivanje prisustva ili odsustva međusobnih veza ili uticaja elemenata složenog sistema (Zrnić i Jovanović 1999). Matematički iskaz međusobnih relacija je:

$S_i R S_j$ - elementi sistema imaju međusobne veze;

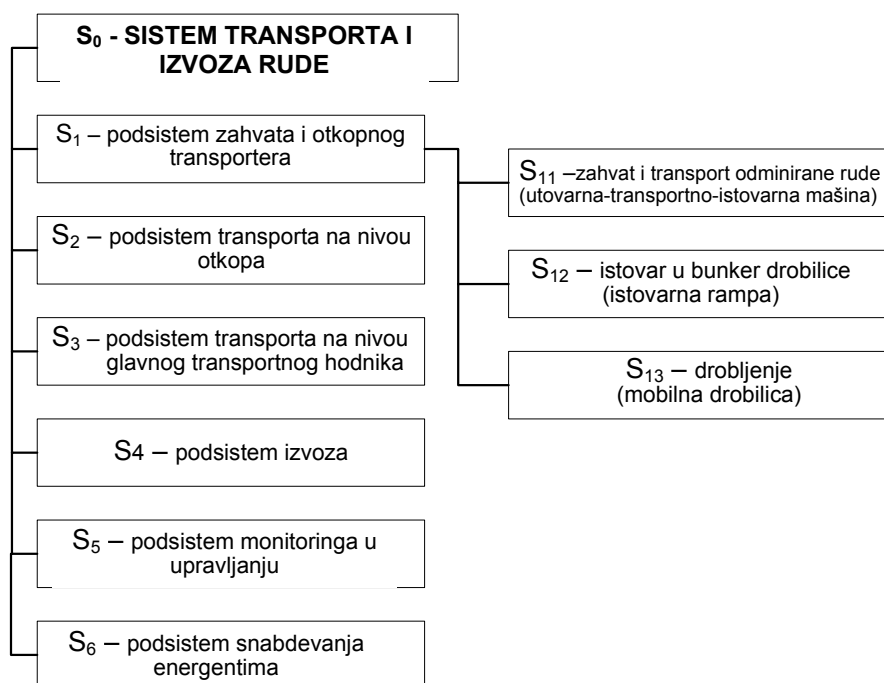
$S_i \bar{R} S_j$ - elementi sistema nemaju međusobne veze.

Pri tome složeni sistem se sastoji od više podsistema koji najčešće sadrže veliki broj elemenata.

$$S = (S_1 \cup S_2, \dots, S_{s-1}, S_s)$$

Metod hijerarhijske funkcionalne dekompozicije može se primeniti na bilo koju kvadratnu, tranzitivnu matricu, čiji pojedini elementi mogu imati i povratne veze. Pri tome je moguće definisati hijerarhijski nivo.

Primer funkcionalne dekompozicije jednog alternativnog rešenja do nivoa elementarnog podsistema, kod analize podzemnog kopa u Boru, dat je na slici 2. Kriterijum za dekompoziciju složenog sistema u podsysteme je funkcionalan, koji u ovom slučaju odgovara i prostornom. Detaljniji opis primenjenog postupka dekompozicije složenog sistema dat je u radu (Zrnić i Jovanović 1999).



Slika 2. Funkcionalna dekompozicija

STOHAISTIČKO PONAŠANJE SISTEMA I IZBOR MODELA

Poseban problem (u modeliranju) predstavlja klasifikacija realnih procesa (deterministički/stohastički) i primena odgovarajućeg modela. Stohastički uticaji mogu se podeliti na dve kategorije: na uticaje okoline i sistema. Uticaji okoline se odnose na medijum u kome sistem radi i kako on utiče na sistem i njegove performanse. Stohastičke uticaje u sistemu

(proces, dinamika toka, sinhronizacija pojedinih procesa, layout itd.) moguće je uzeti u razmatranje i kontrolisati kroz proceduru modeliranja realnih procesa i odgovarajuću primenu modela.

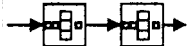
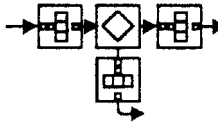
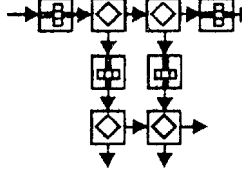
Sa stanovišta projektantske prakse, deterministički pristup je jednostavniji, ali je mogućnost njegove primene ograničena. Stohastički pristup realnije opisuje proces i njegov dinamički karakter. Poznavanje ovih zakonitosti

ponašanja vodi ka adekvatnom opisivanju kretanja materijala i koristi se kao izvor znanja u projektovanju sistema - odnosno izvođenju simulacionog eksperimenta. Formirana je baza znanja na osnovu sprovedenih istraživanja koja se sastoji od zapaženih zakona, prisutnih u kretanju materijala. Stvaranje baze podataka je pokazalo da postoje opšti zakoni ponašanja nekih sistema i procesa. Može se zaključiti da je moguće opisati empirijske zakone relevantnih faktora tokova materijala Erlangovom raspodelom (E_k $k=1,2,3,\dots,\infty$), (Zrnić 1979). Zapaženi zakoni ponašanja imaju za cilj da podignu kvalitet procesa projektovanja, posebno kod novih sistema, kada ovi relevantni podaci o prisutnom procesu nisu dostupni projektantu. Dati zakoni imaju za cilj da daju opšti karakter ponašanja sistema, tako da kroz proces modeliranja projektant se približava na lakši način skupu realnih rešenja. Podaci se

sakupljaju snimanjem sistema koji se razmatraju.

Pravilan izbor modela je jedan od bitnih preduslova za dobijanje rezultata modeliranja koji odgovaraju stanju realnog sistema. Pri tome je potrebno obratiti pažnju na sledeće elemente: strukturu modela, stepen apstrakcije, formulisanje strategije sistema i algoritme upravljanja, statističke rezultate objekta upravljanja i druge specifičnosti u modeliranju transportnih sistema.

Problem kome treba posvetiti posebnu pažnju je izbor strukture modela i zahtevi koji se javljaju pri sprovođenju procedure modeliranja. Pri tome tipove modela možemo da svrstamo u tri grupe: linearni sistemi, mreža povezanih sistema opsluživanja i kompleksna mreža povezanih sistema opsluživanja sa međuzavisnim stanjima (Slika 3).

STRUKTURA MODELA		
Vrsta	Karakteristike	Metode
1. Linearni sistemi. Međusobno dejstvo samo između susednih elemenata.	Ne postoje pravila upravljanja i otpreme.	Analitičke, simulacija. 
2. Mreža povezanih sistema opsluživanja sa međusobno nezavisnim konfliktnim čvornim tačkama. Opsluživanje i odlučivanje sa jednostavnim pravilima.	Funkcija sistema opsluživanja je nezavisna od stanja drugih elemenata. Lokalna pravila (strategija) grananja i sakupljanja; međusobno nezavisne tačke odlučivanja. Regulisanje protoka zavisi od objekta.	Analitičke (ograničena primena), simulacija. 
3. Složena mreža povezanih sistema opsluživanja konfliktnih oblasti sa međusobno zavisnim stanjima (ponašanje zavisi od stanja i pojavljivanja događaja drugog elementa). Viša strategija radne mreže. Pojedina stanja se registruju. Uvode se matrice odlučivanja.	Optimizacija strategija vezanih za objekat i međusobno zavisnih stanja. Pored upravljanja moraju da se primene i pravila otpreme.	Simulacija. 

Slika 3. Struktura modela

Pri tome je značajno usvojiti odgovarajući stepen opštosti modela:

- opšti za izbor alternativa, analizu koncepcije i strategije i predhodno određivanje kapaciteta; koriste se najčešće kvalitativna, uporedna vrednovanja; primenjuju se analitički modeli ili gruba simulacija (veći stepen apstrakcije), ili

- detaljni za dimenzionisanje mašina i postrojenja, tehničko funkcionisanje i optimizaciju sistema, odnosno kada se razvija algoritam upravljanja.

Formulisanje strategije sistema i algoritma upravljanja zavisno od nivoa hijerarhije upravljanja (operacija, blok, mreža, složena mreža) utiče na proces modeliranja:

- operacija; modeliranje topologije - konstrukcija modela sa prethodno pripremljenim blokovima (jednostavna pravila),
- blokovi; modeliranje - variranje parametara (opis funkcije bez identifikacije objekta),
- mreža; mogućnost modeliranja strategije upravljanja (alternative regulisanja protoka u tipičnim strukturama, spajanje, razdvajanje, itd.),
- složena mreža; malo standardnih pravila za modeliranje, koriste se pravila otpreme - osnova za fleksibilne transportne sisteme (Zrnić i Kosanić 2001), multikriterijumska funkcija cilja, zahtevi prema redosledu, pravila optimizacije.

Napominje se da pri modeliranju na nivou operacije, bloka i ponekada na mreži moguće je izvesti simulacioni eksperiment u jednoj ravni. Kod složene mreže izrada simulacionog eksperimenta obuhvata raščlanjavanje u postavljene ravni prema uobičajenoj hijerarhiji upravljanja u logistici; pri tome je između ravni omogućena definisana izmena podataka.

Izbor modela prema vrsti statističkih rezultata objekta upravljanja dat je zavisno od objekta analize:

- jedinica rukovanja (alati, artikli, itd.); iskorišćenje opreme i mašina, vreme protoka, zastoja, itd.,
- transportna jedinica (palete, sudovi, kontejneri); broj, vreme protoka, čekanja, itd.,
- transportna sredstva (dizalice, viljuškari, itd.); kapacitet, učestalost u radu, vreme manipulisanja, itd.,
- prostor (površina, zapremina); kapacitet skladišta, transportni putevi, itd., stanje

zaliha, opterećenje puta, iskorišćenje zapremine, itd.,

- ljudi (transportni radnici, radnici na komisioniranju, itd.); vreme rada, vreme prekida, opterećenje, itd.

Takođe, prisutne su razne specifičnosti u razvoju modela. Ovde će se kao primer navesti samo problem komisioniranja, npr. izbor strategije komisioniranja (Zrnić i ostali 2000), itd.

ZAKLJUČAK

Cilj ovoga rada je da predstavi napredak s obzirom na razvoj ovog praktičnog modela za analizu složenih transportnih sistema i procenu njihovih performansi. Neki karakteristični primeri modeliranja su dati u nizu radova: (1) opšti model terminala za rasute terete za analizu sistema i detaljni model čvorne tačke (elementarnog podsistema) za pretovarni most istog terminala (standardna konstrukcija je modifikovana uvođenjem poluautomatskog upravljanja kretanjem kolica kрана; (2) modeliranje modifikovane ulazno/izlazne zone automatskog skladišta; (3) model fleksibilnog transportnog sistema (ESS su: kolica jednošnog transportera i konstrukcija raskrsnice); (4) model KOMI za planiranje procesa komisioniranja u skladištima i model mobilne podizne platforme gde je ispitana mogućnost uvođenja aktivne konstrukcije (Zrnić 1996; Zrnić i Bošnjak 1997 a, b; Zrnić 1998; Zrnić i ostali 1998) i analiza transportnog sistema u podzemnom kopu rudnika bakra u Boru, (Zrnić, Jovanović 1999 a, b; Jovanović i Zrnić 2002), itd.

Osnovna ideja postupka TPD je da se koordiniraju metode operacionih istraživanja za analizu na nivou sistema i metode optimizacije na nivou pojedinih komponenti. Posebno u slučaju kada je moguće standardne komponente modifikovati (reengineering process). Prikazan je pragmatičan modelski pristup na nivou sistema. Prilaz je zasnovan na sledećem konceptu: simulacioni model se kombinuje sa formalnim procesom vrednovanja da bi se započeo iterativni proces traženja rešenja. Postupak omogućava vrednovanje performansi sistema, kao i njihov odnos prema opštem konceptu korisnosti.

Rezultati istraživanja su sledeći:

- izvršena je sinteza teorije i prakse,
- uveden je koncept čvorne tačke, elementarnog podsistema koji je pogodan za optimizaciju,
- omogućena je optimizacija na različitim hijerarhijskim nivoima,
- predloženi postupak iterativne primene simulacije i vrednovanja omogućio je, korak po korak, uvid u pojedina rešenja i njihovu korisnost, i
- konstrukcija se razmatra kao integralni deo složenog sistema.

LITERATURA

- /1/ Bauer, V., Wegener, M. (1975): Simulation, Evaluation, and Conflict Analysis in Urban Planning. Proceedings of the IEEE, Volume No 63, pp 405-413.
- /2/ Kobayashi, H. (1978): Modeling and Analysis: An Introduction to System Performance Evaluation Methodology, Addison-Wesley Publ. Comp, London.
- /3/ Mesarović M. D. Takahara (1975): General System Theory: Mathematical Foundations, Academic Press, New York.
- /4/ Sage, A.P. (1979): Systems Engineering: Methodology and Application, IEEE Pres, New York.
- /5/ Sydney, F. L. (1972): A new Methodology for the Hierarchical Grouping of Related Elements oif a Problem, IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. Vol SMC2, pp 23-29.
- /6/ Worfield, J.N. (1974): Structuring Complex Systems, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, USA
- /7/ Zrnic, Đ. (1979): A Method for Planning Materials Handling in Warehousing, Proceed. of the 3rd ICAW (International Conference on Automation in Warehousing) IFS Publ., Chicago, pp 143-151.
- /8/ Zrnic, Đ. (1996): Some problems of modeling the complex transportation and storage systems. Scientific review, Serbian Scientific Society, Number 15, pp 107-124.
- /9/ Zrnic, Đ. (1997): Some problems of modeling the complex material flow system, In: Manufacturing Systems: Modeling, Management and Control, Ed. by P. Kopacek PERGAMON – Elsevier Science, pp 429-434.
- /10/ Zrnić, Đ., Bošnjak, S. (1997a): Contribution to the Improvement of the Service System Performance using Active (Intelligent) Elements of the System, Proc. of the International Conference on Mechanical Transmissions and Mechanisms (MTM'97), IFToMM, Tianjin, China, China Machine Press, Beijing, pp. 1096-1100,.
- /11/ Zrnić Đ., Bošnjak S. (1997b): The improvement of the mobile platform performance using active elements, Proc. of the Third ECPD International Conference on Advanced Robotics Intelligent Automation and Active Systems, Bremen, Germany, pp. 524-530.
- /12/ Zrnić, Đ. (1998): Total performance design and active constructions, Proc. of the XV ECPD International Conference on Material Handling and Warehousing ICMHW'98, Faculty of Mechanical Engineering, Material Handling Institute, pp. 1.3-1.6. (uvodno predavanje)
- /13/ Zrnić, Đ., Bošnjak, S., Zrnić, N. (1998): On a kinematics, dynamics and strength of mobile elevating platform, Mašinstroene, Vol. XLVII, Sept. 1998, pp. 64-69.
- /14/ Zrnić, Đ., Dragović, B., Radmilović, Z. (1999): Anchorage-Ship-Berth Link as Multiple Server Queing System, Journal of Watherway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 125, No. 5, Sept/Oct, ASCE, pp. 232-240.
- /15/ Zrnić, Đ., Jovanović, A. (1999a): Total Performance Design (TPD) for ore transportation system, In: Large Scale Systems: Theory and Application, Ed. by N. Koussoulas and P. Groumos, PERGAMON (Elsevier Science), pp. 307-312.
- /16/ Zrnić, Đ., Jovanović, A. (1999b): Ore transportation system design, .Proc. of the Miskolcer Gesprache '99, Vol. 8, Die neunsten Ergebnisse auf dem Gebiet Fordertechnik und Logistic, Ed. by J. Cselenyi, Miskolc, Hungary, pp. 27-34 (predavanje po pozivu).

- /17/ Zrnić, Đ., Kosanić, Ž. (2001): Some Problems of Flexible Transportation System Design, Proc. of the Miskolcér Gesprache 2001, Vol. 10, Die neunsten Ergebnisse auf dem Gebiet Fordertechnik und Logistic, Ed. by J. Cselenyi, Miskolc, Hungary, pp. 25-32 (predavanje po pozivu).
- /18/ Zrnić, Đ., Kosanić, N., Čuprić, N., Zrnić, N. (2002): Total performance design of transportation systems, Proceedings of International Conference on Industrial Systems, "IS 2002", pp. 164-171, Institut za industrijsko inženjerstvo i menadžment FTN Novi Sad, Vrnjacka Banja, November 22-23, Yugoslavia.
- /19/ Jovanović, A., Zrnić, Đ. (2002): Best Variant Solution of Cooper Ore Transport in Underground Mining (Invited session), IFORS 2002 (The 16. Triennial Conference), Operational Research in a Globalised, Networked World Economy, Edinburgh, Scotland, UK. (Rad je jedan od ukupno 6 radova koji su nagrađeni od strane žirija).

LARGE SCALE MECHANIZATION SYSTEMS AND TOTAL PERFORMANCE DESIGN

The paper has the aim to present the possibility of application of the procedure TPD – Total Performance Design in designing of complex transportation systems. Special attention is paid to evaluation of performances of the system and its components, identification of knot points – elementary subsystems ESS (bottlenecks of the system) and their optimization, as a means for improvement of performance of the whole system. For the complex transportation systems (especially Large Scale Systems) the procedure is presented for optimization of performances. In this paper, a pragmatic approach is presented which combines simulation model with a multiattributive evaluation model (based on the utility theory).

Key words: Complex Transportation Systems, Large Scale Systems, Optimization, Performance evaluation, Transportation, Systems Design.