



PD 12407



003088021

COBISS

UNIVERSITET U BEOGRADU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

OPTIMIZACIJA POUZDANOSTI  
PROIZVODNIH SISTEMA  
U GRAĐEVINARSTVU

DOKTORSKA DISERTACIJA

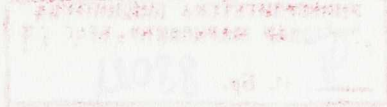
MR. BRANIŠLAV N. IVKOVIĆ, dipl. inž.

BEOGRAD

1988



P2 12407



UNIVERZITET U BEOGRADU

GRADJEVINSKI FAKULTET

OPTIMIZACIJA POUZDANOSTI PROIZVODNIH SISTEMA  
U GRADJEVINARSTVU

DOKTORSKA DISERTACIJA



MR. BRANISLAV N. IVKOVIĆ, DIPL. INŽ.

И. Бр. 88021

Универзитет у Београду

Географски факултет

Докторска дисертација

Докторска дисертација



Dr. Branka N. Ivanović

Radom na doktorskoj disertaciji rukovodili su prof. dr. Živojin Prašćević i prof. dr. Radivoj Petrović od kojih sam tokom poslediplomskih studija prvi put i saznao osnovne pristupe analizi pouzdanosti sistema. Prof. dr. Živojin Prašćević je ukazujući na mogući značaj primene teorije pouzdanosti u građevinarstvu i odredio pravac istraživanja. Zahvaljujem im se za pruženu podršku, strpljenje i date sugestije. Saznanja koja sam stekao od prof. dr. Bogdana Trbojevića i doc. Alekseja Postnikova, posebno o tehnologiji građenja - osnovnom izvoru ulaznih podataka bitnih za uspešnu primenu bilo koje teorije, odnosno metode u oblasti organizacije i tehnologije građenja bila su mi uvek dragocena. Zahvaljujem se njima kao i kolegi mr. Draganu Arizanoviću koji mi je omogućio da u poslednjoj godini kontinualno radim, preuzimajući značajan deo mojih obaveza na fakultetu.

Vera i Milutin Štrbić su, sa velikom voljom i željom da što bolje obave svoj deo posla, izvršili tehničku obradu rukopisa i tabela. Zahvaljujem im se ubeđen da su u tome uspeli.

Posebnu zahvalnost dugujem kolegama u Inženjerskom računskom centru Građevinskog fakulteta i radnoj jedinici za specijalna projektovanja Instituta "Jaroslav Černi", koji su mi svesrdno pružili moralnu i materijalnu podršku tokom izrade disertacije, kao i RZNS koja mi je omogućila naučno usavršavanje u inostranstvu.

## SADRŽAJ

I	UVOD	1
II	TEORIJA POUZDANOSTI I METODE STATISTIČKE ANALIZE	9
III	RAZNI PRISTUPI ANALIZI POUZDANOSTI SISTEMA	21
IV	RASPOLOŽIVOST PROIZVODNIH SISTEMA	
	1. Uvod	28
	2. Metodologija za analizu raspoloživosti	32
	2.1. Uvod	32
	2.2. Metoda uravnoteženja učestalosti	34
	2.2.1. Koncept učestalosti	35
	2.2.2. Osnovni pokazatelji raspoloživosti sistema	37
	2.3. Raspoloživost i vrednost pokazatelja raspoloživosti za različite oblike veze komponenata	38

2.3.1.	Serijski sistem	41
2.3.2.	Paralelni sistem	50
2.3.3.	Aktivna paralelna veza tipa (K,N)	53
2.3.4.	Pasivna paralelna veza tipa (K,N)	57
2.4.	Pristup analizi raspoloživosti u funkciji strukture sistema	60
3.	Uticaj raspoloživosti sistema na rezultat i prodajnu cenu rada sistema	63
3.1.	Uvod	63
3.2.	Uticaj raspoloživosti elemenata na rezultat rada sistema	65
3.3.	Uticaj raspoloživosti sistema na prodajnu cenu rada sistema	67
4.	Zaključak	71

#### V ANALIZA RASPOLOŽIVOSTI PROIZVODNOG SISTEMA program, model i rezultati

1.	Uvod	73
2.	Model za analizu - praktični primer	75
3.	Program za analizu raspoloživosti sistema	83
4.	Rezultati analize modela	85
5.	Zaključak	92

#### VI OPTIMIZACIJA POUZDANOSTI PROIZVODNIH SISTEMA

1.	Uvod	95
2.	Heurističke metode	97
3.	Proširenje heurističke metode Nakagawe i Nakashime	103
4.	Zaključak	116

## VII OPTIMIZACIJA POUZDANOSTI PROIZVODNOG SISTEMA-

- program, model i rezultati

1.	Uvod	118
2.	Model za analizu - praktični primer	118
3.	Program za optimizaciju pouzdanosti	126
4.	Optimizacija pouzdanosti varijantnih rešenja	128
5.	Zaključak	133

## VIII ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

1.	Uvod	135
2.	Procedura za analizu i optimizaciju pouzdanosti proizvodnih sistema u gradjevinarstvu	135
3.	Uporedna analiza efekata primene aktivne i pasivne strukture tipa (K, N)	138
4.	Zaključak	146

LITERATURA	148
------------	-----

## PRILOG I

Program za analizu raspoloživosti proizvodnih sistema u gradjevinarstvu	161
---	-----

## PRILOG II

Program za optimizaciju pouzdanosti proizvodnih sistema u gradjevinarstvu	171
---	-----

PORUKA AUTORA	202
---------------	-----



## I UVOD

Projektovanje proizvodnih sistema u gradjevinarstvu i planiranje njihove funkcije je osnovni deo posla u fazi pripreme realizacije investicionih projekata. Polazeći od toga da tokom realizacije investicionog projekta na jednom ili više mesta, često lokacijski znatno udaljenih, funkcioniše više različitih proizvodnih sistema u sklopu istog cilja, može se zaključiti da je osnovni preduslov za valjano upravljanje projektom potpuno poznavanje očekivanih vrednosti potreba za raznovrsnim resursima i svih pokazatelja funkcije pojedinih proizvodnih sistema. Samo na osnovu ovih saznanja moguće je pravovremeno obezbediti potrebne resurse i uskladiti i uspešno koordinirati rad tih sistema. Jasno je da potrebe za resursima: materijalom, radnom snagom, mehanizacijom, informacijom i energijom, direktno zavise od projektovane strukture i pretpostavljenih elemenata sistema, kao što zavise i efekti njegove funkcije iskazani preko:

- rezultata rada sistema u jedinici vremena,

- prodajne cene rada sistema u jedinici vremena,
- cene rada sistema po jedinici mere proizvoda i
- potrebnog vremena za izvršavanje predviđenog obima posla.

Ovi kvantitativni pokazatelji funkcije sistema su ujedno i osnovni ulazni podaci - informacije za proračune i donošenje odluka u bitnim fazama realizacije investicionog projekta: fazi izrade ponude i fazi ugovaranja. Pogrešna procena njihovih vrednosti rezultuje finansijskim i moralnim neuspehom gradjevinske firme, koji se ogleda u neopravdano visokoj ponudi ili ugovaranju loše procenjenog, odnosno finansijski i vremenski podcenjenog posla.

Prvi korak u projektovanju i planiranju funkcije proizvodnog sistema je studija mogućih tehnoloških rešenja za konkretan problem. Da bi taj korak bio uspešno izvršen potrebno je, na osnovu prethodnih saznanja i korišćenjem baze istorijskih podataka, formirati više varijantnih tehnoloških rešenja, uočiti sve postupke i operacije, kao i radna mesta, a potom sagledavajući potrebne i raspoložive resurse prikupiti podatke i izvršiti proračun karakterističnih vrednosti i pokazatelja funkcije mogućih elemenata sistema. Pristup koji je sada prisutan u praksi ne podrazumeva u okviru ovog proračuna i proračun veličina koje karakterišu verovatnoću pojave stanja funkcije ili stanja otkaza pojedinih elemenata sistema, a samim tim i proračun tih veličina za sistem u celini, kao i analizu njihovog uticaja na vrednost pokazatelja funkcije sistema. Izbor optimalnog rešenja u tom pristupu se uglavnom zasniva na dva osnovna kriterijuma:

1. Planirani rezultat rada sistema mora da bude veći ili jednak zahtevanom rezultatu rada i
2. Optimalno rešenje sistema je najekonomičnije rešenje, odnosno, rešenje čija je planirana prodajna cena rada (PLCSIS) minimalna.

Ovaj u suštini deterministički pristup proračunu rezultuje optimističkim vrednostima pokazatelja funkcije sistema, jer apriori podrazumeva kontinuiranu funkciju svih elemenata sistema. Zbog toga se u praksi eventualni promašaji u projektovanju sistema

i proceni rezultata njegove funkcije pokušavaju da nadoknade uglavnom preko faktora rizika koji se pojavljuje u kalkulacijama prilikom nudjenja i ugovaranja posla. Bitno je istaći da faktor rizika maglovito obuhvata sve poremećaje stohastičkog karaktera koji deluju na proizvodni sistem i to od onih iz okruženja, npr. ratni uslovi, nedostatak materijala, do unutrašnjih koji se nikada precizno ne definišu. Jasno je da se mnogi unutrašnji poremećaji mogu eliminisati, jer su uglavnom subjektivne prirode. Tu se pre svega misli na lošu procenu obima posla po svim parametrima, naročito četiri navedena ključna kvantitativna pokazatelja, nepostojanje informacionog sistema, do očekivane posledice - lošeg rukovodjenja.

Da bi proizvodni procesi bili projektovani na osnovu realnih ulaznih parametara i da bi realno bili planirani i sagledani rezultati njihove funkcije, neophodno je u toku projektovanja izvršiti analizu raspoloživosti i proračun pokazatelja raspoloživosti pojedinih elemenata sistema, proizvodnih linija i sistema u celini, što je i predmet razmatranja poglavlja IV. U tom poglavlju su date teorijske osnove i definisan metodološki pristup analizi raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti, a posebno je u tački 3. analiziran njihov uticaj na vrednost kvantitativnih pokazatelja funkcije proizvodnih sistema u građevinarstvu. Na osnovu definisanog metodološkog pristupa formiran je program za elektronski računar (PRILOG I) koji je u poglavlju V iskorišćen za proračun raspoloživosti, pokazatelja raspoloživosti i stvarnih efekata funkcije konkretnih proizvodnih sistema. Time je pokazano da je još u fazi projektovanja proizvodnih sistema moguće uočiti elemente i podsisteme koji najviše utiču na verovatnoću ostvarenja planiranih vrednosti rezultata rada, finansijske realizacije i vremena trajanja radova, i istovremeno planirati održavanje pojedinih podsistema na osnovu proračunatih vrednosti pokazatelja raspoloživosti. U ovoj fazi projektovanja proizvodnog sistema prikupljaju se sve bitne informacije o usvojenom tehnološkom rešenju i relevantni podaci za formiranje matematičkih modela u kojima funkcija cilja može biti optimizacija pouzdanosti sistema, minimizacija troškova, maksimizacija profita, itd.

Raspoloživost je karakteristični pojam održavanih sistema. On predstavlja sposobnost sistema da izvršava zahtevanu funkciju u odredjenom trenutku vremena ili u odredjenom vremenskom periodu (BS4778)[98]. Po istom standardu (BS4778) pouzdanost, pojam karakterističan za neodržavane sisteme, predstavlja sposobnost sistema da izvršava zahtevanu funkciju pod datim uslovima i u odredjenom vremenskom periodu. U literaturi se mogu pronaći različiti oblici ovih definicija, ali je suština ista. Najčešća izmena se odnosi na reč "sposobnost" koja se zamenjuje sa izrazom "verovatnoća sa kojom će". Frankel [38] definiše tri osnovna tipa raspoloživosti:

1. Trenutna raspoloživost (instantaneous ili point [111] availability), koja predstavlja verovatnoću da će sistem biti raspoloživ u slučajnom vremenskom trenutku  $t$ , odnosno u specificiranom vremenu  $t$  intervala  $[0, T]$ .
2. Raspoloživost stanja funkcije (up-time ili interval [111] availability), koja predstavlja očekivanu vrednost procenta ili proporcije vremena u specificiranom intervalu  $[0, T]$  u kojem je sistem raspoloživ za korišćenje.
3. Raspoloživost ili raspoloživost u ustaljenom stanju (availability ili steady - state availability), koja predstavlja očekivanu vrednost procenta ili proporcije vremena kada je interval vremena vrlo dug u kojem je sistem raspoloživ za korišćenje.

Ako se posmatra jednokomponentni sistem, i njegova zahtevana raspoloživost stanja funkcije označi sa  $A_u$ , može se napisati da je maksimalan broj dozvoljenih otkaza komponente  $i$

$$N_i = \frac{(1 - A_u) \cdot T}{r_i} \quad (1)$$

gde je:

$r_i$  - očekivana vrednost vremena trajanja opravke komponente

$T$  - dužina vremenskog intervala u kojem se posmatra funkcija komponente.

Jasno je da otkazi nisu dozvoljeni ukoliko je  $r_i \geq (1-A_u) \cdot T$ . Pošto pouzdanost predstavlja verovatnoću bezotkaznog rada onda je verovatnoća dostizanja takve vrednosti  $A_u$  i veće, tako da je  $(1-A_u) \cdot T \leq r_i$ , jednaka pouzdanosti tog sistema, odnosno

$$P \left[ (1-A_u) \cdot T \leq r_i \right] = R(t) \quad (2)$$

pri čemu je  $t$  vreme između planiranih perioda popravke sistema.

Polazeći od toga da se i u uslovima ustaljenog stanja kada je vremenski period  $T$  vrlo dug mogu planirati kraći vremenski periodi između redovnih popravki sistema  $t$ , u ovom radu je, kao i kod mnogih autora, pojam pouzdanosti korišćen za održavane sisteme u poglavljima VI, VII i VIII. U tim poglavljima je analizirana problematika optimalne alokacije redundansi i izbora najpovoljnijih kandidata za pojedine elemente sistema u cilju obezbedjenja kontinuiranog, bezotkaznog rada proizvodnog sistema sa aspekta zahtevanog rezultata rada, odnosno analiziran je problem optimizacije pouzdanosti proizvodnih sistema. Pri analizi tog problema pošlo se od stava Barlowa i Proschana da bi fizički sistem bio veoma neobičan ili jako loše projektovan ukoliko bi zamena pokvarene komponente sa ispravnom uzrokovala prelazak sistema iz stanja funkcije u stanje otkaza [10], što znači da su proizvodni sistemi posmatrani kao sistemi sa koherentnom strukturom. Zaključak koji odavde proističe da su funkcije monotono rastuće u svakom argumentu je i osnovni uslov za primenu proširene heurističke metode Nakagawe i Nakashime na osnovu koje je formiran i program za optimizaciju pouzdanosti proizvodnih sistema (PRILOG II). Program je u poglavlju VII korišćen za

optimizaciju pouzdanosti varijantnih rešenja konkretnog proizvodnog sistema, a u poglavlju VIII je pomoću njega, pored proračuna u koraku IV definisane procedure, izvršena i uporedna analiza varijanti optimalnog rešenja problema sa primenom aktivne, odnosno pasivne paralelne strukture tipa  $(K,N)$  za alocirane redundanse.

Značajan uticaj na vrednost kvantitativnih pokazatelja funkcije sistema, a pre svega na pouzdanost i prodajnu cenu po jedinici mere rezultata rada, ima odluka o primeni aktivne ili paralelne strukture tipa  $(K,N)$  za vezu elemenata u podsystemima. Uporedna analiza elemenata alociranja redundansi primenom ova dva tipa veze, ali samo sa aspekta vremena trajanja kontinuirane funkcije strukturne veze tipa  $(r,N)$ , data je u [136]. Zaključeno je da je primena pasivne veze u proizvoljnom slučaju povoljnija od aktivne paralelne veze tipa  $(r,N)$ . Obzirom da su u građevinarstvu najčešće prisutna strukturna rešenja podsystema u kojima je  $k > r$ , ovaj problem je razmatran sa aspekta vremena trajanja zahtevane funkcije za strukture tipa  $(K,N)$  i vršena je uporedna analiza efekata primene aktivne ili pasivne paralelne veze. Ovde su data samo neka uvodna razmatranja.

U aktivnoj paralelnoj vezi tipa  $(K,N)$  u vremenu  $t$ , svih  $N$  elemenata stupa u funkciju i otkaz nastupa u trenutku  $t_{N-K+1}$ , tj. onda kada otkaze  $(N-K+1)$  element po redu. U slučaju pasivne paralelne veze tipa  $(K,N)$   $K$  potrebnih elemenata za ostvarivanje zadate funkcije stupa u dejstvo, a  $(N-K)$  elemenata se nalazi u hladnoj rezervi. Otkaz prvog od  $K$  elemenata u funkciji uzrokuje angažovanje jednog od  $(N-K)$  elemenata koji se nalaze u hladnoj rezervi i tako redom. U slučaju kada je broj rezervnih elemenata  $(N-K) \leq K$  prekid funkcije nastupa u trenutku vremena  $t_{N-K+1}$ , tj. onda kada otkaze  $(N-K+1)$  element. Ako se sa  $T_1, T_2, \dots, T_k, \dots, T_n$  označe slučajna vremena rada  $K$  osnovnih i  $(N-K)$  rezervnih elemenata, onda je slučajno vreme bezotkaznog rada za aktivnu paralelnu vezu tipa  $(K,N)$

$$T_r^{(1)} = \max \left\{ \min_{(N-K+1)} \left[ T_{i \in N} \right] \right\} \quad (3)$$

a za pasivnu paralelnu vezu

$$T_r^{(2)} = \max \left\{ \min_{(N-K+1)} \left[ T_{i \in K} \right] \right\} \quad (4)$$

Na osnovu (6) i (7) može se zaključiti da su vremena bezotkaznog rada kada je  $(N-K) < K$  samo u jednom mogućem slučaju jednaka, a da je u svim ostalim slučajevima  $T_r^{(2)} > T_r^{(1)}$ . Naime, ako se posmatra grupa od  $N$  elemenata i razmatra strukturno mogućnost njihovog angažovanja u obliku aktivne ili pasivne veze tipa  $(K, N)$ , jasno je da će vremena bezotkaznog rada u oba slučaja biti jednaka samo onda ako se u prvoj grupi od  $K$  angažovanih elemenata standby veze angažuje i onih  $(N-K+1)$  elemenata koji prvi otkazuju. Tada će prvih  $(N-K)$  otkazanih elemenata biti zamenjeno sa  $(N-K)$  elemenata iz hladne rezerve, ali će se  $(N-K+1)$  otkaz dogoditi kada i  $(N-K+1)$  otkaz kod aktivne paralelne veze. Jedino će pri takvom slučajnom izboru elemenata  $T_r^{(2)} = T_r^{(1)}$ .

Nesporan je zaključak da je u pogledu dužine vremena bezotkaznog rada u prednosti strukturno rešenje sa hladnom rezervom, ali je bitno napomenuti da u tom pogledu značajan uticaj ima i kvalitet upravljanja proizvodnim procesom sa aspekta pravovremenog uključivanja standby elemenata u funkciju. Prednost ovog tipa strukturnog rešenja je značajna i sa ekonomskog aspekta kada su u pitanju oprema i građevinske mašine, što je predmet razmatranja u tačkama 2. i 3., poglavlja IV i poglavlja VIII u kojem je pokazano da je efekat dodatnih ulaganja finansijskih sredstava u redundanse ovog tipa veći sa aspekta očekivnog rezultata rada. Sa druge strane pokazano je u istom poglavlju da u situaciji striktnog finansijskog ograničenja treba primenjivati aktivnu paralelnu vezu u cilju ostvarenja što većeg rezultata rada.



Predložena procedura u poglavlju VIII u potpunosti definiše pristup analizi i optimizaciji pouzdanosti proizvodnih sistema u građevinarstvu. Primenom tog pristupa u projektovanju proizvodnih sistema i planiranju njihove funkcije i rezultata rada, uvodi se egzaktni proračun stvarnog finansijskog efekta i obima posla, kao i dinamike izvršavanja aktivnosti na gradilištu. Vrednosti intenziteta otkaza pojedinih elemenata sistema ( $\lambda$ ) i intenziteta njihove popravke ( $\mu$ ) predstavljaju bitne ulazne podatke, a njihov proračun zahteva posebnu metodološku analizu. Proizvođači građevinskih mašina i kapitalne opreme za građevinarstvo u većini slučajeva obavestavaju kupce o vrednostima intenziteta otkaza i vremenima trajanja pojedinih popravki ili zamene određenih delova koje proračunavaju na osnovu stalnog praćenja eksploatacije svojih proizvoda i uslova u kojima se ona odvija. Informacija o vremenu potrebnom da se izvrši popravka ili zamena određenih delova predstavlja jedini siguran parametar za određivanje vremena trajanja stanja kada je element van funkcije, odnosno intenziteta popravke kao njegove recipročne vrednosti. Ostali parametri kao što je vreme potrebno da se donese odgovarajuća upravljačka odluka ili obezbedi odgovarajući rezervni deo, direktno zavise od kvaliteta rukovodećeg kadra i informacionog sistema radne organizacije, kao i od organizacione strukture na projektu i nivoa primene saznanja iz oblasti operacionih istraživanja u pripremi realizacije posla. Zbog toga se ni ne vrši unifikacija vrednosti intenziteta popravke za pojedine mašine ili opremu, nego se te vrednosti najčešće određuju za konkurentsku organizaciju i odgovarajuću vrstu posla.



## II TEORIJA POUZDANOSTI I METODE STATISTIČKE ANALIZE

Pouzdanost se može formulirati i kao nauka o predviđanju, proceni ili optimizaciji verovatnoće opstanka, očekivanog vremena funkcije i trajanja otkaza komponenata, podsystema ili sistema. Prvi korak u razvoju modela za analizu i optimizaciju pouzdanosti je definisanje i opis sistema i njegovih zahteva. U tom pogledu bitna je kategorizacija sistema na glavne podsysteme i definisanje njihove funkcije i međusobne zavisnosti i uticaja. Za sisteme koji su u funkciji ili sisteme čije je projektovanje u završnoj fazi, te je moguće izvršiti analizu ponašanja komponenata, značajan deo posla predstavlja osmatranje funkcije podsystema i svake komponente. U ranim fazama projektovanja sistema kada još nisu definisani dobri opisi sistema i njihove funkcije moguće je na osnovu preliminarnih izveštaja, planova i specifikacija izvršiti konzervativno predviđanje pouzdanosti sistema.

Početak analize u suštini zavisi od nivoa raspoloživih informacija. Prvi koraci su usmereni ka analizi oblika otkaza i

efekata otkaza posmatranih podsistema, odnosno komponenata. Različiti oblici otkaza se prepoznaju prema različitim efektima koje oni mogu imati na sistem. Sa aspekta kompleksnosti problema i obima statističkih podataka koje je potrebno prikupiti i analizirati, bitno je svesti broj oblika otkaza na opravdan, najmanji mogući broj. U proizvodnim sistemima je značajno uočiti one oblike otkaza većeg broja komponenata ili jednog ili više podsistema čiji je uzrok zajednički.

Modeli pouzdanosti sistema mogu se podeliti na:

1) Statičke modele - modele kod kojih se u toku analize pouzdanosti pojedinih komponenata i podsistema posmatraju kao konstantne vrednosti. Podrazumeva se da su to vrednosti dobijene na osnovu osmatranja funkcije tih komponenata tokom odredjenog vremenskog perioda, i

2) Dinamičke ili vremenski zavisne modele koji su prirodno proširenje statičkih modela. Osnovni uslov za njihovo formiranje je poznavanje funkcije raspodele vremena do otkaza za svaki podsistem, što znači da je neophodno dobro poznavanje otkaza podsistema. U cilju primene dinamičkih modela često se iz praktičnih razloga pretpostavlja da je funkcija raspodele vremena do otkaza eksponencijalna, odnosno da je intenzitet otkaza konstantan. Prema mnogim autorima, npr. [20], [74], [118], ova pretpostavka o intenzitetu otkaza je opravdana zbog toga što, naročito u velikim sistemima, podsistemi komponovani od većeg broja komponenata teže ka konstantnoj vrednosti intenziteta otkaza tokom kontinuiranog operativnog vremena.

Ukoliko je sistem komponovan od nezavisnih komponenata, pridruženi stohastički proces je superpozicija nezavisnih naizmeničnih procesa obnavljanja. Dokazano je da takvi procesi ne zavise od oblika distribucije vremena trajanja stanja funkcije (up state) i vremena trajanja stanja van funkcije (down state), pa se može zaključiti da u slučaju nezavisnih komponenata na rezultate steady-state analize ne utiče oblik distribucije vremena otkaza i popravke [118].

Uobičajeno je da se pouzdanost u funkciji vremena izvodi posmatranjem nekog pretpostavljenog testiranja  $n_0$  identičnih komponenata gde su  $n_f(t)$  komponenata nakon vremena  $t$  u otkazu, a  $n_s(t)$  komponenata i dalje u funkciji. Za komponentu koja je i dalje u funkciji u engleskom jeziku se slikovitije kaže da je preživela ili opstala (survive), pa se zbog toga i usvaja indeks  $s$ . U tom slučaju funkcija pouzdanosti se definiše kao

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} \quad (1)$$

i predstavlja verovatnoću da će komponenta izvršavati zadatu funkciju cilja u projektovanom vremenu i datim uslovima okruženja, a pošto je

$$n_s(t) + n_f(t) = n_0 \quad (2)$$

može se napisati i kao

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_0} \quad (3)$$

Uzimajući u obzir da je suma verovatnoće funkcije i verovatnoće otkaza jednaka jedinici, i koristeći (2) dobija se da je verovatnoća otkaza

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (4)$$

odnosno

$$F(t) = \frac{n_f(t)}{n_0} \quad (5)$$



Zamenom (5) u (4) dobija se da je

$$R(t) = 1 - \frac{n_f(t)}{n_o} \quad (6)$$

i diferenciranjem (6)

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{1}{n_o} \cdot \frac{dn_f(t)}{dt} \quad (7)$$

U graničnom slučaju kada  $dt \rightarrow 0$  izraz na desnoj strani jednačine (7)

$$\frac{1}{n_o} \cdot \frac{dn_f(t)}{dt} \rightarrow f(t) \quad (8)$$

gde je  $f(t)$  funkcija gustine trenutnih otkaza, pa se jednačina (7) može napisati u obliku

$$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t) \quad (9)$$

Jednačina (7) se korišćenjem jednačine (3) može napisati u obliku

$$\begin{aligned} \frac{dn_f(t)}{dt} &= -n_o \frac{dR(t)}{dt} \\ &= \frac{dn_s(t)}{dt} \end{aligned} \quad (10)$$

a deljenjem (10) sa  $n_s(t)$  dobija se

$$\frac{1}{n_s(t)} \cdot \frac{dn_f(t)}{dt} = - \frac{n_o}{n_s(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} = \lambda(t) \quad (11)$$

gde je  $\lambda(t)$  intenzitet otkaza. Uobičajeni izraz za intenzitet otkaza dobija se zamenom (3) i (9) u (11)

$$\lambda(t) \equiv - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (12)$$

a jednačina (12) se može napisati u obliku

$$- \frac{dR(t)}{R(t)} = \lambda(t) dt \quad (13)$$

Integraljenjem obe strane jednačine (13) u intervalu vremena od 0 do  $t$  sa pretpostavljenim inicijalnim uslovom da je za  $t=0$ ,  $R(t)=r$  dobija se *generalna funkcija pouzdanosti*

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (14)$$

gde je

$\lambda(t)$  - intenzitet otkaza u funkciji vremena koji se često zove i intenzitet hazarda (hazard rate) [121].

Generalna funkcija pouzdanosti se može koristiti za dobijanje pouzdanosti komponenata za bilo koju znanu distribuciju otkaza u funkciji vremena. Pored te funkcije za kvalitativno i kvantitativno sagledavanje funkcije sistema značajno je

proračunati i očekivanu vrednost  $E(t)$ , u ovom slučaju srednje vreme rada do otkaza (MTTF), funkcije gustine verovatnoće kontinualne slučajne promenljive  $t$ .

$$E(t) = \text{MTTF} = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (15)$$

pri čemu je za eksponencijalni zakon raspodele otkaza

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\lambda(t) = \lambda$$

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (16)$$

Sistemi se šematski prikazuju putem njihove strukture na osnovu koje se može zaključivati o međusobnom odnosu pojedinih elemenata, a kod proizvodnih sistema i o pojedinim tehnološkim linijama i njihovoj uslovljenosti. Strukturna rešenja podсистema i sistema u celini su detaljno analizirana u poglavlju IV. Važno je istaći da se složene strukture sistema razlažu hijerarhijskim grupisanjem na prostije strukture koje omogućuju celovitu analizu sistema i da pri tome osnovni problem predstavlja prenošenje analiziranih podataka i dobijenih rezultata sa jednog nivoa na drugi, gde rezultati sa nižeg nivoa predstavljaju deo ulaznih podataka za proračune na višem nivou. U poglavljima III i IV pokazano je da se kvantifikovanjem rezultata rada i troškova ostvarenih na pojedinim radnim mestima i proizvodnim linijama omogućuje svodjenje složenih struktura na niz podсистema strukturno povezanih u obliku serijske veze. U tom slučaju pojedini podсистemi nivoa I mogu imati elemente vezane u obliku jednog od četiri osnovna tipa veze ili umesto elemenata

podsysteme, ali sada nivoa II, itd. Formule za proračun raspoloživosti, odnosno pod pretpostavkom iz poglavlja I pouzdanosti pojedinih strukturnih rešenja podsystema su detaljno analizirane u poglavlju IV, a ovde se navode formule za proračun pouzdanosti za četiri osnovna tipa strukturne veze pretpostavljajući da je intenzitet otkaza konstantan:

### 1. Serijska struktura

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (17)$$

gde je

$R_s$  - pouzdanost sistema

$R_i$  - pouzdanost elementa  $i$

a za

$$R_i(t) = e^{-\lambda_i t} \quad (18)$$

dobija se da je

$$R_s(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t} \quad (19)$$

### 2. Paralelna struktura

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (20)$$

ili uzimajući u obzir (18)

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (21)$$

### 3. Aktivna paralelna struktura tipa (K,N)

$$R_{AKN} = \sum_{i=k}^N \binom{N}{i} R^i (1-R)^{N-i} \quad (22)$$

ili uzimajući u obzir (18)

$$R_{AKN}(t) = \sum_{i=k}^N \binom{N}{i} e^{-i\lambda t} \cdot \left[ 1 - e^{-\lambda t} \right]^{N-i} \quad (23)$$

uz pretpostavku da su u pitanju elementi sa identičnim karakteristikama.

### 4. Pasivna paralelna struktura tipa (K,N)

$$R_{PKN} = \sum_{i=0}^k \frac{R^k}{i!} (-k \ln R)^i \quad (24)$$

ili uzimajući u obzir (18)

$$R_{PKN}(t) = \sum_{i=0}^k \frac{(\lambda t)^i \cdot e^{-\lambda t}}{i!} \quad (25)$$

U radu [121] je ukazano na značaj analize zajednički uzrokovanih otkaza (common-cause failures). Ovaj tip otkaza se realno događa u toku funkcije sistema. Za proizvodne sisteme u građevinarstvu se mogu definisati karakteristični uzroci otkaza pojedinih podsistema ili sistema u celini: nedostatak materijala, energije ili loše upravljačke akcije. Intenzitet otkaza jednog elementa se



u tom slučaju posmatra kao suma sopstvenog intenziteta otkaza i otkaza koji je posledica zajedničkog uzroka za sve elemente posmatranog podsistema ili sistema, tj.

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (26)$$

gde je:

$\lambda$  - intenzitet otkaza elementa

$\lambda_1$  - konstantna vrednost sopstvenog intenziteta otkaza

$\lambda_2$  - konstantna vrednost zajednički uzrokovanog intenziteta otkaza.

Ukoliko se uvede parametar  $\alpha$  koji se proračunava na osnovu iskustvenih podataka i predstavi kao odnos

$$\alpha = \frac{\lambda_2}{\lambda} \quad (27)$$

dobija se da je prema [121]

$$\lambda_1 = \lambda(1-\alpha) \quad (28)$$

Uvodjenjem izraza (28) u formule (21), (23), i (25) dobija se za:

#### 1. Paralelnu strukturu

$$R_p(t) = \left\{ 1 - \left[ 1 - e^{-(1-\alpha)\lambda t} \right]^n \right\} \cdot e^{-\alpha\lambda t} \quad (29)$$

#### 2. Aktivnu paralelnu strukturu tipa (K,N)

$$R_{AKN}(t) = \sum_{i=k}^N \binom{N}{i} e^{-i(1-\alpha)\lambda t} \cdot \left[ 1 - e^{-(1-\alpha)\lambda t} \right]^{N-i} \cdot e_i^{-\alpha\lambda t} \quad (30)$$

### 3. Pasivnu paralelnu strukturu tipa (K,N)

$$R_{\text{PKN}}(t) = \sum_{i=0}^k \frac{e^{-k(1-\alpha)\lambda t}}{i!} [k(1-\alpha)\lambda t]^i \cdot e^{-\alpha\lambda t} \quad (31)$$

Na osnovu ovih izraza i prikupljenih podataka o funkciji i uzrocima otkaza sličnih sistema moguće je u proračunu pouzdanosti podsistema i sistema obuhvatiti i analizu uticaja zajedničkih uzroka otkaza na funkciju sistema u celini. To je pristup koji nije detaljnije obradjivan u ovom radu, ali koji će svakako biti predmet daljeg istraživanja. Već su u tom pogledu definisane osnovne postavke pristupu formiranja odgovarajućeg programa za elektronski račun, znatno šire nego u referenci [101].

U ovom poglavlju je uglavnom pominjana eksponencijalna raspodela. Podaci prikupljeni za kompleksnu opremu ukazuju da je vreme funkcije te opreme zaista izuzetno dobro opisano eksponencijalnom raspodelom. Matematički se može dokazati za kompleksne sisteme u kojima u procesu funkcije učestvuje veliki broj nezavisnih komponentata i to takvih da postoji mogućnost trenutne zamene komponentata koje su otkazale i kod kojih otkaz jedne komponente ili podsistema uzrokuje otkaz sistema, da se nakon dužeg vremena funkcije, vreme funkcije tog sistema može dobro aproksimirati eksponencijalnim zakonom. Slična hipoteza ne važi za vreme opravke i često je pogrešna u mnogim slučajevima [118]. Konstantna vrednost intenziteta otkaza je tipična za kompleksne sisteme koji podležu opravkama i redovnom održavanju, i čije se komponente u otkazu mogu zameniti redundantnom [98].

Barlow i Proschan [10] u fundamentalnoj lemi na str. 229 zaključuju da Weibull-ova funkcija raspodele najviše odgovara kao granična distribucija za serijske sisteme, dok u radu [79] Mann, Schafer i Singpurwalla na str. 127 ističu da Weibull-ova distribucija može biti tako napisana da obuhvati dovoljno dobro rastuće i opadajuće intenzitete otkaza, kao i slučaj konstantne vrednosti intenziteta otkaza. Prema tome, ova distribucija je

opšta distribucija i eksponencijalna predstavlja samo jedan njen specijalni slučaj. Kumulativna raspodela za slučajnu promenjivu  $x$  se u opštem obliku može napisati kao

$$F(x, \theta, \beta, \delta) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\delta}{\theta-\delta}\right)^\beta} \quad (32)$$

gde je

$\beta$  - parametar oblika (shape parameter)

$\theta$  - parametar karakterističnog vremena trajanja (scale parameter)

$\delta$  - parametar minimalnog vremena trajanja (location parameter)

Ovo je troparametarski oblik Weibull-ove distribucije. U slučaju kada se pretpostavlja da je parametar minimalnog vremena trajanja  $\delta = 0$  dobija se dvoparametarski oblik. Karakteristični izrazi za troparametarski oblik Weibull-ove distribucije su za:

- funkciju gustine trenutnih otkaza

$$f(t) = \frac{\beta(t-\delta)^{\beta-1}}{(\theta-\delta)^\beta} \cdot e^{-\left[\frac{t-\delta}{\theta-\delta}\right]^\beta} \quad (37)$$

- pouzdanost

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-\delta}{\theta-\delta}\right]^\beta} \quad (34)$$

- intenzitet otkaza

$$\lambda(t) = \frac{\beta(t-\delta)^{\beta-1}}{(\theta-\delta)^\beta} \quad (35)$$

Jasno je da je osnovni problem određivanje vrednosti pojedinih parametara. Taj problem je pored već pomenutih referenci [10] i [79] koje se i najčešće pominju u radovima iz ove oblasti, analiziran i u radovima [98], [111], [38] i [120]. Medjutim, sa aspekta razumljivosti i primenljivosti u inžinjerskom pristupu i proračunima iz ove oblasti, posebno je dobro obradjena celokupna oblast parametarskih distribucija od značaja za analizu pouzdanosti u knjizi Kapura i Lambersona [63]. U njoj su analizirane sve parametarske distribucije koje se pominju u teoriji pouzdanosti i obnavljanja, a za eksponencijalnu i Weibull-ovu je u potpunosti dat ceo algoritam proračuna vrednosti parametara uz odgovarajuće tablice.

### III RAZNI PRISTUPI ANALIZI POUZDANOSTI SISTEMA

Uzajamni pristupi analizi pouzdanosti sistema najčešće razlikuju od grafa sistema ili od odgovarajućeg stabla grafika. U slučaju kada analizirani sistem i stablo grafika nisu izloženi neposredno, precizan proračun vrednosti pouzdanosti sistema. Tada se primenjuju aproksimativne metode pomoću skupa parametara (kao što je slučaj sa skupom parametara (kao što je) bazirane na pravilima prihvatanja verovatnoće unije više događaja (kao što je) Tim. Analiza se odnosi na grafiku u kojem se kroz vrednosti karakteristika pouzdanosti sistema. Dobijeni rezultati nisu precizni ali su dovoljno dobri za proračun pouzdanosti sistema. Prilikom primene ovih aproksimativnih metoda treba biti prisutan dilema o tome da li treba analizirati skup parametara ili skup događaja i tako odrediti granice. Širokim i različitim u svojim radovima preporučuju analizu skupa minimalnih događaja za sistem kao najpovoljniju da pripadaju žoni visoke pouzdanosti, a za sisteme sa visokom pouzdanom strukturom rešenje treba biti na osnovu različitih preporuka u proračunima pouzdanosti sistema.

... Ova metoda je preporučljiva i logična, jer kod sistema sa dugom serijskom vezom postoji mogućnost da se u skupu puteva nalazi samo nekoliko...

... metode pristupa analizi pouzdanosti sistema najčešće zavisi od grafa sistema ili od odgovarajućeg stabla grešaka. U slučaju kada su i graf sistema i stablo grešaka vrlo složeni nepraktičan je precizan proračun vrednosti pouzdanosti sistema. Tada se primenjuju aproksimativne analize pomoću skupa puteva (path set) ili skupa odsečaka (cut set), bazirane na primeni pravila proširenja verovatnoće unije više događaja [62, str.140]. Tim analizama se određuju granice u kojima se kreću vrednosti karakteristika pouzdanosti sistema. Dobijeni rezultati nisu precizni, ali su dovoljno dobri za procenu pouzdanosti razmatranog sistema. Prilikom primene ovih aproksimativnih analiza uvek je prisutna dilema o tome da li treba analizirati skup puteva ili skup odsečaka i tako odrediti granice. Shooman i Messinger u svojim radovima preporučuju analizu skupa minimalnih odsečaka za sisteme kod kojih se očekuje da pripadaju zoni visoke pouzdanosti, a za sisteme sa visokom pouzdanošću strukturalno rešene dugom serijskom vezom preporučuju proračun granica analizom skupa...

### III RAZNI PRISTUPI ANALIZI POUZDANOSTI SISTEMA

Suština pristupa analizi pouzdanosti sistema najčešće zavisi od grafa sistema ili od odgovarajućeg stabla grešaka. U slučaju kada su i graf sistema i stablo grešaka vrlo složeni nepraktičan je precizan proračun vrednosti pouzdanosti sistema. Tada se primenjuju aproksimativne analize pomoću skupa puteva (path set) ili skupa odsečaka (cut set), bazirane na primeni pravila proširenja verovatnoće unije više događaja [62, str.140]. Tim analizama se određuju granice u kojima se kreću vrednosti karakteristika pouzdanosti sistema. Dobijeni rezultati nisu precizni, ali su dovoljno dobri za procenu pouzdanosti razmatranog sistema. Prilikom primene ovih aproksimativnih analiza uvek je prisutna dilema o tome da li treba analizirati skup puteva ili skup odsečaka i tako odrediti granice. Shooman i Messinger u svojim radovima preporučuju analizu skupa minimalnih odsečaka za sisteme kod kojih se očekuje da pripadaju zoni visoke pouzdanosti, a za sisteme sa visokom pouzdanošću strukturalno rešene dugom serijskom vezom preporučuju proračun granica analizom skupa...

puteva. Ova poslednja preporuka je i logična, jer kod sistema sa dugom serijskom strukturom postoji mnogo članova skupa odsečaka, dok se u skupu puteva nalazi samo nekoliko.

Da bi se mogao primeniti bilo koji od navedenih pristupa, neophodno je prethodno definisati sistem i prikazati ga ili u obliku strukture sistema koja iskazuje stvarne veze između komponenata i njihovu međusobnu tehnološku zavisnost ili pomoću stabla grešaka (fault tree) u kojem se sagledavanjem mogućih neželjenih događaja u toku funkcije sistema iskazuje njihova logična uslovljenost. U slučaju da se tako definisana struktura sistema može dekomponovati korišćenjem osnovna četiri tipa veze (poglavlje II), složena struktura sistema se hijerarhijskim grupisanjem i formiranjem podsistema različitih nivoa svodi na prostu strukturu u kojoj su elementi podsystemi nivoa I kao npr. kod Fleminga [37]. To je pristup koji je i primenjen u ovom radu, jer je zaključeno da je kvantifikovanjem rezultata funkcije pojedinih elemenata, podsystema i sistema u celini moguće hijerarhijski grupisati elemente proizvodnog sistema i prikazati ga u obliku serijske veze podsystema nivoa I (poglavlje IV). U cilju analize pouzdanosti, odnosno raspoloživosti sistema, primenjena je i proširena u poglavlju IV metoda uravnoteženja učestalosti bazirana na osnovnom konceptu učestalosti Singha i Billingtona [120].

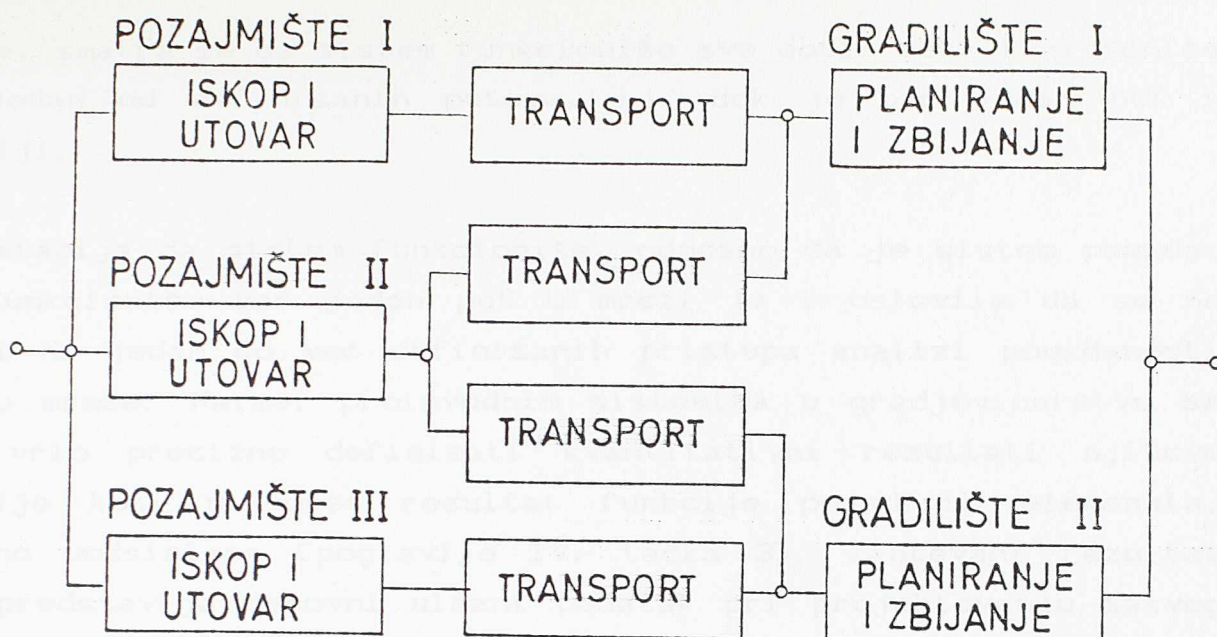
Za analizu složenih struktura koje nije moguće dekomponovati korišćenjem osnovna četiri tipa veze, a potom hijerarhijski grupisati na prostu strukturu podsystema nivoa I, u literaturi se uglavnom preporučuje primena:

1. Stabla grešaka i zajednički uzrokovanih otkaza (fault trees and common cause failures)
2. Dekompozicije sistema korišćenjem uslovnih verovatnoća i
3. Mrežne metode (network method).

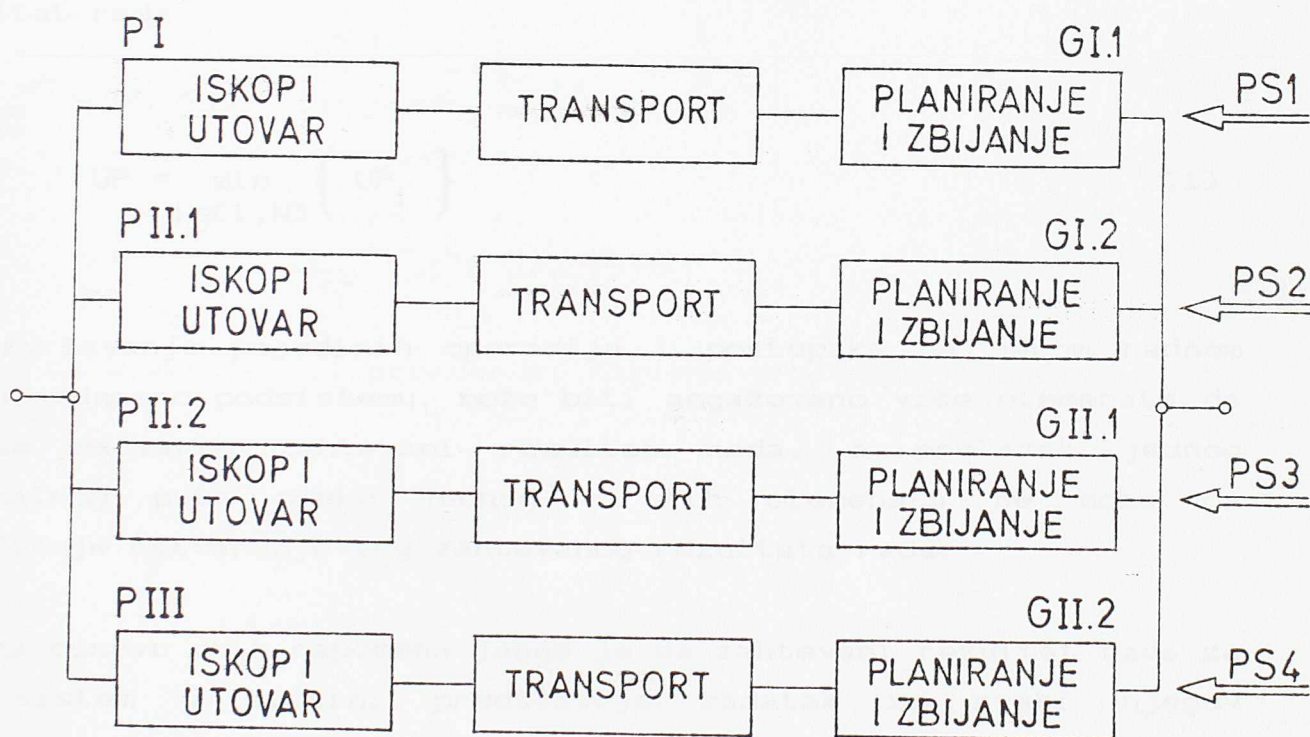
Osnovni cilj analize pomoću stabla grešaka je predstavljanje

uslova funkcije sistema koji mogu da uzrokuju njegov otkaz. U analizi se polazi od najvažnijeg događaja (top event), odnosno najnepovoljnijeg događaja koji rezultuje totalnim otkazom sistema. a potom se korišćenjem definisanih simbola ide ka korenima uzroka tog događaja. Definisanje uslova funkcije sistema u ovoj analizi je vrlo teško i zahteva izuzetnu pripremu i rad na prikupljanju praktičnih podataka. Razlikuju se stabla grešaka sa događajima koji se ne ponavljaju i događajima koji se ponavljaju, a u literaturi su dati algoritmi za njihovo rešavanje. Oni se uglavnom baziraju na primeni skupova minimalnih odsečaka i prikazani su u radovima [22, 29], a posebno detaljno obradjeni u knjizi Dhillana i Singha [121]. Dekompozicija sistema korišćenjem uslovnih verovatnoća je pristup koji se često u literaturi naziva i Bajesovim pristupom analizi pouzdanosti sistema. To je teorijski rešavan problem, npr. [23, 121], ali praktično za primenu teško rešiv zbog toga što je potrebno obezbediti veliki broj kvalitetnih podataka da bi se moglo imati poverenja u dobijene rezultate. Ni jedan standard iz oblasti pouzdanosti ne priznaje Bajesov pristup, odnosno rezultate takve jedne analize.

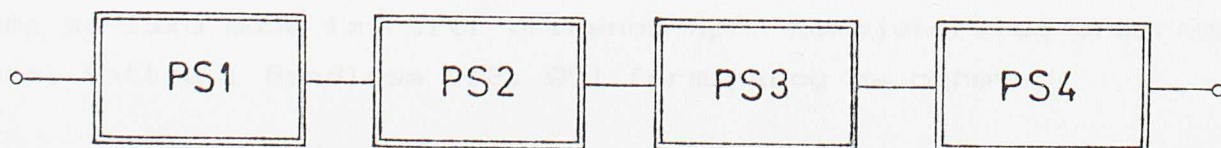
Mrežna metoda ili pristup analizi pouzdanosti kompleksnih sistema pomoću mreže (network approach) je do sada najviše razmatran pristup u literaturi. Ovde se navode samo neke reference [3, 11, 12, 17, 20, 28, 85, 95, 101 i 117], a pri tome treba uzeti u obzir da je tom pristupu u svakoj navedenoj knjizi posvećeno dosta prostora, posebno u knjizi Henley [49]. To je i pristup čija je primena u analizi pouzdanosti proizvodnih sistema u građevinarstvu u toku pripreme ovoga rada najviše proučavana zbog mogućnosti realnog prikazivanja tehnološkog procesa i primene analize, senzitivnosti, odnosno uočavanja elemenata ili pod sistema koji najviše utiču na vrednost karakteristika pouzdanosti sistema. U mrežnoj metodi se polazi od toga da skup minimalnih puteva predstavlja skup mogućih puteva u strukturi kompleksnog sistema koji obezbeđuju njegovu funkciju, a skup minimalnih odsečaka predstavlja skupove jednog ili više elemenata koji svojom funkcijom direktno uslovljavaju funkciju sistema. Prestanak funkcije bilo kog odsečka, odnosno elemenata jednog odsečka, automatski uslovljava prestanak funkcije celog sistema. Sa druge



SLIKA 1



SLIKA 2



SLIKA 3



strane, smatra se da sistem funkcioniše sve dotle dok funkcioniše bar jedan od definisanih puteva, tj. dok je bar jedan put u funkciji.

Konstatacija da sistem funkcioniše, odnosno da je sistem pouzdan kad funkcioniše bar jedan put u mreži je i uslovala da se ne usvoji ni jedan od već definisanih pristupa analizi pouzdanosti pomoću mreže. Naime, proizvodnim sistemima u građevinarstvu se mogu vrlo precizno definisati kvantitativni rezultati njihove funkcije koji su opet rezultat funkcije pojedinih elemenata, odnosno podsistema (poglavljje IV, tačka 3). Zahtevani rezultat rada predstavlja osnovni ulazni podatak pri projektovanju takvog sistema i planiranju njegove funkcije. Pošto se na pojedinim radnim mestima  $i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) obavljaju operacije i postupci u funkciji istog cilja sa rezultatom rada  $UP_i$ , jasno je da je ukupni rezultat rada

$$UP = \min_{i \in \{1, N\}} \left\{ UP_i \right\} \quad (1)$$

Za izvršavanje pojedinih operacija i postupaka na nekom radnom mestu, odnosno podsistemu, može biti angažovano više elemenata da bi se ostvario zahtevani rezultat rada, a prolazak jednog minimalnog puta preko jednog od tih elemenata ne može da verifikuje ostvarenje tog zahtevanog rezultata rada.

Već na osnovu ovih napomena jasno je da zahtevani rezultat rada za ceo sistem u suštini predstavlja zadatak za svaki njegov podsistem  $i$  da se na osnovu toga strukture proizvodnih sistema mogu razložiti prema definisanom zadatku na više podsistema. Na sl.1 je prikazana kompleksna struktura sistema za izgradnju konstrukcije od nasutog materijala. Analiza pouzdanosti tog sistema se lako može izvršiti primenom npr. kompjuterskog programa Nelsona, Battsia i Beadlesa [12, 95] formiranog na osnovu:

$R \equiv$  verovatnoća da će funkcionisati bar jedan put u mreži

$$\begin{aligned}
 &= P_R = \left\{ \bigcup_{i=1}^M P_i \right\} \\
 &= \sum_{i=1}^M P_R \left\{ P_i \right\} - \sum_{i=1}^M \sum_{j>i}^M P_R \left\{ P_i \cap P_j \right\} + \\
 &\quad \sum_{i=1}^M \sum_{j>i}^M \sum_{k>j}^M P_R \left\{ P_i \cap P_j \cap P_k \right\} + \dots + \\
 &\quad (-1)^{M-1} P_R \left\{ \bigcap_{i=1}^M P_i \right\} \quad (2)
 \end{aligned}$$

gde je

$P_R$  - verovatnoća

$P_i$  - minimalni put u mreži

pri čemu se totalna pouzdanost sistema proračunava prema

$$\begin{aligned}
 R &= \sum_{i=1}^M \prod_{l \in P_i} R_l - \sum_{i=1}^M \sum_{j>i}^M \prod_{l \in P_i \cup P_j} R_l + \\
 &\quad \sum_{i=1}^M \sum_{j>i}^M \sum_{k>j}^M \prod_{l \in P_i \cup P_j \cup P_k} R_l + \dots + \\
 &\quad (-1)^{M-1} \prod_{l \in \bigcup_{i=1}^M P_i} R_l
 \end{aligned}$$

gde je

$R_1$  - pouzdanost modula

i postupnim proračunom određuju gornje i donje granice koje konvergiraju tačnom rešenju. Sličan proračun je moguć i preko skupa odsečaka.

Uzimajući u obzir podatke za ovaj proizvodni sistem date u poglavlju V tačka 2 može se zaključiti da bi proračunata vrednost pouzdanosti predstavljala verovatnoću ostvarenja rezultata rada od  $110 \text{ m}^3/\text{h}$ , a ne zahtevanog rezultata rada od  $440 \text{ m}^3/\text{h}$ , što znači da se u cilju analize pouzdanosti sistema on mora, prema definisanim pojedinačnim rezultatima rada, razložiti na podsisteme (sl. 2 i 3). U svakom podsistemu se dalje na osnovu usvojene tehnologije i definisanih zahteva funkcije vrši dimenzionisanje kapaciteta i određivanje potrebnog broja elemenata za izvršavanje pojedinih operacija kao što je pokazano u poglavlju V. Tako formirane strukture podsistema se mogu analizirati na osnovu metodologije izložene u narednim poglavljima, a uticaj dobijenih rezultata na funkciju sistema u celini preneti pomoću izvedenih formula. Na sl. 3 je, iako podsistemi tehnološki funkcionišu nezavisno, paralelno, prikazana njihova serijska veza da bi se ukazalo na neophodnost istovremene funkcije tih podsistema ukoliko se želi ostvarenje zahtevanog rezultata rada za sistem u celini, s tim što se u ovom slučaju sabiraju rezultati pojedinačne funkcije podsistema.

#### IV RASPOLOŽIVOST PROIZVODNIH SISTEMA

##### 1. UVOD

Tokom funkcije proizvodnih procesa u građevinarstvu odvija se niz aktivnosti koje su po svom karakteru stohastičke, te su i rezultati-pokazatelji njihove realizacije stohastički. Prema tome, proizvodni proces je stohastički proces i kao takav može biti klasifikovan, na osnovu prirode stanja u kojima može da se nadje i odgovarajućih parametara, na stohastičke procese sa:

1. Diskretnim prostorom stanja i diskretnim parametrima
2. Diskretnim prostorom stanja i kontinualnim parametrima
3. Kontinualnim prostorom stanja i diskretnim parametrima i
4. Kontinualnim prostorom stanja i kontinualnim parametrima.

Rezultat funkcije proizvodnih procesa u građevinarstvu je

proizvod koji se kao željeni cilj može na više načina kvantifikovati, ili angažovanje, odnosno utrošak, određene količine resursa. Zbog toga je i logičan pristup analizi raspoloživosti konkretnog proizvodnog sistema, definisanje konačnog broja stanja tog sistema prema mogućoj veličini rezultata rada ili utroška resursa i posmatranje njegove funkcije na osnovu kontinualnih parametara, kao što je npr. vreme, što ukazuje na zaključak da je najcelishodnije proizvodni proces posmatrati kao stohastički proces sa diskretnim prostorom stanja i kontinualnim vremenom. Sa druge strane, više autora, npr. Buzacott [20], je analizom kontinualnih operativnih sistema sa podsistemima ili komponentama koje se popravljaju, došlo do zaključka da nije neophodno pretpostavljati bilo koju posebnu distribuciju za vreme trajanja stanja funkcije (up state) i stanja van funkcije (down state) tih komponentata, odnosno podsistema, jer takvi sistemi funkcionišu u tzv. ustaljenom stanju (steady-state). Naime, interval vremena u kojem se posmatra raspoloživost proizvodnih sistema je vrlo dug, tako da je stohastički proces u suštini udaljen od vremena početka, zbog čega i raspodele verovatnoće dostižu statističku ravnotežu, što znači da se proces nalazi u uslovima ustaljenog stanja. Pretpostavljanje ustaljenog stanja uslovljava zahtev za dodatnim karakteristikama posmatranog procesa radi njegovog boljeg sagledavanja. U tom pogledu značajni su radovi C. Singh-a sa R. Billinton-om i B. S. Dhillan-om na razvoju *metode uravnoteženja učestalosti* (frequency balancing technique) [118, 120] koja je u ovom radu prikazana i *dalje razvijena* za najčešće prisutne tipove veze u proizvodnim procesima u građevinarstvu - aktivnu i pasivnu paralelnu vezu tipa (k,n), tj. tzv. vruću i hladnu rezervu.

Bitna pretpostavka za dalje razmatranje pristupa analizi raspoloživosti proizvodnih sistema je nezavisnost stohastičkih procesa koji se u njima odvijaju, tj. prikazano u slučaju diskretnog vremena

$$P(z_n = x | z_m = y, z_1 = z, \dots) = P(z_n = x) \quad (1)$$

odnosno kontinualnog vremena

$$P\left\{z(t_n)=x \mid z(t_m)=y, z(t_1)=z, \dots\right\} = P\left\{z(t_n)=x\right\} \quad (2)$$

pri čemu je  $\dots t_1 < t_m < t_n \dots$  i gde su

Formule  $z(t)$  - slučajne promenljive čije su distribucije od interesa pri proceni pouzdanosti ili raspoloživosti sistema.

Manje proširenje uslova datih formulama (1) i (2) definiše poznatu klasu stohastičkih procesa - Markovljeve procese kod kojih je u slučaju diskretnog vremena

$$P\left\{z_n=x \mid z_m=y, z_1=z, \dots\right\} = P\left\{z_n=x \mid z_m=y\right\} \quad (3)$$

odnosno kontinualnog vremena

$$P\left\{z(t_n)=x \mid z(t_m)=y, z=z, \dots\right\} = P\left\{z(t_n)=x \mid z(t_m)=y\right\} \quad (4)$$

Markovljevo svojstvo koje determiniše Markovljeve procese se u suštini zasniva na poznavanju ponašanja sistema, odnosno stanja sistema u odredjenom vremenskom trenutku. Kada je to stanje u tom trenutku vremena poznato, prethodna istorija procesa ne utiče na odredjivanje distribucije verovatnoće narednih stanja, nego se one odredjuju na osnovu ponašanja poznatog stanja. Zbog toga se Markovljevi procesi u literaturi često zovu i procesi bez svojstva memorije (memoryless property). Uslovne funkcije gustine verovatnoće za ovaj proces date su Chapman-Kolmogorovim jednačinama i to za slučaj diskretnog vremena

$$\begin{aligned} P\{z_n=x \mid z_1=z\} &= \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} P\{z_m=y \mid z_1=z\} P\{z_n=x \mid z_m=y\} dy \end{aligned} \quad (5)$$

odnosno za kontinualno vreme

$$P\left\{z(t_n) \leq x \mid z(t_1)=z\right\} =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} P\left(z(t_n) \leq x \mid z(t_m) = y\right) dp\left(z(t_m) \leq y \mid z(t_1) = z\right) \quad (6)$$

Formule (5) i (6) se retko koriste u praksi i njihova je funkcija da iskažu osnovnu ideju u rekurzivnom određivanju uslovnih funkcija gustina verovatnoće u intervalu vremena  $(l,n)$  pomoću onih čiji su intervali kraći  $((l,m) \wedge (m,n))$ . Ukoliko uslovne funkcije gustine verovatnoće zavise samo od razlike vremena  $(t_m - t_l)$ , a ne od  $(t_n - t_l)$ , u pitanju su vremenski homogeni procesi.

Prema [118] jednačine Chapman-Kolmogorova za vremenski homogene Markovljeve procese sa kontinualnim parametrima se mogu napisati u obliku

$$P_i'(t) = P_i(t) \cdot R \quad (7)$$

gde je:

$P_i(t)$  - vektor čiji je  $j$ -ti element  $p_{ij}(t)$ , tj. verovatnoća pojave stanja  $j$  u vremenu  $t$ , ukoliko je proces inicijalno bio u stanju  $i$

$R$  - matrica intenziteta prelazaka čiji je element  $ij \rightarrow \lambda_{ij}$

U generalnoj formi formula (7) je

$$P'(t) = P(t) \cdot R \quad \text{gde je } ij\text{-ti element } P(t) \rightarrow p_{ij} \quad (8)$$

Kada su intenziteti prelaska  $\lambda_{ij}$  u funkciji vremena trajanja pojedinih stanja, proces postaje ne-Markovljev proces.

Markovljevi lanci sa kontinualnim parametrima su se do sada najviše koristili za modeliranje problema iz oblasti pouzdanosti sistema. Zbog toga je u ovom radu najviše i posvećena pažnja metodi uravnoteženja učestalosti, kao novom alternativnom načinu za analizu stohastičkih procesa koji relativno efikasno daje odgovor na bitna pitanja prisutna u projektovanju i upravljanju održavanim tehničkim sistemima.

## 2. METODOLOGIJA ZA ANALIZU RASPOLOŽIVOSTI PROIZVODNOG SISTEMA

### 2.1. UVOD

Najveći deo problema iz oblasti analize raspoloživosti sistema rešavan je modeliranjem pomoću Markovljevih lanaca, sa diskretnim ili kontinualnim parametrima. Dobijan je osnovni odgovor o verovatnoći pojave unapred definisanih stanja, dok je za ostala relevantna pitanja odgovor tražen primenom teorije obnavljanja (renewal theory) i masovnog opsluživanja. U toj grupi pitanja najvažnije mesto, za projektanta ili rukovodioca određenog proizvodnog procesa, zauzimaju pitanja o učestalosti pojedinih pojava, dužini njihovog trajanja postignutoj realizaciji i finansijskim efektima za različite tipove veze komponenata u podsystemima. Zahtevom da se posmatra ne samo ceo sistem i različite varijante njegovog rezultata rada, nego i struktura sistema, tj. podsystemi i komponente, još više se otežava pristup analizi raspoloživosti sistema primenom Markovljevih lanaca. Poseban deo problema predstavlja optimizacija raspoloživosti sistema i svrsishodnost dobijenih podataka za ekonomski i logistički aspekt optimizacije. U svakom slučaju Markovljevi lanci pružaju velike mogućnosti za modeliranje pri analizi raspoloživosti sistema, ali jasno je da treba tražiti nove puteve, pogotovo u situaciji kada bitnu ulogu u analizi ima kvantifikovanje rezultata rada sistema, podsystema i pojedinih komponenata.

Proizvodni sistemi u gradjevinarstvu, iako složeni sa stanovišta strukture i odnosa pojedinih komponenata, strukturno se svode na serijsku vezu više podsystema sa različitim tipovima veze uvodjenjem rezultata rada kao osnovne kategorije pri analizi raspoloživosti. U suštini se može govoriti o raspoloživosti sistema za odgovarajući rezultat rada, što bi analogno u Markovljevim lancima predstavljalo stanja sistema, a verovatnoća pojave određenog stanja bi predstavljala verovatnoću realizacije odgovarajućeg rezultata rada. Sa druge strane u jednoj tehnološkoj-proizvodnoj liniji ostvaruje se veza više podsystema  $PS_i (i=1,2,\dots,n)$  sa različitim strukturnim vezama i komponentama.



Rezultat rada takvog sistema

$$UP_S = \min_{i \in (1, n)} \left\{ UP_{ps_i} \right\} \quad (9)$$

što usmerava analizu ka analizi raspoloživosti pojedinih podsistema. Uzimajući u obzir da je potpuno opravdano proizvodne procese u građevinarstvu posmatrati u uslovima ustaljenog stanja, reference [20], [79, str.478] i druge, jasno je da bi najefikasniji pristup analizi raspoloživosti sistema za određeni rezultat rada bio pristup sličan pristupu analizi pouzdanosti pojedinih tipova veze, odnosno definisanje dva stanja-sistem (podsistem ili komponenta) je raspoloživ ili nije raspoloživ za određeni rezultat rada. Tako bi se pružila i mogućnost da se za projektovani ili uspostavljeni sistem definišu raspoloživosti za minimalne, maksimalne ili neke druge očekivane rezultate rada. Raspoloživa literatura je proučavana sa ciljem da se za rešenje ovog problema izabere, proširi i prilagodi konkretnom zahtevu metoda, koja bi svojom efikasnošću i relativnom jednostavnošću proračuna, imala najveće šanse da bude primenjena u praksi. U tom pogledu *metoda uravnoteženja učestalosti* ima bitne prednosti u odnosu na druge metode, pogotovo što se proračunom:

1. Učestalosti prelazaka iz jednog skupa stanja u drugo,
2. Očekivanog vremena trajanja jednog ciklusa, i
3. Očekivanog vremena boravka sistema u skupu stanja

(skup stanja može da determiniše funkciju sistema ili stanje kada je sistem van funkcije sa aspekta željenog rezultata rada),

omogućuje valjano sprovođenje prvog koraka u optimizaciji raspoloživosti sistema, odnosno *tehnološke optimizacije*. *Tehnološka optimizacija podrazumeva sve one intervencije u tehnološkom procesu u okviru prvobitno raspoloživih resursa, a na osnovu detaljnog proučavanja uspostavljene tehnologije, ponašanja komponenata i efekata rada.*

Kao što je već rečeno, najčešći tipovi veze podsistema u građevinarstvu su aktivna i pasivna paralelna  $(k,n)$  veza, odnosno vruća i hladna rezerva. Za ove tipove veze u uslovima ustaljenog stanja, *izvedeni su* izrazi za učestalost, očekivano vreme trajanja jednog ciklusa, vreme funkcije i vreme van funkcije koji nisu dati u literaturi. Time je definisan opšti pristup i omogućeno formiranje realnih modela za analizu raspoloživosti proizvodnih procesa u građevinarstvu.

U narednom poglavlju su prema [118,120] dati osnovni metodološki pristupi "konceptu učestalosti" i bitne formule za analizu raspoloživosti i ostalih pokazatelja funkcije podsistema komponovanih od serijskih i paralelno vezanih elemenata. Posebno je ukazano, zbog primenljivosti u građevinarstvu, na serijske veze sa zavisnim i nezavisnim otkazima komponenata.

## 2.2. METODA URAVNOTEZENJA UČESTALOSTI

Metoda uravnoteženja učestalosti predstavlja alternativni pristup za analizu stohastičkih procesa u odnosu na modeliranje pomoću Markovljevih lanaca. Zbog razloga koji su već istaknuti, pretpostavlja se da posmatrani proces ima Markovljevo svojstvo  $(3,4)$ , odnosno da su slučajne promenljive koje generišu stohastički proces eksponencijalno distribuirane.

Posmatraju se nezavisne realizacije stohastičkog procesa  $z(t)$  u kojem je sistem inicijalno u stanju  $i$  i u jednom koraku može da pređe u stanje  $j$  ili  $k$ . Ukoliko se izdvoji  $N$  realizacija u kojima sistem prelazi iz stanja  $i$  u stanje  $j$  i sa  $x_{ij}$  označi slučajna promenljiva koja predstavlja vreme trajanja stanja  $i$  pod uslovom da je sistem nakon prestanka stanja  $i$  prešao u stanje  $j$ , onda vreme boravka sistema u stanju  $i$  u tom podskupu predstavlja  $N$  nezavisnih realizacija slučajne promenljive  $x_{ij}$ . Tada je intenzitet prelaska iz stanja  $i$  u stanje  $j$  [118] :

$$\lambda_{ij}(x) = \frac{f_{ij}(x)}{s_{ij}(x)}$$

pri čemu je :

$f_{ij}(x)$  - funkcija gustine verovatnoće za slučajnu prom.  $x_{ij}$   
 $s_{ij}(x) = 1 - F_{ij}(x)$  - funkcija opstanka za slučajnu prom.  $x_{ij}$

Prema tome, intenzitet prelaska iz stanja  $i$  u stanje  $j$  je jednak intenzitetu otkaza pridruženom slučajnoj promenljivoj  $x_{ij}$ . Intenzitet otkaza se često u literaturi naziva i *hazard rate*, a  $\lambda_{ij}(x)$  *age specific transition rate* i predstavlja očekivani intenzitet prelaska iz stanja  $i$  u stanje  $j$  u dobu starosti  $x$  stanja  $i$ . Na osnovu uvedenih pretpostavki za dalje razmatranje se usvaja da  $\lambda_{ij}(x)$  ima konstantnu vrednost, odnosno da je slučajna promenljiva  $x_{ij}$  eksponencijalno distribuirana.

### 2.2.1. KONCEPT UČESTALOSTI

Pretpostavlja se da je prostor stanja  $X$  stohastičkog procesa  $z(t)$ , podeljen u dva komplementarna podskupa  $X^+$  i  $X^-$ . Definišu se sledeće veličine:

$f_+(t)$  - Učestalost pojave podskupa  $X^+$  u funkciji vremena, odnosno očekivani intenzitet pojave  $X^+$  u vremenu  $t$ . Za  $\Delta t \rightarrow 0^+$ ,  $f_+(t)\Delta t$  predstavlja očekivani broj pojava  $X^+$  u intervalu  $(t, t+\Delta t)$

$E_{ij}(t)$  - Učestalost pojave stanja  $j$  nakon stanja  $i$  u funkciji vremena, odnosno očekivani intenzitet pojave stanja  $j$  nakon stanja  $i$  u vremenu  $t$ .

$p_i(t)$  - Verovatnoća da će sistem biti u stanju  $i$  u vremenu  $t$  pod datim inicijalnim uslovima.

$p_+(t)$  - Verovatnoća da će sistem biti u nekom od stanja podskupa  $X^+$  u vremenu  $t$  pod datim inicijalnim uslovima, pri čemu je

$$p_+(t) = \sum_{i \in X^+} p_i(t) \quad (23)$$

$\lambda_{ij}$  -Intenzitet prelaska iz stanja  $i$  u stanje  $j$

U referenci [118] dato je izvođenje osnovne jednačine metode uravnoteženja učestalosti - diferencijalne jednačine ekstremuma stanja  $i$

$$\frac{dp_j(t)}{dt} = -p_j(t) \sum_{i \in X} \lambda_{ji} + \sum_{i \in X} p_i(t) \lambda_{ji} \quad (10)$$

### 3.1.2 OSNOVNI POKAZATELJI RASPOLOŽIVOSTI SISTEMA

koja u matričnom obliku glasi

$$A P(t) = P'(t) \quad (11)$$

gde je

$P(t)$  -matrica kolona čiji  $i$ -ti element  $p_i(t)$

predstavlja verovatnoću boravka u stanju  $i$  u vremenu  $t$  za date inicijalne uslove

$P'(t)$  -diferencijal od  $p(t)$

$A$  -transponovana matrica intenziteta prelaska korišćena u Markovljevom pristupu.

Za izvođenje diferencijalne jednačine ekstremuma (11) upotrebljen je pristup uravnoteženja učestalosti, koji je primenjen i na izvođenje pokazatelja raspoloživosti sistema i to u funkciji vremena ili u oblasti ustaljenog stanja. U navedenoj referenci je definisan pristup izvođenju pokazatelja raspoloživosti sistema u funkciji vremena, a za slučaj kada podskup  $X^+$  sadrži više od jednog stanja izvedena je sledeća formula za diferencijalnu jednačinu ekstremuma

$$\sum_{i \in X^+} \frac{dp_i(t)}{dt} = - \sum_{i \in X^+} p_i(t) \sum_{j \in X} \lambda_{ij} + \sum_{j \in X} p_j(t) \sum_{i \in X^+} \lambda_{ji} \quad (12)$$

na osnovu koje se u uslovima ustaljenog stanja  $t \rightarrow \infty$  dobija da je

$$\begin{aligned}
 f_+ &= \sum_{j \in X^-} -P_j \sum_{i \in X^+} \lambda_{ji} \\
 &= \sum_{i \in X^+} P_i \sum_{j \in X^-} -\lambda_{ij} \\
 &= f_-
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

### 2.2.2 OSNOVNI POKAZATELJI RASPOLOŽIVOSTI SISTEMA

Osnovni pokazatelji raspoloživosti sistema su:

#### 1) Učestalost

Frekvencija se označava sa  $f$  i data je za uslove ustaljenog stanja jednačinama (33) i (37)

#### 2) Intervalna učestalost

Verovatnoća da će sistem biti u podskupu stanja  $X^+$  u bilo kom trenutku intervala vremena  $(t, t+T)$  kad  $t \rightarrow \infty$  je

$$P_+ = \sum_{i \in X^+} P_i
 \tag{14}$$

a odgovarajuća učestalost je  $f_+$ . Na osnovu toga, intervalna frekvencija je

$$F_+(t, t+T) = T \cdot f_+
 \tag{15}$$

odnosno, očekivana vrednost broja koji iskazuje koliko je puta podskup stanja  $X^+$  bio susretnut u intervalu vremena  $(t, t+T)$

#### 3) Očekivana vrednost trajanja jednog ciklusa

Očekivana vrednost trajanja jednog ciklusa predstavlja očekivano vreme između dve uzastopne pojave podskupa stanja  $X^+$ . Označava se sa  $T^+$  ili *MCT* (mean cycle time) i jednaka je

$$\begin{aligned}
 T^+ &= T / F_+(t, t+T) \\
 &= 1 / f_+
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

4) Očekivano vreme trajanja podskupa stanja  $X^+$

Očekivano vreme trajanja podskupa stanja  $X^+$  predstavlja očekivano vreme boravka sistema u tom podskupu u toku jednog ciklusa. Označava se sa  $d_+$  i jednako je

$$\begin{aligned}d_+ &= T^+ \cdot p_+ \\ &= p_+ / f_+\end{aligned}\tag{17}$$

Na osnovu formula (40,41) može se zaključiti da je očekivano vreme boravka sistema u podskupu stanja  $X^-$  u toku jednog ciklusa

$$d_- = T^+ - d_+\tag{18}$$

Jednačine od (13) do (18) su fundamentalne jednačine metode učestalosti i trajanja pri proceni raspoloživosti sistema.

### 2.3 RASPOLOZIVOST I VREDNOST POKAZATELJA RASPOLOZIVOSTI ZA RAZLICITE OBLIKE VEZE KOMPONENATA

Sistem je skup komponenata projektovanih tako da ispune određeni cilj ili više ciljeva pod datim skupom uslova. Osnovni cilj funkcije proizvodnih sistema u građevinarstvu je rezultat rada iskazan u kvantitativnom obliku preko  $m^3$  ugrađenog betona, broja proizvedenih elemenata u fabrikama za proizvodnju montažnih elemenata, tona formiranih armo-slopova,  $m^3$  iskopanog, transportovanog i ugrađenog materijala u buduću konstrukciju itd. Jasno je da se definisanje pojedinih stanja sistema mora vršiti prema mogućoj vrednosti rezultata rada u tom stanju. Ukoliko se definiše željeni ili očekivani rezultat rada, odnosno stanje sistema u kojem se on i ostvaruje, istovremeno se postavlja i zadatak proračuna raspoloživosti sistema za izvršavanje postavljene funkcije cilja. Tada se može govoriti o dva stanja sistema, tj. o stanju kada je sistem u funkciji (up state) i izvršava postavljenu funkciju cilja, i o stanju kada je sistem van

funkcije (down state), i ne izvršava postavljenu funkciju cilja. Iskaz "izvršavati postavljenu funkciju cilja" ovde treba shvatiti uslovno. Standardnim pristupom u projektovanju tehnološkog procesa definišu se tehnološke linije i neophodni resursi-komponente da bi taj proizvodni proces mogao da ostvari i očekivani rezultat rada. Sa stanovišta analize raspoloživosti sistema, stanje funkcije određuje stanje sistema u kojem sve predviđene komponente na svim podsistemima funkcionišu, a stanje van funkcije nastupa otkazom i početkom opravke bilo koje od komponenata sistema. Proračunom raspoloživosti sistema i uzimajući u obzir (21) dobija se stvarna vrednost rezultata rada proizvodnog procesa.

$$UP_{ST} = A_S \cdot UP_S \quad (19)$$

Za većinu proizvodnih procesa u građevinarstvu važi da sistem i u stanju van funkcije, sa aspekta definisanog rezultata rada, može i dalje da proizvodi, odnosno da daje određeni rezultat rada, tako da je moguće definisati i minimalni dopušteni rezultat rada ( $UP_{SD}$ ), izuzetno važan podatak za upravljanje proizvodnim procesom. U tom slučaju

$$UP_{SD} < UP_S$$

ali je

$$A_{SD} > A_S \quad (20)$$

obzirom da se raspoloživost pojedinih podsistema uvećava pojavom suvišnih (redundantnih) komponenata, kada je u pitanju  $UP_{SD}$ . Pojava redundantnih elemenata koji prilikom razmatranja raspoloživosti sistema u suštini postaju rezervni elementi i znatno uvećavaju raspoloživost odgovarajućih podsistema, (slučaj  $UP_{SD}$ ) uslovljava i sledeći zaključak

$$UP_{ST} > UP_{STD} \quad (21)$$

odnosno da stvarni rezultat rada sistema za stanje ostvarenja  $UP_{SD}$  može biti i veći od stvarnog rezultata rada za stanje u kojem se

ostvaruje  $UP_S$ . Ovo ukazuje na neophodnost realnog planiranja proizvodnih procesa, odnosno realne procene potrebnog rezultata rada u datim uslovim, jer u suprotnom dolazi do subjektivne alokacije rezervnih elemenata, što sa ekonomskog aspekta može da ima izuzetno štetne posledice.

Raspoloživost sistema, odnosno verovatnoća sa kojom će jedan proizvodni sistem biti spreman da izvrši zahtevani zadatak, je funkcija sa argumentima ekvivalentnim raspoloživosti pojedinih komponentata, odnosno podsistema. Za ceo sistem se definiše globalni cilj, tj. stanje u kojem taj sistem izvršava postavljeni cilj, a potom se za svaki podsistem, komponentu, definišu stanja koja kvantifikovano odražavaju rezultat rada koji mora da izvrši podsistem-komponenta da bi sistem bio u željenom stanju. Ukoliko se sa  $p_{iu}(t)$  označi verovatnoća da će komponenta biti u stanju funkcije u vremenu  $t$ , a sa  $p_{id}(t)$  verovatnoća da će komponenta biti u stanju van funkcije u vremenu  $t$ , onda se verovatnoća pojave tih stanja može proračunati po formulama [111]:

$$p_{iu}(t) = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} + \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} e^{-(\lambda_i + \mu_i)t}$$

$$p_{id}(t) = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} - \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} e^{-(\lambda_i + \mu_i)t} \quad (22)$$

za početne uslove  $p_{iu}(0)=1$  i  $p_{id}(0)=0$ . Za slučaj ustaljenog stanja  $p_{iu}$  i  $p_{id}$  se dobijaju kao granične vrednosti (46) kada  $t \rightarrow \infty$  i glase

$$p_{iu} = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i}$$

$$p_{id} = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (23)$$

Kvantifikovanjem rezultata rada i definisanjem stanja sistema prema njemu, svi proizvodni procesi se dekompozicijom strukture sistema svode na serijsku vezu više podsistema kod kojih važe (9) i (19). U pojedinim podsistemima nivoa I, elementi ili podsistemi



nivoa II mogu biti strukturno povezani u obliku: serijske, paralelne, aktivne paralelne i pasivne paralelne (k,n) veze. Metoda uravnoteženja učestalosti primenjena na ove tipove veze omogućuje odgovor ne samo na pitanje o raspoloživosti podsistema za izvršavanje zadate funkcije cilja, nego daje i niz dragocenih podataka za planiranje redovnih pregleda i popravki pojedinih komponenata i podsistema. Ti podaci su značajni i za fazu optimizacije raspoloživosti. O tome će biti više reči u zaključku ovog poglavlja.

### 2.3.1 SERIJSKI SISTEM

Kod serijske veze otkaz bilo koje komponente uzrokuje otkaz sistema, međutim tu se mogu razlikovati sledeća dva slučaja:

A) Otkaz komponente podsistema uzrokuje otkaz sistema podsistema, ali istovremeno ne znači da je došlo do otkaza ostalih komponenata u sistemu, tj. komponente su nezavisne i neke ili sve ostale komponente takve serijske veze mogu da nastave izvršavanje delova tehnološkog procesa. Ovaj slučaj je čest u gradjevinarstvu, naročito u onim procesima gde se na deponijama može da vrši *kumuliranje rezultata rada*. Karakteristični primeri: otkaz drobilane ili separacije ne mora da uzrokuje otkaz fabrike betona, bar ne u onom vremenu na koje je dimenzionisan kapacitet deponije agregata u sastavu fabrike betona; ili neblagovremeno angažovanje potrebnog broja armirača na gradilištu ne mora da znači i prekid u proizvodnji armo-sklopova za to gradilište u armiračkom pogonu, jer ona može nesmetano da se nastavi i da proizvod bude deponovan ili u pogonu ili na gradilištu. U datom primeru otkaz jednog podsistema ne uslovljava otkaz ostalih podsistema koji mogu i dalje da daju odredjeni rezultat rada. Ovo je tip serijske veze sa *nezavisnim otkazima*. Sa druge strane mogu se uočiti proizvodni procesi kod kojih se, zbog prirode materijala (npr. beton), ne može vršiti deponovanje proizvoda u pojedinim delovima tehnološkog procesa ili procesi kod kojih otkaz jedne komponente ili podsistema automatski uzrokuje otkaz svih komponenata sistema, pa se može uočiti i sledeći slučaj:

B) Otkaz komponente (podсистема) uzrokuje otkaz sistema. Zbog otkaza sistema nisu mogući dalji otkazi komponenata (podсистема), jer su sve komponente sistema van funkcije. Ovo je takodje čest slučaj u gradjevinarstvu i javlja se u tehnološkim procesima u kojima se ne može pomoću deponija vršiti privremeno akumuliranje rezultata rada (npr. betonski radovi) ili usled otkaza ključne mašine (komponente) u tehnološkom procesu. Ovo je tip serijske veze sa *zavisnim otkazima*.

Jasno je da je za ispravnu odluku o odgovarajućem tipu serijske veze neophodno izvanredno poznavanje proizvodnog procesa, odnosno suštine primenjenog tehnološkog procesa i osnovnih karakteristika izabranih komponenata sistema.

#### tip A - nezavisni otkazi

Pošto su komponente nezavisne, verovatnoće stanja se proračunavaju primenom pravila proizvoda. Ukoliko podskup stanja  $X^-$  predstavlja stanje kada su sve komponente u funkciji, a  $X^+$  podskup svih stanja izuzev prethodnog, onda je prema [118]:

- raspoloživost sistema

$$A = A_- = p_{1u} \cdot p_{2u} \cdot \dots \cdot p_{nu}$$

$$= \frac{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n}{(\lambda_1 + \mu_1) (\lambda_2 + \mu_2) \cdot \dots \cdot (\lambda_n + \mu_n)} = \prod_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (24)$$

pri čemu je

$$U = 1 - A = 1 - \prod_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (25)$$

- učestalost pojave stanja van funkcije (stanja otkaza)

(13)

$$f = f_+ = A_- \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$= \frac{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)}{(\lambda_1 + \mu_1) (\lambda_2 + \mu_2) \dots (\lambda_n + \mu_n)} \quad (26)$$

- očekivana vrednost trajanja jednog ciklusa (16)

$$MCT = \frac{(\lambda_1 + \mu_1) (\lambda_2 + \mu_2) \dots (\lambda_n + \mu_n)}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)} \quad (27)$$

-očekivano vreme trajanja stanja van funkcije (17) (mean down time)

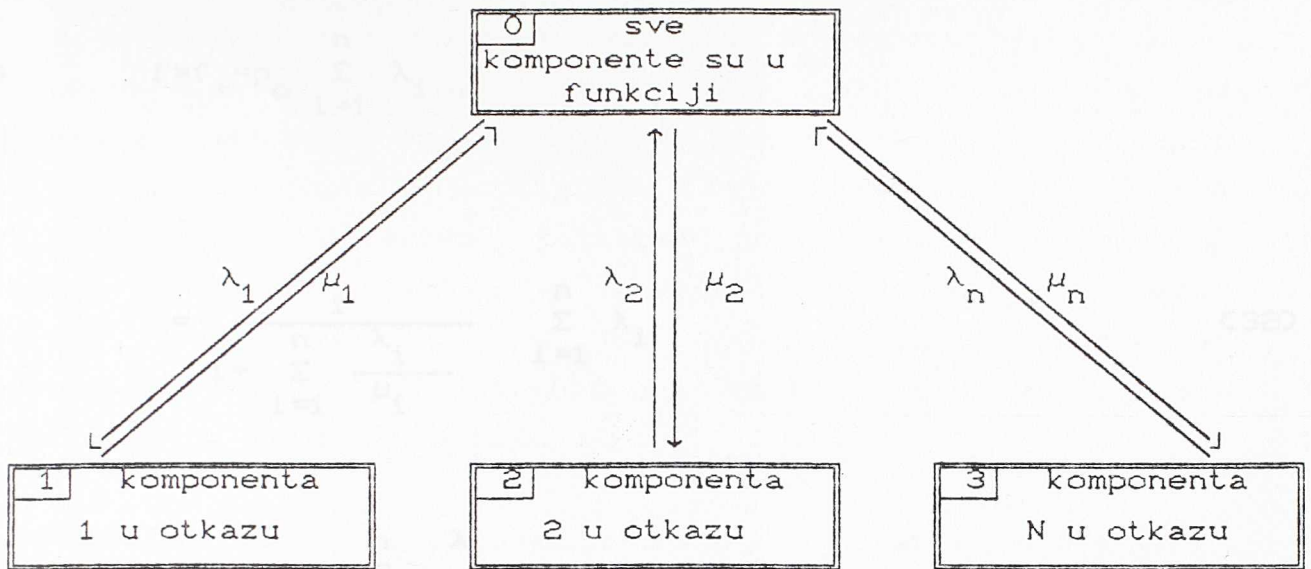
$$MDT = \frac{(\lambda_1 + \mu_1) (\lambda_2 + \mu_2) \dots (\lambda_n + \mu_n)}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n} \quad (28)$$

-očekivano vreme funkcije (18) (mean up time)

$$MUT = MCT - MDT = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n} \quad (29)$$

#### tip B - zavisni otkazi

Pretpostavka da se otkazom sistema onemogućuju dalji otkazi komponenata je na strani sigurnosti i zbog toga će ovaj tip serijske veze uglavnom i biti primenjivan, tj. tamo gde postoji i najmanja sumnja da tehnološki nije opravdana pretpostavka o vezi tipa A. U ovom slučaju dijagram prelazaka stanja je kao na sl. (4)



sl. 4 [118]

Stanje 0 odgovara radnom stanju, tj. stanju kada su svi elementi u funkciji, a stanje  $i$ ,  $i=1,2,\dots,n$ , odgovara stanju kada je  $i$ -ti element (podsystem) u otkazu. Pretpostavlja se da se sistem koji je ušao u neko od  $i$  stanja može vratiti samo u radno stanje 0 zbog toga što se ulaskom u to  $i$ -to stanje, otkazom sistema zbog otkaza  $i$ -te komponente (podsystema), onemogućuju dalji otkazi ostalih komponenata (podsystema).

Raspoloživost serijskog sistema sa zavisnim otkazima jednaka je verovatnoći pojave stanja  $p_0$ , pa se dobija da je

$$A = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} \quad (30)$$

dok je neraspoloživost tog sistema

$$U = \sum_{i=1}^n p_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} \quad (31)$$

Na osnovu ovih jednačina u [118] dati su sledeći izrazi za pokazatelje raspoloživosti:

$$\begin{aligned}
 1) \quad f = f_+ = p_0 & \sum_{i=1}^n \lambda_i \\
 & = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (32)
 \end{aligned}$$

$$2) \quad MCT = \frac{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (33)$$

$$3) \quad MDT = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (34)$$

$$4) \quad MUT = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (35)$$

Osnovni cilj rada u ovom poglavlju je definisanje metodološkog pristupa analizi raspoloživosti proizvodnih sistema u gradjevinarstvu i formiranje opšteg programa za elektronski računar u tu svrhu. Zbog toga se ovde i daju ili izvode neophodne formule za proračun raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti za sve tipove veze, odnosno strukturnih rešenja, koja se mogu javiti u pojedinim podsistemima ili u proizvodnom sistemu. U pogledu strukturnog rešenja proizvodnog sistema već je zaključeno da se, posmatrajući rezultat rada kao funkciju cilja, sistemi u gradjevinarstvu mogu prikazati kao serijski vezani podsistemi sa

različitim tipovima veze unutar njih. Razmatrani tipovi serijske veze sa zavisnim i nezavisnim otkazima su i osnovni tipovi veze u proizvodnom sistemu. Raspoloživost sistema u slučaju serijske veze sa nezavisnim otkazima se proračunava jednostavno preko proizvoda raspoloživosti pojedinih podsistema (24,25). U slučaju serijske veze sa zavisnim otkazima, potrebno je prethodno proračunati granične vrednosti očekivanog intenziteta otkaza i opravke pojedinih podsistema da bi se potom mogla proračunati raspoloživost sistema (30,31). Proračun ovih veličina je razmatran u [120] i dat u sledećem obliku:

-učestalost otkaza serijskog sistema u ustaljenom stanju

$$\lambda_{ss} = A \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (36)$$

pri čemu

$$\hat{\lambda}_{sm} = \frac{\lambda_{ss}}{A} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (37)$$

predstavlja graničnu vrednost očekivanog intenziteta otkaza serijskog sistema i

- granična vrednost očekivanog intenziteta popravke serijskog sistema

$$\hat{\mu}_{sm} = \frac{\lambda_{ss}}{U} \quad (38)$$

Formule (36,37,38), kao i odgovarajuće formule za paralelnu vezu (45,46,47) i aktivnu paralelnu vezu tipa (K,N)- vruća rezerva (54,55,56), date su u [120] na str. 78 i 79, u okviru pristupa analizi "stabla grešaka" (fault trees). Kao takve, iako omogućuju u potpunosti proračun potrebnih veličina za analizu na nivou sistema, one se ne uklapaju u osnovni konceptijski pristup i zahtevaju dodatni računski i programerski napor za njihov proračun. Pored toga, u [120] nije ni razmatran proračun učestalosti otkaza ( $\hat{\lambda}_{pkn}$ ) i graničnih vrednosti intenziteta otkaza ( $\hat{\lambda}_{pkn}$ ) i opravke ( $\hat{\mu}_{pkn}$ ) za tip pasivne paralelne veze (K,N)-

hladna rezerva. Znacajno je napomenuti da je to ujedno, za razliku od elektronskih i energetskih sistema na primer, i tip veze koji je najčešće i moguće primenjivati u fazi optimizacije pouzdanosti, odnosno raspoloživosti.

Ovde su već dati izrazi za proračun raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti za sistem sa serijskom vezom i to za slučaj nezavisnih i zavisnih otkaza, i naglašeno je da je to i tip veze na koji se strukturno svode sistemi u gradjevinarstvu. Jasno je da je za proračun raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti na nivou sistema potrebno proračunati granične vrednosti intenziteta otkaza ( $\hat{\lambda}$ ) i popravke ( $\hat{\mu}$ ) za pojedine podsisteme, a takodje i učestalost pojave otkaza ( $\lambda$ ) odgovarajućeg podsistema radi uspešnijeg predviđanja njegovog ponašanja. Najcelishodniji pristup proračunu ovih veličina, u situaciji kada su već izvedene formule za pokazatelje raspoloživosti, bio bi upravo njihov proračun u funkciji poznatih pokazatelja raspoloživosti.

Sa namerom da se izvedu formule za proračun  $\lambda$ ,  $\hat{\lambda}$  i  $\hat{\mu}$  za sve razmatrane tipove veze, a da se istovremeno taj proračun vrši u funkciji pokazatelja raspoloživosti, polazi se od pretpostavke da su intenziteti otkaza i opravke jednaki recipročnim vrednostima očekivanog vremena trajanja funkcije podsistema (MUT) i vremena kada je podsistem van funkcije (MDT). Upoređujući (26) i (32) sa (36), a ujedno koristeći (27) i (33), dobija se da je za slučaj nezavisnih otkaza

$$\lambda_{ssn} = f$$

$$= \frac{1}{MCT}$$

$$= \prod_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

(36.1)

odnosno zavisnih otkaza

$$\begin{aligned}
 \lambda_{SSZ} &= f \\
 &= \frac{1}{MCT} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} \quad (36.2)
 \end{aligned}$$

tj. da je učestalost pojave otkaza serijskog sistema u oba slučaja jednaka recipročnoj vrednosti vremena trajanja jednog ciklusa, što je već bilo i dato u (16). Analogno, na osnovu formula (29), (35) i (37), sledi da je granična vrednost očekivanog intenziteta otkaza serijskog sistema jednaka recipročnoj vrednosti očekivanog vremena funkcije tj. za slučaj nezavisnih otkaza

$$\begin{aligned}
 \hat{\lambda}_{SSn} &= \frac{1}{MUT} \\
 &= \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (37.1)
 \end{aligned}$$

odnosno za slučaj zavisnih otkaza. Sistem (podsystem)

$$\begin{aligned}
 \hat{\lambda}_{SSZ} &= \frac{1}{MUT} \\
 &= \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (37.2)
 \end{aligned}$$

Uvodjenjem izraza (36.1) i (25) u (38) i poredjenjem sa (28), dobija se da je za slučaj nezavisnih otkaza granična vrednost očekivanog intenziteta popravke jednaka

$$\begin{aligned}
 \hat{\mu}_{SSn} &= \frac{1}{MDT} \\
 &= \frac{\prod_{i=1}^n \mu_i \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i}{\prod_{i=1}^n (\lambda_i + \mu_i) - \prod_{i=1}^n \mu_i} \quad (38.1)
 \end{aligned}$$



i analogno za slučaj zavisnih otkaza, zamenom (36.2) i (31) u (38) i poredjenjem sa (34) dobija se da je

$$\hat{\mu}_{SSZ} = \frac{1}{MDT}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (38.2)$$

Na osnovu (38.1) i (38.2) zaključuje se da je granična vrednost očekivanog intenziteta otkaza jednaka recipročnoj vrednosti očekivanog vremena trajanja stanja kada je sistem (podsystem) van funkcije.

Korišćenjem ovih izraza obezbedjuje se jedinstven pristup formiranju metodologije za proračun raspoloživosti proizvodnih sistema i olakšava izrada opšteg programa za elektronski računar.

### 2.3.2 PARALELNI SISTEM

Sistem (podsystem) komponentata ima paralelnu redundantnu konfiguraciju u slučaju kada komponente simultano izvršavaju istu funkciju tako da je sistem (podsystem) potpuno raspoloživ i onda kada najmanje jedna komponenta funkcioniše. Ovo je ujedno i najredji tip veze u građevinskoj praksi. U proračunu se polazi od zaključka koji je i ranije dat, da su intenziteti otkaza i opravke komponentata nezavisni, odnosno da su komponente nezavisne. Raspoloživost sistema se proračunava prema formuli

$$A = 1 - \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (39)$$

pri čemu je

$$U = \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (40)$$

Na osnovu jednačina (16), (17) i (18) dati su sledeći izrazi za pokazatelje raspoloživosti

$$1) \quad f = f_- = \left[ \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \right] \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (41)$$

$$2) \quad MCT = \frac{1}{\left[ \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \right] \sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (42)$$

3)

$$MDT = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (43)$$

4)

$$MUT = MCT - MDT$$

$$= \frac{A}{U \cdot \sum_{i=1}^n \mu_i}$$

$$= \frac{\prod_{i=1}^n (\lambda_i + \mu_i) - \prod_{i=1}^n \lambda_i}{\prod_{i=1}^n \lambda_i \cdot \sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (44)$$

Prema [120] učestalost otkaza paralelnog sistema u ustaljenom stanju jednaka je

$$\lambda_{ps} = \sum_{i \in X} \mu_i \quad (A_p) \quad (45)$$

dok je granična vrednost očekivanog intenziteta otkaza

$$\hat{\lambda}_{pm} = \frac{\lambda_{ps}}{1-U} = \frac{\lambda_{ps}}{A} \quad (46)$$

Granična vrednost očekivanog intenziteta popravke paralelnog sistema jednaka je

$$\hat{\mu}_{pm} = \frac{\lambda_{ps}}{U} = \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (47)$$

Upoređujući (41) i (45), a ujedno koristeći (42), dolazi se do

identičnog zaključka kao u (16) i (36.1 i 2), tj. da je učestalost pojave otkaza paralelnog sistema jednaka recipročnoj vrednosti vremena trajanja jednog ciklusa i da se proračunava prema

$$\begin{aligned} \lambda_{ps} &= f \\ &= \frac{1}{MCT} \\ &= \left[ \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \right] \sum_{i=1}^n \mu_i \end{aligned} \quad (45.1)$$

Analognim pristupom kao pri izvodjenju formula (37.1 i 2) i (38.1 i 2) dolazi se do identičnog zaključka da su granične vrednosti očekivanih intenziteta otkaza ( $\hat{\lambda}_{ps}$ ) i popravke ( $\hat{\mu}_{ps}$ ) jednake recipročnim vrednostima očekivanog vremena trajanja funkcije sistema (MUT) i očekivanog vremena kada je sistem van funkcije (MDT), respektivno. Uvodjenjem (45.1) u (46) dobija se da je

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_{ps} &= \frac{U \cdot \sum_{i=1}^n \mu_i}{A} \\ &= \frac{1}{MUT} \\ &= \frac{\prod_{i=1}^n \lambda_i \cdot \sum_{i=1}^n \mu_i}{\prod_{i=1}^n (\lambda_i + \mu_i) - \prod_{i=1}^n \lambda_i} \end{aligned} \quad (46.1)$$

a uporedjivanjem (43) i (47)

$$\hat{\mu}_{ps} = \frac{1}{MDT}$$

$$= \sum_{i=1}^n \mu_i$$

(47.1)

### 2.3.3. AKTIVNA PARALELNA VEZA TIPA (K, N)

U sistemima strukturno projektovanim od identičnih paralelnih komponenta nekada je potrebno obezbediti funkciju najmanje K od N raspoloživih komponenta da bi sistem uspešno funkcionisao. Aktivna paralelna veza tipa (K, N) se u literaturi često naziva i vruća rezerva (hot standby) zato što se svih N elemenata od vremena  $t=0$  nalaze u funkciji, a smatra se da sistem uspešno funkcioniše ukoliko se najmanje K elemenata nalazi u funkciji, odnosno ukoliko K elemenata uspešno obavlja svoj deo zadatka za ispunjenje funkcije cilja. Na osnovu (9) može se zaključiti da bi ovaj tip veze trebalo izbegavati u gradjevinarstvu, jer funkcija (N-K) i manje rezervnih elemenata nema efekta na rezultat rada sistema u celini, ali zato znatno utiče na cenu koštanja proizvodnog procesa (vidi poglavlje 4.3)

U gradjevinarstvu postoje radne operacije ili aktivnosti za čije izvršavanje je ipak neophodno primeniti ovaj tip strukturnog rešenja zbog tehnoloških uslova ili razloga sigurnosti. Karakterističan je primer tehnološki proces liftovanja teških elemenata konstrukcije, gde se zbog sigurnosti u izvršavanju tog procesa mora primeniti ovaj tip veze za ključne komponente -hidraulične pumpe. To je i razlog što se ovaj tip veze analizira i što će osnovni pokazatelji raspoloživosti biti obuhvaćeni programom za analizu raspoloživosti sistema. Zamenom (23) u ( ) dobija se da se raspoloživost proračunava prema formuli

$$A = \frac{1}{(\lambda + \mu)^n} \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \cdot \lambda^{n-i} \quad (48)$$

Granična stanja u podskupu stanja  $X^-$ , neophodna za proračun učestalosti pojave stanja otkaza, su ona stanja u kojima je  $K$  elemenata u funkciji  $i$  ( $N-K$ ) u otkazu. Bilo koji novi otkaz rezultovao bi otkazom sistema. Uzimajući u obzir da je verovatnoća  $K$  uspeha od  $N$  mogućih jednaka

$$A_- = \binom{n}{k} p^k \cdot (1-p)^{n-k} \quad (49)$$

dobija se da je prvi pokazatelj raspoloživosti

1)

$$f = A_- \cdot k\lambda$$

$$= \frac{1}{(\lambda + \mu)^n} \cdot \binom{n}{k} \mu^k \cdot \lambda^{n-k} \cdot k\lambda \quad (50)$$

Na osnovu formula (16,17,18) izvedeni su izrazi i za ostale pokazatelje raspoloživosti:

2)

$$MCT = \frac{(\lambda + \mu)^n}{\binom{n}{k} \mu^k \cdot \lambda^{n-k} \cdot k\lambda} \quad (51)$$

3)

$$MDT = \frac{1}{\binom{n}{k} \mu^k \lambda^{n-k} k\lambda} \left[ (\lambda + \mu)^n - \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \lambda^{n-i} \right] \quad (52)$$

4)

$$MUT = \frac{1}{\binom{n}{k} \mu^k \lambda^{n-k} k\lambda} \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \lambda^{n-i} \quad (53)$$

U [120] na strani 79. date su formule za proračun učestalosti pojave otkaza i graničnih vrednosti intenziteta otkaza i opravke za ovaj tip veze u sledećem obliku:

$$\lambda_{m/n} = \frac{n!}{(n-m)!(m-1)!} \cdot \frac{(1/\lambda)^{m-1}}{(1/\mu)^m} \bar{A}^n \quad (54)$$

$$\hat{\lambda}_{m/n} = \frac{m!(1/\lambda)^{m-1} (1/\mu)^{n-m}}{(n-m)!(m-1)! \sum_{i=m}^n \binom{n}{i} (1/\lambda)^i (1/\mu)^{n-i}} \quad (55)$$

$$\hat{\mu}_{m/n} = \frac{n!(1/\lambda)^{m-1} (1/\mu)^{n-m}}{(n-m)!(m-1)! \sum_{i=0}^{m-1} \binom{n}{i} (1/\lambda)^i (1/\mu)^{n-i}} \quad (56)$$

Aktivna paralelna veza tipa (K, X) je univerzalna, jer se pomoću izraza izvedenih za taj tip veze mogu izvesti proračuni učestalosti, graničnih vrednosti intenziteta otkaza i opravke za bilo koji tip veze.

$$A = U \quad i$$

$$m = k$$

Na osnovu istih pretpostavki kao pri izvodjenju (36.1-38.2) i (45.1-47.1) dobijeni su sledeći izrazi:

$$\begin{aligned} \lambda_{akn} &= f \\ &= \frac{1}{MCT} \\ &= \frac{\binom{n}{k} \mu^k \lambda^{n-k} \cdot k\lambda}{(\lambda + \mu)^n} \end{aligned} \quad (54.1)$$

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_{akn} &= \frac{1}{MUT} \\ &= \frac{\binom{n}{k} \mu^k \lambda^{n-k} k\lambda}{n \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \lambda^{n-i}} \end{aligned} \quad (55.1)$$

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{akn} &= \frac{1}{MDT} \\ &= \frac{\binom{n}{k} \mu^k \lambda^{n-k} k\lambda}{(\lambda + \mu)^n - \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \lambda^{n-i}} \end{aligned} \quad (56.1)$$

Aktivna paralelna veza tipa (K,N) je univerzalna, jer se pomoću izraza izvedenih za taj tip veze može izvršiti proračun raspoloživosti, pokazatelja raspoloživosti i, automatski, prema izrazima (54.1-56.1) i graničnih vrednosti intenziteta otkaza i opravke za serijske i paralelne sisteme (podsisteme). Polazeći od



ove mogućnosti izvršena je numerička kontrola rezultata dobijenih izrazima (54.1-56.1) sa rezultatima dobijenim preko (36.1, 37.1, 38.1), usvajajući da je  $K=N$ , i izrazima (45.1-47.1), usvajajući da je  $K=r$ . Za iste ulazne podatke izvršen je i proračun pomoću (54, 55, 56) za  $K=r$  i  $K=N$ , kao i za  $r < K < N$  i dobijene su identične vrednosti vrednostima proračunatim preko (54.1, 55.1, 56.1), te se može tvrditi da je

$$\lambda_{akn} \equiv \lambda_{m/n}$$

$$\hat{\lambda}_{akn} \equiv \hat{\lambda}_{m/n}$$

$$\hat{\mu}_{akn} \equiv \hat{\mu}_{m/n}$$

Ovim je potvrđena pretpostavka da su granične vrednosti intenziteta otkaza i opravke jednake recipročnim vrednostima *MUT* i *MDT*, respektivno, i time u potpunosti u duhu metode uravnoteženja učestalosti omogućen i olakšan proračun tih veličina.

#### 2.3.4 PASIVNA PARALELNA VEZA TIP (K, N)

Pasivna paralelna veza tipa (K,N) se često u literaturi naziva i hladna rezerva (cold standby), pri čemu se smatra da sistem uspešno funkcioniše ukoliko se tačno K elemenata, koji obezbeđuju zahtevani rezultat rada, nalazi u funkciji. Preostali elementi (N-K) nalaze se u tzv. hladnoj rezervi. Pošto za većinu komponenata proizvodnih sistema u građevinarstvu nije potreban određen vremenski period za stupanje u funkciju, već se može smatrati da je moguć trenutni prelazak rezervnih elemenata u radno stanje, ovo je tip veze koji bi svakako trebalo najviše primenjivati u fazi optimizacije pouzdanosti (vidi poglavlje VI). Obzirom da uključivanje rezervnih elemenata u proizvodni proces zavisi i od pravovremenosti upravljačkih odluka, jasno je da je u ovakvim procesima neophodna podrška informacionog sistema i valjano upravljanje projektom na svim hijerarhijskim nivoima. Zbog toga je u poglavlju ( II ) ukazano na uticaj verovatnoće pravovremenih odluka na uključivanje rezervnih elemenata.

Razmatra se pasivna paralelna veza tipa (K,N) sa identičnim komponentama. Verovatnoća da će broj otkaza O biti manji od ukupnog broja raspoloživih komponenata u hladnoj rezervi (N-K) predstavlja raspoloživost pasivne paralelne veze tipa (K,N) i izražava se kao

$$A = P \left[ O \leq (N-K) \right]$$

$$= \sum_{i=0}^{N-K} \frac{\frac{\mu^k}{(\lambda+\mu)^k}}{i!} \left[ -k \ln \frac{\mu}{\lambda+\mu} \right]^i = \frac{\mu^k}{(\lambda+\mu)^k} \sum_{i=0}^{N-K} \frac{\left[ -k \ln \frac{\mu}{\lambda+\mu} \right]^i}{i!} \quad (57)$$

pri čemu je

$$U = 1 - A$$

Granično stanje kod ovog tipa veze nastupa u trenutku kada je broj otkaza već angažovanih elemenata jednak planiranom broju elemenata u hladnoj rezervi, odnosno kada je jednak (N-K). Svaki sledeći otkaz uzrokuje otkaz sistema, te je prema tome granično stanje predstavljeno verovatnoćom

$$A_- = \frac{\mu^k}{(N-K)! (\lambda+\mu)^k} \left[ -k \ln \frac{\mu}{\lambda+\mu} \right]^{(N-K)} \quad (58)$$

Na osnovu (57) i (58) izvedene su sledeće formule za osnovne pokazatelje raspoloživosti kod ovog tipa veze:

1)

$$f = A_- \cdot k\lambda$$

$$= \frac{k \lambda \mu^k}{(N-K)! (\lambda+\mu)^k} \left[ -k \ln \frac{\mu}{\lambda+\mu} \right]^{(N-K)} \quad (59)$$

2.4. 2) METODA ANALIZI RASPOLOŽIVOSTI U FUNKCiji STRUKTURE SISTEMA

$$MCT = \frac{(\lambda + \mu)^k \cdot (N - K)!}{k\lambda \cdot \mu^k \cdot \left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{(N - K)}} \quad (60)$$

3)

$$MDT = \frac{(N - K)!}{k\lambda \left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{(N - K)}} \left[ \frac{(\lambda + \mu)^k}{\mu^k} - \sum_{i=0}^{N - K} \frac{\left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^i}{i!} \right] \quad (61)$$

4)

$$MUT = \frac{(N - K)!}{k\lambda \left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{(N - K)}} \sum_{i=0}^{N - K} \frac{\left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^i}{i!} \quad (62)$$

Granične vrednosti intenziteta otkaza i popravke sistema (podсистема) sa ovim tipom veze komponenta proračunavaju se, prema već donetom zaključku, pomoću recipročnih vrednosti *MUT* i *MDT*

$$\hat{\lambda}_{PKN} = \frac{k\lambda \left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{(N - K)}}{(N - K)! \sum_{i=0}^{N - K} \frac{\left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^i}{i!}} \quad (63)$$

$$\hat{\mu}_{PKN} = \frac{k\lambda \left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{(N - K)}}{(N - K)! \left[ \frac{(\lambda + \mu)^k}{\mu^k} - \sum_{i=0}^{N - K} \frac{\left(-k \ln \frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^i}{i!} \right]} \quad (64)$$

## 2.4. PRISTUP ANALIZI RASPOLOŽIVOSTI U FUNKCIJI STRUKTURE SISTEMA

Složene strukture sistema svode se hijerarhijskim grupisanjem na prostije strukture koje omogućuju celovitu analizu sistema. Pri tome osnovni problem predstavlja prenošenje analiziranih podataka i dobijenih rezultata sa jednog nivoa na drugi, gde rezultati sa nižeg nivoa predstavljaju deo ulaznih podataka za proračune na višem nivou. Kako je već istaknuto, sama analiza raspoloživosti proizvodnog sistema u građevinarstvu nema skoro nikakvu praktičnu svrhu, ukoliko se uporedo ne vrši i analiza rezultata rada i troškova vezanih za stanje funkcije i stanje kada je sistem van funkcije, odnosno kada ne ostvaruje zahtevani rezultat rada. Naravno, ovo pre svega podrazumeva analizu uticaja raspoloživosti sistema na kvantifikovane rezultate rada što je predmet razmatranja tačke 3. ovog poglavlja. Medjutim, baš zahvaljujući toj mogućnosti da se funkcija bilo kog sistema u građevinarstvu može i mora kvantifikovati da bi cela analiza i imala praktičnu svrhu, pokazano je da se kvantifikovanjem rezultata rada i troškova ostvarenih na pojedinim radnim mestima i proizvodnim linijama omogućuje svodjenje složenih struktura na niz podsistema strukturno vezanih u obliku serijske veze (sl.1-3). Pojedini podsistemi nivoa 1. u tom slučaju mogu imati elemente vezane u obliku jednog od četiri osnovna tipa veze ili umesto elemenata podsisteme, ali sada nivoa 2., pri čemu za svaki element, odnosno podsistem, u svim fazama analize treba imati kao ulazni podatak ili proračunati sve pokazatelje raspoloživosti i kvantifikovane rezultate njihove funkcije. Time se i omogućuje proračun raspoloživosti, pokazatelja raspoloživosti, rezultata i troškova funkcije na nivou sistema, i istovremeno obezbeđuju kvalitativni podaci o svim elementima i proizvodnim linijama sistema.

Strukturno gledano na hijerarhijski najnižem nivou, na nivou elemenata sistema, osnovni ulazni podaci su podaci o intenzitetima otkaza ( $\lambda$ ) i opravke ( $\mu$ ) za svaki element sistema. Prelaženjem na hijerarhijski viši nivo dva ili više elemenata strukturno vezanih u obliku jednog od četiri moguća tipa veze zamenjuju se i

predstavljaju jednim podsistemom. Da bi taj novi element - podsistem u hijerarhijski višoj strukturi u potpunosti reprezentovao sve uticaje elemenata koje zamenjuje na funkciju sistema u celini, potrebno je pre svega proračunati njegov intenzitet otkaza i opravke. Na tom hijerarhijski višem nivou podsistem je element sistema. Polazeći od toga njegova raspoloživost se može proračunati prema formuli (23)

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Pretpostavljajući da su intenziteti otkaza i opravke podsistema jednaki graničnim vrednostima intenziteta otkaza i opravke za četiri osnovna tipa strukture, njihovom zamenom u (23) dobijeno je da desna strana identički zadovoljava odgovarajuće formule za proračun raspoloživosti pojedinih struktura, što, automatski, potvrđuje pretpostavku. Kao primer ovde se navodi dokaz za aktivnu paralelnu vezu tipa (K,N). Pretpostavlja se da je

$$\lambda \equiv \hat{\lambda}_{akn}$$

$$\mu \equiv \hat{\mu}_{akn}$$

i zamenom (55.1) i (56.1) u (23) dobija se da je

$$A = \frac{\binom{n}{k} \mu^k \cdot \lambda^{n-k} \cdot k \lambda}{(\lambda + \mu)^n - \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \cdot \lambda^{n-i}} + \frac{\binom{n}{k} \mu^k \cdot \lambda^{n-k} \cdot k \cdot \lambda}{\sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \cdot \lambda^{n-i} + (\lambda + \mu)^n - \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \lambda^{n-i}}$$

odakle se sredjivanjem desne strane dobija

$$A \equiv \frac{1}{(\lambda + \mu)^n} \cdot \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \mu^i \cdot \lambda^{n-i}$$

što je identično sa već datom formulom (48) za proračun raspoloživosti aktivne paralelne veze tipa (K,N). Zaključuje se da su intenziteti otkaza i opravke podsistema jednaki graničnim vrednostima intenziteta otkaza i opravke za odgovarajuću strukturnu vezu njegovih elemenata, odnosno da je za slučaj:

- serijske veze - nezavisni otkazi, (37.1, 38.1):

$$\lambda \equiv \hat{\lambda}_{ssn} \quad i \quad \mu \equiv \hat{\mu}_{ssn}$$

- serijske veze - zavisni otkazi, (37.2, 38.2):

$$\lambda \equiv \hat{\lambda}_{ssz} \quad i \quad \mu \equiv \hat{\mu}_{ssz}$$

- paralelne veze, (46.1, 47.1)

$$\lambda \equiv \hat{\lambda}_{ps} \quad i \quad \mu \equiv \hat{\mu}_{ps} \quad (65)$$

- aktivne paralelne (K,N) veze, (55.1, 56.1):

$$\lambda \equiv \hat{\lambda}_{akn} \quad i \quad \mu \equiv \hat{\mu}_{akn}$$

- pasivne paralelne (K,N) veze, (63,64):

$$\lambda \equiv \hat{\lambda}_{pkn} \quad i \quad \mu \equiv \hat{\mu}_{pkn}$$

Ovako proračunate vrednosti intenziteta otkaza i opravke podsistema su relevantne za proračun raspoloživosti i pokazatelja

raspoloživosti na nivou sistema prema formulama od (24) do (29) za slučaj nezavisnih otkaza, odnosno prema formulama od (30) do (35) za slučaj zavisnih otkaza.

### 3. UTICAJ RASPOLOŽIVOSTI SISTEMA NA REZULTAT I PRODAJNU CENU RADA SISTEMA

#### 3.1 UVOD

Realizacija investicionih projekata kao osnovna delatnost gradjevinarstva, odvija se po sledećim fazama:

1. Ispitivanje tržišta,
2. Izrada ponude,
3. Ugovaranje posla,
4. Izrada glavnog projekta i priprema gradjevine proizvodnje,
5. Izgradnja investicionog objekta (objekata),
6. Naplata realizovanog posla i
7. Formiranje baze istorijskih podataka.

Analiza realizacije navedenih faza sa naučnog i stručnog aspekta predstavlja izuzetno obiman zadatak i on se već i izvršava od strane nastavnika i saradnika Katedre za tehnologiju i organizaciju gradjevinarskih radova, medjutim za ovaj rad je bitno istaći značaj uspostavljanja informacionog sistema na nivou gradjevine organizacije i njegovih podsistema na nivou pojedinih projekata koji se nalaze u nekoj od navedenih faza. Valjano oformljen informacioni sistem omogućuje ne samo uspešno upravljanje i rukovodjenje firmom, dobru koordinaciju i realne preseke stanja poslova po svim relevantnim parametrima, nego pre svega značajnu bazu istorijskih podataka. Formirana i stalno aktuelizovana baza podataka o realizovanim poslovima sa podacima o stranim partnerima, domaćim kooperantima, ostvarenim cenama, stvarnim normama, učincima, vremenima trajanja pojedinih aktivnosti, funkcije i otkaza elemenata proizvodnih sistema itd.,

je osnovni preduslov za uspešno izvršavanje ključnih aktivnosti u realizaciji investicionog projekta: projektovanju i planiranju proizvodnih procesa.

Da bi proizvodni procesi bili projektovani na osnovu realnih ulaznih parametara i da bi realno bili planirani i sagledani rezultati njihove funkcije, neophodno je u toku projektovanja izvršiti i analizu raspoloživosti pojedinih elemenata sistema, proizvodnih linija i sistema u celini. Sagledavanjem raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti pojedinih elemenata, definisanih podsistema i sistema u celini, omogućuje se još u fazi projektovanja uočavanje uskih grla u projektovanim proizvodnim linijama, optimalna alokacija redundantnih elemenata u cilju snižavanja stvarne cene po jedinici proizvoda i planiranje održavanja sistema.

Rezultati projektovanja i planiranja funkcije proizvodnih procesa:

- proizvodnja sistema u jedinici vremena-učinak,
- cena sistema u jedinici vremena,
- cena po jedinici mere,
- resursi potrebni za kontinuiranu funkciju sistema i
- vreme za izvršavanje pojedinih aktivnosti

na nivou konceptualnog sagledavanja, idejnih ili glavnih projekata, predstavljaju osnovne elemente za proces donošenja odluka tokom upravljanja investicionim projektom, a od njihove realnosti i kvaliteta zavisi i konačni uspeh svih faza u realizaciji investicionog projekta.

U dosadašnjoj gradjevinskoj praksi nije razmatran uticaj verovatnoće ispunjavanja zadate funkcije cilja sa aspekta raspoloživosti pojedinih elemenata sistema, kao ni stvarni rezultat i cena rada projektovanog proizvodnog sistema. Uglavnom je veliki uspeh predstavljalo prisustvo u analizi svih resursa neophodnih za funkciju sistema, uskladjivanje praktičnih učinaka i proračun planiranog rezultata rada i cene koštanja. Naravno, sve pod pretpostavkom da će svi elementi projektovanog sistema



besprekorno funkcionisati. Retki su pojedinci koji su intuitivno ili iskustveno vršili određenu alokaciju rezervnih elemenata u cilju povećanja verovatnoće funkcije sistema sa aspekta očekivanog rezultata rada. Svi eventualni promašaji u projektovanju sistema i proceni rezultata njegove funkcije pokriveni su uglavnom preko faktora rizika koji se pojavljuje u kalkulacijama prilikom nudjenja i ugovaranja posla i koji je, to se mora reći, po pravilu rezultat jedne maglovite i proizvoljne analize.

### 3.2. UTICAJ RASPOLOŽIVOSTI - POUZDANOSTI ELEMENATA NA REZULTAT RADA SISTEMA

Raspoloživost predstavlja verovatnoću sa kojom se očekuje da će oprema biti spremna da startuje i izvršava postavljeni zadatak [38]. To je karakteristični pojam održavanih sistema. Sa druge strane se za pouzdanost definiše da je to verovatnoća sa kojom će sistem ili komponenta izvršavati zadatu funkciju cilja u specificiranom vremenskom periodu i pod zahtevanim uslovima. Ova dva pojma su identična u uslovima ustaljenog stanja. U ovom poglavlju je stalno korišćen pojam *raspoloživost* sa željom da se naglasi da su proizvodni sistemi u građevinarstvu održavani sistemi mada nije bilo nikakvih suštinskih smetnji da se koristi *pouzdanost* kao što to npr. čine Frankel [38], Rau [112], Singh [119], itd.

Formulama (9, 19, 20) i propratnim objašnjenjima već je ukazano na uticaj pouzdanosti komponente (podsistema) na rezultat rada sistema. Za dalje razmatranje prvo će se analizirati specijalni slučaj koji se javlja kod serijski vezanog sistema koji u svakoj vezi ima samo po jedan element ili serijski vezanu paralelnu vezu. Stvarni rezultat takvog sistema se proračunava po formuli:

$$UP_{st} = \min_{i \in \{1, N\}} \left\{ A_i \cdot UP_i \right\} \quad (66)$$

Za sve ostale slučajeve kada jedan ili više serijski vezanih

podsystema reprezentuju dva ili više elemenata vezanih paralelno aktivnom ili pasivnom vezom tipa (K,N) potrebno je definisati *MSTUP* - minimalni stvarni rezultat rada. Ako se posmatra jedan takav podsystem onda je

$$MSTUP_{ps_i} = A_{ps_i} \cdot PLANUP_{ps_i} \quad (67)$$

gde je *PLANUP* - planirani rezultat rada podsystema *i*. Tada se, analogno (66), minimalni stvarni rezultat rada sistema proračunava prema

$$MSTUP = \min_{i \in \{1, N\}} \left\{ MSTUP_{ps_i} \right\} \quad (68)$$

Ovakvo zaključivanje uslovljava sama definicija pouzdanosti na osnovu koje desna strana formule (67) predstavlja očekivani rezultat rada. Medjutim, neizvršavanje zadate funkcije cilja ne znači da, istovremeno, sistem prestaje sa proizvodnjom, jer kod podsystema sa više paralelno vezanih elemenata prestanak funkcije zahtevanog minimalnog broja elemenata uzrokuje neispunjavanje zadate funkcije cilja, ali funkcija preostalih elemenata daje i dalje odredjeni rezultat rada. Zbog tog dodatnog rezultata rada u periodu kada se inače evidentira da je sistem u otkazu, odnosno da ne izvršava zadatu funkciju cilja, formule (67) i (68) odredjuju minimalni stvarni rezultat rada *MSTUP* koji u daljim analizama koristi i kao mera za poredjenje uspešnosti funkcije varijantnih rešenja za odredjeni proizvodni proces.

Vrednost *PLANUP* za slučaj aktivne paralelne veze tipa (K,N) iznosi:

$$PLANUP = N \cdot UP_1 \quad (69)$$

A za slučaj pasivne paralelne veze tipa (K,N)

$$PLANUP = K \cdot UP_1 \quad (70)$$

pri čemu je  $UP_I$  rezultat rada jednog elementa u jedinici vremena.

Na osnovu (67), (69) i (70) dobija se za aktivnu paralelnu vezu tipa (K,N) da je

$$MSTUP_{ps_i} = A_{ps_i} \cdot N \cdot UP_1 \quad (71)$$

a za pasivnu paralelnu vezu tipa (K,N)

$$MSTUP_{ps_i} = A_{ps_i} \cdot K \cdot UP_1 \quad (72)$$

### 3.3 UTICAJ RASPOLOZIVOSTI - POUZDANOSTI NA PRODAJNU CENU RADA SISTEMA

Metodologija za proračun planirane cene pojedinih elemenata proizvodnih sistema u gradjevinarstvu, a samim tim i sistema u celini (PLCSIS), u potpunosti je definisana i prikazana sa primerima za osnovne sisteme u referencama [137, 138]. Prof. Trbojević je tu obuhvatio analizu svih troškova preko proračuna u potrebama za radnom snagom, mehanizacijom i materijalom po jedinici mere, odnosno, proračun cene koštanja po jedinici mere, kao i proračun prodajne cene rada uvođenjem faktora režije i dobiti ( $\phi$ ). Ova metodologija je u potpunosti primenjena prilikom formiranja programa za elektronski računar u programskom jeziku *fortran* kod proračuna planirane cene funkcije podsistema i sistema u celini, pri čemu se podrazumeva da su cene funkcije pojedinih elemenata, kao ulazni podaci, proračunate po istom postupku.

Prodajna cena rada sistema u jedinici vremena je jedan od četiri ključna ulazna podatka prilikom obrade ponude i ugovaranja posla. Preostala tri podatka su:

- rezultat rada sistema u jedinici vremena,
- cena po jedinici mere rezultata rada (uobičajeno je da je to  $m^3$  ugrađenog materijala, tona armature,  $m^2$  oplate,...) i
- vreme potrebno da se izvrši predviđeni obim posla.

Proračunata cena rada sistema direktno utiče na vrednost cene po

jedinici mere, dok rezultat rada sistema utiče i na vrednost cene po jedinici mere i na vreme potrebno da se izvrši planirani obim posla. U uvodu tačke 3. je ukazano na značaj realne procene ovih podataka, a u tački 3.2 je definisan pristup proračunu stvarnog rezultata rada sistema u jedinici vremena. Ovde je potrebno rešiti pitanje da li je planirana prodajna cena rada sistema cena sa kojom je opravdano ući u dalje analize i ukoliko nije, definisati egzaktan način za proračun stvarne prodajne cene rada sistema koji bi delom zamenio ili umanjio površnost procene tzv. "faktora rizika". Bitno je istaći da faktor rizika maglovito obuhvata sve poremećaje stohastičkog karaktera koji deluju na proizvodni sistem i to od onih iz okruženja, npr. ratni uslovi, nedostatak materijala, do unutrašnjih koji se nikada precizno ne definišu. Jasno je da se mnogi unutrašnji poremećaji mogu eliminisati, jer su uglavnom subjektivne prirode. Tu se pre svega misli na lošu procenu posla i četiri ključna ulazna podatka, nepostojanje informacionog sistema do očekivane posledice - lošeg rukovodjenja.

Ukoliko se sa  $C_i$  označi planirana prodajna cena rada elementa podsistema  $i$  pri čemu je  $i=1,2,\dots,N$ , onda je planirana prodajna cena rada tog podsistema u slučaju:

1. Serijski vezanog jednog elementa

$$PLCPS_i = C_1 \quad (73)$$

2. Aktivne paralelne veze tipa (K,N)

$$PLCPS_i = N \cdot C_1 \quad (74)$$

3. Pasivne paralelne veze tipa (K,N)

$$PLCPS_i = K \cdot C_1 + (N-K) \cdot COSN_1 \quad (77)$$

pri čemu  $COSN_i$  predstavlja troškove osnovnog sredstva za jedan element.

Tada je planirana prodajna cena rada sistema

$$PLCSIS = \sum_{i=1}^n PLCPS_i \quad (76)$$

Prekidi funkcije proizvodnog sistema usled otkaza pojedinih podsistema uzrokuju dodatne troškove (CDOD) i neplanirane troškove na ime osnovnih sredstava. Dodatni troškovi se pre svega iskazuju u:

- Penalima koje je izvodjač dužan po ugovoru da plati investitoru zbog kašnjenja u ugovorenoj dinamici predaje pojedinih faza radova. Koliko je to značajan iznos finansijskih sredstava govori i podatak da oni danas, zavisno od vrste radova, na inostranom tržištu iznose od 5000-10000 USA\$ / dan.

- Nerealizovanim planiranim finansijskim sredstvima na ime režije i dobiti (RID). To je upravo ona razlika finansijskih sredstava izmedju prodajne cene i cene koštanja kojom je izvodjač planirao da nadoknadi troškove režije, raznih obaveza i ostvari odredjenu dobit, i

- Troškovima za dohotke prisutnih radnika na gradilištu (CRS) koji ostaju bez posla u vreme kada je sistem van funkcije, tj. u otkazu. Ovi troškovi ne moraju da budu zavisni samo od broja direktnih rukovaoca gradjevinskim mašinama i kapitalnom opremom, pošto se može dogoditi da prekid nekog od osnovnih proizvodnih procesa uzrokuje prekid aktivnosti na više tehnoloških linija ili na više gradilišta kao što je slučaj npr. sa proizvodnjom betona, montažnih elemenata, armo-sklopova, itd.

Ovde sledi da su

$$CDOD = PENALI + RID + CRS \quad (77)$$

pri čemu je:

$$RID = \sum_{i=1}^n RID_i$$

$$CRS = \sum_{i=1}^n CRS_i$$

Proračunom prodajne cene rada gradjevinskih mašina i kapitalne opreme, kalkulišu se i troškovi osnovnih sredstava koji obuhvataju: troškove amortizacije, investicionog održavanja i kamate i osiguranja. Osnov za kalkulaciju je aktuelna nabavna vrednost i godišnji fond rada izražen u časovima, koji se određuje prema mogućem godišnjem fondu rada za vrstu gradjevinskih radova u čijem izvršavanju je angažovana mašina ili se koristi oprema. Odredjivanjem godišnjeg fonda rada ( $h_{god}$ ) definiše se i planirani iznos finansijskih sredstava koji se mora u toku godine kroz realizaciju, odnosno rad mašine, tokom svakog časa rada naplatiti na ime troškova osnovnih sredstava [55]. Jasno je da otkaz sistema uslovljava izostanak planirane naplate na ime tih troškova (COSN) i da se strogo određena finansijska sredstva moraju nadoknaditi. Pojava ovih troškova prisutna je i kada se tokom godine mašini ili opremi ne obezbedi angažovanje ravno, izraženo u časovima, planiranom godišnjem fondu rada.

Polazeći od toga da se finansijski gubici (G), pri čemu je

$$G = CDOD + COSN \quad (78)$$

gde je:

$$COSN = \sum_{i=1}^n COSN_i$$

javljaju samo onda kada je sistem u otkazu, zaključuje se da je verovatnoća njihove pojave upravo jednaka verovatnoći pojave stanja otkaza posmatranog sistema. Sa druge strane verovatnoća pojave planirane prodajne cene sistema, jednaka je verovatnoći stanja funkcije sistema, odnosno raspoloživosti sistema. Uzimajući ovo u obzir, definiše se formula za proračun stvarne prodajne cene sistema (STCSIS):

$$STCSIS = A \cdot PLCSIS + (1-A) (PENALI + RID + CRS + COSN) \quad (79)$$

odnošno, uzimajući u obzir (77) i (78)

$$STCSIS = A \cdot PLCSIS + U \cdot G \quad (80)$$

Planirana prodajna cena po jedinici mere ( $PLCJM$ ) proračunava se prema

$$PLCJM = \frac{PLCSIS}{PLANUP} \quad (81)$$

dok se stvarna prodajna cena po jedinici mere ( $STCJM$ ) proračunava prema

$$STCJM = \frac{STCSIS}{MSTUP} \quad (82)$$

#### 4. ZAKLJUČAK

Metoda uravnoteženja učestalosti analizirana i proširena u tački 2.3 ovog poglavlja izvodjenjem formula za aktivnu i pasivnu paralelnu vezu tipa (K,N), omogućuje analizu raspoloživosti podsistema i proizvodnog sistema u celini. Pored raspoloživosti, primenom izvedenih formula, proračunavaju se i pokazatelji raspoloživosti čije vrednosti predstavljaju izuzetno kvalitetne podatke za sagledavanje ponašanja elemenata, podsistema i sistema. Na taj način moguće je relativno jednostavnim proračunom doći do vrlo značajnih podataka i na osnovu njih, još u fazi projektovanja, vršiti tehnološku optimizaciju ili primenom neke od metoda operacionih istraživanja, izvršiti optimalnu alokaciju redundantnih elemenata. Problematika optimalne alokacije je analizirana i rešavana u poglavljima VI i VII.

Formulama (65) razrešen je osnovni problem koji se javlja prilikom hijerarhijskog grupisanja strukture sistema i svodjenja sistema na serijsku vezu niza podsistema. Time je u stvari i otvoren put praktičnoj primeni ove metode. Kako je već istaknuto, analiza raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti ima svoju punu praktičnu svrhu ukoliko se njeni rezultati koriste za proračun stvarnih vrednosti: rezultata rada, prodajne cene i cene po

jedinici mere. Posledica ovih proračuna je i realna procena vremena potrebnog da se izvrši ugovoreni obim posla. Ovaj problem je razmatran u tački 3, a formule koje su tu date korišćene su i pri formiranju modela za optimalnu alokaciju redundantnih elemenata.

Primenom datog metodološkog pristupa pri projektovanju proizvodnih sistema i planiranju njihove funkcije i rezultata rada, uvodi se egzaktni proračun stvarnih vrednosti kvantitativnih pokazatelja funkcije sistema i smanjuje neizvesnost pri proceni finansijskog efekta i obima posla, kao i dinamike izvršavanja pojedinih aktivnosti na gradilištu.

## V ANALIZA RASPOLOŽIVOSTI PROIZVODNOG SISTEMA - OPŠTI PROGRAM (FORTRAN), MODEL I REZULTATI

### I UVOD

Analiza i proračun je jedna od osnovnih metoda u inženjerskim naukama. U ovom poglavlju prikazan je opšti program za analizu raspoloživosti proizvodnog sistema. Program je napisan u FORTRAN jeziku i koristi se za proračun stvarnih vrednosti kvantitativnih pokazatelja funkcije sistema i rezultata rada. Program je napisan u FORTRAN jeziku i koristi se za proračun stvarnih vrednosti kvantitativnih pokazatelja funkcije sistema i rezultata rada. Program je napisan u FORTRAN jeziku i koristi se za proračun stvarnih vrednosti kvantitativnih pokazatelja funkcije sistema i rezultata rada.

Ovo poglavlje sadrži prikaz programa za analizu raspoloživosti proizvodnog sistema koji je razvijen na bazi metodološkog pristupa



TABELA 1

Redni broj	Naziv sistema	Rezultat	Broj	Vrednosti		Cena
				Proračun	Stvarni	
1	... 12"	13,32	33	1022,878	11,275,8	1,305,8
2	... 15"	14,75	78	1274,188	11,275,8	1,305,8
3	... 18"	21,10	108	1479,178	11,275,8	1,305,8
4	... 21"	28,90	138	1623,378	11,275,8	1,305,8
5	... 24"	38,28	168	1844,382	11,275,8	1,305,8
6	... 27"	49,28	198	2122,222	11,275,8	1,305,8
7	... 30"	61,92	228	2458,778	11,275,8	1,305,8
8	... 33"	76,20	258	2854,878	11,275,8	1,305,8
9	... 36"	92,10	288	3311,478	11,275,8	1,305,8
10	... 39"	109,62	318	3828,678	11,275,8	1,305,8

## V ANALIZA RASPOLOŽIVOSTI PROIZVODNOG SISTEMA - OPŠTI PROGRAM (FORTRAN), MODEL I REZULTATI

### 1. UVOD

Analiza i proširenje metode uravnoteženja učestalosti izvodjenjem formula za proračun graničnih vrednosti intenziteta otkaza i opravke izvršena je u poglavlju IV. Svršishodnost njene praktične primene, pored analize raspoloživosti i proračuna MCT, MDT i MUT za podsisteme i sistem u celini, iskazana je i preko formula za proračun stvarnih vrednosti rezultata rada, prodajne cene i cene po jedinici mere. Time je u stvari dat potreban teorijski osnov za analizu raspoloživosti proizvodnih sistema u građevinarstvu i uticaja koje ona ima na kvantitativne pokazatelje funkcije tih sistema.

U ovom poglavlju dat je prikaz programa za analizu raspoloživosti proizvodnih sistema koji je razvijen na bazi metodološkog pristupa

TABELA I

Serijski broj	Vrsta masine	Rezultat rada na poslu (UP)	Snaga motora (HP)	Nabavna vrednost masine (USA \$)	Ekonomski vek trajanja masine (h-ek)	Godisnji fond rada masine (h-god)
G1	GREJDER "CAT 120" lb = 3.65 m'	121.00	135	\$123,870	15,275.0	1,395.0
G2	GREJDER "CAT 160" lb = 4.27 m'	143.70	250	\$256,680	15,275.0	1,395.0
U1	UTOVARIVAC "CAT 930" lq = 1.50 m <sup>3</sup>	39.10	100	\$79,170	12,500.0	1,335.0
U2	UTOVARIVAC "CAT 950B" lq = 2.30 m <sup>3</sup>	59.90	155	\$123,372	12,500.0	1,335.0
U3	UTOVARIVAC "CAT 966D" lq = 3.00 m <sup>3</sup>	78.20	200	\$168,342	15,280.0	1,735.0
U4	UTOVARIVAC "CAT 980C" lq = 4.00 m <sup>3</sup>	104.20	270	\$232,533	15,280.0	1,735.0
S1	SKREPER "CAT 615" lq = 12.20 m <sup>3</sup>	61.50	250	\$209,270	12,800.0	1,255.0
S2	SKREPER "CAT 623B" lq = 16.80 m <sup>3</sup>	85.20	330	\$296,900	12,800.0	1,255.0
S3	SKREPER "CAT 633D" lq = 26.00 m <sup>3</sup>	123.70	450	\$471,690	13,475.0	1,580.0
BD1	DOZER "CAT-5B" planiranje	42.40	105	\$85,680	7,210.0	1,190.0
BD2	DOZER "CAT-76" iskop li transport l = 25 m'	110.50	200	\$185,570	9,770.0	1,340.0
BD3	DOZER "CAT-8L" iskop li transport l = 25 m'	130.50	335	\$286,950	11,470.0	1,555.0
BD4	DOZER "CAT-9L" iskop li transport l = 25 m'	167.00	460	\$389,560	11,150.0	1,560.0
D1	DAMPER "CAT D250B" lq = 11.50 M <sup>3</sup>	U1: 11.20 U2: 13.20 U3: 14.30 U4: 15.40	210	\$188,180	13,800.0	1,480.0
D2	DAMPER "CAT D400" lq = 17.50 M <sup>3</sup>	U1: 13.90 U2: 17.10 U3: 19.00 U4: 21.00	305	\$313,180	13,800.0	1,480.0
V1	VIBRO VALJAK "BOMAG BW 210"(hidrostaticki)	122.00	100	\$73,000	7,545.0	900.0

datog u poglavlju IV. Program za elektronski računar je napisan u programskom jeziku fortran i opšteg je tipa, jer ima veliki broj opcija i može služiti za analizu raznovrsnih proizvodnih sistema. Dat je u Prilogu 1, a u samom programu iskorišćena je maksimalno mogućnost davanja opisa svim naredbama i delovima programa, tako da se ni ne prilaže blok sema. Njegova primena je konkretizovana na analizi realnog proizvodnog sistema za izgradnju nasipa od zemlje III i IV kategorije (sl.1 i 2), pri čemu su korišćeni podaci iz prakse i proizvođačkih kataloga.

## 2. MODEL ZA ANALIZU - PRAKTIČNI PRIMER

Prilikom analize mogućnosti primene mrežne metode za proračun pouzdanosti proizvodnih sistema u građevinarstvu, u poglavlju III, dat je na sl. 1 primer kompleksne strukture proizvodnog sistema. Definisanjem praktičnog učinka kao osnovnog zadatka funkcije sistema sistem je razložen (sl.2) i na kraju strukturno sveden na serijsku vezu četiri podsistema (sl.3). Zadatak sistema je ostvarivanje praktičnog učinka od 440 kubnih metara ugradjenog materijala u konstrukciju na čas. Ugradjivanje materijala u konstrukciju odvija se paralelno na dva gradilišta (G I i G II) sa učinkom od po  $220\text{m}^3/\text{h}$ . Pozajmišta materijala I i III udaljena su od gradilišta G I, odnosno G II oko 1400m', a pozajmište materijala II približno 3100 metara od oba gradilišta. Za pozajmišta P I i P III planiran je praktični učinak od po  $110\text{m}^3/\text{h}$ , a za P II od  $220\text{m}^3/\text{h}$ . Korišćenjem podataka iz reference [144] formiran je širi spisak mašina koje bi mogle da obavljaju definisane operacije, a prema metodologiji datoj u referencama [55 i 138] izvršen je proračun njihovih praktičnih učinaka i koštanja radnog časa. Spisak mašina sa osnovnim karakteristikama i praktičnim učincima na izvršavanju pojedinih operacija dat je u tabeli I, a proračun koštanja radnog časa mašina sa svim elementima koji ga odredjuju dat je u tabeli II. U toj tabeli je izvršen i proračun  $\Delta K_h(\varphi)$ , odnosno planiranih finansijskih sredstava na ime režije i dohotka (RID). Zbog orijentacije jugoslovenskog građevinarstva ka inostranom investicionom tržištu, a i želje da se dobiju finansijski iznosi vremenski trajnijeg karaktera, kompletan proračun u tabeli II, a samim tim

TABELA II

Vrsta masine	hgr	Jt													K h	ΔK (Y) h
		E AM	E INV	E KIOS	E OS	E RS	E EN	E MAZ	E HAB	E TEK	E EKS	φ	K h			
61	0.54	9.11	13.42	8.94	30.47	10.00	4.92	0.74	1.66	7.97	124.71	0.32	73.38	17.66		
62	1.11	16.60	27.60	18.53	63.13	10.00	7.92	1.09	3.31	16.69	139.01	0.32	135.93	32.68		
U1	0.36	6.33	8.90	5.93	21.16	10.00	3.07	0.61	0.86	5.35	119.89	0.32	54.55	13.14		
U2	0.55	9.87	13.86	9.24	32.97	10.00	4.76	0.95	1.35	6.74	123.80	0.32	75.49	18.17		
U3	0.58	11.02	14.55	9.70	35.27	10.00	6.72	1.14	4.34	10.91	133.11	0.32	90.84	21.88		
U4	0.80	15.22	20.11	13.40	48.73	10.00	9.07	1.53	5.99	12.94	139.53	0.32	117.30	28.24		
51	1.33	16.35	25.01	16.67	58.03	10.00	8.80	1.51	4.03	15.42	130.84	0.32	130.52	31.32		
52	1.89	23.20	35.49	23.60	82.35	10.00	11.72	1.99	5.72	18.78	148.21	0.32	174.23	41.78		
53	2.39	35.00	44.78	29.85	109.63	10.00	13.82	3.06	9.31	39.15	175.34	0.32	246.55	59.19		
B01	0.72	11.88	10.80	7.20	29.88	10.00	4.23	0.63	4.40	8.00	127.26	0.32	76.14	18.28		
B02	1.38	18.99	20.77	13.84	53.60	10.00	7.30	1.52	0.42	15.20	142.44	0.32	128.15	30.73		
B03	1.85	25.02	27.68	18.45	71.15	10.00	13.19	2.77	11.50	25.21	162.67	0.32	178.49	42.82		
B04	2.50	34.94	37.46	24.97	97.37	10.00	15.46	3.45	17.41	31.82	178.14	0.32	234.17	56.16		
D1	0.51	13.64	19.07	12.71	45.42	10.00	3.98	0.64	2.64	28.91	138.17	0.32	110.85	26.75		
D2	0.85	22.69	31.74	21.16	75.59	10.00	7.03	1.13	4.40	32.01	154.57	0.32	172.66	41.65		
V1	0.49	9.68	12.17	8.11	29.96	10.00	3.81	0.92	0.90	8.01	123.64	0.32	71.24	17.15		

TABELA III

Vrsta masine	Planirani rezultat rada (PLANUP) [m3/h]	Planirana prodajna cena (PLCSIS) [€]	Intenzitet otkaza (λ)	Intenzitet popravke (μ)	Raspoloživost masine (A)	Troskovi osnovnog sredstva (CSN) [€]	Troskovi radne snage (CRS) [€]	Planirana rezija i dobit (RID) [€]	
G1	121.00	€73.38	0.00443	0.04167	0.90390	€30.47	€10.00	€17.66	
G2	143.70	€135.93	0.00360	0.04167	0.91640	€63.13	€10.00	€32.68	
U1	39.10	€54.55	0.00769	0.00333	0.91551	€21.16	€10.00	€13.14	
U2	59.90	€75.49	0.00625	0.07143	0.91954	€32.97	€10.00	€18.17	
U3	78.20	€90.84	0.00540	0.06250	0.92047	€35.27	€10.00	€21.88	
U4	104.20	€117.38	0.00540	0.06250	0.92047	€48.73	€10.00	€28.24	
S1	61.50	€130.52	0.00313	0.01667	0.84192	€58.03	€10.00	€31.32	
S2	85.20	€174.23	0.00256	0.01667	0.86687	€82.35	€10.00	€41.78	
S3	123.70	€246.55	0.00256	0.01667	0.86687	€109.63	€10.00	€59.19	
BD1	42.40	€76.14	0.00500	0.05000	0.90909	€29.88	€10.00	€18.28	
BD2	110.50	€128.15	0.00500	0.04167	0.89286	€53.60	€10.00	€38.73	
BD3	138.50	€178.49	0.00357	0.03125	0.89747	€71.15	€10.00	€42.82	
BD4	167.00	€234.17	0.00313	0.03125	0.90896	€97.37	€10.00	€56.16	
D1	U1 U2 U3 U4	11.20 13.20 14.30 15.40	€110.85	0.01250	0.06250	0.83333	€45.42	€10.00	€26.50
D2	U1 U2 U3 U4	13.90 17.10 19.00 21.00	€172.66	0.00714	0.04167	0.85372	€75.59	€10.00	€41.65
V1	122.00	€71.24	0.00500	0.04167	0.89286	€29.96	€10.00	€17.15	

i u svim primerima u ovom radu, izvršen je u USA\$. Iako je na radovima u inostranstvu prisutan običaj angažovanja lokalnih rukovalaca građevinske mehanizacije, prilikom proračuna u tabeli II predviđeno je angažovanje naših radnika sa BLD od 10 USA\$. Bitno je napomenuti da je proračunato koštanje radnog časa svih mašina u proseku veće od 25%-35% od vrednosti prezentiranih u [144], što je posledica velike vrednosti faktora  $\varphi$  ( $\varphi = 0.32$ ) i visokih BLD.

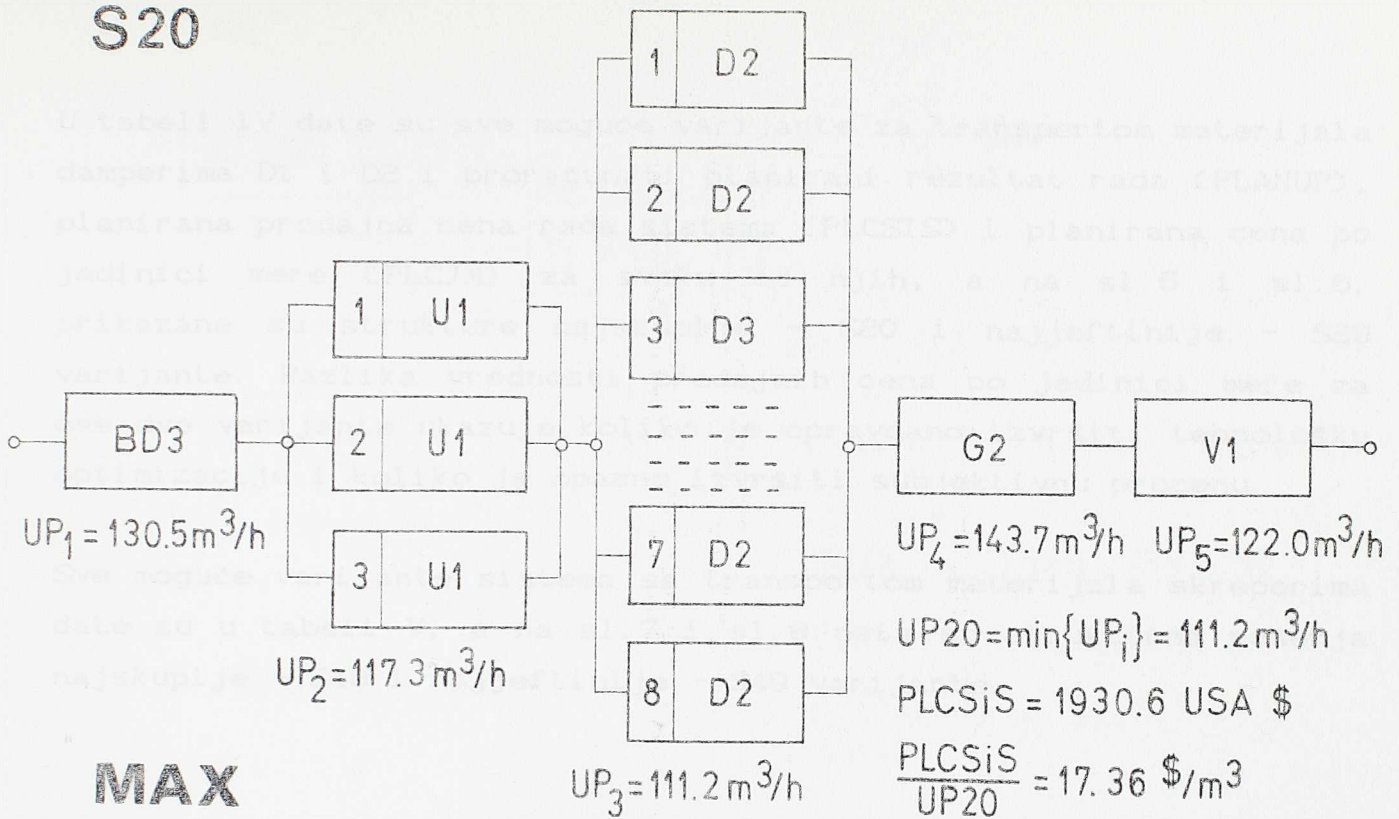
U tabeli III su dati svi potrebni podaci o građevinskim mašinama za analizu raspoloživosti sistema i oni predstavljaju osnovne ulazne podatke za program za analizu raspoloživosti proizvodnog sistema. Jasno je da najsuptilniji deo posla: izbor optimalne tehnologije rada, definisanje tehnoloških linija i svih potrebnih resursa, formiranje varijantnih rešenja sa aspekta osnovnih resursa i izbor optimalnog, hijerarhijsko grupisanje elemenata u strukturi sistema i formiranje osnovnih podsistema - podsistemi nivoa 1.; moraju izvršavati oni koji razumeju suštinu konstrukcijskih rešenja i imaju dobro predznanje i iskustvo kada su u pitanju tehnološki procesi koje je moguće primeniti na konkretnom poslu. Transportne daljine u datom primeru uslovljavaju moguća rešenja, pa su dalje za podsistem PS1, odnosno PS4, (sl.2) razmatrane samo varijante sa skreperima, a za podsistem PS2, odnosno PS3, varijante u kojima transport iskopanog materijala vrše damperi. Polazeći od toga da je osnovni zadatak svakog podsistema ispunjenje praktičnog učinka od najmanje  $110\text{m}^3/\text{h}$  izvršena je tehnološka optimizacija i od raspoloživih mašina formirano ukupno 48 mogućih varijanti sistema za PS2, odnosno PS3 i 6 mogućih varijanti sistema za PS1, odnosno PS4. Pri formiranju varijantnih rešenja osnovni kriterijum je bio da je praktični učinak svake varijante isti ili nešto malo veći od potrebnog ( $UP^*$ ), odnosno da je

$$PLANUP \geq UP^*$$

što podrazumeva da su praktični učinci podsistema nivoa I u varijantnim sistemima takodje isti ili veći od potrebnog  $UP^*$ . Ovo zaključivanje odgovara metodologiji užeg izbora mašina [55,138].



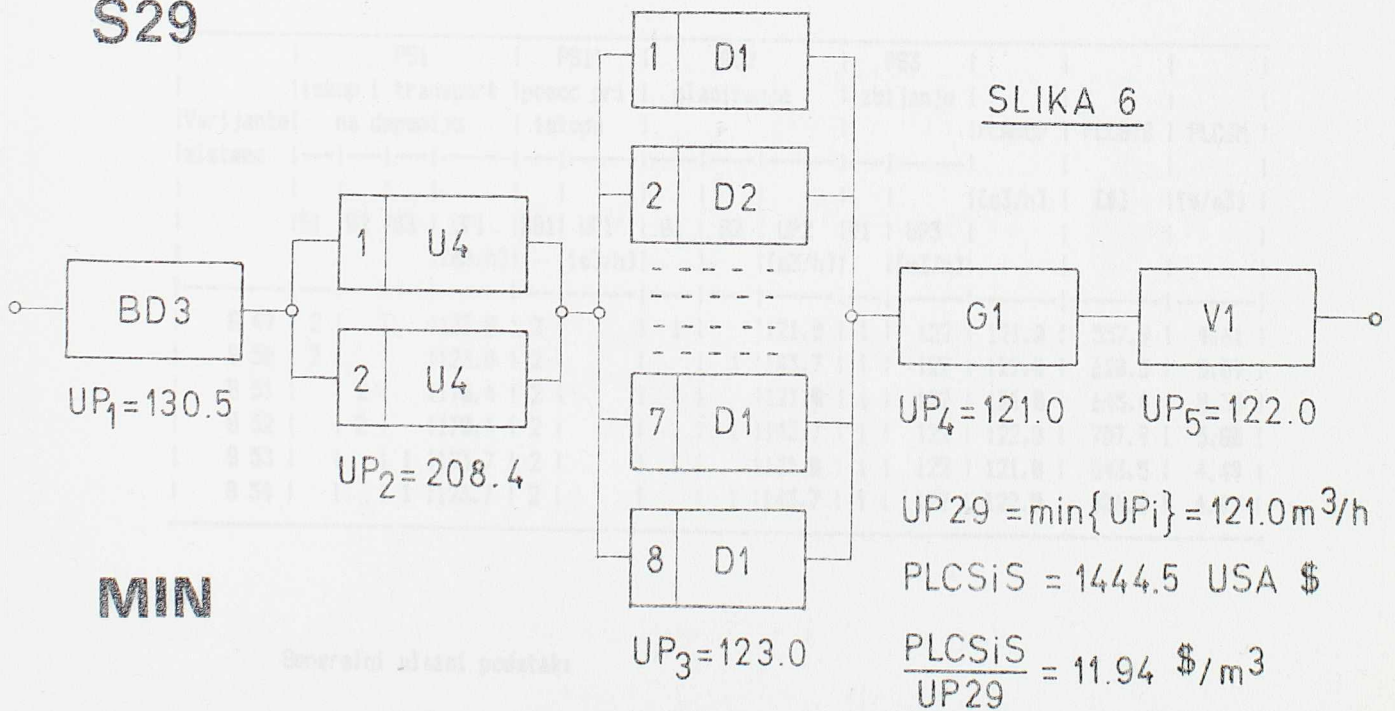
# S20



**MAX**

SLIKA 5

# S29



SLIKA 6

**MIN**

$L_T = 3000 \text{ m}^3$

$UP_{20} > \min UP = 110.0 \text{ m}^3/\text{h}$

$UP_{29} > \min UP = 110.0 \text{ m}^3/\text{h}$

$\Delta\left(\frac{CENSIS}{UP}\right) = 5.42 \text{ USA } \$$



U tabeli IV date su sve moguće varijante za transportom materijala damperima D1 i D2 i proračunati planirani rezultat rada (PLANUP), planirana prodajna cena rada sistema (PLCSIS) i planirana cena po jedinici mere (PLCJM) za svaku od njih, a na sl.5 i sl.6. prikazane su strukture najskuplje - S20 i najjeftinije - S29 varijante. Razlika vrednosti prodajnih cena po jedinici mere za ove dve varijante ukazuje koliko je opravdano izvršiti tehnološku optimizaciju i koliko je opasno izvršiti subjektivnu procenu.

Sve moguće varijante sistema sa transportom materijala skreperima date su u tabeli V, a na sl.7 i sl.8 data su strukturalna rešenja najskuplje - S48 i najjeftinije - S49 varijante.

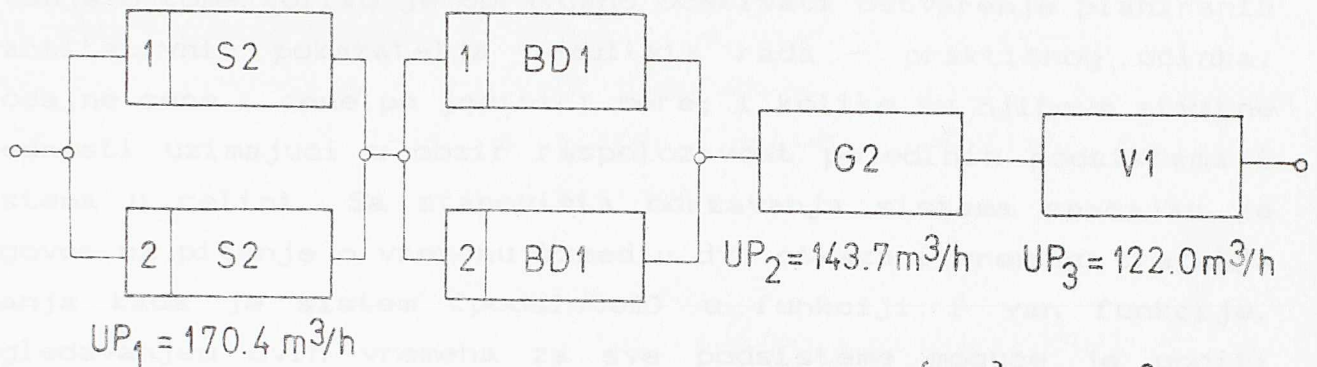
TABELA V

Varijante sistema	PS1 iskop i transport na deponiju			PS1' pomoc pri iskopu			PS2 planiranje			PS3 zbijanje			PLANUP [m <sup>3</sup> /h]	PLCSIS [€]	PLCJM [€/m <sup>3</sup> ]
	S1	S2	S3	UP1	BD1	UP1'	G1	G2	UP2	V1	UP3				
				[m <sup>3</sup> /h]		[m <sup>3</sup> /h]			[m <sup>3</sup> /h]		[m <sup>3</sup> /h]				
S 49	2			123.0	2		1		121.0	1	122	121.0	557.9	4.61	
S 50	2			123.0	2		1	1	143.7	1	122	122.0	620.5	5.09	
S 51		2		170.4	2		1		121.0	1	122	121.0	645.4	5.33	
S 52		2		170.4	2		1	1	143.7	1	122	122.0	707.9	5.80	
S 53			1	123.7	2		1		121.0	1	122	121.0	543.5	4.49	
S 54			1	123.7	2		1	1	143.7	1	122	122.0	606.0	4.97	

Generalni ulazni podatak:

- na osnovu kasnjenja radova od jednog dana placaju se penali u iznosu od 6000
- pretpostavlja se desetocasovno radno vreme - 600/h za svaki sat kasnjenja

### S48



### MAX

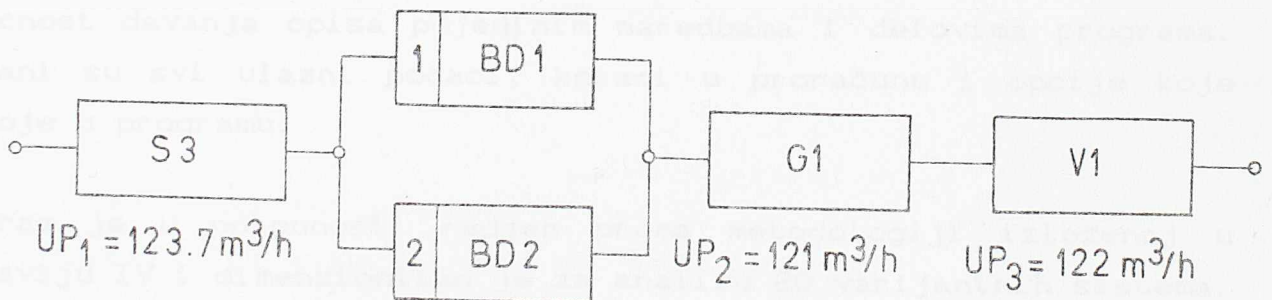
$$UP_{48} = \min\{UP_i\} = 122 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$PLCSiS = 707.9 \text{ USA } \$$$

$$\frac{PLCSiS}{UP_{48}} = 5.80 \text{ } \$/\text{m}^3$$

SLIKA 7

### S49



### MIN

$$UP_{49} = \min\{UP_i\} = 121 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$PLCSiS = 543.5 \text{ USA } \$$$

$$\frac{PLCSiS}{UP_{49}} = 4.49 \text{ } \$/\text{m}^3$$

$$L_T = 1500 \text{ m}'$$

$$UP_{48} > \min UP = 110.0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$UP_{49} > \min UP = 110.0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta\left(\frac{CENSIS}{UP}\right) = 1.31 \text{ USA } \$$$

SLIKA 8

Ovim je definisanje modela završeno. Jasno je da se postavlja pitanje o tome koliko je opravdano očekivati ostvarenje planiranih kvantitativnih pokazatelja rezultata rada - praktičnog učinka, prodajne cene i cene po jedinici mere; i kolike su njihove stvarne vrednosti uzimajući u obzir raspoloživost pojedinih podsistema i sistema u celini. Sa stanovišta održavanja sistema značajan je odgovor na pitanje o vremenu između dva otkaza i vremenu trajanja stanja kada je sistem (podsistem) u funkciji i van funkcije. Sagledavanjem ovih vremena za sve podsisteme moguće je uočiti kritične podsisteme i bez ulaženja u fazu optimizacije izvršiti, doduse subjektivnu, ali na pravom mestu alokaciju rezervnih elemenata.

### 3. PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOŽIVOSTI SISTEMA

Listing programa za analizu raspoloživosti sistema dat je u PRILOGU I, a u samom programu u potpunosti je iskorišćena mogućnost davanja opisa pojedinim naredbama i delovima programa. Opisani su svi ulazni podaci, koraci u proračunu i opcije koje postoje u programu.

Program je u potpunosti radjen prema metodologiji izloženoj u poglavlju IV i dimenzionisan je za analizu 20 varijantnih sistema. Naravno, ne postoji nikakva prepreka da se taj broj poveća. Odgovor na pitanje o tome da li se posmatrani sistem strukturno može svesti na serijsku vezu podsistema nivoa I sa nezavisnim ili zavisnim otkazima predstavlja osnovnu opciju programa. U zavisnosti od odgovora program u analizi primenjuje formule od (24) do (29), odnosno od (30) do (38.2), iz poglavlja IV. Analiza pojedinih podsistema vrši se u zavisnosti od tipa međusobne veze njihovih elemenata, a intenziteti otkaza i popravke podsistema nivoa I proračunavaju se prema (65) iz poglavlja IV, tako da napred navedene formule za slučaj nezavisnih i zavisnih otkaza u serijskoj strukturi mogu biti primenjene na nivou sistema. Formulama od (66) do (82) vrši se proračun planiranih i stvarnih pokazatelja funkcije proizvodnog sistema.

Potrebni ulazni podaci su opisani u programu, a npr. za razmatrani model su dati tabelama III, IV i V. U tabeli III su dati svi potrebni ulazni podaci o elementima sistema, a tabele IV i V definišu podsisteme i njihovu unutrašnju strukturu. Korišćenjem ovog programa dobijaju se sledeći izlazni rezultati za svaki podsistem jednog varijantnog sistema:

- raspoloživost podsistema (A),
- minimalni stvarni rezultat rada podsistema (MSTUP),
- učestalost pojave stanja otkaza (f),
- očekivano vreme između dva otkaza (MCT),
- očekivano vreme trajanja stanja kada je podsistem van funkcije (MDT)
- očekivano vreme trajanja stanja funkcije podsistema (MUT)
- planirana prodajna cena rada podsistema ,
- planirana prodajna cena po jedinici mere,
- planirani troškovi osnovnih sredstava,
- planirani troškovi radne snage i
- planirani troškovi na ime režije i dobiti,

a na nivou sistema:

- raspoloživost sistema,
- minimalni stvarni rezultat rada sistema,
- učestalost pojave stanja otkaza sistema,
- očekivano vreme između dva otkaza sistema,
- očekivano vreme trajanja stanja kada je sistem van funkcije,
- očekivano vreme trajanja stanja funkcije sistema,
- planirana prodajna cena rada sistema (PLCSIS)
- stvarna prodajna cena rada sistema (STCSIS)
- planirana prodajna cena po jedinici mere (PLCJMD i
- stvarna prodajna cena po jedinici mere (STCJMD).

Ovaj program se koristi i za pripremu podataka za fazu optimizacije sistema u cilju formiranja varijantnih rešenja sa realnim uslovima ograničenja.

#### 4. REZULTATI ANALIZE MODELA

Korišćenjem programa za elektronski računar izvršena je analiza svih varijanti sistema. Rezultati analize varijantnih sistema od S1 do S48 su prikazani u tabeli VI, a sistema od S49 do S54 u tabeli VII. Pregledom rezultata može se uočiti da u prvoj grupaciji varijantnih rešenja (Tabela VI) podsistem PS3 odlučujuće utiče na vrednost stvarnih kvantitativnih pokazatelja funkcije sistema. Raspoloživost tog podsistema, kao i očekivano vreme funkcije u svim varijantnim sistemima ukazuju da PS3 samo manji deo vremena ( $\approx 25\%$ ) izvršava postavljenu funkciju cilja, a da se sa tog stanovišta veći deo vremena nalazi u otkazu. Prilikom definisanja *MSTUP* u poglavlju četiri zaključeno je da stanje otkaza, odnosno stanje kada sistem (podsistem) ne izvršava zadatu funkciju cilja, ne mora da znači i stanje totalnog otkaza sistema (podsistema). Naime, on može i dalje da daje odredjeni rezultat rada, ali je taj rezultat sigurno manji od postavljene funkcije cilja. Zbog toga je *MSTUP* i definisan kao jedna sigurna vrednost rezultata rada, ali, pre svega, kao *parametar za poredjenje* uspešnosti funkcije različitih varijanti i jedan od osnovnih kriterijuma za odlučivanje.

Uporedna analiza rezultata datih u tabelama VI i VII potvrđuje pravilo da se u situaciji kada se zahteva funkcija svih elemenata sistema da bi sistem u celini bio u funkciji, povećanjem broja elemenata smanjuje raspoloživost sistema.

U poglavlju četiri definisan je i obrazložen pristup proračunu stvarnih vrednosti pokazatelja funkcije proizvodnih sistema u građevinarstvu. Da bi se potvrdila opravdanost takvog proračuna i ukazalo na potrebnu opreznost i neophodnost njegove primene u praksi prilikom planiranja proizvodnih sistema u građevinarstvu, a naročito u fazama ponude i ugovaranja, ovde se definišu sledeći faktori:



TABELA VII

VARIJANTE SISTEMA	PS1 ISKOP, UTOVAR, TRANSPORT I ISTOVAR						PS1' POMOĆ PRI ISKOPU						PS2 PLANIRANJE					
	R	MCT (h)	MUT (h)	MDT (h)	PLANIRANI I MIN. STV. UP (m <sup>3</sup> /h)	R	MCT (h)	MUT (h)	MDT (h)	PLANIRANI I MIN. STV. UP (m <sup>3</sup> /h)	R	MCT (h)	MUT (h)	MDT (h)	PLANIRANI I MIN. STV. UP (m <sup>3</sup> /h)			
	S49	0.709	225.4	159.7	65.6	123.0	0.827	121.0	100	21	123.0	0.904	249.7	225.7	24	121.0	109.4	
S50	0.709	225.4	159.7	65.6	123.0	0.827	121.0	100	21	123.0	0.916	287.2	263.2	24	143.7	131.7		
S51	0.752	259.9	195.3	64.6	170.4	0.827	121.0	100	21	170.4	0.904	249.7	225.7	24	121.0	109.4		
S52	0.752	259.9	159.3	64.6	170.4	0.827	121.0	100	21	170.4	0.916	287.2	263.2	24	143.7	131.7		
S53	0.867	450.6	390.6	60.0	123.7	0.827	121.0	100	21	123.7	0.904	249.7	225.7	24	121.0	109.4		
S54	0.867	450.6	390.6	60.0	123.7	0.827	121.0	100	21	123.7	0.916	287.2	263.2	24	143.7	131.7		

VARIJANTE SISTEMA	PS3 ZBIJANJE						SISTEM U CELINI					
	R	MCT (h)	MUT (h)	MDT (h)	PLANIRANI I MIN. STV. UP (m <sup>3</sup> /h)	R	MCT (h)	MUT (h)	MDT (h)	MSTUP (m <sup>3</sup> /h)	%OSTVARENJA OSTVARENOG UP	
	S49	0.893	224	200	24	122.0	0.473	82.3	38.9	43.4	121.0	72.07%
S50	0.893	224	200	24	122.0	0.479	83.2	39.9	43.3	122.0	71.48%	
S51	0.893	224	200	24	122.0	0.501	81.3	40.7	40.5	121.0	90.00%	
S52	0.893	224	200	24	122.0	0.508	82.3	41.8	40.5	122.0	89.26%	
S53	0.893	224	200	24	122.0	0.578	78.6	45.5	33.2	121.0	84.46%	
S54	0.893	224	200	24	122.0	0.586	79.9	46.8	33.1	122.0	83.77%	

TABELA VIII

Varijante sistema	R	Planirana	Stvarna	Prirastaj	Faktor 1	Planirani	Min. stv.	Faktor 2	Planirana	Stvarna	Faktor 3
		cena rada	cena rada	troškova	STCSIS	UP	UP	ostvarenj	cena po	cena po	STCJM
		sistema	sistema	usled otkaza		sistema	sistema		jedinici	jedinici	
PLCSIS	STCSIS	[\$/H]	[\$/H]	[\$/H]	PLCSIS	PLANUP	MSTUP	PLANUP	PLCJM	STCJM	PLCJM
[\$/H]	[\$/H]				[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[\$/m <sup>3</sup> ]	[\$/m <sup>3</sup> ]	
S 1	0.0890	1,545.0	1744.6	199.6	1.1292	110.5	18.1	0.1638	13.98	96.45	6.8982
S 2	0.1560	1,817.7	1938.1	120.4	1.0662	110.5	31.4	0.2842	16.45	61.77	3.7551
S 3	0.0910	1,607.6	1793.4	185.9	1.1156	110.5	18.1	0.1638	14.55	99.14	6.8145
S 4	0.1580	1,888.3	1987.9	107.6	1.0572	110.5	31.4	0.2842	17.02	63.35	3.7229
S 5	0.1180	1,421.4	1641.9	220.5	1.1551	110.5	23.0	0.2081	12.86	71.31	5.5437
S 6	0.2010	1,632.4	1784.2	151.8	1.0930	110.5	39.6	0.3584	14.77	45.10	3.0529
S 7	0.1200	1,483.9	1690.9	207.0	1.1395	110.5	23.0	0.2081	13.43	73.44	5.4688
S 8	0.2040	1,694.9	1834.4	139.5	1.0823	110.5	39.6	0.3584	15.34	46.37	3.0231
S 9	0.1420	1,341.3	1564.3	223.0	1.1663	110.5	26.6	0.2407	12.14	58.80	4.8441
S 10	0.2360	1,491.4	1656.0	165.6	1.1104	110.5	44.1	0.3991	13.50	37.52	2.7799
S 11	0.1440	1,403.9	1613.3	209.8	1.1492	110.5	26.6	0.2407	12.70	60.65	4.7737
S 12	0.2400	1,552.9	1706.6	153.7	1.0990	110.5	44.1	0.3991	14.05	38.67	2.7516
S 13	0.1420	1,394.2	1605.8	211.6	1.1518	110.5	28.7	0.2597	12.62	58.05	4.6009
S 14	0.2360	1,543.3	1698.8	155.5	1.1008	110.5	48.8	0.4416	13.97	34.82	2.4931
S 15	0.1440	1,456.8	1655.2	198.5	1.1362	110.5	28.7	0.2597	13.18	57.77	4.3819
S 16	0.2400	1,605.9	1749.4	143.5	1.0894	110.5	48.8	0.4416	14.53	35.86	2.4675
S 17	0.0900	1,595.3	1776.0	180.7	1.1133	112.0	18.1	0.1616	14.24	98.18	6.8928
S 18	0.1570	1,868.0	1970.9	102.9	1.0551	111.2	31.4	0.2824	16.80	62.81	3.7390
S 19	0.0910	1,657.9	1824.8	167.0	1.1007	112.0	18.1	0.1616	14.80	100.88	6.8150
S 20	0.1590	1,930.6	2020.7	90.1	1.0467	111.2	31.4	0.2824	17.36	64.40	3.7094
S 21	0.1190	1,471.7	1673.8	202.1	1.1373	118.8	23.0	0.1936	12.39	72.70	5.8686
S 22	0.2020	1,682.7	1817.9	135.2	1.0803	119.7	39.6	0.3308	14.06	45.95	3.2687
S 23	0.1200	1,534.2	1722.9	188.6	1.1230	118.8	23.0	0.1936	12.91	74.83	5.7944
S 24	0.2050	1,745.2	1868.1	122.8	1.0704	119.7	39.6	0.3308	14.58	47.22	3.2387
S 25	0.1430	1,391.6	1596.7	205.1	1.1474	114.4	26.6	0.2325	12.16	60.01	4.9333
S 26	0.2380	1,540.8	1690.3	149.5	1.0970	114.0	44.1	0.3868	13.52	38.30	2.8337
S 27	0.1450	1,454.2	1646.1	192.0	1.1320	114.4	26.6	0.2325	12.71	61.87	4.8672
S 28	0.2410	1,603.4	1740.9	137.6	1.0858	114.0	44.1	0.3868	14.06	39.45	2.8049
S 29	0.1430	1,444.5	1638.3	193.8	1.1342	121.0	28.7	0.2372	11.94	57.19	4.7904
S 30	0.2380	1,593.7	1733.1	139.4	1.0875	121.0	48.9	0.4041	13.17	35.53	2.6976
S 31	0.1450	1,507.1	1687.6	180.5	1.1198	122.0	28.7	0.2352	12.35	58.90	4.7680
S 32	0.2410	1,656.3	1783.8	127.6	1.0770	122.0	48.8	0.4000	13.58	36.57	2.6937
S 33	0.0910	1,650.9	1816.8	165.9	1.1005	112.0	18.1	0.1616	14.74	100.44	6.8140
S 34	0.1590	1,923.7	2012.8	89.1	1.0463	111.2	31.4	0.2824	17.30	64.15	3.7082
S 35	0.0920	1,713.5	1865.6	152.1	1.0888	112.0	18.1	0.1616	15.30	103.14	6.7416
S 36	0.1610	1,986.3	2062.6	76.3	1.0384	111.2	31.4	0.2824	17.86	65.73	3.6798
S 37	0.1200	1,527.4	1714.9	187.5	1.1228	118.8	23.0	0.1936	12.86	74.48	5.7930
S 38	0.2050	1,738.4	1860.3	121.9	1.0701	119.7	39.6	0.3308	14.52	47.02	3.2376
S 39	0.1220	1,589.9	1764.1	174.2	1.1096	118.8	23.0	0.1936	13.38	76.62	5.7252
S 40	0.2000	1,800.9	1910.6	109.7	1.0609	119.7	39.6	0.3308	15.05	48.29	3.2097
S 41	0.1450	1,447.3	1638.2	190.9	1.1319	114.4	26.6	0.2325	12.65	61.57	4.8667
S 42	0.2410	1,596.4	1733.2	136.8	1.0857	114.0	44.1	0.3868	14.00	29.27	2.0902
S 43	0.1470	1,509.8	1687.6	177.8	1.1178	114.4	26.6	0.2325	13.20	63.43	4.8062
S 44	0.2440	1,659.0	1783.9	124.9	1.0753	114.0	44.1	0.3868	14.55	40.42	2.7775
S 45	0.1450	1,500.2	1679.7	179.5	1.1197	122.0	28.7	0.2352	12.30	58.62	4.7671
S 46	0.2410	1,649.4	1776.0	126.6	1.0768	122.0	48.8	0.4000	13.52	36.41	2.6931
S 47	0.1470	1,562.7	1729.2	166.5	1.1065	122.0	28.7	0.2352	12.81	60.35	4.7115
S 48	0.2440	1,711.9	1826.8	114.9	1.0671	122.0	48.8	0.4000	14.03	37.45	2.6689



TABELA IX

VARIJANTE SISTEMA	R	PLANIRANA CENA RADA SISTEMA PLCSIS (\$/h)	STVARNA CENA RADA SISTEMA STCSIS (\$/h)	PRIRAŠTAJ TROŠKOVA USLED OTKAZA $\Delta T$ (\$/h)	FAKTOR 1		PLANIRANI UP SISTEMA PLANUP (m <sup>3</sup> /h)	MIN. STV. UP SISTEMA MSTUP (m <sup>3</sup> /h)	FAKTOR 2 OSTVARENJE PLANUP	PLANIRANA CENA PO JEDINICI MERE PLCJM (\$/m <sup>3</sup> )	STVARNA CENA PO JEDINICI MERE STCJM (\$/m <sup>3</sup> )	FAKTOR 3	
					STCSIS	PLCSIS						STCJM	PLCJM
S49	0.4728	557.9	806.9	249	1.446	121.0	87.2	0.7207	4.61	9.26	2.009		
S50	0.4793	620.5	858.7	238.2	1.384	122.0	87.2	0.7148	5.09	9.85	1.935		
S51	0.5012	645.4	872.0	226.6	1.351	121.0	108.9	0.9000	5.33	8.01	1.503		
S52	0.5082	707.9	924.1	216.2	1.305	122.0	108.9	0.8926	5.80	8.48	1.462		
S53	0.5782	543.5	740.4	196.9	1.362	121.0	102.2	0.8446	4.49	7.24	1.612		
S54	0.5862	606.0	793.1	187.1	1.309	122.0	102.2	0.8377	4.97	7.76	1.561		

1. Faktor koji predstavlja odnos izmedju stvarne prodajne cene rada sistema (IV-79) i planirane prodajne cene rada sistema (IV-76)

$$F1 = \frac{STCSIS}{PLCSIS} \quad (1)$$

2. Faktor koji predstavlja odnos izmedju minimalnog stvarnog rezultata rada sistema (IV-68) i planiranog rezultata rada

$$F2 = \frac{MSTUP}{PLANUP} \quad (2)$$

3. Faktor koji predstavlja odnos izmedju stvarne cene po jedinici mere (IV-82) i planirane cene po jedinici mere (IV-81)

$$F3 = \frac{STCJM}{PLCJM} \quad (3)$$

Na osnovu ovih formula u tabelama VIII i IX proračunate su vrednosti faktora za sve varijantne sisteme. U tim tabelama su takodje date i vrednosti svih pokazatelja funkcije varijantnih sistema.

Polazeći od sadašnjeg pristupa projektovanju i planiranju proizvodnih procesa u praksi, a naročito alokaciji potrebnih resursa za kontinuiranu funkciju, logična je pretpostavka da su varijantna rešenja i podaci u tabelama IV i V slučajne veličine, jer se u najpovoljnijem slučaju stručnjaci u praksi zadržavaju na dve do tri varijante i vrše izbor optimalne primenom užeg izbora [55,138]. Tretirajući podatke u tabelama VI, VII, VIII i IX kao slučajne veličine, izvršen je proračun njihovih očekivanih vrednosti, standardnih devijacija i koeficijenata varijacije i time omogućeno formiranje tabele X. U njoj se mogu sagledati očekivani efekti slučajnog izbora bilo kog od varijantnih sistema u praksi. Rezultati dati u tabeli X su iskorišćeni kasnije u poglavlju VII kao ulazni podaci za formiranje modela za optimizaciju i kao uporedni parametri za sagledavanje efekata optimizacije.

TABELA X

Varijante sistema	Posma-trane velicine	R	MCT [h]	MDT [h]	MUT [h]	PLCSIS [\$]	STCSIS [\$]	$\Delta T$ [h]	F1	PLANUP [m3/h]	MSTUP [\$/m3]	F2	PLCJM [m3/h]	STCJM [\$/m3]	F3
S1	var. sa	0.12465	60.30	52.90	7.40	1508.8	1698.8	190.00	1.126	114.70	24.10	0.211	13.18	73.28	5.510
	D1	0.02205	5.10	5.88	0.76	91.9	76.8	17.70	0.019	4.27	4.02	0.034	0.92	16.41	0.960
	v	0.17690	0.08	0.11	0.10	0.1	0.0	0.09	0.017	0.04	0.17	0.161	0.07	0.22	0.156
I	var. sa	0.21050	64.40	50.90	13.50	1704.4	1831.1	126.80	1.074	114.60	40.98	0.356	14.90	46.35	3.076
	D2	0.03356	2.17	3.91	1.76	135.4	114.4	22.20	0.018	4.50	6.42	0.053	1.40	10.78	0.428
	v	0.15940	0.03	0.08	0.13	0.1	0.1	0.18	0.017	0.04	0.16	0.148	0.09	0.23	0.139
S48	Za sve	0.16770	62.40	51.90	10.50	1606.7	1764.0	158.40	1.098	114.60	32.50	0.331	14.04	59.82	4.294
	var.	0.05150	4.44	5.10	3.33	151.5	117.8	37.50	0.032	4.40	9.99	0.085	1.47	19.34	1.395
	v	0.30710	0.07	0.10	0.32	0.1	0.1	0.24	0.029	0.04	0.31	0.300	0.10	0.32	0.324
S49	Za sve	0.52080	81.30	39.00	42.30	613.5	832.5	219.00	1.357	121.50	99.40	0.818	5.05	8.43	1.680
	var.	0.04490	1.57	4.30	2.90	54.8	59.6	21.80	0.048	0.50	9.10	0.075	0.44	0.89	0.210
	v	0.08621	0.02	0.11	0.07	0.1	0.1	0.10	0.035	0.00	0.09	0.091	0.09	0.11	0.127

## 5. ZAKLJUČAK

Osnovni rezultat rada u ovom poglavlju je formirani program za elektronski računar za analizu raspoloživosti proizvodnih sistema u građevinarstvu. Njegovom primenom u analizi realnih proizvodnih sistema - varijantnih sistema datog modela, potvrđena je opravdanost metodološkog pristupa izloženog u poglavlju IV, što se najbolje može sagledati preko vrednosti datih u tabeli X, a posebno preko vrednosti faktora F1, F2 i F3. Kod sistema kod kojih samo funkcija svih elemenata obezbeđuje funkciju, odnosno izvršavanje postavljene funkcije cilja, raspoloživost opada povećanjem broja elemenata i obrnuto. Analizirani varijantni sistemi imaju upravo ovu karakteristiku, pa je i uočljiva razlika između vrednosti raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti za sistemima S1-S48 i S49-S54. Vrednost raspoloživosti podsistema i sistema direktno utiče na vrednost stvarnih pokazatelja njihove funkcije, te je moguće u tabeli X uočiti, takodje, značajnu razliku između vrednosti F1, F2 i F3 za sisteme S1-S48 i S49-S54.

Ovo ukazuje da treba izbegavati sisteme kod kojih svi elementi moraju biti u funkciji da bi i sistem bio u funkciji, što znači da je potrebno izvršiti inovaciju dosadašnjeg pristupa projektovanju sistema. Osnovna promena je u respektovanju uticaja raspoloživosti na funkciju sistema što automatski uslovljava proračun raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti. Na osnovu tih vrednosti moguće je uočiti podsisteme i elemente koji najviše negativno utiču na efekte funkcije sistema i uvođenjem redundantnih elemenata ili zamenom pojedinih elemenata novim elementima sa boljim karakteristikama, povećati raspoloživost podsistema (sistema), a samim tim i poboljšati efekte njegove funkcije. U oba slučaja su potrebna dodatna finansijska sredstva i najčešće se povećavaju utrošci raznih resursa. Zbog toga je potrebno što više iz procesa donošenja odluka eliminisati subjektivizam i uvesti egzaktan proračun.

Kao što je već naglašeno MSTUP predstavlja minimalnu stvarnu vrednost rezultata rada, ali, pre svega, to je parametar za poredjenje uspešnosti funkcije različitih varijanti sistema i

jedan od osnovnih kriterijuma za odlučivanje. Obzirom da sistem u stanju otkaza, sa aspekta postavljene funkcije cilja, i dalje funkcioniše, pri čemu je ostvareni rezultat rada manji od postavljenog zadatka, jasno je da se povećanjem raspoloživosti podsistema (sistema) MSTUP približava očekivanoj stvarnoj vrednosti rezultata rada. Povećanje raspoloživosti sistema predstavlja poseban zadatak koji pripada operacionim istraživanjima u kojem pri formiranju modela, pored već određene funkcije cilja - maksimizacija raspoloživosti, treba definisati donje i gornje granice utroška potrebnih resursa ili zahtevane realizacije sistema. Definisanjem ovakvog jednog modela koji realno predstavlja sistem, raspoložive resurse i postavljene zadatke sa aspekta funkcije i izborom ili formiranjem optimalne metode za njegovo rešavanje, stvaraju se uslovi za valjano projektovanje proizvodnih sistema i realno planiranje njihove funkcije.

## VI OPTIMIZACIJA POUZDANOSTI

### 1. UVOD

Optimizacija pouzdanosti redovnih elemenata je u literaturi najviše analiziran pristup pri rešavanju operacionih istraživanja u analizi sistema sa aspekta njihove pouzdanosti. Ona bi mogla biti definisana kao traženje optimalnog broja redundantnih komponenti koje maksimiziraju pouzdanost sistema uz istovremeno postojanje svih uslova ograničenja izraženih preko maksimalnog dozvoljenog troškova, raspoloživih resursa i ostvarenog rezultata rada izdatog u određenom intervalu vremena. Ovaj pristup optimizaciji se može transformirati tako da funkcija cilja predstavlja minimizaciju troškova vezanih za rad sistema ili maksimizaciju profita uz istovremeno postojanje uslova da je pouzdanost pojedinih podsistema i sistema u celini jednaka ili veća od željenog nivoa, kao i ostali uslovi ograničenja sa aspekta dozvoljenih utroška resursa i zahtevanog rezultata rada.

Dodatni zahtev da se porodi alokacije redundantnih elemenata istovremeno na pojedine podsysteme, značajno otežava formiranje modela i rešavanje problema nekom od standardnih metoda operacionih istraživanja. Problem se još više komplikuje ukoliko se u podsystemu za koje se određuju redundantni elementi javljaju aktivne i pasivne paralelne veze tipa (K,K). Tada je on vrlo teško rešiv primenom neke od standardnih metoda operacionih istraživanja, pogotovo one koja u numeričkom postupku koriste generalizovani Newton-Raphsonov metod (118) ili (103). Ovaj problem se uspešno rešava primenom heurističkih metoda, kao što su heuristički algoritmi (119) i (120). Sve ove metode primenjene su u praksi i definisane su sa više funkcija cilja, razvijene su i primenom kompromisnog programiranja u optimizaciji pouzdanosti sistema (121).  
Doktorska disertacija, Matematička fakultet, Univerzitet u Beogradu.

## VI OPTIMIZACIJA POUZDANOSTI

Prvi radovi iz oblasti optimizacije pouzdanosti sistema su radovi (122) i (123) od Karr-a (1969) i (124) i (125) od Gordona (1970) i (126) i (127) od Gordona i Operacionih istraživanja. Ovo je interesantna i danas

### 1. UVOD

Optimalna alokacija redundantnih elemenata je u literaturi najviše analiziran pristup primeni operacionih istraživanja u analizi sistema sa aspekta njihove pouzdanosti. Ona bi mogla biti definisana kao traženje optimalnog broja redundantnih komponenata koje maksimiziraju pouzdanost sistema uz istovremeno poštovanje svih uslova ograničenja izraženih preko maksimalno dozvoljenih troškova, raspoloživih resursa i očekivane vrednosti rezultata rada iskazane u dozvoljenom intervalu odstupanja. Ovaj pristup optimizaciji se može transformisati tako da funkcija cilja predstavlja minimizaciju troškova vezanih za rad sistema ili maksimizaciju profita uz istovremeno poštovanje uslova da je pouzdanost pojedinih podsystema i sistema u celini jednaka ili veća od željenog nivoa, kao i ostalih uslova ograničenja sa aspekta dozvoljenih utrošaka resursa i zahtevanog rezultata rada.

Dodatni zahtev da se pored alokacije redundantnih elemenata istovremeno na pojedinim podsistemima omogući razmatranje angažovanja različitih tipova elemenata i uz optimalan broj redundantnih elemenata definiše koji tip elementa od razmatranih treba angažovati na tim podsistemima, značajno otežava formiranje modela i rešavanje problema nekom od standardnih metoda operacionih istraživanja. Problem se još više komplikuje ukoliko se u podsistemima za koje se vrši alokacija redundantnih elemenata javljaju aktivne i pasivne paralelne veze tipa (K,N). Tada je on vrlo teško rešiv primenom neke od standardnih metoda operacionih istraživanja, pogotovo one koja u numeričkom postupku koristi generalizovanu *Newton-Raphison-ovu* metodu [118] ili sl. [103]. Ovakvi problemi su usloveli u periodu osamdesetih godina razvoj više heurističkih metoda za optimizaciju pouzdanosti. Sve veća primena teorije pouzdanosti u praksi i definisanje modela sa više funkcija cilja rezultovala je i primenom kompromisnog programiranja u optimizaciji pouzdanosti sistema (Ivanović, G., doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu).

Prvi radovi iz oblasti optimizacije pouzdanosti sistema su radovi Geisler-a i Karr-a (1956g.) [41] i Gordona (1957g.) [43] objavljeni u *Operations research*. Posebno je interesantan i danas aktuelan Gordonov rad [43] u kojem je on dokazao za serijski sistem da je sa aspekta pouzdanosti bolje uvoditi redundantne elemente nego ceo redundantni sistem. Tillman, Hwang i Kuo su 1983. godine objavili knjigu [135] u kojoj su u suštini izložili rezime naučnoistraživačkog rada u ovoj oblasti i dali vrlo sredjenu literaturu o do tada objavljenim radovima. Izučavajući dalje literaturu, autor ovog rada je zaključio da je u [135] formiran vrlo kvalitetan referentni spisak literature, mada je naišao na odredjen broj interesantnih radova koji nisu njime obuhvaćeni, kao npr. [20,21,22,23,41,43,47,70,74,78,82,83,100].

U početku se težilo da se problem optimizacije pouzdanosti sistema rešava primenom neke od već razvijenih metoda operacionih istraživanja tako da je i logično što su u prvim radovima iz ove oblasti problemi rešavani primenom dinamičkog programiranja i

metode Lagrange-ovih multiplikatora sa uslovima Kuhn-Tucker-a. Prvi i osnovni radovi iz oblasti primene dinamičkog programiranja su radovi Bellman-a i Dreyfus-a iz 1958. godine [13] i Kettelle-a iz 1962. godine [58], a u reperne radove ubrajaju se i [39,58,84,74 i 142]. Black i Proschan su 1959. godine [16] prvi primenili metodu Lagrange-ovih multiplikatora sa uslovima Kuhn-a i Tucker-a za rešavanje nelinearnih problema. Značajan doprinos primeni ove metode dali su Everett [33], Messinger & Shooman [84], a posebno Misra u svom radu [83] i u radu sa Ljubojevićem [90]. Proschan je kasnije sa Barlow-om objavio dve fundamentalne knjige iz oblasti matematičkih osnova teorije pouzdanosti [10].

Lowler & Bell (1966) [75], i Tillman [130] su prvi primenili celobrojno (integer) programiranje za rešavanje problema optimalne alokacije redundantnih elemenata sa aspekta optimizacije pouzdanosti. Mizukami je 1968. godine publikovao značajan rad [91] u kojem je nelinearnu funkciju cilja, primenom konveksnog programiranja, sveo na sumu separabilnih konveksnih funkcija i aproksimativno je linearizovao. Fan, Wang, Tillman, Erickson i Balbale (1967/68) u radovima [34,51,131] i Misra (1972) u radu [87] su primenili princip maksimuma, a Federowicz (1968) u radu [35] i Misra & Sharma (1971) u radu [90] geometrijsko programiranje u rešavanju problema optimizacije pouzdanosti alokacijom redundantnih elemenata.

Razvoj teorije pouzdanosti i njena sve veća primena u industriji i energetici rezultovala je uključivanjem inženjera - praktičara, vrsnih poznavalaca tehnologije proizvodnih procesa čija se pouzdanost analizira i optimizira. Njihov rad i težnja ka formiranju realnih modela i egzaktnoj vezi između postignute pouzdanosti, rezultata rada i ostvarenih troškova ili profita, uzrokovali su formiranje vrlo složenih modela, teško rešivih sa numeričkog aspekta standardnim metodama operacionih istraživanja. Zbog toga je i početak osamdesetih godina period kada se u naučnoistraživačkom radu iz ove oblasti sve više radi na razvoju novih pristupa i metoda. Ghare & Taylor 1969. godine u radu [42], a potom Banarjee & Rajamani od 1972. do 1976. godine u radovima [7,8,9] razvijaju parametarski pristup optimalnoj alokaciji



redundantnih elemenata. Tillman, sa svojim saradnicima 1970. godine i kasnije 1975. i 1976. godine definiše primenu metode uzastopne minimizacije bez ograničenja (sequential unconstrained minimization technique - SUMT). Na tom problemu su radili i Shetty & Sengupta 1975. godine u radu [115].

Sistemi u gradjevinarstvu, od konstruktivskih proizvodnih tipa Sharma & Venkateswaran 1971. god. u radu [113] prvi koriste heuristički pristup u rešavanju ovog problema, a potom Misra, Ushakov i Aggarwal 1975. i 1976. godine u radovima [1 i 2]. Ovo je pristup koji se sve više koristi u rešavanju problema optimalne alokacije redundantnih elemenata, jer ujedno pruža mogućnost formiranja takvog modela u kojem se razmatra i izbor optimalnog kandidata - komponente za pojedine delove proizvodnog procesa. U tom pogledu je značajan rad [93] Nakagawe & Nakashime objavljen 1977. godine. Heurističke metode su više analizirane u narednom poglavlju.

Može se zaključiti da su razvijene mnoge tehnike i metode sa osnovnim ciljem da se izvrši optimizacija pouzdanosti, ali i ostalih oblika funkcije cilja koje su u direktnoj ili indirektnoj vezi sa pouzdanošću sistema. Optimizacija se najčešće sprovodi optimalnom alokacijom redundantnih elemenata i izborom optimalnih kandidata za izvršavanje pojedinih delova proizvodnog procesa. U knjizi Tillmana, Hwanga i Kuoa [134] podela ovih metoda je data prema vrsti problema koji su rešavani, kao i prema strukturama analiziranih sistema.

## 2. HEURISTIČKI PRISTUP I METODE

Oblast inženjeringa pouzdanosti ili inženjerske pouzdanosti je generalno izuzetno široka i zahvata faktički sve aspekte inženjerske tehnologije. Konvencionalni intuitivni pristup razvoju sistema nije preporučljiv u modernim inženjerskim aplikacijama i potpuno je zamenjen sa preciznim kvantitativnim tehnikama. Bazični i zajednički zahtev u svim kvantitativnim procedurama je razvoj odgovarajućih matematičkih modela koji opisuju sistem. Jasno je da u izuzetno složenim inženjerskim sistemima precizne kvantitativne

tehnike predstavljaju samo bazični deo mogućih modela, a da se *sušтина modela* odredjuje na osnovu sagledavanja tehnološkog procesa, stečenog znanja i iskustva o rezultatima funkcije sličnih sistema i primenom različitih proračuna iz inženjerske oblasti.

Sistemi u gradjevinarstvu, od konstrukcijskih, proizvodnih do informacionih, zahtevaju kao i u drugim inženjerskim oblastima izvanredno poznavanje suštine i uslova primene različitih konstrukcijskih i tehnoloških rešenja, da bi bili uspešno projektovani i primenjeni u konkretnom procesu i u funkciji konkretnog zadatka. U ovom kontekstu treba posmatrati i primenu teorije pouzdanosti i uslove u kojima se ostvaruje zadatak optimizacije pouzdanosti proizvodnih sistema u gradjevinarstvu. Zbog toga i opredeljenje za primenu heurističkog pristupa u rešavanju posmatranog problema ima puno opravdanje. Ukoliko se želi formirati realan model proizvodnog sistema, neminovno je prisustvo aktivne i pasivne paralelne veze tipa  $(K,N)$  u strukturi sistema. Prisustvo izraza za ove tipove veze u funkciji cilja i u uslovima ograničenja predstavlja veliki problem sa numeričkog aspekta prilikom rešavanja modela standardnim metodama operacionih istraživanja. Može se primetiti da u svim navedenim radovima taj problem nije razmatran izuzev u radu [93] gde su Nakagawa i Nakashima primenom heurističke metode analizirali u jednom podsistemu i aktivnu paralelnu vezu tipa  $[K,N]$ . Kao argument za izbor heurističkog pristupa optimizaciji pouzdanosti proizvodnih sistema u gradjevinarstvu može da posluži i činjenica da je u praksi često prisutna dilema o izboru optimalne komponente, odnosno jednog od više mogućih kandidata za izvršavanje dela proizvodnog procesa, što znači da i taj zadatak pored optimalne alokacije redundantnih elemenata treba formulisati i izvršiti.

Sharma i Venkateswaren su u radu [113] razvili intuitivnu proceduru za optimalnu alokaciju redundansi u podsistemima. Procedura se odvija iterativno tako da se u svakoj iteraciji dodaje redundansa podsistemu koji ima najnižu pouzdanost. Algoritam je primenjivan za rešavanje sistema sa više serijski vezanih podsistema i modela sa nelinearnim uslovima ograničenja. Analizirana je *samo* aktivna paralelna veza tipa  $(1,N)$ , tj. obična

paralelna veza i uvedena je generalna pretpostavka da su vrednosti nepouzdanosti komponentata na svakom serijski vezanom podsistemu male, tako da je funkcija cilja

$$\max R = \prod_{j=1}^n \left[ 1 - (1 - R_j)^{x_j} \right] \quad (1)$$

gde je

- $R_j$  - pouzdanost jedne komponente u podsistemu  $j$   
 $x_j$  - promenljiva koja označava broj ukupno angažovanih elemenata u podsistemu  $j$ , s tim što samo jedan angažovan element mora biti u funkciji, aproksimirana smenom.

$$\theta_s = 1 - R_s \quad (4)$$

$$= 1 - \prod_{j=1}^n \left\{ 1 - \left[ 1 - (1 - \theta_j)^{x_j} \right] \right\}$$

$$= 1 - \prod_{j=1}^n \left[ 1 - \theta_j^{x_j} \right]$$

gde je

- $\theta_j$  - nepouzdanost jedne komponente u podsistemu  $j$   
 $\theta_s$  - nepouzdanost sistema

i uz pretpostavku o maloj vrednosti  $\theta_j$  odakle sledi da je

$$\theta_s = \sum_{j=1}^n \theta_j^{x_j} \quad (2)$$

u funkciju cilja

$$\min \theta_s = \sum_{j=1}^n \theta_j^{x_j} \quad (3)$$

Navedena generalna pretpostavka i transformacija (1) u (3) je prisutna i u heurističkim pristupima Aggarwala, Misre i Ushakova. Ustanovljeno je da ova metoda ne daje uvek optimalno rešenje ukoliko elementi sistema imaju slične vrednosti pouzdanosti, ali vrlo različite troškove.

Aggarwal je u radovima [1 i 2] izvršio proširenje prethodne metode uvodeći novi kriterijum za izbor podsistema kojem će biti dodata redundansa. Kriterijum je predstavljen količnikom između priraštaja pouzdanosti i priraštaja utroška resursa, pri čemu se redundansa dodaje onom podsistemu za koji taj količnik ima najveću vrednost. Kriterijum je izražen formulom (4)

$$F_j(x_j) = \frac{\Delta (1-R_j)^{x_j}}{\prod_{i=1}^m \Delta g_{ij}(x_j)} \quad (4)$$

gde je

$j = j$ -ti podsistem pri čemu je  $j=1,2,\dots,N$

$i = i$ -ti element podsistema  $j$  pri čemu je  $i=1,2,\dots,M$

$$\Delta(1-R_j)^{x_j} = (1-R_j)^{x_j} - (1-R_j)^{x_j+1} = R_j(1-R_j)^{x_j}$$

$$\Delta g_{ij}(x_j) = g_{ij}(x_j+1) - g_{ij}(x_j)$$

Misra je definisao heuristički pristup za rešavanje problema optimizacije pomoću redundansi kod modela sa višestrukim linearnim uslovima ograničenja i to tako što se problem sa  $r$  uslova ograničenja pretvara u  $r$  problema sa po jednim uslovom ograničenja.

U svojoj heurističkoj metodi Ushakov je kao funkciju cilja postavio minimizaciju troškova, odnosno

$$\min z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

uz uslove ograničenja

$$\prod_{j \in J_1} R_j(x_j) \geq R_{si}, \min.$$

gde su

$R_j(x_j)$  - verovatnoća bezotkaznog rada elementa  $j$  kada se  $(x_j - 1)$  standby elemenata koristi da osigura operativnost podsistema  $j$ .

$c_j$  - troškovi funkcije elementa  $j$

Navedene četiri heurističke metode imaju generalnu pretpostavku o malim vrednostima nepouzdanosti komponenata (2) i mogu se primeniti na serijski sistem pri čemu se alocirani redundantni elementi posmatraju samo u okviru aktivne paralelne veze tipa (1,N), što potpuno onemogućuju svrsishodnost primene tih metoda u optimizaciji proizvodnih procesa u građevinarstvu. Nakagava i Nakashima [93] u svojoj metodi ne uvode pretpostavku o malim vrednostima nepouzdanosti komponenata (2) i istovremeno, pored alokacije redundansi u aktivnim paralelnim vezama tipa (K,N), omogućuju formiranje modela u kojem će biti postavljen zahtev o izboru optimalnog kandidata - komponente za izvršavanje pojedinih delova proizvodnog procesa. U njihovoj metodi se rešenje dobija ponavljanjem izbora više pouzdanog kandidata na podsistemu koji ima najveću vrednost *funkcije težinske osetljivosti* bez prekoračenja bilo kog uslova ograničenja, pri čemu se težinska funkcija osetljivosti dobija kao proizvod veličina dobijenih u funkciji trenutne vrednosti funkcije cilja i uslova ograničenja. Ravnoteža između ove dve veličine se kontroliše pomoću ravnotežnog koeficijenta  $\alpha$ .

U radu [93] problem je formulisan kao maksimizacija funkcije cilja

$$\max R_S(x) = \prod_{i=1}^n R_i(x_i)$$

uz uslove ograničenja

$$\sum_{i=1}^n g_{ji}(x_i) \leq b_i \quad (5)$$

i preformulisan na problem:

$$\max \ln R_S(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{x_j} \Delta f_i(k) \quad (6)$$

uz uslove ograničenja

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{x_j} \Delta g_{ji}(k) = b_j$$

gde je

$$\Delta f_i(k) \geq 0 \text{ za bilo koje vrednosti } i \text{ i } k$$

$$\Delta g_{ji}(k) \geq 0 \text{ za bilo koje vrednosti } j, i \text{ i } k.$$

Ova metoda je detaljno komentarisana u narednom poglavlju. Njeni osnovni nedostaci sa aspekta primenljivosti u praksi su:

1. Polazno rešenje  $x^c \equiv (1, 1, \dots, 1)$  onemogućuje realan prikaz proizvodnog sistema jer pretpostavlja serijsku vezu samo po jednog elementa u svakom podsistemu.

2. Definišu se uslovi ograničenja samo za ceo sistem što ima opravdanja sa stanovišta utroška pojedinih resursa, međjutim pri formiranju modela proizvodnih sistema obavezno se javlja potreba za definisanjem odredjenih granica rezultata rada, a i utroška nekih resursa po pojedinim podsistemima, odnosno zasebnih uslova ograničenja za neke podsisteme i

3. Nisu razmatrani uslovi ograničenja tipa ( $\geq$ ) ni za pojedine podsisteme ni za sistem u celini. Ovaj tip uslova ograničenja je neophodan radi definisanja minimalnog zahtevanog rezultata rada koji moraju da ostvare pojedini podsistemi, a samim tim i sistem.

Navedeni nedostaci su izuzetno značajni sa organizaciono-tehnološkog i ekonomskog aspekta korišćenja rezultata dobijenih primenom ove metode. Posebno treba imati u vidu da optimalnom alokacijom resursa u cilju maksimiziranja pouzdanosti sistema moraju biti zadovoljeni neki minimalni zahtevani rezultati rada po pojedinim podsistemima i da se istovremeno mora izbeći nepotrebno povećanje rezultata rada pojedinih podsistema, jer je ukupan rezultat rada sistema

$$UP = \min \left\{ UP_1, UP_2, \dots, UP_j, \dots, UP_N \right\} \quad (7)$$

To znači da pored donjih granica treba definisati i gornje granice rezultata rada, odnosno interval u kojem je tehnološki i ekonomski opravdano da se kreću rezultati rada pojedinih podsistema i sistema u celini.

Analizom heurističke metode Nakagawe i Nakashime zaključeno je da se uz određeno proširenje mogu stvoriti uslovi za formiranje realnih modela i njenu uspešnu primenu u praksi.

### 3. PROŠIRENJE HEURISTIČKE METODE NAKAGAWA I NAKASHIME

Osnovni stav od kojeg se pošlo prilikom proširenja ove metode je da ona treba da omogući punu slobodu pri formiranju modela, odnosno funkcije cilja i uslova ograničenja. Pretpostavka je da su svi oni koji vrše formiranje tog modela u potpunosti obavješteni o mogućim varijantama tehnoloških rešenja i rezultatima koji na osnovu njih proističu. Na osnovu tih saznanja i proračuna svih bitnih elemenata: normativa, planiranih praktičnih učinaka, utrošaka pojedinih resursa, planiranih prodajnih cena, itd., usvaja se polazno optimalno rešenje korišćenjem metodologije date u poglavlju IV. Proračunate vrednosti predstavljaju osnovne ulazne podatke za formiranje modela i dalje analize.

Kako je već pokazano proizvodne strukture se sa aspekta rezultata rada prikazuju serijski vezanim elementima. Ti elementi najčešće

predstavljaju podsisteme nivoa I i unutar njih elementi mogu biti organizovani, odnosno medjusobno strukturno povezani jednom od četiri osnovna tipa veze. Da bi se omogućilo prikazivanje prisustva svih tipova veze u pojedinim podsistemima u ovom proširenju se polazi od toga da se za svaki podsistem može definisati tehnološko-ekonomski opravdani minimalan broj potrebnih elemenata  $\underline{x}_j$ , a na osnovu uvida u raspoložive resurse i maksimalan broj elemenata koje je moguće angažovati na pojedinim podsistemima  $\bar{x}_j$ . Pri tome se i ovde primenjuje pretpostavka o identičnosti komponenata u pojedinim podsistemima data u poglavlju IV prilikom izvodjenja odgovarajućih formula za svaki tip veze.

Na osnovu uočenih nedostataka modela datog formulama (5) i potreba koje uslovljavaju specifičnosti proizvodnih sistema u građevinarstvu definiše se *Model-Problem A* koji je potrebno rešiti:

*Problem A*

Funkcija cilja

$$\max R_s(x) = \prod_{j=1}^N R_j(x_j) \quad (8)$$

uz uslove ograničenja

$$\sum_{j=1}^N g_{ij}(x_j) \leq b_i$$

$$\sum_{j=1}^N g_{ij}(x_j) \geq b_i$$

$$g_{ij}(x_j) \leq b_i$$

$$g_{ij}(x_j) \geq b_i \quad (9)$$

$$x_j \leq \bar{x}_j$$

$$x_j \geq \underline{x}_j$$



gde je

$N$  - broj podсистema u posmatranom sistemu

$r$  - broj uslova ograničenja

$i$  - indeks za uslove ograničenja ( $i=1,2,\dots,r$ )

$j$  - indeks za podсистeme ( $j=1,2,\dots,N$ )

$\underline{x}_j$  - minimalan broj kandidata za podсистem  $j$ ; celobrojna vrednost

$\bar{x}_j$  - maksimalan broj kandidata za podсистem  $j$ ; celobrojna vrednost

$x_j$  - promenljiva koja uzima vrednost iz skupa  $\{\underline{x}_j; \underline{x}_j+1; \underline{x}_j+2; \dots; \bar{x}_j\}$

$x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$

$R_s(x)$  - pouzdanost sistema

$R_j(x_j)$  - pouzdanost podсистema  $j$

$g_{ij}$  - funkcija koja reprezentuje utrošak resursa ili rezultat rada na podсистemu  $j$

$b_i$  - raspoloživi iznos resursa ili zahtevani rezultat rada za ceo sistem ili za podсистem  $j$

Funkcija cilja (8) se može izraziti u sledećem obliku:

$$\max \ln R_s(x) = \sum_{j=1}^N \ln R_j(x_j) \quad (8.1)$$

Ako se uvedu sledeće definicije:

$$\Delta f_j(x_j) = \begin{cases} \ln R_j(x_j) & \text{za } x_j = \underline{x}_j \\ \ln R_j(x_j) - \ln R_j(x_j - 1) & \text{za } x_j > \underline{x}_j \end{cases} \quad (10)$$

$$\Delta g_{ij}(x_j) = \begin{cases} g_{ij}(x_j) & \text{za } x_j = \underline{x}_j \\ g_{ij}(x_j) - g_{ij}(x_j - 1) & \text{za } x_j > \underline{x}_j \end{cases} \quad (11)$$

Uz pretpostavku da su  $R_{ij}(x_j)$  i  $g_{ij}(x_j)$  monotono rastuće funkcije

za  $x_j$  pri čemu je  $j = 1, 2, \dots, N$  i  $i = 1, 2, \dots, r$ , tj da je

$$\begin{aligned} \Delta f_j(x_j) &\geq 0 && \text{za svako } j \text{ i } x_j, i \\ \Delta g_{ij}(x_j) &\geq 0 && \text{za svako } i, j \text{ i } x_j \end{aligned}$$

onda se *Problem A* može transformisati u *Problem B*

### Problem B

Funkcija cilja

$$\max \ln R_s(x) = \sum_{j=1}^N \sum_{x_j=\underline{x}_j}^{\bar{x}_j} \Delta f_j(x_j) \quad (13)$$

Uz uslove ograničenja

$$\sum_{j=1}^N \sum_{x_j=\underline{x}_j}^{\bar{x}_j} \Delta g_{ij}(x_j) \leq b_i$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{x_j=\underline{x}_j}^{\bar{x}_j} \Delta g_{ij}(x_j) \geq b_i$$

(14)

$$\sum_{x_j=\underline{x}_j}^{\bar{x}_j} \Delta g_{ij}(x_j) \leq b_i$$

$$\sum_{x_j=\underline{x}_j}^{\bar{x}_j} \Delta g_{ij}(x_j) \geq b_i$$

$$x_j \geq \underline{x}_j$$

$$x_j \leq \bar{x}_j$$

Transformacija *Problema A* u *Problem B* izvršena je na osnovu jednačina (10) i (11) prema kojima se dobija:

$$1. \text{ za } x_j = \underline{x}_j$$

$$\sum_{j=1}^N \ln R_j(x_j) = \sum_{j=1}^N \Delta f_j(x_j) \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^N g_{ij}(x_j) = \sum_{j=1}^N \Delta g_{ij}(x_j) \quad (16)$$

$$g_{ij}(x_j) = \Delta g_{ij}(x_j) \quad (17)$$

2. Za  $\underline{x}_j < x_j \leq \bar{x}_j$  funkcija cilja izražena preko priraštaja

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \ln R_j(x_j) = \sum_{j=1}^N \left\{ \right. & [\ln R_j(\bar{x}_j) - \ln R_j(\bar{x}_j - 1)] + \\ & + [\ln R_j(\bar{x}_j - 1) - \ln R_j(\bar{x}_j - 2)] + \dots \\ & + [\ln R_j(\bar{x}_j - (\bar{x}_j - \underline{x}_j - 1)) - \ln R_j(\underline{x}_j)] + \\ & \left. + \ln R_j(\underline{x}_j) \right\} \end{aligned}$$

tj.

$$\sum_{j=1}^N \ln R_j(x_j) = \sum_{j=1}^N \sum_{x_j=\underline{x}_j}^{\bar{x}_j} \Delta f_j(x_j) \quad (13)$$

i uslovi ograničenja

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N g_{ij}(x_j) = \sum_{j=1}^N \left\{ \left[ g_{ij}(\bar{x}_j) - g_{ij}(\bar{x}_j-1) \right] + \right. \\ \left. + \left[ g_{ij}(\bar{x}_j-1) - g_{ij}(\bar{x}_j-2) \right] + \dots \right. \\ \left. + \left[ g_{ij}(\bar{x}_j - (\bar{x}_j - \underline{x}_j - 1)) - g_{ij}(\underline{x}_j) \right] \right. \\ \left. + g_{ij}(\underline{x}_j) \right\} \end{aligned}$$

tj.

$$\sum_{j=1}^N g_{ij}(x_j) = \sum_{j=1}^N \sum_{x_j=\underline{x}_j}^{\bar{x}_j} \Delta g_{ij}(x_j) \quad (14)$$

Odnosno

$$\begin{aligned} g_{ij}(x_j) = \left[ g_{ij}(\bar{x}_j) - g_{ij}(\bar{x}_j-1) \right] + \left[ g_{ij}(\bar{x}_j-1) - g_{ij}(\bar{x}_j-2) \right] + \dots \\ + \left[ g_{ij}(\bar{x}_j - (\bar{x}_j - \underline{x}_j - 1)) - g_{ij}(\underline{x}_j) \right] + g_{ij}(\underline{x}_j) \end{aligned}$$

tj.

$$g_{ij}(x_j) = \sum_{x_j=\underline{x}_j}^{\bar{x}_j} \Delta g_{ij}(x_j) \quad (14)$$

Za rešavanje problema  $B$  definisana je sledeća procedura, odnosno algoritam proračuna koji se delom bazira na algoritmu datom u [93]:

### ALGORITAM PRORAČUNA

Pri formiranju modela - problema  $A$  data su objašnjenja za pojedine indekse, oznake i promenljive, tako da su ovde data dopunska objašnjenja koja se prevashodno odnose na algoritam proračuna:

$a_{ij}$  - koeficijent za resurs ili rezultat rada,

$x^c$  - tekuće rešenje  $(x_1^c, x_2^c, \dots, x_N^c)$ ,

$x^{opt}$  - optimalno rešenje  $(x_1^{opt}, x_2^{opt}, \dots, x_N^{opt})$ ,

$x^b$  -  $(x_1, x_2, \dots, x_N)$  polazno rešenje kod kojeg je  $x_i \leq x_i^{opt}$

$b_i^{c1}$  - tekući raspoloživi iznos resursa ili rezultata rada u grupi uslova ograničenja koji važe za jedan podsistem ili sistem u celini i definisani su znakom nejednakosti ( $\leq$ ),

$b_i^{c2}$  - tekući raspoloživi iznos resursa ili rezultata rada u grupi uslova ograničenja koji važe za jedan podsistem ili sistem u celini i definisani su znakom nejednakosti ( $\geq$ ),

$L_{+1}$  - skup svih podsistema čije pouzdanosti mogu biti uvećane,

$L_{+1}^*$  - skup svih podsistema kod kojih je u tekućoj iteraciji  $b_i^{c2} > 0$

$$\Delta f_j(x_j) = \ln R_j(x_j) - \ln R_j(x_{j-1})$$

$$\Delta g_{ij}(x_j) = g_{ij}(x_j) - g_{ij}(x_{j-1})$$

$\Delta x_j$  - veličina dobijena iz odnosa tekućeg raspoloživog iznosa  $b_i^{c1}$  ili  $b_i^{c2}$  i priraštaja vrednosti parcijalnog uslova ograničenja ili uslova ograničenja važećeg za podsistem  $j$ , na osnovu tekućeg rešenja  $x_j^c$ ,

$M$  - skup parcijalnih uslova ograničenja ili uslova ograničenja važećih za podsistem  $j$ ;  $M = \{1, 2, \dots, m\}$  pri čemu  $i \in M$

$DX^c$  - skup vrednosti  $\Delta x_j$  u tekućoj iteraciji koji je po broju članova skupa ekvivalentan skupu  $L_{+1}^*$ ;  $DX^c = \{\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_N\}$ , odnosno skupu  $L_{+1}^*$  u iteracijama u kojima je  $b_i^{c2} > 0$

$\Delta x^c = \min \{ \Delta x_j \}$  u tekućoj iteraciji

$S_j$  - funkcija težinske osetljivosti

$S_m = \max_{j \in L_{+1}} \{ S_j \}$ , odnosno  $\max_{j \in L_{+1}^*} \{ S \}$

$\alpha$  - ravnotežni koeficijent koji uzima vrednosti iz skupa  $\langle 0; 0.1; 0.2; \dots; 1.0 \rangle$  i skupa  $\frac{1}{\alpha} = \langle 0.9; 0.6; 0.3 \rangle$

Obzirom da je formulama (8) i (9), odnosno (13) i (14) definisan opšti model za razliku od modela datog u formulama (5), izvršene su izmene u postupku proračuna te se on sada sprovodi po sledećim koracima:

### Korak I

Unose se polazna bazična rešenja  $x^b \equiv x^c \equiv (x_1, x_2, \dots, x_N)$  proračunata u svemu prema metodologiji izloženoj u poglavlju IV, kao i svi članovi funkcije cilja, uslova ograničenja  $(a_{ij})$  i slobodni članovi  $(b_i)$ . Parcijalni delovi separabilne funkcije cilja i uslova ograničenja, kao i uslovi ograničenja važeći za pojedine podsisteme unose se u zavisnosti od tipa veze elemenata u podsistemima. U ovom koraku se definiše skup svih podsistema čije pouzdanosti mogu biti uvećane, odnosno  $L_{+1}$ .

### Korak II

Proračunavaju se tekući raspoloživi iznosi resursa ili rezultata rada i to odvojeno za uslove ograničenja tipa A (znak nejednakosti  $(\leq)$ ) i tipa B (znak nejednakosti  $(\geq)$ ). Ova dva tipa se u proračunu dalje dele u dve grupe A1 i A2, odnosno B1 i B2, u zavisnosti od toga da li razmatrani uslov ograničenja  $i$  važi za sistem u celini ili samo za podsistem  $j$ . Tekuće vrednosti za uslove ograničenja tipa A se proračunavaju prema sledećim formulama

$$A1 \Rightarrow b_i^{c1} = b_i - \sum_{j=1}^N \sum_{x_j=x_j^c}^{x_j^c} \Delta g_{ij}(x_j) \quad (18)$$

$$A2 \Rightarrow b_i^{c1} = b_i - \sum_{x_j=x_j^c}^{x_j^c} \Delta g_{ij}(x_j) \quad (19)$$

a za uslove ograničenja tipa B

$$B1 \Rightarrow b_i^{c2} = b_i - \sum_{j=1}^N \sum_{x_j=x_j^c}^{x_j^c} \Delta g_{ij}(x_j) \quad (20)$$

$$B2 \Rightarrow b_i^{c2} = b_i - \sum_{x_j=x_j^c}^{x_j^c} \Delta g_{ij}(x_j) \quad (21)$$

Proračunate veličine  $b_i^{c1}$  i  $b_i^{c2}$  predstavljaju preostali raspoloživi iznos resursa ili neispunjenog uslova ograničenja. Logičan je naredni korak u kojem se vrši ispitivanje odnosa  $b_i^{c1}$  odnosno  $b_i^{c2}$ , i priraštaja vrednosti parcijalnog dela ograničenja za podsistem  $j$  kada promenjiva  $x_j$  uzima vrednost  $x_j+1$ .

### Korak II A

Po algoritmu proračuna ovaj korak sledi iza koraka II, ali pošto se u njemu za proračun koriste delovi proračuna iz ostalih koraka, objašnjenje je dato na kraju algoritma.

### Korak III

Proračunava se  $\Delta x_j$  za svako  $j$  koje pripada  $L_{+1}$ . Njihov proračun se opredeljuje prema tipu ograničenja i prema tome da li to ograničenje važi za ceo sistem ili važi samo za jedan podsistem. Jedan podsistem, odnosno njegova varijabla  $x_j$  može da učestvuje u više uslova ograničenja različitog tipa. Generalno:

$$\Delta x_j = \min_{i \in M} \left\{ \frac{b_i^c}{\Delta g_{ij}(x_j^{c+1})} \right\} \quad (22)$$

Ukoliko je  $b_i^{c2} > 0$  to znači da uslov ograničenja tipa B nije ispunjen pa se tada u Koraku II A formira skup  $L_{+1}^*$  i suprotno, ukoliko je  $b_i^{c2} < 0$  to znači da je uslov ograničenja tipa B ispunjen. Prema tome, može se zaključiti da su uslovi ograničenja tipa B ispunjeni ukoliko je  $b_i^{c2} < 0$  i da je za dalje razmatranje dominantan uticaj ostalih uslova tipa B i uslova ograničenja tipa A. Svi uslovi ograničenja tipa B za koje je  $b_i^{c2} < 0$  se isključuju iz daljih razmatranja od te iteracije za dato  $\alpha$ .

Za svaki podsistem  $j$  se vrši proračun



$$\Delta x_j = \min_{\substack{V_i \in M \\ i \notin \text{za } b_i^{c2} < 0}} \left\{ \frac{b_i^{c1}}{g_{ij}(x_{j+1}) - g_{ij}(x_j)} \vee \frac{b_i^{c2}}{g_{ij}(x_{j+1}) - g_{ij}(x_j)} \right\} \quad (23)$$

i to zato da bi se uočio podsistem kod kojeg angažovanje  $x_{j+1}$  kandidata uzrokuje minimalni utrošak resursa, a maksimalnu promenu vrednosti funkcije cilja.

#### Korak IV

U ovom koraku se vrši definisanje pripadnosti podsistema  $j$  skupu  $L_{+1}$ , odnosno definisanje elemenata skupa  $L_{+1}$  u tekućoj iteraciji i proračun vrednosti  $\Delta x^c$ . Za odluku o pripadnosti podsistema  $j$  skupu  $L_{+1}$  dominantne su vrednosti kandidata za odgovarajuće  $\Delta x_j$  proračunate na osnovu  $b_i^{c1}$ , jer vrednost  $b_i^{c1}$  predstavlja gornju granicu utroška raspoloživog resursa ili tekuću vrednost neiskorišćenosti uslova ograničenja tipa A. Ako se definišu veličine  $A_{j1}(b_i^{c1})$  i  $B_{jk}(b_i^{c2})$  koje predstavljaju kandidata za  $\Delta x_j$  u funkciji  $b_i^{c1}$ , odnosno  $b_i^{c2}$ , onda formula (23) ima novi oblik

$$\Delta x_j = \min_{\substack{V_i \in M \\ i \notin \text{za } b_i^{c2} < 0}} \left\{ A_{j1}, A_{j2}, A_{j1} \cdot B_{j1}, B_{j2}, \dots, B_{jk} \right\} \quad (24)$$

Veličine  $A_{j1}$  su vrednosti koje se dobijaju kao odnos  $b_i^{c1}$  i priraštaja vrednosti uslova ograničenja, te se može zaključiti da skupu  $L_{+1}$  pripadaju svi oni podsistemi za koje je  $\min A_{j1}(b_i^{c1}) \geq 1$ , odnosno

$$L_{+1} = \left\{ j \mid A_j \geq 1 \right\} \quad (25)$$

gde je

$$A_j = \min A_{j1}(b_i^{c1})$$

Ukoliko su sve vrednosti  $A_j < 1$  skup  $L_{+1} = \emptyset$  i procedura se prekida za dato  $\alpha$ , jer je dobijeno rešenje optimalno i suprotno, ukoliko su sve vrednosti  $A_j \geq 1$  svi podsistemi  $j$  pripadaju skupu  $L_{+1}$ , odnosno moguće je za svaki podsistem  $j$  uvoditi redundantni element. Istovremeno sa definisanjem elemenata skupa  $L_{+1}$  definišu se i elementi skupa  $DX$  pri čemu je

$$DX = \left\{ \Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_j, \dots, \Delta x_N \right\} \quad (26)$$

Obzirom da je broj i raspored elemenata skupa  $DX$  identičan skupu  $L_{+1}$  može se napisati u opštem obliku da je

$$DX = \left\{ \Delta x_j \mid A_j \geq 1 \right\} \quad (27)$$

Analizom elemenata skupa  $DX$  određuje se vrednost  $\Delta x^c$  prema formuli (28)

$$\Delta x^c = \min_{j \in L_{+1}} \left\{ \Delta x_j \right\} \quad (28)$$

#### Korak V

Kao što je već rečeno, ukoliko je  $L_{+1}$  prazan skup, procedura se prekida, jer je dobijeno optimalno rešenje. Ukoliko  $L_{+1}$  nije prazan skup procedura se nastavlja tako što se proračunava  $S_m$  - funkcija težinske osetljivosti [93] prema formuli

$$S_m = \max_{j \in L_{+1}} \left\{ S_j \right\} \quad (29)$$

gde je

$S_j$  - funkcija težinske osetljivosti promene vrednosti funkcije cilja na promenu tekuće vrednosti varijable  $x_j$  za +1

Funkcija težinske osetljivosti  $S_j$  se proračunava prema formuli

$$S_j \equiv \Delta f_j(x_j^C + 1) \left[ (1-\alpha) \cdot \min_{l \in L_{+1}} \left\{ \Delta x_l \right\} + \alpha \Delta x_j \right] \quad (30)$$

odnosno uzimajući u obzir (28)

$$S_j \equiv \Delta f_j(x_j^C + 1) \left[ (1-\alpha) \Delta x^C + \alpha \Delta x_j \right] \quad (30.1)$$

**Korak VI**

U petom koraku se prema formuli (26) određuje funkcija težinske osetljivosti sa maksimalnom vrednosti  $i$ , prema tome, za  $j = m$  se određuje  $x_m^C$ . Ukoliko je  $x_m^C = \bar{x}_m$  znači da je angažovan maksimalno dopustiv broj komponenata za podsistem  $j = m$  i da više nije moguće angažovati dodatne komponente. Taj podsistem se izključuje iz skupa  $L_{+1}$  i ponovo se sprovodi Korak V radi određivanja nove vrednosti funkcije težinske osetljivosti  $S_m$ , odnosno podsistema  $j = m$  gde angažovanje nove komponente ima najpovoljniji efekat na vrednost funkcije cilja, a istovremeno, zbog uslova definisanih u prethodnim koracima, ne uzrokuje prekoračenja uslova ograničenja.

Na osnovu nove vrednosti  $S_m$  za  $j = m$  proverava se da li je  $x_m^C < \bar{x}_m$  i ukoliko je to tačno usvaja se da je nova vrednost  $x_m^C = x_m^C + r$ . Nova vrednost varijable  $x_m^C$  se unosi u skup tekućih vrednosti  $X^C$  i procedura se ponavlja od Koraka II za dato  $\alpha$  sve dok se ne dobije da je  $L_{+1} = \Phi$ .

## Korak IIIA

Uvođenjem uslova ograničenja tipa B u model, a samim tim u algoritam, omogućeno je definisanje minimalne vrednosti rezultata rada za podsistem  $j$ . Uzimajući u obzir (7) jasno je da alokacija resursa u cilju maksimiziranja pouzdanosti prvenstveno mora da obezbedi zadovoljenje te minimalne (ili zadate) vrednosti rezultata rada, a tek potom da se vrši raspodela redundansi u granicama dozvoljenog intervala  $i$  u okviru ostalih uslova ograničenja. Zbog toga se u ovom koraku definišu članovi skupa  $L_{+1}^*$  na osnovu vrednosti  $b_i^{c2}$ . Podsystemi za koje je slobodni član uslova ograničenja po rezultatima rada  $b_i^{c2} < 0$  ne pripadaju skupu  $L_{+1}^*$ , dok su podsystemi za koje je  $b_i^{c2} > 0$  članovi tog skupa i za njih se iz  $X^c$  za proračun preuzimaju tekuće vrednosti odgovarajućih  $x_j$ . U okviru ovog koraka za svako  $\alpha$  se izvršava u nešto skraćenom obliku kompletna procedura definisanja koracima od II do VI uz stalnu kontrolu članova skupa  $L_{+1}$ , odnosno proveru gornjih granica uslova ograničenja po resursima i rezultatima rada. Proračun se završava onda kada  $L_{+1}^*$  postane prazan skup i nastavlja po već definisanom algoritmu za članove skupa  $L_{+1}$ . Formirani program za elektronski računar po ovoj metodi u programskom jeziku Fortran dat je u prilogu II i u okviru potprograma FOMOC detaljno je opisan ovaj korak.

U radu [93] data je preporuka da se ceo proračun ponavlja za trinaest vrednosti parametra  $\alpha$ , pri čemu je optimalno ono rešenje koje ima maksimalnu vrednost funkcije cilja za neko  $\alpha$ . Ova preporuka se zadržava, jer je to, konačno, i na strani sigurnosti, uz napomenu da su za konkretan primer (Poglavljje VII) dobijani identični rezultati za svako  $\alpha$ .

## 4. ZAKLJUČAK

Proširenjem heurističke metode date u radu [93] omogućeno je formiranje i rešavanje realnih modela proizvodnih sistema u građevinarstvu u cilju optimizacije njihove pouzdanosti. Optimizacija pouzdanosti sistema se može izvršiti:

1. Izborom najpovoljnijeg kandidata od mogućih za serijski vezan element, pri čemu pojam kandidat podrazumeva vrstu i tip elementa sa svim njegovim relevantnim karakteristikama (intenziteti otkaza i popravke, rezultat rada prodajna cena po jedinici mere, ...),

2. Alokacijom redundantnih elemenata serijski vezanom elementu u strukturi sistema i formiranjem aktivne paralelne veze tipa (1,N)

3. Alokacijom redundantnih elemenata podsystemu nivoa I sa K paralelno vezanih elemenata i formiranjem aktivne paralelne veze tipa (K,N) u tom podsystemu i

4. Alokacijom redundantnih elemenata podsystemu nivoa I sa K paralelno vezanih elemenata i formiranjem pasivne paralelne veze tipa (K,N) u tom podsystemu.

Korišćenjem pristupa i formula datih u poglavlju IV tačka 3 pri formiranju modela za optimizaciju pouzdanosti sistema, moguće je proračunati i usloviti uticaj optimizacije pouzdanosti sistema na kvantitativne pokazatelje rezultata njegove funkcije i time egzaktno sagledati vezu između povećanja pouzdanosti sistema i efekata tog povećanja na rezultat rada, prodajnu cenu po jedinici mere i vreme potrebno da se izvrši predviđeni obim posla.

...avara opća pojedinačn... i...  
...na...  
...PRILOG...

U cilju...  
...veza...  
...optimalnih...  
...54-55...  
...je...  
...program...  
...pokazatelj...  
...funkcija...  
...analiza...

## 2. MODEL ZA ANALIZU I FRAKCIJ... ...PROGRAM...

U poglavlju V je opis...  
...konstrukcija...

### VII OPTIMIZACIJA POUZDANOSTI PROIZVODNOG SISTEMA

...CT-IV...  
...elektronski računar...

#### - OPŠTI PROGRAM (FORTRAN), MODEL I REZULTATI -

...analiza...  
...VII, IX i X...

#### 1. UVOD

Na osnovu podataka iz tabele IV i V definisano je osam varijanti

Proširenjem heurističke metode Nakagawe i Nakashime omogućeno je formiranje i rešavanje realnih tehnoloških modela proizvodnih sistema u građevinarstvu u cilju optimizacije njihove pouzdanosti. U ovom poglavlju je formiran jedan takav generalni model, a rešavano je ukupno jedanaest njegovih varijanti na osnovu podataka dobijenih analizom sistema od *S1 do S54* u poglavlju V. Da bi se mogla izvršiti optimizacija pouzdanosti sistema na osnovu varijantnih rešenja modela prethodno je formiran program za elektronski računar u programskom jeziku FORTRAN. Program je u potpunosti urađen prema navedenim koracima proširene heurističke metode u poglavlju VI, a korišćeni su pristup i izrazi za analizu efekata funkcije sistema dati u poglavlju IV, tačka 3. U samom programu je kao i u prethodnom u potpunosti iskorišćena mogućnost

davanja opisa pojedinim naredbama, koracima i potprogramima, tako da se i ovde ne prilaze blok šema. Listing glavnog programa i četrnaest potprograma je dat u *PRILOGU 2*.

U cilju upoređivanja efekata primene aktivne ili pasivne (K,N) veze pri alokaciji redundansi, sve varijante modela su analizirane za oba tipa veze i izvršen je izbor optimalnih rešenja za sisteme S1-S48 i S49-S54. Osnovni kriterijum za izbor optimalnog rešenja bio je iznos stvarne cene rada sistema po jedinici mere rezultata rada. Primenom programa datog u prilogu I izvršen je proračun pokazatelja raspoloživosti za optimalna rešenja, a u tabeli XIII dat je uporedni pregled rezultata funkcije proizvodnog sistema pre očekivane vrednosti - tabela X) i nakon optimizacije.

## 2. MODEL ZA ANALIZU - PRAKTIČNI PRIMER

U poglavlju V je opisan proizvodni sistem za izgradnju konstrukcije od nasutog materijala. Definisana je struktura i formirane su strukturne varijante njegovih tehnoloških linija. (T-IV i T-V). Primenom programa za elektronski računar formiranog na bazi metodologije izložene u poglavlju IV izvršena je analiza varijantnih rešenja, a rekapitulacija te analize data je u tabelama VIII, IX i X.

Na osnovu podataka iz tabela IV i V definisano je osam varijanti za optimizaciju za sistem u kojem se transport materijala vrši damperima i tri varijante za sistem u kojem se transport vrši skreperima. Navedene varijante za optimizaciju su pregledno prikazane u tabeli XI. U generalnom matematičkom modelu za optimizaciju pouzdanosti varijantnih rešenja funkcija cilja se može napisati u obliku:

$$\max R_s(X) = \prod_{j=1}^N R_j(x_j) \quad (1)$$

gde je

TABELA XI

Varijante za optimizaciju	PS1 serijski vezan element	PS2 (K,N)	PS3 (K,N)	PS4 serijski vezan element	PS5 (K,N)
V1	1.BD2 2.BD3 3.BD4	U1 min = 3 max = 5	D1 min = 10 max = 15	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2
V2	1.BD2 2.BD3 3.BD4	U1 min = 3 max = 5	D2 min = 8 max = 12	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2
V3	1.BD2 2.BD3 3.BD4	U2 min = 2 max = 4	D1 min = 9 max = 15	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2
V4	1.BD2 2.BD3 3.BD4	U2 min = 2 max = 4	D2 min = 7 max = 12	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2
V5	1.BD2 2.BD3 3.BD4	U3 min = 2 max = 3	D1 min = 8 max = 15	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2
V6	1.BD2 2.BD3 3.BD4	U3 min = 2 max = 3	D2 min = 6 max = 12	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2
V7	1.BD2 2.BD3 3.BD4	U4 min = 2 max = 2	D1 min = 8 max = 15	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2
V8	1.BD2 2.BD3 3.BD4	U4 min = 2 max = 2	D2 min = 6 max = 12	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2
Varijante za optimizaciju	PS1 (K,N)	PS2 (K,N)	PS3 serijski vezan element	PS4 (K,N)	
V9	S1 min = 2 max = 3	BD1 min = 2 max = 3	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2	
V10	S2 min = 2 max = 3	BD1 min = 2 max = 3	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2	
V11	S3 min = 1 max = 2	BD1 min = 2 max = 3	1. G1 2. G2	V1 min = 1 max = 2	



$R_s(X)$  - pouzdanost rada sistema

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$$

$R_j(x_j)$  - pouzdanost serijski vezanog sistema u funkciji od izabranog kandidata  $x_j$  ili pouzdanost podsistema u kojem su elementi vezani u obliku aktivne, odnosno pasivne paralelne veze tipa (K,N), u funkciji od broja raspoloživih elemenata.

Prvi uslov ograničenja važi za ceo sistem i definiše maksimalno dozvoljenu planiranu prodajnu cenu rada sistema.

$$\sum_{j=1}^N C_j(x_j) \leq C \quad (2)$$

gde je

$C$  - maksimalno dozvoljena planirana cena rada sistema

$C_j(x_j)$  - planirana prodajna cena rada podsistema  $j$ , pri čemu se za podsisteme sa aktivnom paralelnom vezom proračunava prema formuli (IV-74), a sa pasivnom prema (IV-75).

Za svaki podsistem se definišu još po dva dodatna uslova ograničenja koji limitiraju granice u kojima može da se kreće stvarni rezultat rada. Ovi uslovi ograničenja su u funkciji strukturne veze elemenata u podsistemu, tako da se, analogno formulama (IV-99, 101, 102), mogu generalno napisati u obliku

$$\begin{aligned} R_j(x_j) \cdot UP_j(x_j) &\geq UP \\ R_j(x_j) \cdot UP_j(x_j) &\leq K_j UP \quad j = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (3)$$

gde je

## FUNKCIJA CILJA

- $R_j(x_j)$  - pouzdanost podsistema  $j$  u funkciji izabranog kandidata ili optimalnog broja elemenata u slučaju aktivne, odnosno pasivne veze tipa (K,N) u podsistemu,
- $UP_j(x_j)$  - planirani rezultat rada podsistema  $j$  u funkciji izabranog kandidata ili optimalnog broja elemenata u slučaju aktivne, odnosno pasivne veze tipa (K,N) u podsistemu,
- $K_j$  - koeficijent koji određuje širinu intervala u kojem se mogu kretati rezultati rada pojedinih podsistema pri čemu njegova vrednost zavisi od procene ekonomske opravdanosti i željenog nivoa uskladjenosti rezultata rada pojedinih podsistema i
- UP - minimalno dozvoljeni rezultat rada podsistema  $j$ , odnosno očekivani rezultat rada sistema u celini.

Formule za proračun  $R_j(x_j)$ ,  $C_j(x_j)$  i  $UP_j(x_j)$  zavise od strukture podsistema  $j$ . Pored uslova ograničenja datih nejednačinama (2) i (3) potrebno je uslovima ograničenja definisati i granice intervala u kojem varijabla  $x_j$  može uzimati celobrojne vrednosti, tj. napisano u opštem obliku

$$\begin{aligned}x_j &\geq \underline{x}_j \\x_j &\leq \bar{x}_j\end{aligned}\tag{4}$$

Formule (1), (2), (3) i (4) definišu mogući model koji odgovara analizi konkretnog problema. U zavisnosti od analiziranog proizvodnog procesa i sagledanih tehnoloških i resursnih ograničenja ovaj model može biti proširen uvodjenjem novih uslova ograničenja za pojedine podsisteme i sistem u celini. Ovde se kao primer model konkretizuje za analizu datih varijanti za optimizaciju, pri čemu se funkcija cilja razmatra u obliku (VI-8.1):

## FUNKCIJA CILJA

$$\max \ln R_S(x) = \ln R_1(x_1) + \ln \left[ \sum_{i=x_2}^{x_2} \binom{x_2}{i} R_2^i (1-R_2)^{x_2-i} \right] +$$

$$+ \ln \left[ \sum_{i=x_3}^{x_3} \binom{x_3}{i} R_3^i (1-R_3)^{x_3-i} \right] + \ln R_4(x_4)$$

$$+ \ln \left[ \sum_{i=x_5}^{x_5} \binom{x_5}{i} R_5^i (1-R_5)^{x_5-i} \right]$$

gde je

$R_1(x_1)$  - pouzdanost kandidata za serijski vezan element u funkciji od  $x_r \in \{1,2,3\}$ ,

$R_4(x_4)$  - pouzdanost kandidata za serijski vezan element u funkciji od  $x_4$ , pri čemu  $x_4 \in \{1,2\}$ ,

$R_j$  - za  $j=2,3,5$ ; pouzdanost jednog elementa u podsystemu  $j$  i

$x_j$  - za  $j=2,3,5$ ; minimalan broj elemenata koji obezbedjuju zahtevanu funkciju podsystema  $j$ .

U slučaju kada se pri optimizaciji pouzdanosti sistema razmatra primena pasivne veze tipa (K,N), formula za proračun pouzdanosti podsystema sa aktivnom paralelnom vezom zamenjuje se u funkciji cilja formulom

$$\sum_{i=0}^{x_j - x_j} \frac{R_j^{x_j}}{i} \left( -x_j \ln R_j \right)^i \quad (5)$$

### USLOVI OGRANIČENJA

Na osnovu formule (2) izvodi se prvi uslov ograničenja

$$C_1(x_1) + x_2 \cdot C_2 + x_3 \cdot C_3 + C_4(x_4) + x_5 \cdot C_5 \leq C$$

gde je

$C_1(x_1)$  - prodajna cena rada kandidata za serijski vezan element u funkciji od  $x_1$ , pri čemu  $x_1 \in \langle 1, 2, 3 \rangle$ ,

$C_4(x_4)$  - prodajna cena rada kandidata za serijski vezan element u funkciji od  $x_4$ , pri čemu  $x_4 \in \langle 1, 2 \rangle$ ,

$C_j$  - za  $j \equiv 2, 3, 5$ ; prodajna cena rada jednog elementa u podsistemu  $j$

Ovaj uslov ograničenja za slučaj pasivne paralelne veze tipa (K,N) ima sledeći oblik

$$C_1(x_1) + x_2 \cdot C_2 + (x_2 - x_2') \cdot C_2' + x_3 \cdot C_3 + (x_3 - x_3') C_3' + C_4(x_4) + x_5 \cdot C_5 + (x_5 - x_5') \cdot C_5' \leq C$$

gde:

$C_j'$  - za  $j=2, 3, 5$ ; predstavlja troškove osnovnog sredstva za jedan element podsistema  $j$

Sledećih deset uslova ograničenja formirano je na osnovu (3)

$$UP \leq R_1(x_1) \cdot UP_1(x_1) \leq K_1 \cdot UP$$

$$UP \leq \left[ \sum_{i=x_2}^{x_2} \binom{x_2}{i} R_2^i (1-R_2)^{x_2-i} \right] \cdot x_2 \cdot UP_2 \leq K_2 \cdot UP$$

$$UP \leq \left[ \sum_{i=x_3}^{x_3} \binom{x_3}{i} R_3^i (1-R_3)^{x_3-i} \right] \cdot x_3 \cdot UP_3 \leq K_3 \cdot UP$$

$$UP \leq R_4(x_4) \cdot UP_4(x_4) \leq K_4 \cdot UP$$

$$UP \leq \left[ \sum_{i=x_5}^{x_5} \binom{x_5}{i} R_5^i (1-R_5)^{x_5-i} \right] \cdot x_5 \cdot UP_5 \leq K_5 \cdot UP$$

pri čemu je

$UP_1(x_1)$  - rezultat rada kandidata, za serijski vezan element u funkciji od  $x_1$ , gde  $x_1 \in \{1,2,3\}$ ,

$UP_4$  - rezultat rada kandidata za serijski vezan element u funkciji od  $x_4$ , gde  $x_4 \in \{1,2\}$ ,

$K_j$  - za  $j=1,2,5$ ; koeficijent širine intervala, i

$UP_j$  - za  $j=1,2,5$ ; rezultat rada jednog elementa u podsistemu  $j$ .

U slučaju pasivne paralelne veze elemenata tipa (K,N) u podsistemima II, III i V ovi uslovi ograničenja se generalno mogu napisati, uzimajući u obzir (5), kao

$$UP \leq \left[ \sum_{i=0}^{x_j - \bar{x}_j} \frac{R_j^{x_j}}{i!} (-x_j \ln R_j)^i \right] \cdot x_j \quad UP_j \leq K_j \cdot UP$$

Poslednja grupa uslova ograničenja definiše granice intervala u kojem varijabla  $x_j$  može uzimati celobrojne vrednosti

$$\underline{x}_1 \leq x_1 \leq \bar{x}_1$$

$$\underline{x}_2 \leq x_2 \leq \bar{x}_2$$

$$\underline{x}_3 \leq x_3 \leq \bar{x}_3$$

$$\underline{x}_4 \leq x_4 \leq \bar{x}_4$$

$$\underline{x}_5 \leq x_5 \leq \bar{x}_5$$

Ovim je formiran model za optimizaciju pouzdanosti varijantnih sistema (tabela XI) koji pored nelinearne funkcije cilja sadrži i 21 linearan i nelinearan uslov ograničenja. Bitno je ukazati na značajnu razliku u uslovima ograničenja izvedenim iz (2), odnosno (3), kada je u pitanju optimizacija pouzdanosti alokacijom redundansi putem formiranja aktivnih ili pasivnih paralelnih struktura tipa (K,N) u podsystemima.

### 3. PROGRAM ZA OPTIMIZACIJU POUZDANOSTI

Program za optimizaciju pouzdanosti sistema u potpunosti je formiran prema metodologiji izloženoj u poglavlju VI. Napisan je u programskom jeziku FORTRAN i sadrži glavni program i 14 potprograma. Svi ulazni podaci, koraci u proračunu, potprogrami i glavne opcije detaljno su opisani u samom programu. Listing ovog programa dat je u *Prilogu II*,

Pored toga što na osnovu ulaznih podataka i definisane strukture

pojedinih podsistema vrši optimizaciju pouzdanosti sistema, program proračunava za optimalno rešenje stvarnu cenu rada sistema (STCSIS), stvarni rezultat rada sistema (MSTUP) i stvarnu cenu po jedinici mere (STCJM) prema poglavlju IV tačka 3. Proračun se odvija iterativno i to za trinaest vrednosti ravnotežnog koeficijenta  $\alpha$ .

Potrebni ulazni podaci su opisani u samom programu, a npr. za razmatrani problem su dati u tabelama III, VIII, IX i X. Korišćenjem ovog programa dobijaju se sledeći izlazni rezultati za svaki podsistem:

- izabrani kandidat u slučaju serijski vezanog elementa ili optimalan broj potrebnih elemenata za podsysteme sa aktivnom ili pasivnom vezom tipa (K,N),
- pouzdanost podsistema,
- minimalni stvarni rezultat rada i
- planirana prodajna cena rada podsistema.

Pošto se postupak optimizacije sprovodi za trinaest vrednosti ravnotežnog koeficijenta  $\alpha$  za svako  $\alpha$  se daje pregled rezultata za sve podsysteme i proračunava:

- pouzdanost sistema,
- stvarni rezultat rada sistema,
- planirana prodajna cena rada sistema,
- planirana prodajna cena rada sistema po jedinici mere,
- planirani troškovi osnovnih sredstava,
- planirani troškovi radne snage na nivou sistema i
- planirani troškovi na ime režije i dobiti.

Usvaja se da je optimalno rešenje problema ono rešenje koje ima najveću vrednost pouzdanosti sistema za neko  $\alpha$  i za to rešenje se u programu vrši proračun:

- pouzdanosti sistema,
- minimalnog stvarnog rezultata rada sistema,
- stvarne prodajne cene rada sistema i

- stvarne prodajne cene rada sistema po jedinici mere.

#### 4. REZULTATI OPTIMIZACIJE POUZDANOSTI VARIJANTNIH REŠENJA

U tabelama VIII i IX u poglavlju VI date su stvarne cene i rezultati funkcije sistema, a u tabeli X njihove očekivane vrednosti. Očigledno je da je potrebno veće ulaganje finansijskih sredstava ( $F_1=1.126$ ) u funkciju sistema sa istovremeno značajno manjim stvarnim rezultatom rada od planiranog i samim tim većom cenom po jedinici mere. Zbog toga je i usvojeno da se kao granične vrednosti planiranih finansijskih sredstava ( $c$ ) za varijantna rešenja usvoje odgovarajući iznosi *STCSIS* u tabelama VIII i IX. Naime, jasno je da će planirana cena biti veća za prosečno  $\Delta T=190$  USA \$ za varijante V1 do V8 i 219 USA \$ za V9 do V11. Zbog toga je opravdano proveriti pretpostavku o tome da je možda bolje već u početku planirati ulaganje finansijskih sredstava  $\Delta T$  u uvodjenje redundansi u sistem i time povećati stvarne efekte njegove funkcije.

Rezultati optimizacije varijantnih sistema (tabela XI) su dati u tabeli XII i sl.9. do 12., gde su nacrtane strukture optimalnih rešenja. Uporedna analiza optimizacije pouzdanosti alokacijom redundansi pojedinim podsistemima preko formiranja aktivnih, odnosno pasivnih paralelnih struktura tipa (K,N), pokazala je (tabela XII) da je veći efekat ulaganja finansijskih sredstava u pasivne strukture po svim parametrima. O ovome je sprovedena detaljnija analiza u poglavlju VIII. Karakterističan primer su rezultati optimizacije varijante V5. Prodajne cene rada sistema po jedinici mere su skoro identične ali su zato ostali pokazatelji, npr. odnos MDT/MCT, značajno povoljniji kod pasivne paralelne strukture (sl.9. do 10.).

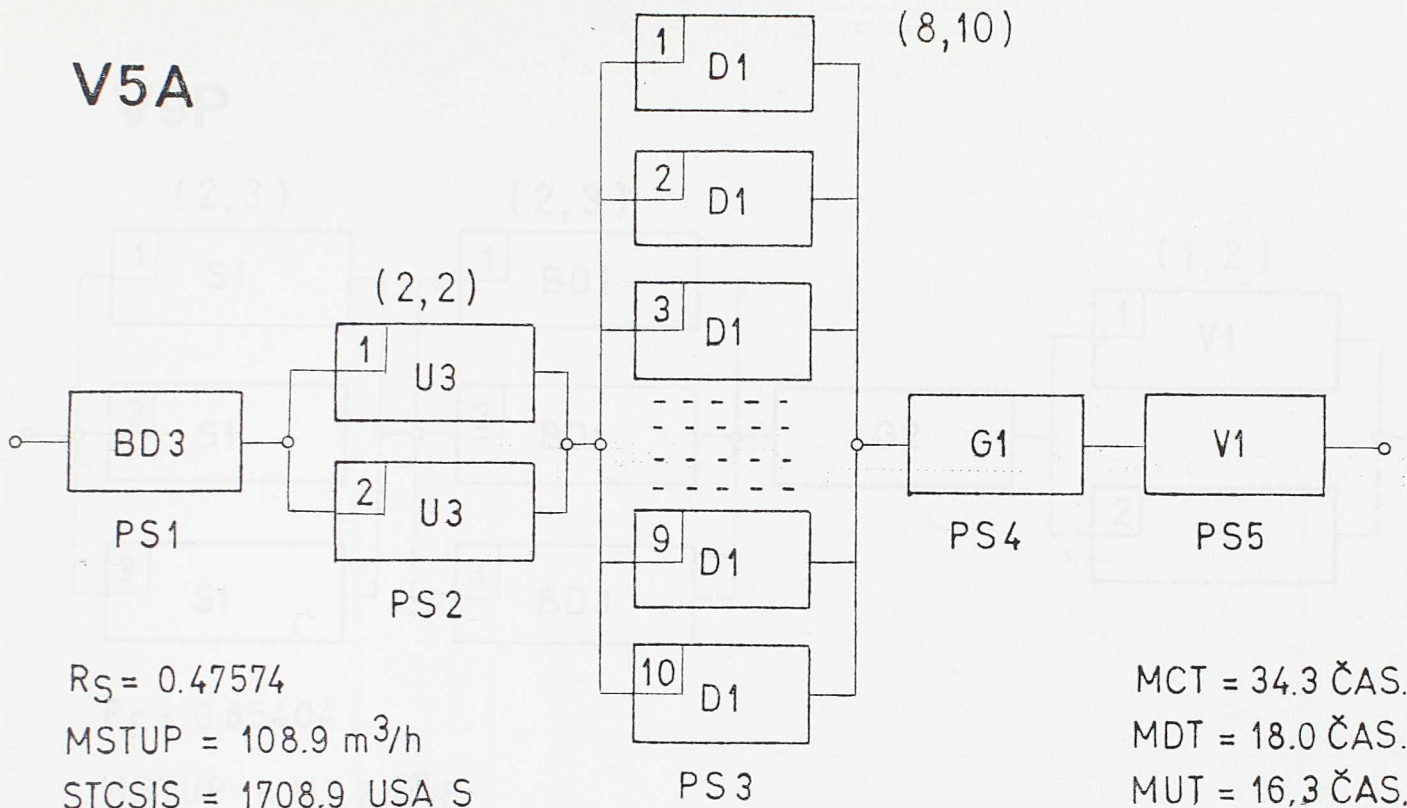
U toku postupka optimizacije pouzdanosti oba tipa varijantnih rešenja V1 do V8 i V9 do V11 za aktivnu paralelnu strukturu, razmatrani sistemi nisu mogli da zadovolje donju granicu rezultata rada od  $110m^3/h$  zbog dostignutog limita finansijskih sredstava, pa je ta granica u uslovima ograničenja pomenjena na  $100m^3/h$ , a kod



TABELA XII

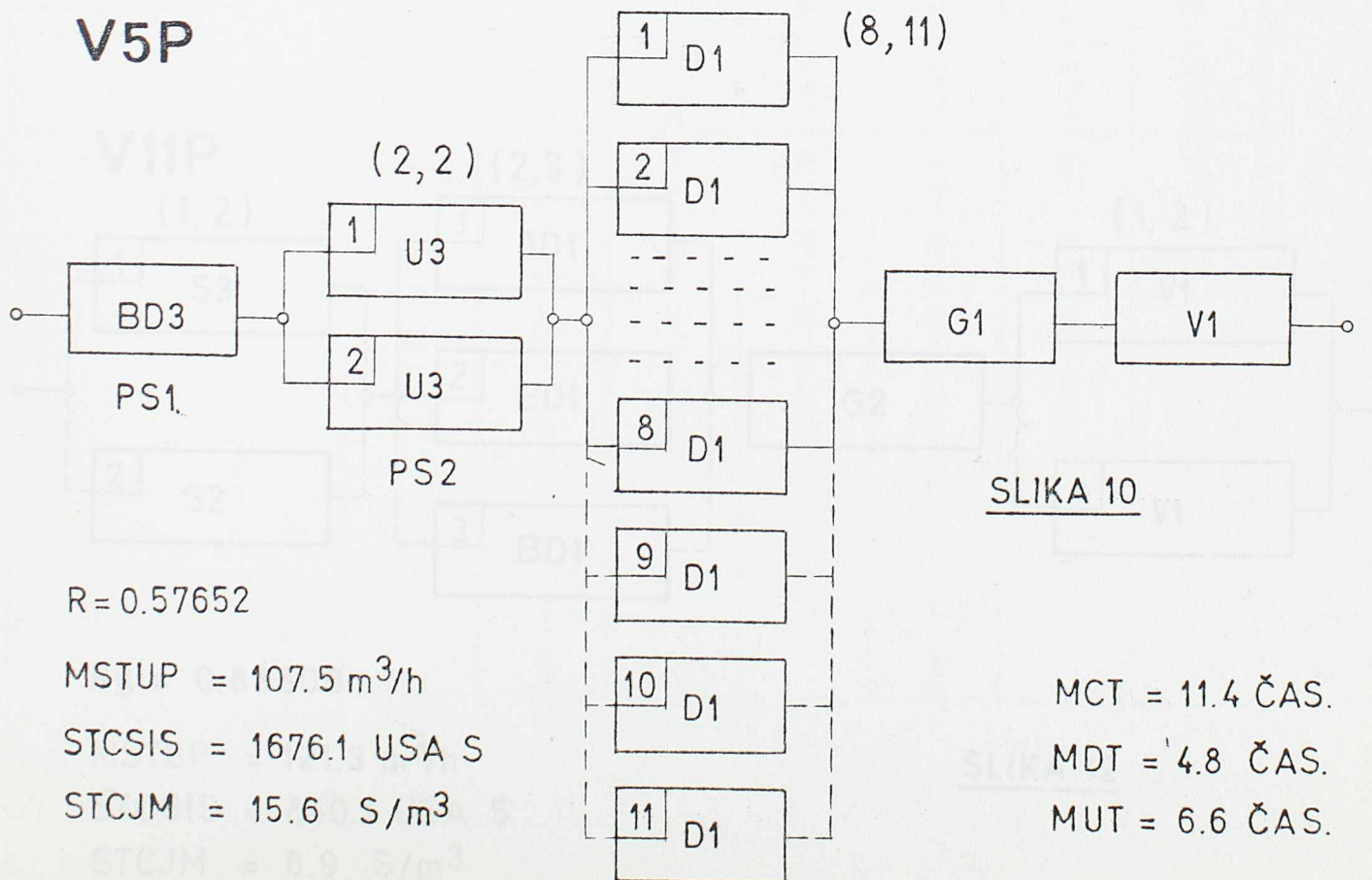
Varijante za optimizaciju	Uslov ograničenja po ceni [€]	Aktivna paralelna (K,N) veza						Pasivna paralelna (K,N) veza					
		min dop	Pouzdanost	min stvl				min dop	Pouzdanost	min stvl			
		UP [m3/h]	R	MSTUP [m3/h]	PLCSIS [€]	STCSIS [€]	STCJM [€/m3]	UP [m3/h]	R	MSTUP [m3/h]	PLCSIS [€]	STCSIS [€]	STCJM [€/m3]
V1	1750	90.00	0.48372	90.00	1766.6	1850.4	20.60	100.00	0.67619	107.70	1798.0	1917.0	17.80
		BD2 + (3,3)U1 + (9,12)D1 + G1 + (1,1)V1						BD3 + (3,4)U1 + (10,14)D1 + G1 + (1,1)V1					
V2	1950	90.00	0.47940	90.00	1990.4	2041.2	22.70	90.00	0.53841	90.00	1871.8	2030.3	22.60
		BD2 + (3,3)U1 + (7,9)D2 + G1 + (1,1)V1						BD2 + (3,3)U1 + (7,10)D2 + G1 + (1,1)V1					
V3	1650	100.00	0.44510	101.30	1693.4	1789.0	17.70	100.00	0.73769	100.80	1703.9	1815.0	16.70
		BD3 + (2,2)U2 + (9,11)D1 + G1 + (1,1)V1						BD3 + (2,4)U2 + (9,12)D1 + G1 + (1,1)V1					
V4	1800	100.00	0.40760	91.50	1805.0	1891.0	20.70	100.00	0.55058	101.30	1833.9	1956.6	19.30
		BD2 + (2,2)U2 + (7,8)D2 + G1 + (1,1)V1						BD3 + (2,2)U2 + (7,9)D2 + G1 + (1,1)V1					
V5	1570	90.00	0.47574	108.90	1663.1	1708.9	15.70	100.00	0.57652	107.50	1527.9	1676.1	15.60
		BD3 + (2,2)U3 + (8,10)D1 + G1 + (1,1)V1						BD3 + (2,2)U3 + (8,11)D1 + G1 + (1,1)V1					
V6	1660	100.00	0.44383	96.70	1663.1	1758.6	18.20	100.00	0.57002	105.90	1691.9	1820.9	17.20
		BD2 + (2,2)U3 + (6,7)D2 + G1 + (1,1)V1						BD3 + (2,2)U3 + (6,8)D2 + G1 + (1,1)V1					
V7	1610	100.00	0.47574	108.90	1666.2	1754.8	16.10	100.00	0.57652	108.90	1580.8	1723.3	15.80
		BD3 + (2,2)U4 + (8,10)D1 + G1 + (1,1)V1						BD3 + (2,2)U4 + (8,11)D1 + G1 + (1,1)V1					
V8	1700	100.00	0.42180	95.90	1598.7	1696.5	17.70	90.00	0.54195	95.10	1550.4	1698.9	17.90
		BD2 + (1,1)U4 + (6,7)D2 + G1 + (1,1)V1						BD2 + (1,2)U4 + (6,7)D2 + G1 + (1,1)V1					
V9	860	100.00	0.63088	101.70	751.0	900.4	8.90	100.00	0.85404	117.20	738.4	819.3	7.00
		(2,3)S1 + (2,2)BD1 + G2 + (1,1)V1						(2,3)S1 + (2,3)BD1 + G2 + (1,1)V1					
V10	925	100.00	0.64347	108.90	882.1	1024.6	9.40	100.00	0.86607	121.30	850.1	923.3	7.60
		(2,3)S2 + (2,2)BD1 + G2 + (1,1)V1						(2,3)S2 + (2,3)BD1 + G2 + (1,1)V1					
V11	794	100.00	0.66425	108.90	852.6	981.6	9.00	100.00	0.88006	121.30	775.5	840.1	6.90
		(2,3)S3 + (2,2)BD1 + G2 + (1,1)V1						(1,2)S3 + (2,3)BD1 + G2 + (1,1)V1					

# V5A



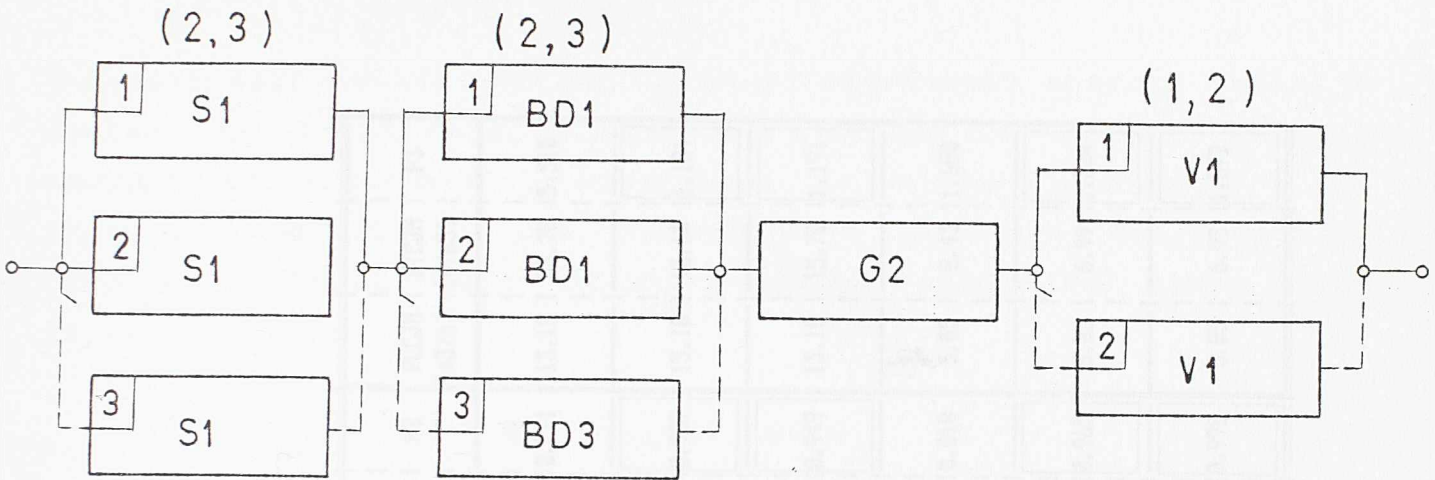
SLIKA 9

# V5P



SLIKA 10

# V9P



$R_S = 0.85404$

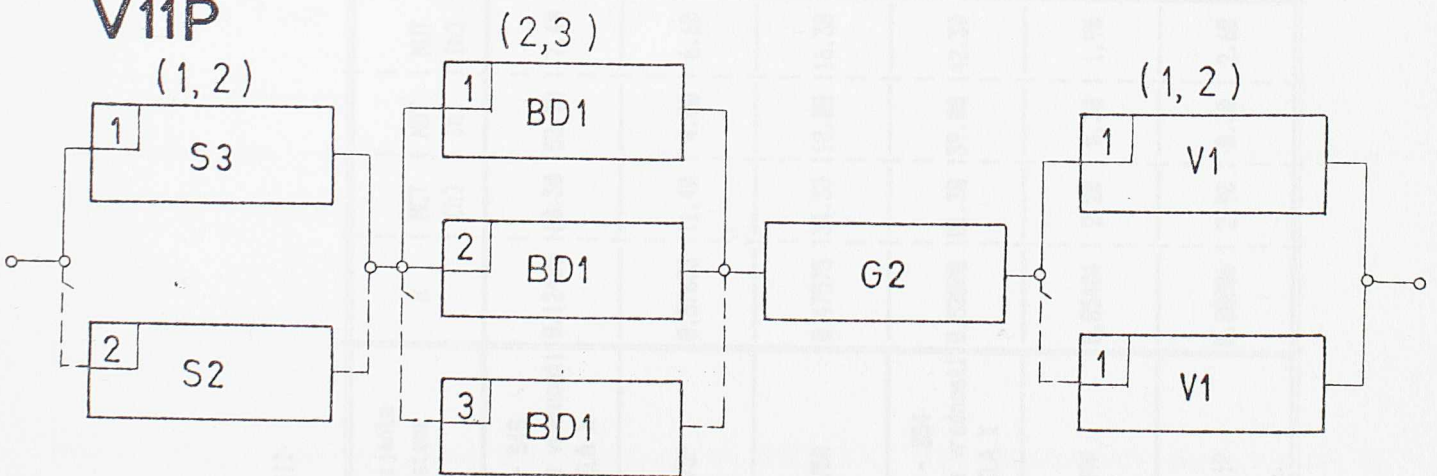
$MSTUP = 117.2 \text{ m}^3/\text{h}$

$STCSIS = 819.3 \text{ USA } \$$

$STCJM = 7.0 \text{ S}/\text{m}^3$

SLIKA 11

# V11P



$R_S = 0.88806$

$MSTUP = 121.3 \text{ m}^3/\text{h}$

$STCSIS = 840.1 \text{ USA } \$$

$STCJM = 6.9 \text{ S}/\text{m}^3$

SLIKA 12

TABELA XIII

Varijante sistema	R	MCT [h]	MDT [h]	MUT [h]	PLCSIS [\$]	STCSIS [\$]	F1 [\$]	PLANUP [m <sup>3</sup> /h]	MSTUP [\$/m <sup>3</sup> ]	F2	PLCJM [m <sup>3</sup> /h]	STCJM [\$/m <sup>3</sup> ]	F3
S1 - S48 Ocekivane vrednosti TABELA X	0.12465	160.30	52.90	7.40	1508.8	1698.8	1.126	114.70	24.10	0.211	13.18	73.28	5.510
VSP	0.57653	111.40	4.80	6.60	1508.8	1675.9	1.111	114.70	107.50	0.937	13.18	15.60	1.184
V5A	0.47575	134.30	18.00	16.30	1508.8	1708.5	1.132	114.70	108.90	0.949	13.18	15.70	1.191
S49 - S54 Ocekivane vrednosti TABELA X	0.52080	181.30	39.00	42.30	613.5	832.5	1.357	121.50	99.40	0.818	5.05	8.43	1.680
V9P	0.85404	2.20	0.30	1.90	613.5	819.3	1.335	121.50	117.20	0.965	5.05	6.99	1.384
V11P	0.88806	2.90	0.30	2.60	613.5	840.0	1.369	121.50	121.30	0.998	5.05	6.93	1.372

nekih i na  $90\text{m}^3/\text{h}$ .

U tabeli XIII dat je uporedni pregled očekivanih efekata funkcije sistema za slučaj kada se sistem projektuje bez analize uticaja pouzdanosti elemenata i podsistema na njegovu funkciju i sa analizom tog uticaja uz sprovođenje postupka optimizacije. Dovoljno je istaći da je  $\Delta T$  za optimalno rešenje VSP manje od  $\Delta T$  iz tabele X, tj.

$$\Delta T_{VSP} = 167.1 \$ < \Delta T_{T-X} = 190.0$$

odnosno

$$F1_{VSP} = 1.111 < F1_{T-X} = 1.126$$

i analogno, za optimalno rešenje V9P

$$\Delta T_{V9P} = 205.8 \$ < \Delta T_{T-X} = 219.0$$

odnosno

$$F1_{V9P} = 1.335 < F1_{V9P} = 1.357$$

uz istovremeno veliko povećanje pouzdanosti sistema, odnosno verovatnoće ispunjenja zadate funkcije cilja, i smanjenje vrednosti faktora F2 i F3.

## 5. ZAKLJUČAK

Pored formiranog programa datog u *PRILOG II* značajan deo rada u ovom poglavlju posvećen je uporednoj analizi efekata primene aktivne, odnosno pasivne strukture pri alokaciji redundansi. Ta analiza je pokazala da je povoljnija primena pasivne paralelne strukture tipa (K,N). Naravno, ovaj zaključak važi samo za one sisteme, odnosno podsisteme, kod kojih elementi skoro trenutno mogu iz tzv. "hladnog stanja" da stupe u funkciju, što i jeste

karakteristika većine elemenata u građevinskim proizvodnim sistemima.

Podaci dati u tabeli XIII predstavljaju rekapitulaciju rezultata rada i primene izloženog i analiziranog metodološkog pristupa u poglavljima IV, V, VI i VII. Oni nedvosmisleno ukazuju na neophodnost primene ovakvog pristupa projektovanju i planiranju funkcije proizvodnih sistema u građevinarstvu.

## VIII ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

### 1 UVOD

U poglavljima IV i VI je izložena teorijska osnova, a u poglavljima V i VII formiran model i predložena su konkretna primere, prikazana primena metodološkog pristupa analizi i optimizaciji proizvodnih sistema u građevinarstvu. U ovom poglavlju su definisane sve bitne pretpostavke i polazni stavovi, i dati su komentari ključnim izrazima i rešenjima, tako da se oni ovde mogu naći u potpunosti. Međutim, ostalo je ostavljeno za definisanje procedure u rešavanju ovog problema. To je i osnovni problem razmatranja u ovom poglavlju, a u poglavlju su predložene procedure na konkretnom primeru, kao što je izloženo u poglavlju. U ovom poglavlju su predložene procedure na konkretnom primeru, kao što je izloženo u poglavlju. U ovom poglavlju su predložene procedure na konkretnom primeru, kao što je izloženo u poglavlju.

## 2. PROCEDURA ZA ANALIZU I OPTIMIZACIJU POUZDANOSTI PROIZVODNIH SISTEMA U GRAĐEVINARSTVU

Prvi korak u proceduri za analizu i optimizaciju pouzdanosti proizvodnih sistema u građevinarstvu predstavlja postupak tehnološke optimizacije. Da bi taj korak bilo uspješno izvršen potrebno je prethodno definisati tehnološki proces, uočiti sve postupke i operacije, kao i radna mesta, a potom na osnovu uvida u potrebne i raspoložive resurse prikupiti podatke i izvršiti proračun karakterističnih vrednosti i pokazatelja funkcije budućih elemenata sistema:

- planirano godišnje opterećenje,
- planirane prodajne cene rada,
- intenziteta otkaza,
- intenziteta popravke,
- raspoloživi materijal i sredstva,

### VIII ZAKLJUCNA RAZMATRANJA

#### 1 UVOD

U poglavljima IV i VI je izložena teorijska osnova, a u poglavljima V i VII formiranjem modela i proračunima za konkretne primere, prikazana primena metodološkog pristupa analizi i optimizaciji pouzdanosti proizvodnih sistema u građevinarstvu. Tu su definisane sve bitne pretpostavke i polazni stavovi, i dati komentari dobijenih izraza i rešenja, tako da se oni ovde neće ni ponavljati. Medjutim, ostalo je otvoreno pitanje definisanja procedure u rešavanju ovog problema. To je i osnovni predmet razmatranja u ovom poglavlju, a uz primenu usvojene procedure na konkretnom primeru još jednom je izvršena uporedna analiza efekata alokacije redundansi putem aktivne i pasivne paralelne strukture tipa (K,N).

## 2. PROCEDURA ZA ANALIZU I OPTIMIZACIJU POUZDANOSTI PROIZVODNIH SISTEMA U GRADJEVINARSTVU

Prvi korak u proceduri za analizu i optimizaciju pouzdanosti proizvodnih sistema u gradjevinarstvu predstavlja postupak tehnološke optimizacije. Da bi taj korak bio uspešno izvršen potrebno je prethodno definisati tehnološki proces, uočiti sve postupke i operacije, kao i radna mesta, a potom na osnovu uvida u potrebne i raspoložive resurse prikupiti podatke i izvršiti proračun karakterističnih vrednosti i pokazatelja funkcije budućih elemenata sistema:

- planiranog rezultata rada,
- planirane prodajne cene rada,
- intenziteta otkaza,
- intenziteta popravke,
- raspoloživosti elemenata,
- troškova osnovnog sredstva,
- troškova radne snage i
- planirane realizacije na ime režije i dobiti. (Tabela III)

Raspolažući ovim podacima i koristeći već izložen pristup, moguće je formirati sva varijantna rešenja strukture sistema koja svojom funkcijom sa aspekta planiranog rezultata rada obezbedjuju zahtevani rezultat. Ovaj postupak je sproveden u tabelama IV i V, i prikazan na sl.5 do sl.8.

Na osnovu varijantnih rešenja strukture sistema u *drugom koraku* se formiraju varijante za optimizaciju pouzdanosti sistema (tabela XI). Korišćenjem programa za optimizaciju pouzdanosti sistema (prilog II) u ovom koraku se sprovodi i sam postupak optimizacije, pri čemu se polazi od toga da su poznate granice u kojima se kreće vrednost faktora  $F_r$  i koeficijenata  $K_j$ , a usvaja da su donje granice rezultata rada jednake zahtevanom rezultatu. Izbor optimalnog rešenja vrši se na osnovu stvarne vrednosti prodajne cene po jedinici mere rezultata rada (STCJMD). Pošto je stvarna cena po jedinici mere jednaka odnosu stvarne prodajne cene rada



systema i stvarnog rezultata rada u čijem proračunu osnovni uticaj ima pouzdanost pojedinih podsistema i sistema u celini, za optimalno rešenje se usvaja ono rešenje kod kojeg je ta vrednost minimalna. Izborom optimalnog rešenja definiše se za pojedine podsisteme:

- struktura,
- pouzdanost,
- minimalni stvarni rezultat rada i
- planirana prodajna cena,

a za sistem:

- pouzdanost,
- minimalni stvarni rezultat rada,
- stvarna prodajna cena rada sistema i
- stvarna cena po jedinici mere rezultata rada.

U trećem koraku se korišćenjem programa za analizu raspoloživosti (PRILOG 1) vrši proračun pokazatelja raspoloživosti pojedinih podsistema i sistema u celini. Na osnovu proračunatih podataka moguće je sagledati ponašanje sistema i planirati njegovo održavanje. Vrednosti *MCT*, *MDT* i *MUT* za sve podsisteme i sistem u celini obezbeđuju potpun uvid u učestalost i trajanje karakterističnih stanja.

Prethodna tri koraka obuhvataju proceduru za izbor optimalnog rešenja sa stanovišta zahtevanog rezultata rada i proračun njegovih pokazatelja raspoloživosti. Da bi se mogli konstruisati dijagrami koji reprezentuju odnos (*MSTUP*, *STCSIS*) i (*STCJM*, *STCSIS*) u svim fazama funkcije izabranog rešenja strukture sistema, u prvom delu četvrtog koraka se formiraju strukturne podvarijante optimalnog rešenja koje sa aspekta *PLANUP* zadovoljavaju pojedine vrednosti rezultata rada. Te vrednosti pripadaju intervalu  $[i_1 \cdot UP; i_2 \cdot UP]$ , gde je *UP* zahtevani rezultat rada, a  $i_1 < 1; i_2 > 1$ . U drugom delu četvrtog koraka se primenom programa za optimizaciju pouzdanosti (PRILOG II) optimiziraju razmatrane podvarijante i na osnovu dobijenih rezultata konstruišu

dijagrami koji jasno iskazuju zavisnost MSTUP, STCSIS i STCJM što se može videti i na primeru u tački 3.

### 3. UPOREDNA ANALIZA EFEKATA PRIMENE AKTIVNE I PASIVNE STRUKTURE TIPRA (K,N)

Rezultati analize konkretnog primera u ovom radu su zaokruženi izborom optimalnih rešenja strukture sistema za PS2 i PS3, odnosno PS1 i PS4 (sl.2). U tabeli XIII dat je uporedni prikaz kvantitativnih pokazatelja funkcije po dva varijantna rešenja približnih vrednosti STCJM iz kojeg je evidentno da su optimalna rešenja V5P i V11P. Time su izvršena prva tri koraka u predvidjenoj proceduri, s tim što je drugom koraku prethodila detaljna analiza raspoloživosti i pokazatelja raspoloživosti svih varijantnih rešenja zbog nepoznavanja približnih vrednosti faktora F1. Ovaj deo analize jasno ukazuje da pri alokaciji redundantnih elemenata, kada je kao donja granica u uslovima ograničenja definisan zahtevani rezultat rada UP, treba dati prednost primeni pasivne paralelne strukture tipa (K,N).

Kako je već objašnjeno, proširenjem metode, a samim tim i programom, prvo se zahteva da se alokacijom resursa zadovolje donje granice uslova ograničenja koji definišu rezultat rada, a potom ostali uslovi ograničenja. Pri optimizaciji varijantnih rešenja (V1-V11) dogadjalo se da zbog raspoloživih finansijskih sredstava te donje granice ne mogu biti zadovoljene i program je javljao poruku u tom smislu. Zbog toga su i umanjivane zahtevane vrednosti rezultata rada, jer se želelo zadržati u okviru ukupnih finansijskih sredstava od (PLCSIS+AT), tako da su uvek uslovi ograničenja koji definišu raspoloživa finansijska sredstva bili dominantni u fazi optimizacije pouzdanosti sistema. Time je pored pouzdanosti sistema i veličina MSTUP-minimalni stvarni rezultat rada direktno bila u korelaciji sa raspoloživim finansijskim sredstvima. Obzirom da od postignute vrednosti pouzdanosti sistema zavisi i iznos STCSIS, može se zaključiti da bi sagledavanje medjusobnih uticaja sledećih veličina:

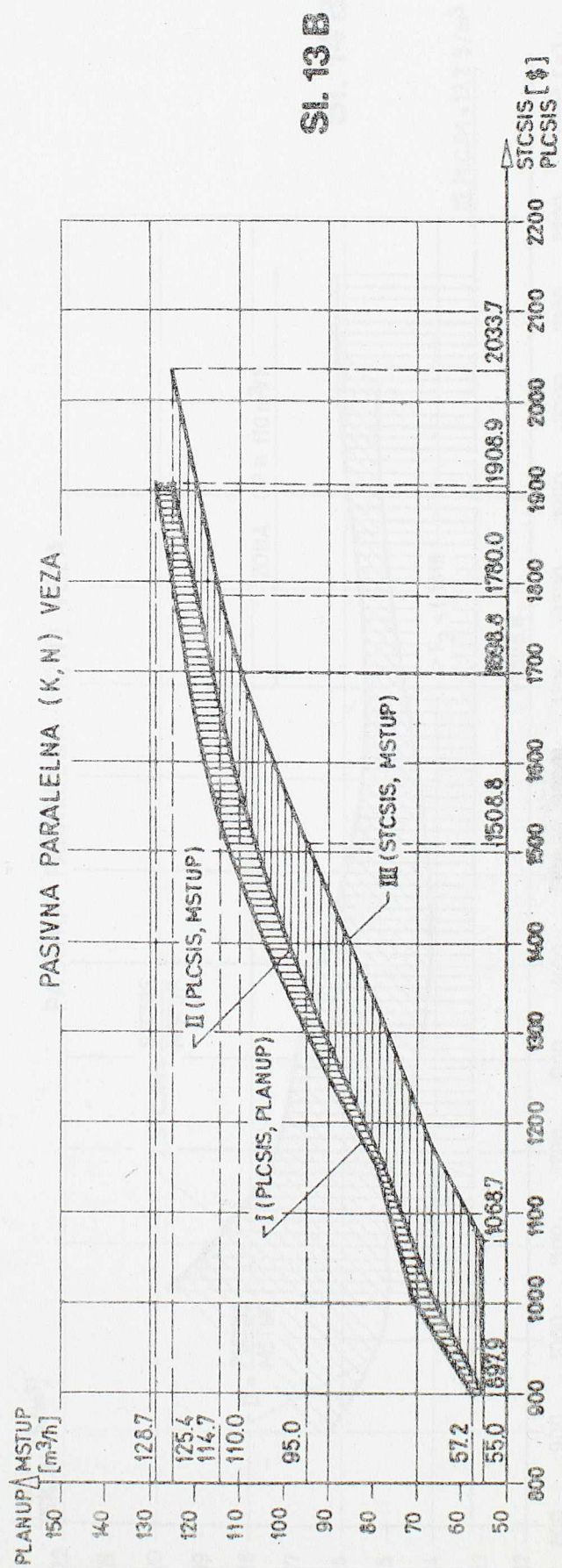
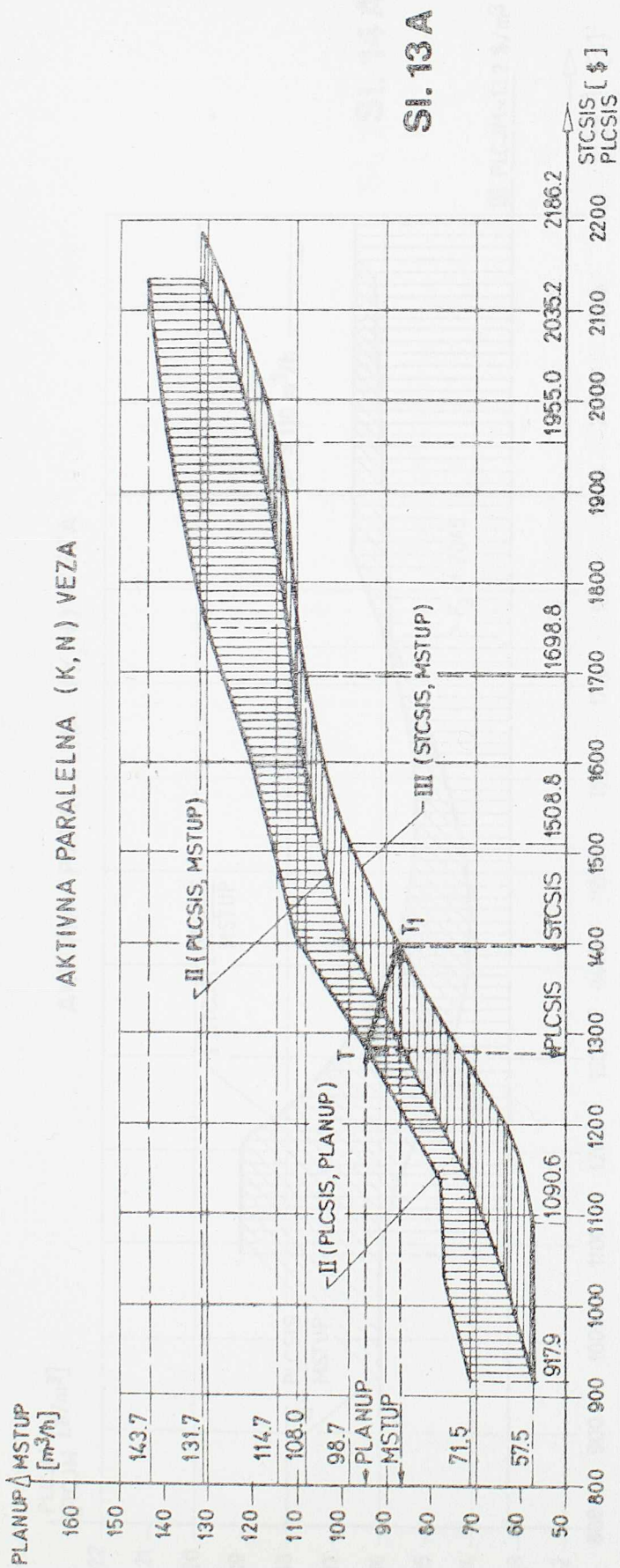
- pouzdanosti sistema (R)
- minimalnog stvarnog rezultata rada (MSTUP)
- stvarne prodajne cene rada sistema (STCSIS) i
- stvarne prodajne cene po jedinici mere (STCJM)

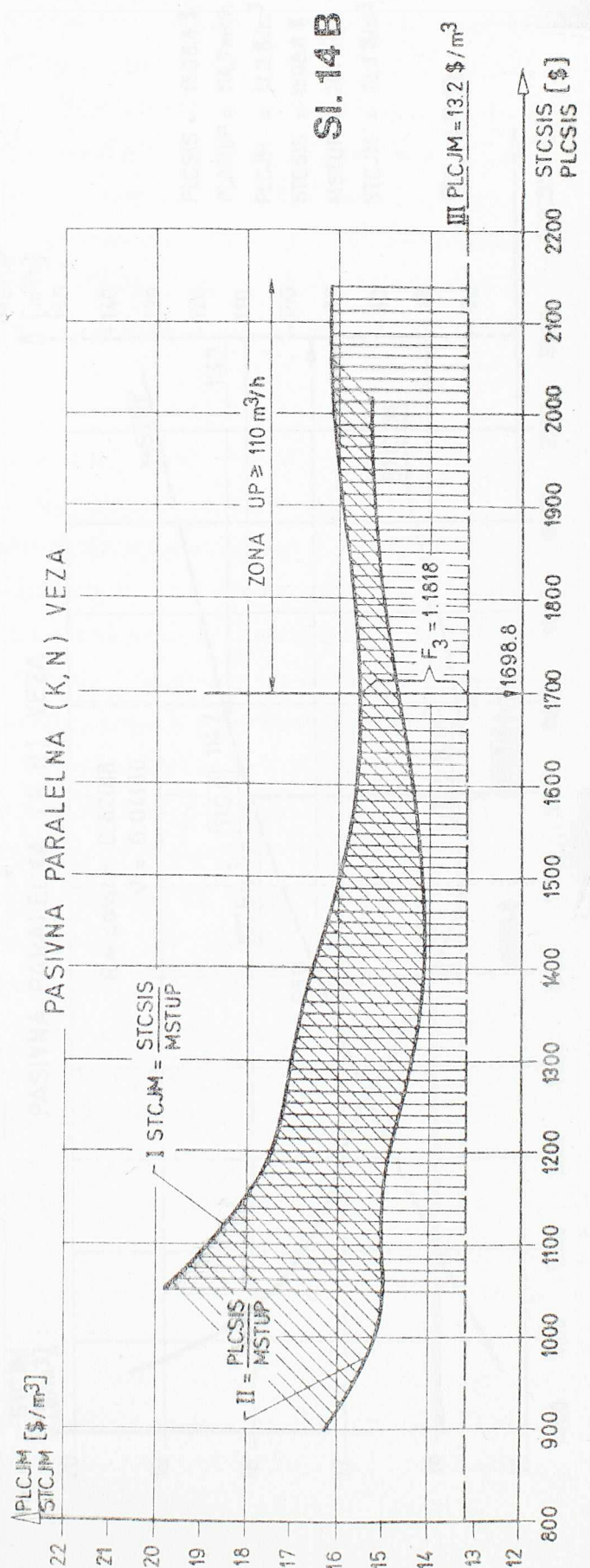
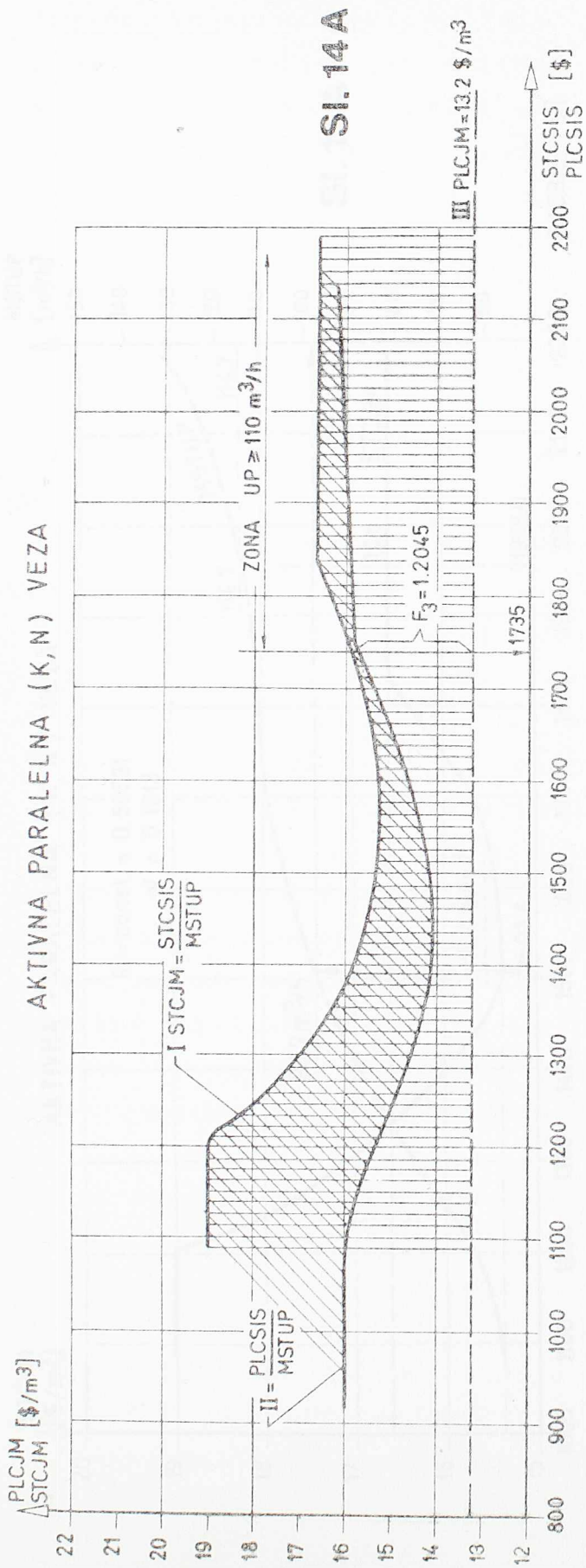
u pojedinim fazama funkcije sistema moglo da da jasnu sliku o ponašanju sistema i njihovih vrednosti u funkciji promene vrednosti neke od njih. MSTUP kao jedan od osnovnih kvantitativnih pokazatelja rezultata funkcije sistema predstavlja rezultat rada, ali i parametar za poredjenje uspešnosti optimiziranih varijantnih rešenja. Sa povećanjem pouzdanosti sistema njegova vrednost se približava stvarnoj vrednosti rezultata rada. Posmatrajući sa aspekta projektovanja i planiranja funkcije proizvodnog sistema, značajno je sagledati njegove stvarne vrednosti u situaciji kada se sistem, uzimajući u obzir zadati rezultat rada, nalazi u otkazu. Polazeći od toga da sistem u stanju otkaza sa aspekta zahtevanog rezultata rada i dalje funkcioniše i ostvaruje odredjenu proizvodnju, u četvrtom koraku definisane procedure je predvidjen proračun vrednosti kvantitativnih pokazatelja, kao i vrednosti njihovih promena u odnosu na promenu MSTUP. Time se projektantu i planeru funkcije proizvodnog procesa obezbeđuju osnovni ulazni podaci neophodni za uspešnu realizaciju njihovog posla.

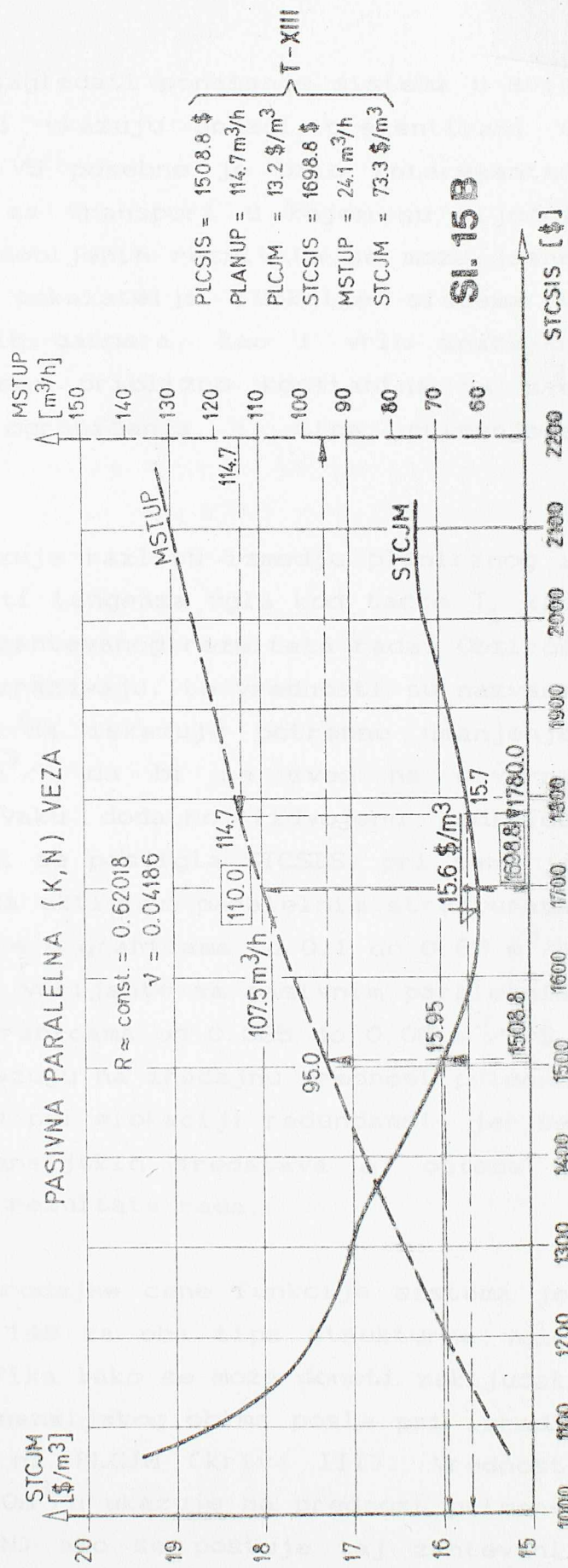
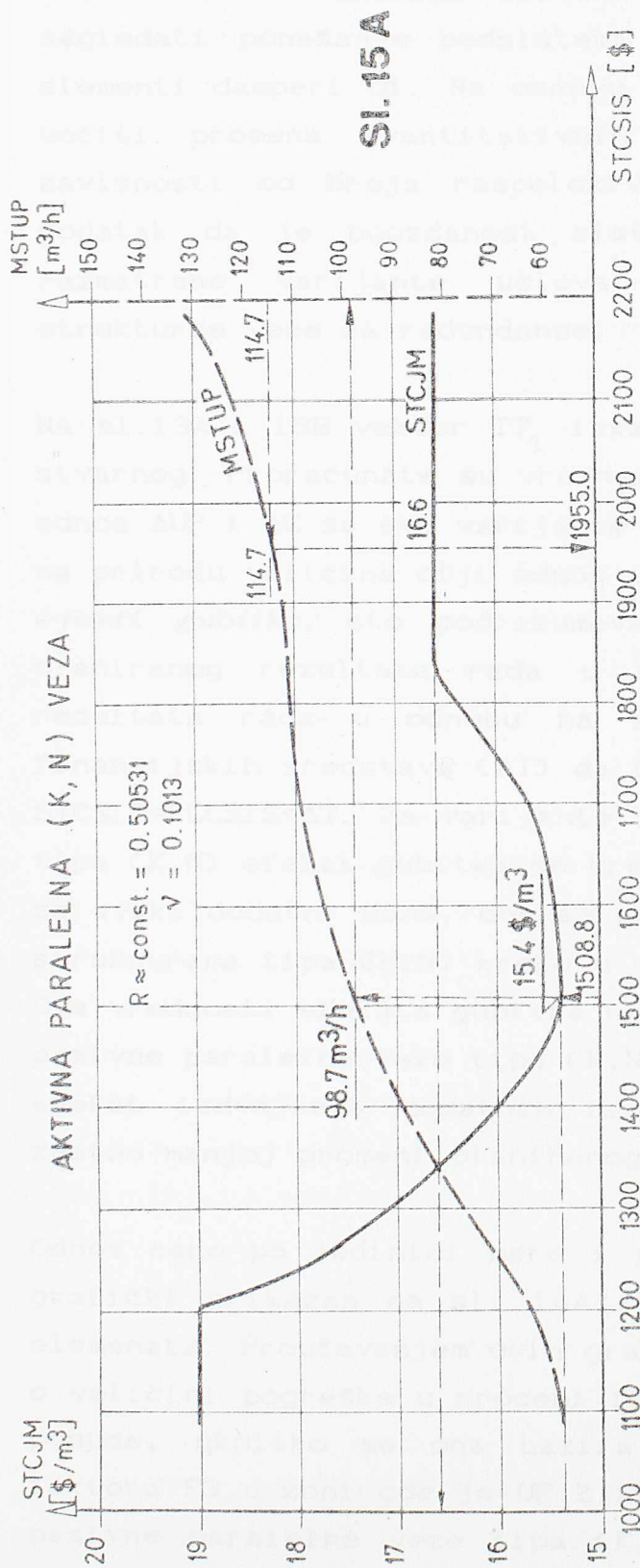
Rezultati ove analize za usvojeno optimalno rešenje  $V_5$  su dati u tabeli XIV i grafički prezentirani na sl.13A-sl.15B. Tu su prikazani rezultati uporedne analize varijantnih rešenja sistema  $V_5$  sa aktivnim i pasivnim paralelnim strukturama tipa (K,N). Analiza je sprovedena korišćenjem programa za optimizaciju pouzdanosti sistema i to tako što je donja granica rezultata rada, odnosno slobodni član uslova ograničenja koji definišu zahtevani rezultat rada, pomerana od  $50\text{m}^3/\text{h}$  do  $120\text{m}^3/\text{h}$ , dok je vrednost slobodnog člana u uslovu ograničenja koji se odnosi na raspoloživa finansijska sredstva bila nepromenjena. Jasno je da su uslovi ograničenja po rezultatima rada bili dominantni u fazi optimizacije pouzdanosti.

TABELA XIV

minimalni dopusteni	Aktivna paralelna (K,N) veza					Pasivna paralelna (K,N) veza				
	Pouzdanostimin stvi					Pouzdanostimin stvi				
	R	MSTUP	PLCSIS	STCSIS	STCJM	R	MSTUP	PLCSIS	STCSIS	STCJM
[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[%]	[%]	[%/m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /h]	[%]	[%]	[%]	[%/m <sup>3</sup> ]	
50	0.53311	57.50	917.9	1090.6	19.00	0.63821	55.00	897.9	1068.7	19.40
	BD2 + (1,1)U3 + (4,5)D1 + G1 + (1,1)V1					BD2 + (1,1)U3 + (4,6)D1 + G1 + (1,1)V1				
60	0.48868	62.20	1028.7	1203.3	19.00	0.62031	66.90	1008.7	1177.1	17.60
	BD2 + (1,1)U3 + (5,6)D1 + G1 + (1,1)V1					BD2 + (1,1)U3 + (5,7)D1 + G1 + (1,1)V1				
70	0.59975	72.00	1139.6	1264.8	17.60	0.64759	77.40	1154.8	1312.3	17.00
	BD2 + (1,1)U3 + (5,7)D1 + G1 + (1,1)V1					BD2 + (1,2)U3 + (6,8)D1 + G1 + (1,1)V1				
90	0.53355	98.70	1403.8	1517.8	15.40	0.58564	96.00	1366.7	1532.2	15.90
	BD2 + (2,2)U3 + (6,8)D1 + G2 + (1,1)V1					BD2 + (2,2)U3 + (7,10)D1 + G2 + (1,1)V1				
100	0.47574	108.90	1613.3	1708.9	15.70	0.57652	107.50	1527.9	1676.1	15.60
	BD3 + (2,2)U3 + (8,10)D1 + G2 + (1,1)V1					BD3 + (2,2)U3 + (8,11)D1 + G2 + (1,1)V1				
110	0.43065	110.90	1747.1	1834.7	16.60	0.63413	117.10	1731.2	1853.4	15.80
	BD3 + (2,2)U3 + (8,10)D1 + G2 + (2,2)V1					BD3 + (2,2)U3 + (9,12)D1 + G2 + (2,2)V1				
120	0.47369	131.70	2135.3	2186.2	16.60	0.63883	125.40	1908.9	2033.7	16.22
	BD4 + (2,2)U3 + (10,13)D1 + G2 + (2,2)V1					BD4 + (2,3)U3 + (9,13)D1 + G2 + (2,2)V1				







T-XIII

PLCSIS = 1508.8 \$
PLANUP = 114.7 $m^3/h$
PLCJM = 13.2 $\$/m^3$
STCSIS = 1698.8 \$
MSTUP = 24.1 $m^3/h$
STCJM = 73.3 $\$/m^3$

Ovim postupkom se može potpuno sagledati ponašanje sistema u svim fazama njegove funkcije, što i ukazuju podaci prezentirani u tabeli XIV. U analizi sistema V5 posebno je bilo interesantno sagledati ponašanje podsistema za transport u kojem su ključni elementi damperi D1. Na osnovu dobijenih rezultata se može jasno uočiti promena kvantitativnih pokazatelja funkcije sistema u zavisnosti od broja raspoloživih dampera, kao i vrlo značajan podatak da je pouzdanost sistema približno konstantna za sve razmatrane varijante uslova ograničenja i tipa primenjene strukturne veze za redundanse.

Na sl.13A i 13B vektor  $\vec{TT}_1$  iskazuje razliku između planiranog i stvarnog. Proračunate su vrednosti tangensa ugla kod tačke  $T_1$  kao odnos  $\Delta UP$  i  $\Delta C$  za sve varijante zahtevanog rezultata rada. Obzirom na prirodu veličina čiji odnos izražavaju, te vrednosti su nazvane *efekti gubitka*, što podrazumeva da iskazuju potrebno umanjeње planiranog rezultata rada u  $m^3/h$  da bi se sveo na stvarni rezultat rada u odnosu na svaku dodatno izdvojenu jedinicu finansijskih sredstava ( $\Delta T$ ) da bi se postigla STCSIS, pri čemu je  $STCSIS = PLCSIS + \Delta T$ . Za varijante sa aktivnim paralelnim strukturama tipa (K,N) efekat gubitka se kreće u granicama od 0.1 do  $0.25 m^3/h$  za svaki dodatni USA\$, dok se za varijante sa pasivnim paralelnim strukturama tipa (K,N) kreće u granicama od 0.025 do  $0.06 m^3/h/\$$ . Ove vrednosti efekata gubitka ukazuju na značajnu prednost primene pasivne paralelne veze tipa (K,N) pri alokaciji redundansi, jer se efekat izdvajanja dodatnih finansijskih sredstava  $\Delta T$  ogleda u znatno manjoj promeni planiranog rezultata rada.

Odnos cene po jedinici mere i prodajne cene funkcije sistema je grafički prikazan na sl. 14A i 14B za oba tipa strukturne veze elemenata. Proučavanjem ovih grafika lako se može doneti zaključak o veličini pogreške u proceni finansijskog obima posla pri izradi ponude, ukoliko se ona bazira na PLCJM (kriva III). Vrednost faktora F3 u zoni gde je  $UP \geq 110 m^3/h$  ukazuje na prednost primene pasivne paralelne veze tipa (K,N) ako se poštuje taj zahtevani rezultat rada.

Rekapitulacija dobijenih rezultata u koraku IV je data grafičkim



prikazom na sl.15A i 15B. Na ovim slikama se može u potpunosti sagledati međusobna veza i uticaj osnovna četiri kvantitativna pokazatelja funkcije proizvodnog sistema. Prvi zaključak je da je postignuta pouzdanost u svim fazama funkcije sistema približno konstantna u oba slučaja što pokazuju i male vrednosti koeficijenta varijacije, pri čemu je pouzdanost varijante sistema sa pasivnima paralelnim strukturama tipa (K,N) veća ( $R=0.62018$ ) i sa znatno manjim koeficijentom varijacije. Polazeći od toga da se u procesu donošenja odluka projektanti i planeri funkcije proizvodnih sistema mogu opredeliti za odluku da ne prekoračuju planirana sredstva, ili za odluku da obavezno moraju ostvariti planirani rezultat rada, mogu se doneti sledeći zaključci:

1. Povoljnije je primeniti aktivnu paralelnu vezu tipa (K,N) pri alokaciji redundansi ukoliko ne mogu da se prekorače planirana finansijska sredstva - PLCSIS. Tada je stvarni rezultat rada ( $98.7 \text{ m}^3/\text{h}$ ) manji od planiranog, ali je stvarna cena rada sistema jednaka planiranoj ( $1508.8 \$$ ).

2. Ukoliko se želi ostvarenje planiranog rezultata rada ( $110 \text{ m}^3/\text{h}$ ) povoljnije je primeniti pasivnu paralelnu vezu tipa (K,N), jer je stvarna cena funkcije sistema ( $STCSIS=1698.8$ ) u tom slučaju znatno manja od cene za aktivnu vezu.

Sigurno da je izuzetno značajno pitanje o tome kod kojeg tipa veze je veći *efekat ulaganja* dodatnih finansijskih sredstava. Na ovo pitanje je već delimično odgovoreno u tački 2. prethodnog zaključka, a proračunom priraštaja

$$\Delta \text{ MSTUP}$$


---


$$\Delta \text{ STCSIS}$$

za reperne vrednosti  $STCSIS=PLCSIS=1508.8\$$  i  $MSTUP=PLANUP =114.7 \text{ m}^3/\text{h}$  dobija se da je za aktivnu vezu

$$\text{tg } \varphi = \frac{16}{446.2}$$

$$= 0.03586 \text{ m}^3/\text{h}/\text{\$}$$

odnosno za pasivnu vezu

$$\text{tg } \varphi = \frac{19.7}{271.2}$$

$$= 0.0726 \text{ m}^3/\text{h}/\text{\$}$$

što znači da je efekat ulaganja 2.03 puta veći kod primene pasivne strukture za alocirane redundanse. Ovo je najbitniji zaključak sprovedene analize u okviru četvrtog koraka procedure za analizu i optimizaciju pouzdanosti proizvodnih sistema u građevinarstvu. Polazeći od PLCSIS kao reперne vrednosti, može se zaključiti da svaki dodatni iznos angažovanih finansijskih sredstava rezultuje na posmatranom primeru 2.03 puta većim povećanjem stvarnog rezultata rada funkcije sistema ukoliko se pri alokaciji redundantnih elemenata primenjuju pasivne paralelne strukture tipa (K,N), a ne aktivne.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom poglavlju su na konkretnom primeru posebno analizirani postupci i rezultati četvrtog koraka procedure za analizu i optimizaciju pouzdanosti proizvodnog sistema, kao i efekti primene aktivne, odnosno pasivne paralelne strukture tipa (K,N) pri alokaciji redundansi. Zaključeno je da su mnogo povoljniji efekti primene pasivne paralelne veze tipa (K,N).

Pomoću programa za elektronski računar (PRILOG I i II) formiranih na bazi teorijskog pristupa i razvijene metodologije u poglavljima IV i VI, moguće je u potpunosti i efikasno izvršiti analizu i optimizaciju pouzdanosti proizvodnih sistema u građevinarstvu uz poštovanje definisane procedure u tački 2. ovog poglavlja. Izbor optimalnog rešenja i proračun kvantitativnih pokazatelja njegove funkcije predstavlja rezultat rada u prva tri koraka usvojene procedure, dok se u četvrtom koraku u potpunosti sagledava ponašanje tog sistema u svim fazama njegove funkcije sa aspekta

stvarnog rezultata rada, kao i efekti i uticaj promene stvarnog rezultata rada na ostale pokazatelje funkcije sistema. Svi rezultati praktičnog primera svojim vrednostima i odnosom planiranog i stvarnog, u potpunosti potvrđuju opravdanost primene ovakvog pristupa projektovanju i planiranju funkcije proizvodnih sistema u građevinarstvu.

Kvalitet dobijenih rezultata i njihova verodostojnost zavisi od kvaliteta usvojenih tehnoloških rešenja i verodostojnosti proračunatih i prikupljenih podataka o mogućim elementima analiziranog proizvodnog sistema. Zbog toga je u tački 3. poglavlja IV istaknut značaj prethodne studije mogućih tehnoloških rešenja i formiranja informacionog sistema sa bazama podataka o ostvarenim rezultatima funkcije pojedinih elemenata i sličnih proizvodnih sistema. Korišćenjem te baze istorijskih podataka i rezultata izvršenih proračuna po predloženoj proceduri za analizu i optimizaciju pouzdanosti sistema, stvaraju se uslovi za valjano donošenje odluka ne samo u fazi projektovanja i planiranja funkcije proizvodnih sistema, nego u upravljanju Projektom u celini.

6. Rajaraj, N.J.

In the Reliability, Proceedings - 7th Advances in Reliability Technology Symposium, pp. 43-51-52, University of Bradford, 1982.

Integration of Reliability, Maintainability and Quality Parameters in Design, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale 1983.

7. Banerjee, S.K.  
Rajamani, K.

Parametric representation of probability in two dimensions - a new approach in system reliability evaluation, IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-21, No. 1, pp. 36-40 (1972)

8. Banerjee, S.K.  
Rajamani, K.

Optimization of system reliability using a parametric approach, IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-22, No. 1, pp. 35-36 (1973)

9. Banerjee, S.K.  
Rajamani, K.

Closed form solutions for delta star and star-delta conversions of reliability networks, IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-25, No. 2, pp. 118-119 (1976)

## LITERATURA

1. Aggarwall, K.K. Redundancy optimization in general systems, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-25, No 5, pp. 330 - 331 (1976)
2. Aggarwall, K.K. Gupta, J.S. On minimizing the cost of reliable systems, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-24, pp 205 (1975)
3. Aggarwall, K.K. Rai, S. An efficient method for reliability evaluation of a general network, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-27, No. 3, pp. 206 - 205 (1978)
4. Alam, M. Sarma, V.V.S. An application of optimal control theory to repairman problem with machine interference, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-26, No. 2, pp. 121 - 123 (1973)
5. Alan, R.N. Billinton, R. Effect of common mode, common environment and other common factors in the reliability, *Proceedings - 7th Advances in Reliability Technology Symposium*, pp. 4B/2/1-10, University of Bradford, 1982.
6. Bajaria, H.J. *Integration of Reliability, Maintainability and Quality Parameters in Design*, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendole 1983.
7. Banerjee, S.K. Rajamani, K. Parametric representation of probability in two dimensions - a new approach in system reliability evaluation, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol R-21, No.1, pp. 56 - 60 (1972)
8. Banerjee, S.K. Rajamani, K. Optimization of system reliability using a parametric approach, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-22, No.1, pp 35-39 (1973)
9. Banerjee, S.K. Rajamani, K. Closed form solutions for delta star and star-delta conversions of reliability networks, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-25, No.2, pp 118-119 (1976)

10. Barlow, R.E.  
Proschan, F. *Statistical Theory of Reliability and Life Testing*, Mc Ardle Press, Silver Spring, 1981.
11. Basu, P.C.  
Templeman, A.B. Structural reliability and its sensitivity, *Civil Engineering Systems*, Vol.2, No.1, pp. 3-11 (1985)
12. Batts, J.R. Computer program for approximating system reliability - part II, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.R-20, No.2, pp. 88-90 (1971)
13. Bellman, R.E.  
Dreyfus, S.E. Dynamic programming and reliability of multicomponent devices, *Operations Research*, Vol.6, pp. 200-206 (1958)
14. Bhattacharyya, M.N. Optimum allocation of stand-by systems, *Operations Research*, pp. 337-343 (1969)
15. Billinton, R.  
Hossain, K.L. Reliability equivalents-basic concepts, *Proceedings-7th Advances in Reliability Technology Symposium*, pp 3b(1)1-11, University of Bradford, 1982.
16. Black, G.  
Proschan, F. On optimal redundancy, *Operations Research*, Vol.7, pp. 249-265 (1962)
17. Brown, D.B. A computerized algorithm for determining the reliability of redundant configurations, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.R-20, No3, pp. 121-124 (1971)
18. Burton, R.M.  
Howard, G.T. Optimal design for system reliability and maintainability, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.R-20, No.2, pp. 56-60 (1971)
19. Butterworth, R. Some reliability fault-testing models, *Operations Research*, pp. 335-343 (1972)
20. Buzacott, J.A. Network approaches to finding the reliability of repairable systems, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.R-19, No.4, pp. 140-145 (1970)
21. Buzacott, J.A. Availability of priority stand-by redundant systems, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.R-20, No.2, pp. 60-63 (1971)

22. Chamow, M.F. Directed graph techniques for the analysis of fault trees, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.R-27, No.1, pp. 7-15 (1978)
23. Chang, E.Y. Bayes analysis of reliability for complex systems, *Operations Research*, Vol.24, pp. 156-168 (1976)  
Thompson, W.E.
24. Christer, A.H. Delay-time model of Reliability of Equipment subject to inspection monitoring, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.38, No.4, pp 329-334 (1987)
25. Cox, D.R. *Renewal Theory*, Butler & Tanner Ltd., London 1970.
26. Cox, D.R. *Applied Statistics-principles and examples*, Chapman and Hall, London 1981.  
Snell, E.J.
27. Cvetković, D. *Teorija grafova i njene primene*, Naučna knjiga, Beograd 1977.  
Milić, M.
28. de Mercado, J. A method for calculation of network reliability, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.R-25, No.2, pp.71-75 (1976)  
Syratos, N.  
Bowen, B.A.
29. Dhillon, B.S. On fault trees and other reliability evaluation methods, *Microelectronics and Reliability*, Vol.19, pp. 57-63 (1979)  
Singh, C.
30. Ditlevsen, O. *Uncertainty Modeling*, McGraw Hill Inc., New York 1981.
31. Dynkin, E.B. *Controlled Markow Processes*, Springer-Verlag, New York 1979.  
Yushkevich, A.A.
32. Ehrenberg, A.S.C. *Data Reduction*, Wiley-Interscience Publication, London 1980.
33. Everett, H. Generalized Lagrange multiplier method for solving problems of optimum allocation of resources, *Operations Research*, Vol.11, pp. 399-417 (1963)
34. Fan, L.T. Optimization of systems reliability, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.R-16, pp. 81-86 (1967)  
Wang, C.S.  
Tillman, F.A.  
Hwang, C.L.

35. Federowicz, A.J.  
Mazumdar, M. Use of geometric programming to maximize reliability achieved by redundancy, *Operations Research*, pp. 948-954 (1968)
36. Feinberg, B.N.  
Chiv, S.S. A method to calculate steady-state distributions of large Markov chains by aggregating states, *Operations Research*, Vol. 35, No.2, pp. 282-290 (1987)
37. Fleming, B.L. Relcomp: a computer program for calculating system reliability and MTBF, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-20, No.3, pp. 102-107 (1971)
38. Frankel, E.G. *Systems Reliability and Risk Analysis*, Martinus Nijhoff Publishers, Hag, 1984.
39. Fyffe, D.E.  
Hines, W.W.  
Lee, N.K. System reliability allocation and a computational algorithm, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-17, No.2, pp. 64-69 (1968)
40. Gadani, J.P.  
Misra, K.B. Availability of k-out-of-m repairable system with non-identical elements, *Microelectronics and Reliability*, Vol. 19, pp. 65-71 (1979)
41. Geisler, M. A.  
Karr, H. W. The design of military supply tables for spare parts, *Operations Research*, pp. 431-442 (1956)
42. Ghare, P.M.  
Taylor, R.E. Optimal redundancy for reliability in series system, *Operations Research*, Vol. 17, pp. 838-847 (1969)
43. Gordon, R. Optimum component redundancy for maximum system reliability, *Operations Research*, Vol. 5, pp. 229-243 (1957)
44. Granot, D. The role of cost allocation in locational models, *Operations Research*, Vol. 35, No.2, pp. 234-248 (1987)
45. Grigoriu, M. Methods for approximate reliability analysis, *Structural Safety*, pp. 155-165, Amsterdam, 1983.

46. Hastings, N.A.J.  
Jardine, A.K.S. Component replacement and the use of relcode, *Microelectronics and Reliability*, Vol. 19, pp. 49-56 (1979)
47. Henley, E.J.  
Inoue, K.  
Gandhi, S.L. Optimal reliability design of process systems, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-23, No.1, pp. 29-33 (1974)
48. Henley, E.J.  
Kumamoto, H. *Reliability Engineering and Risk Assessment*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1981.
49. Henley, E.J.  
Williams, A.R. *Graph Theory in Modern Engineering*, Academic Press, London, 1973.
50. Hsu, J.I.S. A cost model for skip-lot destructive sampling, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-26, No.1, pp. 70-72 (1977)
51. Hwang, C.L.  
Fan, L.T.  
Erickson, L.E. Optimum production planning by the maximum principle, *Management Science*, Vol. 13, No.9, pp. 751-755 (1967)
52. Hyun, K.N. Reliability optimization by 0-1 programming for a system with several failure modes, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-24, No.3, pp. 206-209 (1975)
53. Ivanović, B. *Teorijska statistika*, Naučna knjiga, Beograd, 1979.
54. Ivković, B. *Optimizacija fabričke proizvodnje montažnih elemenata za stambenu i industrijsku gradnju*, magistrski rad, Gradjevinski fakultet, Beograd, 1983.
55. Ivković, B.  
Arizanović, D. *Rešeni problemi iz organizacije i tehnologije gradjenja*, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
56. Ivković, B.  
Ćirović, G. Analiza pouzdanosti rada grupe mašina u funkciji očekivanog praktičnog učinka i koštanja, Zbornik radova *Razvoj gradbene mehanizacije in mehaniziranja del doma in v svetu*, pp. 109-119, Gornja Radgona, 1987.
57. Jardine, A.K.S. *Maintenance, Replacement and Reliability*, Academic Press, London, 1973.



58. Jensen, P.A. Optimization of series parallel series networks, *Operations Research*, Vol. 18, pp. 471-482 (1970)
59. Jensen, P.A. *Operations Research*, Holden-Day Inc., Oakland, 1983.
60. Jowitt, P.W. *Decision-making in Civil Engineering Systems*, Civil Engineering Dept., Imperial College, London, 1977.
61. Jorgensen, C.  
Powell, S. Solving 0-1 minimax problems, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 38, No.6, 515-522 (1987)
62. Kalmanson, K. *An Introduction to Discrete Mathematics and its Applications*, Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
63. Kapur, K.C.  
Lamberson L.R. *Reliability in Engineering Design*, John Wiley & Sons, London, 1980.
64. Kaufmann, A.  
Grouchko, D.  
Cruon, R. *Mathematical Models for the Study of the Reliability of Systems*, Academic Press, London, 1977.
65. Kenney, J.F.  
Keeping, E.S. *Mathematics of Statistics*, Van Nostrand Company, Inc., London, 1951.
66. Kettelle, J.D. Least-cost allocation of reliability investment, *Operations Research*, Vol. 10, pp. 249-265 (1962)
67. Kim, S.H.  
Jeong, B.H. A partially observable Markov decision process with lagged information, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 38, No.5, pp. 439-446 (1987)
68. Klir, G.J. *Trends in General Systems Theory*, Wiley-Interscience, London, 1979.
69. Kodama, M. Probabilistic analysis of a multicomponent series-parallel system under preemptive repeat repair discipline, *Operations Research*, Vol. 24, pp. 500-515 (1976)
70. Koen, B.V.  
Carnino, A. Reliability calculations with a list processing technique, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-23, No.1, pp. 43-50 (1974)

71. Kohlas, J. *Stochastic Methods of Operations Research*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
72. Krčevinac S.  
Petric, J.  
Čupić, M.  
Nikolić, I. *Algoritmi i programi iz operacionih istraživanja*, Naučna knjiga, Beograd, 1983.
73. Kulshrestha D.K.  
Gupta, M.C. Use of dynamic programming for reliability engineers, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-22, No.5, pp. 240-241 (1973)
74. Lambert, B.K.  
Walvekar, A.G.  
Hirmas, J.P. Optimal redundancy and availability allocation in multistage systems, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-20, No.3., pp. 182-185, (1971)
75. Lawler, E.L.  
Bell, M.D. A method for solving discrete optimization problems, *Operations Research*, pp. 1098-1112 (1966)
76. Lin, P.M.  
Leon, B.J.  
Huang, T.C. A new algorithm for symbolic system reliability analysis, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-25, No.1, pp. 2-15 (1976)
77. Lloyd, E.N. *Quality Control and Reliability* Industrial Press Inc., New York, 1983.
78. Luus, R. Optimization of system reliability by a new nonlinear integer programming procedure, *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-24, No.1, pp. 14-16 (1975)
79. Mann, N.R.  
Schafer, R.E.  
Singpurwalla, N.D. *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, John Wiley & Sons, London, 1974.
80. Martz, H F.  
Waller, R.A. *Bayesian Reliability Analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1984.
81. McLeavy, D.W. Numerical investigation of parallel redundancy in series systems, *Operations Research*, Vol. 22, pp. 1110-1117 (1974)
82. McLeavy, D.W.  
McLeavy J.A. Optimization of system reliability by branch-and-bound, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-25, No.5, pp. 327-329 (1976)

83. Mc Nichols, R.J.  
Messer, G.H. A cost-based availability allocation algorithm, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-20, No.3, pp. 178-182 (1971)
84. Messinger, M.  
Shooman, M.L. Techniques for optimum spares allocation: a tutorial review, *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-19, No4, pp. 156-166 (1970)
85. Misra, K.B. An algorithm for the reliability evaluation of redundant networks, *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-19, No.4, pp.146-151 (1970)
86. Misra, K.B. A method of solving redundancy optimization problems, *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-20, No.3, pp. 117-120 (1971)
87. Misra, K.B. A simple approach for constrained redundancy optimization problem, *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-21, No.1, pp. 30-34 (1972)
88. Misra, K.B. Reliability optimization of a series parallel system, *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-21, No.4, pp. 230-238 (1972)
89. Misra, K.B.  
Aggarwal, K.  
Gupta, J.S. A new heuristic criterion for solving a redundancy optimization problem, *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-24, No.1, pp. 86-87 (1975)
90. Misra, K.B.  
Ljubojević, M. Optimal reliability design of a system: a new look, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-22, No. 5, pp. 255-258 (1973)
91. Mizukami, K. Optimum redundancy for maximum system reliability by the method of convex and integer programming, *Operations Research*, Vol. 16, pp. 392-406 (1968)
92. Monasighe, M. *The Economics of Power System Reliability and Planning*, The Johns Hopkins University Press, London, 1983.
93. Nakagawa, Y.  
Nakashima, K. A heuristic method for determining optimal reliability allocation, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-26, No.3, pp. 156-161 (1977)

94. Natarajan, R. A reliability problem with spares and multiple repair facilities, *Operations Research*, pp.1041-1057 (1967)
95. Nelson, A.C.  
Batts, J.R.  
Beadles, R.L. A computer program for approximating system reliability, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-19, No2, pp. 61-65 (1970)
96. Nievwhof, G.W.E. Standby redundancy system- two identical 100% units, *Microelectronic and Reliability*, Vol. 19, pp. 161-168 (1979)
97. Nilsson, N.J. *Principles of Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, Berlin, 1980.
98. O Connor, P.D.T. *Practical Reliability Engineering*, Heyden & Son Ltd., London, 1981.
99. Ohlef, H.  
Binroth, W.  
Haboush, R. Statistical model for a failure mode and effects analysis its application to computer fault-tracing, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-27, No.1, pp. 16-22 (1978)
100. Pal, M.N.  
Bhattacharjee, M. C. Redundancy optimization through simplex pattern search, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-27, No.2, pp 120-123 (1978)
101. Pearson, G.D.M. Computer program for approximating the reliability characteristics of acyclic directed graphs, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-26, No.1, pp. 32-37 (1977)
102. Petrić, J.J.  
Jevtić, M.M.  
Stojanović, V. *Analiza pouzdanosti*, Savremena administracija, Beograd, 1979.
103. Petrić, J.  
Zlobec, S. *Nelinearno programiranje*, Naučna knjiga, Beograd, 1983.
104. Petrović, R. Optimization of resource allocation in project planning, *Operations Research*, pp. 559-568 (1968)
105. Petrović, R. *Specijalne metode u optimizaciji sistema*, Tehnička knjiga, Beograd, 1977.

106. Postnikov, A.  
Ivković, B. Tehnologija mehanizovanih radova u gradjevinarstvu-zemljani radovi, Zbornik radova *Savremene metode planiranja i tehnologija mehanizovanih radova u gradjevinarstvu*, pp. 178-203, Gornji Milanovac, 1985.
107. Postnikov, A.  
Praščević, Z.  
Ivković, B. Dimenzionisanje deponija i skladišta gotovih elemenata u industrijskoj gradjevinskoj proizvodnji, *naučnoistraživački projekat*, Gradjevinski fakultet, Beograd, 1983.
108. Praščević, Z.  
i grupa autora *Organizaciono-tehnološki i ekonomski problemi u gradjevinarstvu-I i II faza*, naučno-istraživački projekat, Gradjevinski fakultet, 1984. i 1986.
109. Praščević, Z. *Operaciona istraživanja u gradjevinarstvu*, predavanja slušaocima poslediplomske nastave, Gradjevinski fakultet, Beograd, 1983.
110. Praščević, Z. *Sistemi u gradjevinarstvu*, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1988.
111. Praščević, Z.  
Ivković, B. Teorija pouzdanosti i analiza proizvodnih sistema u gradjevinarstvu, *II Jugoslovenski simpozijum o organizaciji gradjenja*, pp. 259-272, Opatija, 1986.
112. Rau, J.G. *Optimization and Probability in Systems Engineering*, Van Nostrand Reinhold Company, London, 1977.
113. Sharma, J.  
Venkateswaran, K. V. A direct method for maximizing the system reliability, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-20, No. 4, pp. 256-259 (1971)
114. Shershin, A. C. Mathematical optimization techniques for the simultaneous apportionments of reliability and maintainability, *Operations Research*, pp. 95-105 (1970)
115. Shetty, H. V. K.  
Sengupta, D. P. Reliability optimization using SLUMT, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-24, No. 1, pp. 80-81 (1975)

116. Shogan, A.W. Sequential bounding of the reliability of a stochastic network, *Operations Research*, Vol. 24, pp. 1027-1043 (1976)
117. Shogan, A.W. A recursive algorithm for bounding network reliability, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-26, No.5, pp. 322-327 (1977)
118. Siddall, J.N. *Analytical Decision-Making in Engineering Design*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1972.
119. Singh, C.  
Billinton, R. *System Reliability Modelling and Evaluation*, Hutchinson of London, 1979.
120. Singh, C.  
Billinton, R. Frequency and duration concepts in system reliability evaluation, *IEEE Transaction on Reliability*, Vol. R-24, No.1, pp. 31-36 (1975)
121. Singh, C.  
Dhillan, B.S. *Engineering Reliability- New Techniques and Applications* Hutchinson of London, 1981.
122. Singh, C.  
Kankam, M.D. Comments on "Closed form solutions for delta-star and star-delta conversions of reliability networks", *IEEE Transactions of Reliability*, Vol. R-25, No.5, pp. 336-339 (1976)
123. Singh, V.P.  
Rajagopal, A.K.  
Singh, K. Derivation of some frequency distributions using the principle of maximum entropy (POME), *Advances in Water Resources*, Vol. 9, No.2, pp. 91-106 (1986)
124. Smith, A.A.  
Hinton, E.  
Lewis, R.W. *Civil Engineering Systems Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Chichester 1981.
125. Snidikor, Dz. V.  
Kohren, V.G. *Statistički metodi*, Vuk Karadžić, Beograd 1971.
126. Soland, R.M. A renewal theoretic approach to the estimation of future demand for replacement parts, *Operations Research*, pp. 36-51 (1967)
127. Soland, R.M. Availability of renewal functions for gamma and Weibull distributions with increasing hazard rate, *Operations Research*, pp. 536-543 (1969)

128. Taha, H.A. *Operations Research*, Macmillan Publishing Co., New York, 1982.
129. Taub, T.W. Minimizing life test costs, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-20, pp. 84-85 (1971)
130. Tillman, F.A. Optimization by integer programming of constrained reliability problems with several modes of failure, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-18, No.2, pp. 47-53 (1969)
131. Tillman, F.A.  
Hwang, C.L.  
Fan, L.T.  
Balbale, S.T. Systems reliability subject to multiple nonlinear constraints, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-17, No.3, pp. 153-157 (1968)
132. Tillman, F.A.  
Hwang, C.L.  
Fan, L.T.  
Keeting, L.C. Optimal reliability of a complex system, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-19, No.3, pp. 95-99 (1970)
133. Tillman, F.A.  
Lie, C.H.  
Hwang, C.L. Analysis of pseudo-reliability of a combat tank system and its optimal design, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-25, No.4, pp. 239-242 (1976)
134. Tillman, F.A.  
Hwang, C.L.  
Kuo, W. Determining component reliability and redundancy for optimum system reliability *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-26, No.3, pp. 162-165 (1977)
135. Tillman, F.A.  
Hwang, C.L.  
Kuo, W. *Optimization of Systems Reliability*, Marcel Dekker New York, 1983.
136. Tung, S.S. Reliability of a tree network, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-25, No.5, pp. 333-336 (1976)
137. Trbojević, B. *Organizacija građevinskih radova*, Građevinska knjiga, Beograd 1983.g.
138. Trbojević, B. *Građevinske mašine*, Građevinska knjiga, Beograd 1983.g.
139. Vukadinović, S.V.  
Teodorović, D.B. *Elementi teorije pouzdanosti i teorije obnavljanja tehničkih sistema*, Privredni pregled, Beograd, 1979.

140. Whittle, P. *Probability*, Penguin Books, London, 1980.
141. Widawsky, W.H. Reliability and maintainability parameters evaluated with simulation, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-20, No.3, pp. 158-164 (1971)
142. Woodhouse, C.F. Optimal redundancy allocation by dynamic programming, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-21, No.1, pp. 60-62 (1972)
143. Young, H.K.  
Case, K.E.  
Ghare, P.M. A method for computing complex system reliability, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-21, No.4, pp. 213-219 (1972)
144. PROGRAM ZA ANALIZU RASPO  
U OBLASTI  
Dataquest Incorporated Contractors Equipment Cost Guide1, decembar 1987.



Bratislav N. Irbovic



PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOŽIVOSTI PROIZVODNIH SISTEMA U GRADJEVINARSTVU

PRILOG I

PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOŽIVOSTI PROIZVODNIH SISTEMA U GRADJEVINARSTVU

REAL CSN(10,50),CSN(20,50),L(1,20,50),C(1,20,50),UP(20,50)  
- TRZAKOVI ODBOJNIH SREDSTAVA JEDNOG ELEMENATA PODSISTEMA (1)  
- TRZAKOVI RADNE SNAGE JEDNOG ELEMENATA PODSISTEMA (1)  
- PLANIRANA VEŠTAČKA CENA JEDNOG ELEMENATA PODSISTEMA (1)  
- PRODAJNA CENA JEDNOG ELEMENATA PODSISTEMA (1)  
- PLANIRANI REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENATA PODSISTEMA (1)  
U SISTEMU (1)  
REAL L(10,50),L(20,50)  
- L(1) = INTENZITET RADA (1) ELEMENATA PODSISTEMA (1) U SIST.  
- L(2) = INTENZITET POPRAVE (1) PODSISTEMA (1) U SIST.  
REAL A(10,50),A(20,50)  
- A(1) = RASPOLOŽIVOST PODSISTEMA (1) U SISTEMU (1)  
- A(2) = RASPOLOŽIVOST SISTEMA (1) U SISTEMU (1)  
REAL Y(10,50)  
- Y(1) = VEŠTAČKA CENA JEDNOG ELEMENATA PODSISTEMA (1) U SIST.  
REAL PC(10,50),PDT(20,50)  
- PEAK CYCLE TIME PODSISTEMA (1) U SISTEMU (1)  
- PEAK DOWN TIME PODSISTEMA (1) U SISTEMU (1)  
- PEAK UP TIME PODSISTEMA (1) U SISTEMU (1)  
REAL LAN1(20,50),LAN2(20,50)  
- LAN1(J) = GRANICNA VREDNOST INTENZITETA RADA  
PODSISTEMA (J) (1/ANU)  
- LAN2(J) = GRANICNA VREDNOST INTENZITETA POPRAVE  
PODSISTEMA (J) (1/PDU)  
U SISTEMU (1)  
REAL UP(10,50),C(1,20,50),C(2,20,50)  
- STVARNI REZULTAT RADA PODSISTEMA (J) (1-UP(J))  
- PRODAJNA CENA ZA PODSISTEM (J)  
- STVARNA CENA ZA JEDINICU RADA REZULTATA RADA PODSISTEMA (J)  
- TRZAKOVI ODBOJNIH SREDSTAVA ZA PODSISTEM (J)



Branislav N. Ivković

```

001 C *****
002 C *
003 C *
004 C *
005 C PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOZIVOSTI PROIZVODNIH
006 C *
007 C *
008 C *
009 C *****
010 C UKUFAN BROJ SISTEMA (I) = IN
011 C INTEGER IM(50)
012 C UKUFAN BROJ PODSISTEMA (J) = IM(50) U SISTEMU (I)
013 C REAL PENALI(20)
014 C REAL COSN(20)
015 C TROSKOVI OSNOVNIH SREDSTAVA ZA CEO SISTEM (I)
016 C REAL CDOD(20)
017 C DODATNI TROSKOVI USLED OTKAZA KOMPLETNOG SISTEMA (I)
018 C INTEGER T(20,50)
019 C OZNAKA ZA TIP PODSISTEMA U SISTEMU (I) = LEGENDA:
020 C 1) T(I,J)=1 SERIJSKI VEZAN ELEMENT
021 C 2) T(I,J)=2 AKTIVNA PARALELNA VEZA (K,N) = VRUCA REZERVA
022 C 3) T(I,J)=3 PASIVNA PARALELNA VEZA (K,N) = HLADNA REZERVA
023 C INTEGER N(20,50),K(20,50)
024 C - MIN I MAX. BROJ ELEMENATA U VEZI TIPa (K,N) ZA SISTEM (I)
025 C - ZA SERIJSKI VEZAN ELEMENT N=K=1
026 C REAL CSN(20,50),CRS(20,50),RID(20,50),CENA(20,50),UP(20,50)
027 C - TROSKOVI OSNOVNOG SREDSTVA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
028 C - TROSKOVI RADNE SNAGE JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
029 C - PLANIRANA REZIJA I DOBIT JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
030 C - PRODAJNA CENA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
031 C - PLANIRANI REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
032 C U SISTEMU (I)
033 C REAL L(20,50),M(20,50)
034 C - L(I) = INTENZITET OTKAZA (LAMEDA) PODSISTEMA (J) U SIS. (I)
035 C - M(I) = INTENZITET POPRAVKE (MI) PODSISTEMA (J) U SIS. (I)
036 C REAL A(20,50),U(20,50)
037 C - A(I) = RASPOLOZIVOST PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
038 C - U(I) = NERASPOLOZIVOST PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
039 C REAL F(20,50)
040 C - UCESTALOST POJAVE STANJA OTKAZA PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
041 C REAL MCT(20,50),MDT(20,50),MUT(20,50)
042 C - MEAN CYCLE TIME PODSISTEMA (J)
043 C - MEAN DOWN TIME PODSISTEMA (J)
044 C - MEAN UP TIME PODSISTEMA (J)
045 C U SISTEMU (I)
046 C REAL LAM1(20,50),LAM2(20,50)
047 C - LAM1(J) = GRANICNA VREDNOST INTENZITETA OTKAZA
048 C PODSISTEMA (J) (=1/MUT)
049 C - LAM2(J) = GRANICNA VREDNOST INTENZITETA POPRAVKE
050 C PODSISTEMA (J) (=1/MDT)
051 C U SISTEMU (I)
052 C REAL UPI(20,50),CENAI(20,50),CJMI(20,50),CSNI(20,50),CRSI(20,50),
053 C SRIDI(20,50)
054 C - STVARNI REZULTAT RADA PODSISTEMA (J) (=A*UP(J))
055 C - PRODAJNA CENA ZA PODSISTEM (J)
056 C - STVARNA CENA PO JEDINICI MERE REZULTATA RADA PODSIS. (J)
057 C - TROSKOVI OSNOVNOG SREDSTVA ZA PODSISTEM (J)

```

```

001 C *****
002 C *
003 C *
004 C *          PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOZIVOSTI PROIZVODNIH
005 C *          SISTEMA U GRADJEVINARSTIVU
006 C *
007 C *
008 C *
009 C *
010 C          UKUFAN BROJ SISTEMA (I) = IN
011 C          INTEGER IM(50)
012 C          UKUFAN BROJ PODSISTEMA (J) = IM(50) U SISTEMU (I)
013 C          REAL PENALI(20)
014 C          REAL COSN(20)
015 C          TROSKOVI OSNOVNIH SREDSTAVA ZA CEO SISTEM (I)
016 C          REAL CDOD(20)
017 C          DODATNI TROSKOVI USLED OTKAZA KOMPLETNOG SISTEMA (I)
018 C          INTEGER T(20,50)
019 C          OZNAKA ZA TIP PODSISTEMA U SISTEMU (I) = LEGENDA:
020 C          1) T(I,J)=1 SERIJSKI VEZAN ELEMENT
021 C          2) T(I,J)=2 AKTIVNA PARALELNA VEZA (K,N) = VRUCA REZERVA
022 C          3) T(I,J)=3 PASIVNA PARALELNA VEZA (K,N) = HLADNA REZERVA
023 C          INTEGER N(20,50),K(20,50)
024 C          - MIN I MAX. BROJ ELEMENATA U VEZI TIPa (K,N) ZA SISTEM (I)
025 C          - ZA SERIJSKI VEZAN ELEMENT N=K=1
026 C          REAL CSN(20,50),CRS(20,50),RID(20,50),CENA(20,50),UP(20,50)
027 C          - TROSKOVI OSNOVNOG SREDSTVA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
028 C          - TROSKOVI RADNE SNAGE JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
029 C          - PLANIRANA REZIJA I DOBIT JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
030 C          - PRODAJNA CENA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
031 C          - PLANIRANI REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
032 C          U SISTEMU (I)
033 C          REAL L(20,50),M(20,50)
034 C          - L(I) = INTENZITET OTKAZA (LAMEDA) PODSISTEMA (J) U SIS. (I)
035 C          - M(I) = INTENZITET POPRAVKE (MI) PODSISTEMA (J) U SIS. (I)
036 C          REAL A(20,50),U(20,50)
037 C          - A(I) = RASPOLOZIVOST PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
038 C          - U(I) = NERASPOLOZIVOST PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
039 C          REAL F(20,50)
040 C          - UCESTALOST POJAVE STANJA OTKAZA PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
041 C          REAL MCT(20,50),MDT(20,50),MUT(20,50)
042 C          - MEAN CYCLE TIME PODSISTEMA (J)
043 C          - MEAN DOWN TIME PODSISTEMA (J)
044 C          - MEAN UP TIME PODSISTEMA (J)
045 C          U SISTEMU (I)
046 C          REAL LAM1(20,50),LAM2(20,50)
047 C          - LAM1(J) = GRANICNA VREDNOST INTENZITETA OTKAZA
048 C          PODSISTEMA (J) (=1/MUT)
049 C          - LAM2(J) = GRANICNA VREDNOST INTENZITETA POPRAVKE
050 C          PODSISTEMA (J) (=1/MDT)
051 C          U SISTEMU (I)
052 C          REAL UPI(20,50),CENAI(20,50),CJM1(20,50),CSNI(20,50),CRSI(20,50),
053 C          SRIDI(20,50)
054 C          - STVARNI REZULTAT RADA PODSISTEMA (J) (=A*UP(J))
055 C          - PRODAJNA CENA ZA PODSISTEM (J)
056 C          - STVARNA CENA PO JEDINICI MERE REZULTATA RADA PODSIS. (J)
057 C          - TROSKOVI OSNOVNOG SREDSTVA ZA PODSISTEM (J)

```

PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOŽIVOSTI PROIZVODNIH SISTEMA U GRADJEVINARSTVU

PRILOG I

PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOŽIVOSTI PROIZVODNIH SISTEMA U GRADJEVINARSTVU

```

REAL ESS(24,50),CRS(24,50),P(24,50),CENA(24,50),UP(24,50)
- INTENZIVNI OSNOVNI OSREDNJEVA ZA JEDNO ELEMENAT PODSISTEMA (I)
- TRAJNOVI RADNE SNAGE JEDNO ELEMENAT PODSISTEMA (I)
- PLANIRANA VEŠINA I DEBIT JEDNO ELEMENAT PODSISTEMA (I)
- PRODAJNA CENA JEDNO ELEMENAT PODSISTEMA (I)
- PLANIRANI PEZULIST RADA JEDNO ELEMENAT PODSISTEMA (I)
U SISTEMU (I)
REAL LITE,AWI,AC(24,50)
- L(I) = INTENZIVNI DEBITA (PLANIRAN) PODSISTEMA (I) U SIST. (I)
- W(I) = INTENZIVNET POPRAVKE (M) PODSISTEMA (I) U SIST. (I)
REAL P(24,50),U(24,50)
- P(I) = RASPOLOŽIVOSTI PODSISTEMA (I) U SISTEMU (I)
- U(I) = PLANIRANOVI PEZULIST RADA PODSISTEMA (I) U SISTEMU (I)
REAL V(24,50)
- UCESTALOSTI POJAVL. SI... PODSISTEMA (I) U SISTEMU (I)
REAL VCI(24,50),MT(24,50)
- MEAN CYCLE TIME PODSISTEMA (I)
- MEAN DOWN TIME PODSISTEMA (I)
- MEAN UP TIME PODSISTEMA (I)
U SISTEMU (I)
REAL LAN1(24,50),LAN2(24,50)
- LAN1(I) = GRANICNA VREDNOST INTENZIVNETA DEBITA
PODSISTEMA (I) (=IPRO)
- LAN2(I) = GRANICNA VREDNOST INTENZIVNETA POPRAVKE
PODSISTEMA (I) (=IPRO)
U SISTEMU (I)
REAL UP(24,50),CENA(24,50),C(24,50)
- BIVARNA REZULTAT RADA PODSISTEMA (I) (=UP(I))
- PRODAJNA CENA ZA PODSISTEM (I)
- BIVARNA CENA ZA JEDINICI RADA REZULTATA RADA PODSISTEMA (I)
- TPOSKOVI OSNOVNI OSREDNJEVA ZA PODSISTEM (I)

```



Branislav N. Ivković

```

0001 C *****
0002 C *
0003 C *
0004 C *          PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOZIVOSTI PROIZVODNIH
0005 C *          SISTEMA U GRADJEVINARSTIVU
0006 C *
0007 C *
0008 C *
0009 C *          BY B.N.IVKOVIC
0010 C *****
0011 C          UKUFAN BROJ SISTEMA (I) = IN
0012 C          INTEGER IM(50)
0013 C          UKUFAN BROJ PODSISTEMA (J) = IM(50) U SISTEMU (I)
0014 C          REAL PENALI(20)
0015 C          REAL COSN(20)
0016 C          TROSKOVI OSNOVNIH SREDSTAVA ZA CEO SISTEM (I)
0017 C          REAL CDOD(20)
0018 C          DODATNI TROSKOVI USLED OTKAZA KOMPLETNOG SISTEMA (I)
0019 C          INTEGER T(20,50)
0020 C          OZNAKA ZA TIP PODSISTEMA U SISTEMU (I) - LEGENDA:
0021 C          1) T(I,J)=1 SERIJSKI VEZAN ELEMENT
0022 C          2) T(I,J)=2 AKTIVNA PARALELNA VEZA (K,N) - VRUCA REZERVA
0023 C          3) T(I,J)=3 PASIVNA PARALELNA VEZA (K,N) - HLADNA REZERVA
0024 C          INTEGER N(20,50),K(20,50)
0025 C          - MIN. I MAX. BROJ ELEMENATA U VEZI TIP (K,N) ZA SISTEM (I)
0026 C          - ZA SERIJSKI VEZAN ELEMENT N=K=1
0027 C          REAL CSN(20,50),CRS(20,50),RID(20,50),CENA(20,50),UP(20,50)
0028 C          - TROSKOVI OSNOVNOG SREDSTVA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
0029 C          - TROSKOVI RADNE SNAGE JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
0030 C          - PLANIRANA REZIJA I DOBIT JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
0031 C          - PRODAJNA CENA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
0032 C          - PLANIRANI REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA PODSISTEMA (J)
0033 C          U SISTEMU (I)
0034 C          REAL L(20,50),M(20,50)
0035 C          - L(I) = INTENZITET OTKAZA (LAMEDA) PODSISTEMA (J) U SIS. (I)
0036 C          - M(I) = INTENZITET POPRAVKE (MI) PODSISTEMA (J) U SIS. (I)
0037 C          REAL A(20,50),U(20,50)
0038 C          - A(I) = RASPOLOZIVOST PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
0039 C          - U(I) = NERASPOLOZIVOST PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
0040 C          REAL F(20,50)
0041 C          - UCESTALOST POJAVE STANJA OTKAZA PODSISTEMA (J) U SISTEMU (I)
0042 C          REAL MCT(20,50),MDT(20,50),MUT(20,50)
0043 C          - MEAN CYCLE TIME PODSISTEMA (J)
0044 C          - MEAN DOWN TIME PODSISTEMA (J)
0045 C          - MEAN UP TIME PODSISTEMA (J)
0046 C          U SISTEMU (I)
0047 C          REAL LAM1(20,50),LAM2(20,50)
0048 C          - LAM1(J) = GRANICNA VREDNOST INTENZITETA OTKAZA
0049 C          PODSISTEMA (J) (=1/MUT)
0050 C          - LAM2(J) = GRANICNA VREDNOST INTENZITETA POPRAVKE
0051 C          PODSISTEMA (J) (=1/MDT)
0052 C          U SISTEMU (I)
0053 C          REAL UPI(20,50),CENAI(20,50),CJM1(20,50),CSNI(20,50),CRSI(20,50),
0054 C          SRIDI(20,50)
0055 C          - STVARNI REZULTAT RADA PODSISTEMA (J) (=A*UP(J))
0056 C          - PRODAJNA CENA ZA PODSISTEM (J)
0057 C          - STVARNA CENA PO JEDINICI MERE REZULTATA RADA PODSIS. (J)
0058 C          - TROSKOVI OSNOVNOG SREDSTVA ZA PODSISTEM (J)

```

```

00113 C    S/' 1 - ZA SERIJSKI VEZAN JEDAN ELEMENT'
00114 C    S/' 2 - AKTIVNA PARALELNA VEZA TIPA (K,N)'
00115 C    S/' 3 - PASIVNA PARALELNA VEZA TIPA (K,N)')
00116    DO 650 J=1,IM(I)
00117 C    WRITE(5,540)J
00118 C 540 FORMAT(///// ' UNESI SIFRU ZA PODSISTEM (J): ',14)
00119    READ(5,*)T(I,J)
00120 C    WRITE(5,1000)J
00121 C1000 FORMAT(//////// ' UCITAVANJE ULAZNIH PODATAKA ZA PODSISTEM (J): ',14)
00122    IF(T(I,J)EQ01)GO TO 550
00123 C    WRITE(5,1010)
00124 C1010 FORMAT(// ' UNESI MIN.BROJ ELEMENATA U (K,N) VEZI: ',S)
00125    READ(5,*)K(I,J)
00126 C    WRITE(5,1020)
00127 C1020 FORMAT(// ' UNESI MAX.BROJ ELEMENATA U (K,N) VEZI: ',S)
00128    READ(5,*)N(I,J)
00129 C 550 WRITE(5,1030)
00130 C1030 FORMAT(// ' UNESI INTENZITET OTKAZA LAMBDA = ',S)
00131    550 READ(5,*)L(I,J)
00132 C    WRITE(5,1040)
00133 C1040 FORMAT(// ' UNESI INTENZITET POPRAVKE MI = ',S)
00134    READ(5,*)M(I,J)
00135    IF(T(I,J)EQ01)K(I,J)=1
00136    IF(T(I,J)EQ01)N(I,J)=1
00137 C    WRITE(5,1050)
00138 C1050 FORMAT(// ' UNESI REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA UP(J) = ',S)
00139    READ(5,*)UP(I,J)
00140 C    WRITE(5,1060)
00141 C1060 FORMAT(// ' UNESI CENU JEDNOG ELEMENTA: ',S)
00142    READ(5,*)CENA(I,J)
00143 C    WRITE(5,1070)
00144 C1070 FORMAT(// ' UNESI CENU OSNOVNOG SREDSTVA JEDNOG EL.: ',S)
00145    READ(5,*)CSN(I,J)
00146 C    WRITE(5,1080)
00147 C1080 FORMAT(// ' UNESI CENU RADNE SNAGE ZA JEDAN ELEMNT: ',S)
00148    READ(5,*)CRS(I,J)
00149 C    WRITE(5,1090)
00150 C1090 FORMAT(// ' UNESI PLAN SREDSTVA ZA REZIJU I DOBIT: ',S)
00151    READ(5,*)RID(I,J)
00152 C    WRITE(5,1100)J
00153 C1100 FORMAT(// ' ZAVRSENO JE UCITAVANJE ULAZNIH PODATAKA ZA PODS.: '
00154 C    S,14/60(1H*))
00155    650 CONTINUE
00156    9000 CONTINUE
00157 C    WRITE(5,1110)
00158 C1110 FORMAT(//////// ' ZAVRSENO JE UNOSENJE PODATAKA'
00159 C    S                    ' POCINJE PRORACUN')
00160 C    *****
00161 C
00162 C    PRORACUN PO PODSISTEMIMA
00163 C    *****
00164 C
00165    DO 9100 I=1,IN
00166    DO 760 J=1,IM(I)
00167    GO TO (710,720,730)T(I,J)
00168 C

```

```

0169 C PRORACUN PO FORMULAMA SPECIFICIRANIM ZA PODSISTEM TIPA 1.
0170 710 A(I,J)=M(I,J)/(L(I,J)+M(I,J))
0171 U(I,J)=1-A(I,J)
0172 F(I,J)=A(I,J)*L(I,J)
0173 UPI(I,J)=A(I,J)*UP(I,J)
0174 CENAI(I,J)=CENA(I,J)
0175 CSNI(I,J)=CSN(I,J)
0176 CRSI(I,J)=CRS(I,J)
0177 RIDI(I,J)=RID(I,J)
0178 GO TO 750
0179 C
0180 C PRORACUN PO FORMULAMA SPECIFICIRANIM ZA PODSISTEM TIPA 2.
0181 720 K2=N(I,J)
0182 K4=K(I,J)
0183 K5=N(I,J)-K(I,J)
0184 S=0.
0185 DO 725 I1=K4,K2
0186 K1=I1
0187 K3=N(I,J)-I1
0188 725 S=S+FAK(K2)/(FAK(K1)*FAK(K3))*(M(I,J)**K1)*(L(I,J)**K3)
0189 POM=1./((L(I,J)+M(I,J))**N(I,J))
0190 A(I,J)=S*POM
0191 U(I,J)=1-A(I,J)
0192 F(I,J)=POM*FAK(K2)/(FAK(K4)*FAK(K5))*(M(I,J)**K4)*(L(I,J)**K5)
0193 S*K(I,J)*L(I,J)
0194 UPI(I,J)=A(I,J)*N(I,J)*UP(I,J)
0195 CENAI(I,J)=N(I,J)*CENA(I,J)
0196 CSNI(I,J)=N(I,J)*CSN(I,J)
0197 CRSI(I,J)=N(I,J)*CRS(I,J)
0198 RIDI(I,J)=N(I,J)*RID(I,J)
0199 GO TO 750
0200 C
0201 C PRORACUN PO FORMULAMA SPECIFICIRANIM ZA PODSISTEM TIPA 3.
0202 730 POM=M(I,J)/(L(I,J)+M(I,J))
0203 POM1=POM**K(I,J)
0204 K5=N(I,J)-K(I,J)
0205 S=0.
0206 DO 735 I2=0,K5
0207 K1=I2
0208 735 S=S+(((=K(I,J))*ALOG(POM))**K1)/FAK(K1)
0209 A(I,J)=POM1*S
0210 U(I,J)=1-A(I,J)
0211 F(I,J)=1./FAK(K5)*POM1*(((=K(I,J))*ALOG(POM))**K5)
0212 UPI(I,J)=A(I,J)*K(I,J)*UP(I,J)
0213 CENAI(I,J)=K(I,J)*CENA(I,J)+(N(I,J)-K(I,J))*CSN(I,J)
0214 CSNI(I,J)=N(I,J)*CSN(I,J)
0215 CRSI(I,J)=N(I,J)*CRS(I,J)
0216 RIDI(I,J)=N(I,J)*RID(I,J)
0217 C
0218 C PRORACUN PO FORMULAMA KOJE SU ZAJEDNICKE ZA SVE
0219 C PODSISTEME BEZ OBZIRA NA TIP
0220 750 CJMI(I,J)=CENAI(I,J)/UPI(I,J)
0221 MCT(I,J)=10/F(I,J)
0222 MDT(I,J)=MCT(I,J)*U(I,J)
0223 MUT(I,J)=MCT(I,J)-MDT(I,J)
0224 LAM1(I,J)=10/MUT(I,J)

```

```

0225      LAM2(I,J)=10/MDT(I,J)
0226      760 CONTINUE
0227      9100 CONTINUE
0228      C
0229      C      ZAVRSEN JE PRORACUN PO PODSISTEMIMA
0230      C      *****
0231      C
0232      C      PRORACUN VELICINA ZA SISTEM U CELINI
0233      DO 9200 I=1,IM
0234      GO TO (800,810)T1(I)
0235      C      FORMULE SPECIFICNE ZA SISTEM SA NEZAVISNIM CIKAZIMA
0236      800 ASIS(I)=10
0237      S1=0.
0238      DO 805 J=1,IM(I)
0239      ASIS(I)=ASIS(I)*A(I,J)
0240      S1=S1+LAM1(I,J)
0241      805 CONTINUE
0242      USIS(I)=1-ASIS(I)
0243      FSIS(I)=ASIS(I)*S1
0244      GO TO 820
0245      C      FORMULE SPECIFICNE ZA SISTEM SA ZAVISNIM CIKAZIMA
0246      810 S2=0.
0247      S3=0.
0248      DO 815 J=1,IM(I)
0249      S2=S2+LAM1(I,J)/LAM2(I,J)
0250      S3=S3+LAM1(I,J)
0251      815 CONTINUE
0252      ASIS(I)=10/(1+S2)
0253      USIS(I)=1-ASIS(I)
0254      FSIS(I)=ASIS(I)*S3
0255      C
0256      C      FORMULE KOJE SU IDENTICNE I ZA SISTEM SA NEZAVISNIM
0257      C      I ZA SISTEM SA ZAVISNIM OTKAZIMA
0258      820 MCTISIS(I)=10/FSIS(I)
0259      MDTSIS(I)=MCTISIS(I)*USIS(I)
0260      MUTSIS(I)=MCTISIS(I)-MDTSIS(I)
0261      C
0262      C      ODREDJIVANJE VREDNOSTI STVARNOG REZULTATA RADA SISTEMA,
0263      C      PLANIRANE I STVARNE PRODAJNE CENE RADA SISTEMA I
0264      C      STVARNE CENE RADA PO JEDINICI MERE
0265      UPSIS(I)=100
0266      CENSIS(I)=0.
0267      CCSN(I)=0.
0268      CDOD(I)=0.
0269      DO 830 J=1,IM(I)
0270      IF(UPI(I,J) .LT. UPSIS(I)) UPSIS(I)=UPI(I,J)
0271      CENSIS(I)=CENSIS(I)+CENAI(I,J)
0272      COSN(I)=COSN(I)+CSNI(I,J)
0273      CDOD(I)=CDOD(I)+CRSI(I,J)+RIDI(I,J)
0274      830 CONTINUE
0275      CDOD(I)=CDOD(I)+PENALI(I)
0276      STVCEN(I)=CENSIS(I)*ASIS(I)+(1-ASIS(I))*(COSN(I)+CDOD(I))
0277      STVCNJ(I)=STVCEN(I)/UPSIS(I)
0278      PLNCNJ(I)=CENSIS(I)/UPSIS(I)
0279      9200 CONTINUE
0280      C      *****

```



```

0281 C
0282 C ZAVRSEN JE PRORACUN
0283 C SLEDI STAMPANJE IZVEŠTAJA
0284 C *****
0285 C
0286 C STAMPANJE NASLOVNE STRANICE
0287 C *****
0288 C
0289 C WRITE(3,10000)
0290 10000 FORMAT('1'//////////10X,'PROGRAM ZA ANALIZU RASPOLOZIVOSTI'
0291 S/10X,'PROIZVODNIH SISTEMA U GRADJEVINARSTVU'/56(1H*))
0292 WRITE(3,10010)IN
0293 10010 FORMAT(//////////10X,'BROJ ANALIZIRANIH SISTEMA:',I3)
0294 WRITE(3,10020)
0295 10020 FORMAT(//////////40X,'BY B.N.IVKOVIC')
0296 DO 9300 I=1,IN
0297 WRITE(3,2000)I
0298 2000 FORMAT('1'//////////20X,'PODACI O SISTEMU (I):',I3)
0299 WRITE(3,2010)IM(I)
0300 2010 FORMAT(//////////' UKUPAN BROJ PODSISTEMA:',I3)
0301 WRITE(3,2020)PENALI(I)
0302 2020 FORMAT(//////////' PENALI ZA KASNJENJE PO JEDINICI VREMENA:',
0303 SF13.1)
0304 C *****
0305 C
0306 C STAMPANJE PODATAKA O SVAKOM PODSISTEMU
0307 C *****
0308 DO 3000 J=1,IM(I)
0309 WRITE(3,2040)J
0310 2040 FORMAT('1'//////////' PODACI O PODSISTEMU:',I3/35(1H*))
0311 GO TO (2100,2200,2300)T(I,J)
0312 2100 WRITE(3,2150)
0313 2150 FORMAT(///' PODSISTEM JE SERIJSKI VEZAN JEDAN ELEMENT - TIP1')
0314 GO TO 2400
0315 2200 WRITE(3,2250)
0316 2250 FORMAT(///' PODSISTEM JE TIPA (K,N)=VRUCA REZERVA - TIP2')
0317 GO TO 2350
0318 2300 WRITE(3,2320)
0319 2320 FORMAT(///' PODSISTEM JE TIPA (K,N)=HLADNA REZERVA - TIP3')
0320 2350 WRITE(3,2360)K(I,J)
0321 2360 FORMAT(//////////' MINIMALAN BROJ ELEMENATA K =',I3)
0322 WRITE(3,2370)N(I,J)
0323 2370 FORMAT('/' MAXIMALAN BROJ ELEMENATA N =',I3)
0324 2400 WRITE(3,2480)L(I,J)
0325 2480 FORMAT(///' INTENZITET OTKAZA JEDNOG ELEMENTA (LAMBDA) =',F10.5)
0326 WRITE(3,2490)M(I,J)
0327 2490 FORMAT('/' INTENZITET POPRAVKE JEDNOG ELEMENTA (MI) =',F10.5)
0328 WRITE(3,2500)UP(I,J)
0329 2500 FORMAT(///' OCEKIVANI REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA JE:',F10.2)
0330 WRITE(3,2510)CENA(I,J)
0331 2510 FORMAT('/' PLAN.PRODAJNA CENA RADA JEDNOG ELEMENTA JE:',F10.2)
0332 WRITE(3,2520)CSN(I,J)
0333 2520 FORMAT('/' PLAN.TROSKOVI OSNOVNOG SREDSTVA JEDNOG ELEM.:',F10.2)
0334 WRITE(3,2530)CRS(I,J)
0335 2530 FORMAT('/' PLAN.TROSKOVI RADNE SNAGE ZA JEDAN ELEMENT:',F10.2)
0336 WRITE(3,2540)RID(I,J)

```

```
0337 2540 FORMAT(/' PLANIRANA REZIJA I DOBIT ZA JEDAN ELEMENT:',F10.2)
0338 WRITE(3,2550)A(I,J)
0339 2550 FORMAT(////' RASPOLOZIVOST PODSISTEMA (A) =',F10.5)
0340 WRITE(3,2560)F(I,J)
0341 2560 FORMAT(/' UCESTALOST POJAVE STANJA OTKAZA (F) =',F10.5)
0342 WRITE(3,2570)MCT(I,J)
0343 2570 FORMAT(/' MEAN CYCLE TIME (MCT) =',F10.1)
0344 WRITE(3,2580)MUT(I,J)
0345 2580 FORMAT(/' MEAN UP TIME (MUT) =',F10.1)
0346 WRITE(3,2590)MDT(I,J)
0347 2590 FORMAT(/' MEAN DOWN TIME (MDT) =',F10.1)
0348 WRITE(3,2600)UPI(I,J)
0349 2600 FORMAT(////' STVARNI REZULTAT RADA PODSISTEMA (UPI) JE:',F10.2)
0350 WRITE(3,2610)CENAI(I,J)
0351 2610 FORMAT(/' PLANIRANA PRODAJNA CENA RADA PODSISTEMA (CENAI) JE:'
0352 S,F10.2)
0353 WRITE(3,2620)CJMI(I,J)
0354 2620 FORMAT(/' CENA PO JEDINICI MERE REZULTATA RADA (CENAI/UPI):'
0355 S,F10.2)
0356 WRITE(3,2630)CSNI(I,J)
0357 2630 FORMAT(/' PLAN. TROSKOVI OSNOVNOG SREDSTVA ZA PODSISTEM:',F10.2)
0358 WRITE(3,2640)CRSI(I,J)
0359 2640 FORMAT(/' PLAN. TROSKOVI RADNE SNAGE ZA PODSISTEM:',F10.2)
0360 WRITE(3,2650)RIDI(I,J)
0361 2650 FORMAT(/' PLANIRANA REZIJA I DOBIT ZA CEO PODSISTEM:',F10.2)
0362 3000 CONTINUE
0363 C *****
0364 C
0365 C STAMPANJE IZLAZNIH PODATAKA O SISTEMU KAO CELINI
0366 C *****
0367 WRITE(3,3100)
0368 3100 FORMAT('1'////10X,'IZVESTAJ O SISTEMU KAO CELINI'/50(1H*))
0369 GO TO (3150,3200)I1(I)
0370 3150 WRITE(3,3170)
0371 3170 FORMAT(////' SISTEM JE SA NEZAVISNIM (OTKAZIMA')
0372 GO TO 3300
0373 3200 WRITE(3,3280)
0374 3280 FORMAT(////' SISTEM JE SA ZAVISNIM OTKAZIMA')
0375 3300 WRITE(3,3310)ASIS(I)
0376 3310 FORMAT(////' RASPOLOZIVOST SISTEMA (A) JE =',F10.5)
0377 WRITE(3,3320)FSIS(I)
0378 3320 FORMAT(//' UCESTALOST POJAVE STANJA OTKAZA SISTEMA (F) =',
0379 SF10.5)
0380 WRITE(3,3330)MCTSYS(I)
0381 3330 FORMAT(//' MEAN CYCLE TIME (MCT) SISTEMA =',F10.1)
0382 WRITE(3,3340)MUTSYS(I)
0383 3340 FORMAT(//' MEAN UP TIME (MUT) SISTEMA =',F10.1)
0384 WRITE(3,3350)MDTSYS(I)
0385 3350 FORMAT(//' MEAN DOWN TIME (MDT) SISTEMA =',F10.1)
0386 WRITE(3,3360)UPSIS(I)
0387 3360 FORMAT(////' STVARNI REZULTAT RADA SISTEMA (UPSIS) JE:',F10.2)
0388 WRITE(3,3370)CENSIS(I)
0389 3370 FORMAT(//' PLAN. PRODAJNA CENA RADA SISTEMA (CENSIS) JE:',
0390 SF12.2)
0391 WRITE(3,3380)STVCEN(I)
0392 3380 FORMAT(//' STVARNA PRODAJNA CENA RADA SISTEMA (STVVIS) JE:',
```

```

00393 SF12.2)
00394 WRITE(3,3385)PLNCNJ(I)
00395 3385 FORMAT(////' CENA RADA SISTEMA PO JEDINICI MERE BEZ ANALIZE'/
00396 S' UTICAJA OTKAZA NA TROSKOVE SISTEMA'/
00397 S' (CENSIS/UPSIS) =:',F12.2)
00398 WRITE(3,3390)STVCNJ(I)
00399 3390 FORMAT(//' STVARNA CENA RADA SISTEMA PO JEDINICI MERE'/
0400 S' (STVSI/UPSIS) =:',F12.2)
0401 9300 CONTINUE
0402 WRITE(3,3400)
0403 3400 FORMAT(/////20X,'JOB COMPLETED - MADE BY B.NJIVKOVIC YU')
0404 END

```

SUBPROGRAMS CALLED

AK  
LOG.

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "?" NOT REFERENCED ]

TRSI	1	*S3	1751	*POM1	1752	11	1753	T	1777
CENA	3747	N	5717	CDOD	7667	*K1	7713	K	7714
ASIS	11664	*S2	11710	UP	11711	CRS	13661	CENSIS	15631
RIDI	15655	CENAI	17625	USIS	21575	*S1	21621	*S	21622
IS	21623	CSNI	21624	M	23574	STVCEN	25544	*J	25570
ISIS	25571	.S0007	25615	UPSIS	25616	RID	25642	.S0006	27612
IS0005	27613	.S0004	27614	MUT	27615	.S0003	31565	MDT	31500
	33536	.S0002	35506	.S0001	35507	*K4	35510	.S0000	35511
22	35512	*POM	35513	UPI	35514	CSN	37464	MUTSIS	41434
AN	41460	MDISIS	41461	STVCNJ	41505	U	41531	CJMI	43501
DOCT	45451	.S0013	47421	LAM2	47422	.S0012	51372	COSN	51373
IS0011	51417	*K3	51420	.S0010	51421	L	51422	*I1	53372
	53373	PENALI	53374	MCTSIS	53420	F	53444	IM	55414
AAH1	55476	PLNCNJ	57446	*K2	57472				

TEMPORARIES

000000 60462 .00001 60463

MAIN. [ NO ERRORS DETECTED ]

```

0001 C *****
0002 C
0003 REAL FUNCTION FAK(I)
0004 C   FUNKCIJSKI POTPROGRAM ZA IZRACUNAVANJE FAKTORIJELA
0005 C   I KONVERTOVANJE U REALAN BROJ
0006     K=1
0007     IF=1
0008 140 IF(I-K)142,142,141
0009 141 K=K+1
0010     IF=IF*K
0011     GO TO 140
0012 142 FAK=FLOAT(IF)
0013     RETURN
0014     END

```

LIBPROGRAMS CALLED

COAT. PROGRAM ZA OPTIMIZACIJU pouzdanosti proizvodnih sistema u gradjevinarstvu FORTRAN NA BAZI PROCURENE HELIPTICKE

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

FAK	1	*IF	2	*K	3	*I	4
-----	---	-----	---	----	---	----	---

TEMPORARIES

FAK016 5 .A0002 6

OK [ NO ERRORS DETECTED ]

Dr. Dragan M. Ivkovic

PRILOG II

PROGRAM ZA OPTIMIZACIJU POUZDANOSTI PROIZVODNIH SISTEMA  
U GRADJEVINARSTVU FORMIRAN NA BAZI PROŠIRENE HEURISTIČKE  
METODE NAKAGAWA I NAKASHIME

Branislav N. Ivković

000000111111112222222233333333444444445555555566666666777777778888888899999999

```

00001 C *****
00002 C *
00003 C *
00004 C PROGRAM ZA OPTIMIZACIJU POUZDANOSTI
00005 C *
00006 C BY B.N.IVKOVIC
00007 C *
00008 C *****
00009 C UKUPAN BROJ PODSISTEMA (J) = N
00010 REAL COSN(14)
00011 C UKUPNI TROSKOVI OSNOVNIH SREDSTAVA ZA CEO SISTEM
00012 C ZA SVAKO ALFA
00013 REAL CDOD(14)
00014 C UKUPNI DODATNI TROSKOVI USLED OTKAZA SISTEMA
00015 C ZA SVAKO ALFA
00016 REAL ALFA
00017 C RAVNOTEZNI KOEFICIJENT
00018 INTEGER Q,AP
00019 C BROJ USLOVA OGRANICENJA I POMOCNI ARGUMENT
00020 INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),XTEK(50)
00021 C XDOLE(J) JE MIN.BR. KANDIDATA ZA PODSISTEM (J)
00022 C XGORE(J) JE MAX.BR. KANDIDATA ZA PODSISTEM (J)
00023 C XTEK(J) JE TEKUCE RESENJE ZA PODSISTEM (J)
00024 INTEGER LPLUS(50)
00025 C SKUP SVIH PODSISTEMA CIJE SE POUZDANOSTI MOGU
00026 C UVECAITI
00027 C AKO JE LPLUS(J)=1 PODSISTEM JE U IGRI
00028 C AKO JE LPLUS(J)=0 PODSISTEM JE VAN IGRE
00029 REAL DELTAX(50)
00030 C ODNOS IZMEDJU PREOSTALE VREDNOSTI RESURSA ILI
00031 C NEISKOPISCENJE VREDNOSTI USLOVA OGRANICENJA I
00032 C PRIRASTAJA USLOVA OGRANICENJA ZA XTEK((J)+1)
00033 REAL STEZ(50)
00034 C TEZINSKA FUNKCIJA OSETLJIVOSTI ZA PODSISTEM (J)
00035 INTEGER T(50)
00036 C OZNAKA ZA TIP VEZE U PODSISTEMU (J) = LEGENDA:
00037 C 1) T(J)=1 SERIJSKI VEZAN JEDAN ELEMENT
00038 C 2) T(J)=2 AKTIVNA PARALELNA VEZA TIPA (K,N),
00039 C VRUCA REZERVA
00040 C 3) T(J)=3 PASIVNA PARALELNA VEZA TIPA (K,N),
00041 C HLADNA REZERVA
00042 REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),
00043 SCSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
00044 C POUZDANOSTI, REZULTATI RADA, PRODAJNE CENE,
00045 C TROSKOVI OSNOVNIH SREDSTAVA, RADNE SNAGE I
00046 C PLANIFANA REALIZACIJA NA IME PEZIJE I
00047 C DOBITI KOMPONENATA=ELEMENATA
00048 C PODSISTEMA. PRVI INDEX OZNACAVA BROJ PODSISTEMA
00049 C A DRUGI INDEX SE KORISTI UKOLIKO ELEMENTI U
00050 C OKVIRU JEDNOG PODSISTEMA IMAJU RAZLICITE
00051 C POUZDANOSTI, REZULTATE RADA ILI CENE. UKOLIKO
00052 C SVI ELEMENTI U OKVIRU PODSISTEMA IMAJU ISTU
00053 C POUZDANOST KORISTI SE SAMO CLAN R(J,1), A SVI
00054 C OSTALI CLANOVI (R(J,2),R(J,3),...) SU = 0
00055 REAL B(50,2),K1,K2,K3
00056 C SLOBODNI CLANOVI USLOVA OGRANICENJA PO

```

```

0057 C      REZULTATIMA RADA:
0058 C      B(J,1) = MIN. OCEKIVANI REZULTATI RADA (UP)
0059 C      B(J,2) = MAX. OCEKIVANI REZULTATI RADA (UP)
0060 C      B(J,2) = K1*B(J,1);K2*B(J,1);K3*B(J,1)
0061 REAL BI(50,2)
0062 C      TEKUCI CLANOVI USLOVA OGRANICENJA PO
0063 C      REZULTATIMA RADA
0064 REAL COGR
0065 C      SLOBODNI CLAN USLOVA OGRANICENJA PO CENI ZA
0066 C      CEO SISTEM
0067 REAL COGRI
0068 C      TEKUCI CLAN USLOVA OGRANICENJA PO CENI ZA
0069 C      CEO SISTEM
0070 REAL RS(14),UPSIST(14),CJED(14),CS(14)
0071 C      POUZDANOST, REZULTAT RADA, UKUPNA CENA RADA
0072 C      SISTEMA I JEDINICNA CENA CELOG SISTEMA ZA
0073 C      RAZNE VREDNOSTI ALFA
0074 REAL RSIST,STCENA
0075 C      OPTIMALNA POUZDANOST I STVARNA CENA RADA
0076 C      SISTEMA PO CASU RADA
0077 REAL ALFA1(14)
0078 C      CUVA VREDNOST ALFA IZ SVAKE ITERACIJE
0079 INTEGER IND(50)
0080 C      POMOCNI INDIKATOR KOJI POKAZUJE DA LI U KORAKU
0081 C      TRI TREBA RAZMATRATI USLOV (>):
0082 C      AKO JE IND(J)=1 USLOV JE U IGRI
0083 C      AKO JE IND(J)=0 USLOV SE NE RAZMATRA OD TE
0084 C      ITERACIJE
0085 REAL A(50,3)
0086 C      POMOCNI NIZ U KORAKU TRI ZA IZBOR DELTAX
0087 COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,P,T,N,CSN,CRS,RID
0088 COMMON/A2/ UPSIST,CJED,RS,ALFA1,CS,CDOD,COSN
0089 C      *****
0090 C      ZAVRSENO JE DEFINISANJE DEKLARATIVNIH NAREDBI
0091 C      *****
0092 C
0093 C      *****
0094 C      UCITAVANJE ULAZNIH PODATAKA O SISTEMU KAO CELINI
0095 C      *****
0096 C      WRITE(5,500)
0097 C 500 FORMAT(// ' UNESI UKUPAN BROJ PODSISTEMA N:',S)
0098 READ(5,*)N
0099 Q=4*N+1
0100 C      WRITE(5,501)
0101 C 501 FORMAT(// ' UNESI SL.CLAN OGRANICENJA PO CENI ZA CEO SISTEM:',S)
0102 READ(5,*)COGR
0103 C      WRITE(5,502)
0104 C 502 FORMAT(// ' UNESI PENALE PO CASU RADA:',S)
0105 READ(5,*)PENALI
0106 C      *****
0107 C      UCITAVANJE ULAZNIH PODATAKA O SVAKOM PODSISTEMU
0108 C      *****
0109 C      WRITE(5,503)
0110 C 503 FORMAT(//// ' KLJUC SIFRE ZA TIP PODSISTEMA (J)'
0111 C      S/' 1 - ZA SERIJSKI VEZAN JEDAN ELEMENT '
0112 C      S/' 2 - AKTIVNA PARALELNA VEZA TIPA (K,N)@VRUCA REZERVA '

```

```

0113 C S/' 3 - PASIVNA PARALELNA VEZA TIPA (K,N)=HLADNA REZERVA'/)
0114 DO 510 J=1,N
0115 C WRITE(5,504)J
0116 C 504 FORMAT(///' UNESI SIFRU ZA PODSISTEM (J):',I4)
0117 READ(5,*)T(J)
0118 GO TO (505,507,508)T(J)
0119 505 K=J
0120 CALL TIP1(K)
0121 GO TO 510
0122 507 K=J
0123 CALL TIP2(K)
0124 GO TO 510
0125 508 K=J
0126 CALL TIP3(K)
0127 510 CONTINUE
0128 C WRITE(5,511)
0129 C 511 FORMAT(///// ' ZAVRSENO JE UNOSENJE PODATAKA'
0130 C S ' POCINJE PRORACUN')
0131 C *****
0132 C STAMPANJE ULAZNIH PODATAKA
0133 C *****
0134 WRITE(3,1990)
0135 1990 FORMAT(///// ' PROGRAM ZA OPTIMIZACIJU POUZDANOSTI'/66(1H*))
0136 WRITE(3,2000)
0137 2000 FORMAT(///// ' ULAZNI PODACI'/30(1H*))
0138 WRITE(3,2010)N
0139 2010 FORMAT(///// ' UKUPAN BROJ PODSISTEMA:',I4)
0140 WRITE(3,1980)COGR
0141 1980 FORMAT(///// ' SL.CLAN USLOVA OGRANICENJA PO CENI ZA CEO SISTEM:'
0142 S,F13.1)
0143 WRITE(3,2020)PENALI
0144 2020 FORMAT(///// ' PENALI ZA KASNJENJE PO JEDINICI VREMENA:',F13.1)
0145 WRITE(3,2025)
0146 2025 FORMAT(//////////40X,'BY B.M. IVKOVIC')
0147 DO 3000 J=1,N
0148 WRITE(3,2030)J
0149 2030 FORMAT('1'///// ' PODACI O PODSISTEMU:',I4/35(1H*))
0150 2040 GO TO (2050,2060,2070)T(J)
0151 2050 M=J
0152 CALL POD1(M)
0153 GO TO 3000
0154 2060 M=J
0155 CALL POD2(M)
0156 GO TO 3000
0157 2070 M=J
0158 CALL POD3(M)
0159 3000 CONTINUE
0160 C *****
0161 C
0162 C KORAK I
0163 C
0164 IBROJ=0
0165 ALFA=-001
0166 515 ALFA=ALFA+001
0167 516 DO 520 J=1,N
0168 IND(J)=1

```



```

00169      XTEK(J)=XDOLE(J)
00170      LPLUS(J)=1
00171      IF(XGORE(J)EQ.XDOLE(J))LPLUS(J)=0
00172 520 CONTINUE
00173 C *****
00174      TYPE 1
00175      1 FORMAT(' ZAVRSEN PRVI KORAK')
00176 C
00177 C      KORAK II
00178 C
00179 525 S1=0.
00180      DO 530 J=1,N
00181          M=J
00182          IF(LPLUS(J)EQ.0)GO TO 530
00183          DO 531 I=XDOLE(J),XTEK(J)
00184              K=I
00185              S1=S1+DELTAC(K,M)
00186 531 CONTINUE
00187 530 CONTINUE
00188          COGRI=COGR-S1
00189          DO 550 J=1,N
00190              M=J
00191              IF(LPLUS(J)EQ.0)GO TO 550
00192              S2=0.
00193              DO 540 I=XDOLE(J),XTEK(J)
00194                  K=I
00195          540 S2=S2+DELTAG(K,M)
00196              BI(J,1)=B(J,1)-S2
00197              BI(J,2)=B(J,2)-S2
00198 550 CONTINUE
00199 C *****
0200      TYPE 2
0201      2 FORMAT(' ZAVRSEN DRUGI KORAK')
0202 C
0203 C      KORAK II=A
0204 C
0205 C      INDIK=INDIKATOR PROLASKA KROZ POTPROGRAM 'POMOC'
0206      INDIK=0
0207      CALL POMOC(BI,LPLUS,XTEK,ALFA,INDIK,COGR,COGRI)
0208      IF(INDIKEQ.1)GO TO 525
0209 C *****
0210      TYPE 3
0211      3 FORMAT(' ZAVRSEN KORAK II=A')
0212 C
0213 C      KORAK III
0214 C
0215      DO 560 J=1,N
0216          IF(LPLUS(J)EQ.0)GO TO 560
0217          IF(BI(J,1)LT.0)IND(J)=0
0218 560 CONTINUE
0219 C      IZBOR CLANOVA NIZA DELTAX
0220      DO 570 J=1,N
0221          M=J
0222          IF(LPLUS(J)EQ.0)GO TO 570
0223          AP=XTEK(M)+1
0224          A(J,1)=COGRI/DELTAC(AP,M)

```

```
0225            A(J,2)=BI(J,1)/DELTAG(AP,M)
0226            A(J,3)=BI(J,2)/DELTAG(AP,M)
0227            DELTAX(J)=AMINI(A(J,1),A(J,2),A(J,3))
0228            IF(IND(J)EQ.0)DELTAX(J)=AMINI(A(J,1),A(J,3))
0229            570 CONTINUE
0230            C            *****
0231            C            TYPE 4
0232            C            4 FORMAT(' ZAVRSEN TRECI KORAK')
0233            C
0234            C            KORAK IV
0235            C
0236            DO 580 J=1,N
0237            IF(LPLUS(J)EQ.0)GO TO 580
0238            IF(AMINI(A(J,1),A(J,3)).LT.1.)LPLUS(J)=0
0239            580 CONTINUE
0240            C            PROVERA DA LI JE L(+1)=0
0241            ID=0
0242            DO 590 J=1,N
0243            IF(LPLUS(J)EQ.0)ID=ID+1
0244            590 CONTINUE
0245            IF(ID.EQ.N)GO TO 650
0246            DELIXC=1E10
0247            DO 600 J=1,N
0248            IF(LPLUS(J)EQ.0)GO TO 600
0249            IF(DELTAX(J)LT.DELIXC)DELIXC=DELTAX(J)
0250            600 CONTINUE
0251            C            *****
0252            C            TYPE 5
0253            C            5 FORMAT(' ZAVRSEN CETVRTI KORAK')
0254            C
0255            C            KORAK V
0256            C
0257            605 DO 610 J=1,N
0258            M=J
0259            IF(LPLUS(J)EQ.0)GO TO 610
0260            AF=XTEK(M)+1
0261            STEZ(J)=DELTAF(AP,M)*((1-ALFA)*DELIXC+ALFA*DELTAX(J))
0262            610 CONTINUE
0263            SM=-1E10
0264            DO 620 J=1,N
0265            IF(LPLUS(J)EQ.0)GO TO 620
0266            IF(STEZ(J)GT.SM)GO TO 615
0267            GO TO 620
0268            615 SM=STEZ(J)
0269            M=J
0270            620 CONTINUE
0271            C            *****
0272            C            TYPE 6
0273            C            6 FORMAT(' ZAVRSEN PETI KORAK')
0274            C
0275            C            KORAK VI
0276            C
0277            XTEK(M)=XTEK(M)+1
0278            IF(XTEK(M)EQ.XGORE(M))LPLUS(M)=0
0279            TYPE 7
0280            7 FORMAT(' ZAVRSEN SESTI KORAK')
```

```

00281 GO TO 525
00282 C *****
00283 650 IBROJ=IBROJ+1
00284 CALL TABELA(IBROJ,XTEK,ALFA,PENALI)
00285 IF(IBROJ.EQ.14)CALL IZLAZ
00286 IF(IBROJ.EQ.14)STOP' JOB COMPLETED'
00287 IF(IBROJ.LT.11)GO TO 515
00288 IF(IBROJ.EQ.11)ALFA=1011
00289 IF(IBROJ.EQ.12)ALFA=1067
00290 IF(IBROJ.EQ.13)ALFA=3033
00291 GO TO 516
00292 END
    
```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)									
COLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
TD	+12203								
A2/(+142)									
SISI	+0	CJED	+16	RS	+34	ALFA1	+52	CS	+10
OOD	+106	COSN	+124						

SUBPROGRAMS CALLED

TABELA	POD3	TIP3	POD2	TIP2	DELTAC
DELTA	POD1	DELTA	TIP1	IZLAZ	POMOC
MINI.					

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

CENA	COGRI	1	AP	2	Q	3	%K1	
DELIXC	*K	5	*S2	6	XTEK	7	*INDIK	71
ALFA	*S1	73	*SM	74	*ID	75	*M	76
	.S0007	100	%RSIST		.S0006	101	.S0005	102
.S0004	.S0003	104	A	105	.S0002	333	.S0001	334
.S0000	*IBROJ	336	STEZ	337	INC	421	.S0015	503
.S0014	.S0013	505	.S0012	506	.S0011	507	%K3	
DELTA	.S0010	572	.I0001	573	COGR	574	LPLUS	575
.I0000	*I	660	*PENALI	661	BI	662	%K2	

TEMPORARIES

.00000	1202	.00001	1203	.00002	1204
--------	------	--------	------	--------	------

FIN. [ NO ERRORS DETECTED ]

```

00001 C *****
00002 C KRAJ GLAVNOG PROGRAMA
00003 C *****
00004 C
00005 C *****
00006 C P O T P R O G R A M I
00007 C *****
00008 C
00009 SUBROUTINE POMOC(BI,LPLUS,XTEK,ALFA,INDIK,COGR,COGRI)
00010 C
00011 C POTPROGRAM KOJI PROVERAVA DA LI SU STVARNI (UP) POJEDINIH
00012 C PODSISTEMA IZNAD MINIMALNOG DOPUSTENOG (UP) I AKO NISU
00013 C POVECAVA XTEK(J) DOK SE OVAJ USLOV NE ISPLNI
00014 C
00015 COMMON/PA1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,E,T,N,CSN,CRS,RID
00016 REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2),CSN(50,20),
00017 SCRS(50,20),RID(50,20),BI(50,2),ALFA,STEZ(50),A(50,3),DELTAX(50)
00018 INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50),LPLUS(50),LPLUS1(50),AP,
00019 SXTEK(50),IND(50)
00020 DO 5000 J=1,N
00021 LPLUS1(J)=0
00022 IF(BI(J,1).GT.0)LPLUS1(J)=1
00023 IF(LPLUS(J).EQ.0)LPLUS1(J)=0
00024 IF(BI(J,1).GT.0.AND.LPLUS(J).EQ.0)GO TO 6000
00025 5000 CONTINUE
00026 C OVDE SE FORMIRA SKUP (LPLUS1). AKO SU UCINCI ISPOD MINIMALNIH, A
00027 C (XTEK) SE NE MOZE POVECATI STAMPA SE FORUKA DA RASPOLOZIVA
00028 C FINANSIJSKA SREDSIVA NE DOZVOLJAVAJU ANGAZOVANJE POTREBNOG BROJA
00029 C ELEMENATA ZA OSTVARIVANJE MINIMALNOG DOPUSTENOG (UP), ODNOSNO
00030 C OCEKIVANE VREDNOSTI (UP). TO ZNACI DA DOBIJENO RESENJE, OPTIMALNO
00031 C SA STANOVISTA POUZDANOSTI, TEHNICKI I TEHNOLOSKI NE OMOGUCUJE
00032 C ZADOVOLJENJE OSNOVNIH USLOVA OGRANICENJA
00033 C KK=0
00034 DO 5010 J=1,N
00035 IF(LPLUS1(J).EQ.0)KK=KK+1
00036 5010 CONTINUE
00037 C OVIM SE PROVERAVA DA LI SU SVI CLANVI SKUPA (LPLUS1) = 0;
00038 C AKO JESU => IZLAZI SE IZ POTPROGRAMA
00039 C AKO NISU => ULAZI SE U PROCEDURU ZA UVECANJE (XTEK)
00040 IF(KK.EQ.N)RETURN
00041 DO 5015 J=1,N
00042 5015 IND(J)=1
00043 C INDIK=1
00044 C PROMENA (INDIK) POKAZUJE DA JE POTPROGRAM AKTIVIRAN
00045 C *****
00046 C
00047 C KORAK P-II
00048 C
00049 5525 S1=0.
00050 DO 5530 J=1,N
00051 M=J
00052 IF(LPLUS1(J).EQ.0)GO TO 5530
00053 DO 5531 I=XDOLE(J),XTEK(J)
00054 K=I
00055 S1=S1+DELTAC(K,M)
00056 5531 CONTINUE

```

```

0057 5530 CONTINUE
0058     COGRI=COGR-S1
0059     DO 5550 J=1,N
0060         M=J
0061         IF (LPLUS1(J).EQ.0) GO TO 5550
0062         S2=0.
0063         DO 5540 I=XDOLE(J),XTEK(J)
0064             K=I
0065 5540     S2=S2+DELTAG(K,M)
0066         B1(J,1)=B(J,1)-S2
0067         B1(J,2)=B(J,2)-S2
0068         IF (B1(J,1).GT.0) LPLUS1(J)=1
0069         IF (B1(J,1).EQ.0) LPLUS1(J)=0
0070         IF (B1(J,1).LT.0) LPLUS1(J)=0
0071         IF (LPLUS(J).EQ.0) LPLUS1(J)=0
0072         IF (B1(J,1).GT.0.AND.LPLUS(J).EQ.0) GO TO 6000
0073 5550 CONTINUE
0074         KK1=0
0075         DO 5555 J=1,N
0076             IF (LPLUS1(J).EQ.0) KK1=KK1+1
0077 5555 CONTINUE
0078         IF (KK1.EQ.N) RETURN
0079 C *****
0080 C
0081 C     KORAK P=III
0082 C
0083         DO 5560 J=1,N
0084             IF (LPLUS1(J).EQ.0) GO TO 5560
0085             IF (B1(J,1).LT.0.) IND(J)=0
0086 5560 CONTINUE
0087 C     IZBOR CLANOVA NIZA DELTAX
0088         DO 5570 J=1,N
0089             M=J
0090             IF (LPLUS1(J).EQ.0) GO TO 5570
0091             AP=XTEK(M)+1
0092             A(J,1)=COGRI/DELTAC(AP,M)
0093             A(J,2)=B1(J,1)/DELTAG(AP,M)
0094             A(J,3)=B1(J,2)/DELTAG(AP,M)
0095             DELTAX(J)=AMIN1(A(J,1),A(J,2))
0096             IF (IND(J).EQ.0) DELTAX(J)=A(J,1)
0097 5570 CONTINUE
0098 C *****
0099 C
0100 C     KORAK P=IV
0101 C
0102         DO 5580 J=1,N
0103             IF (LPLUS1(J).EQ.0) GO TO 5580
0104             IF (AMIN1(A(J,1),A(J,3)).LT.1.) LPLUS(J)=0
0105             IF (LPLUS(J).EQ.0) LPLUS1(J)=0
0106 5580 CONTINUE
0107         KK1=0
0108         DO 5585 J=1,N
0109             IF (LPLUS1(J).EQ.0) KK1=KK1+1
0110 5585 CONTINUE
0111         IF (KK1.EQ.N) RETURN
0112         DELTAX=1E10

```

```

0113      DO 5600 J=1,N
0114      IF(LPLUS1(J)EQ.0)GO TO 5600
0115      IF(DELTA(X(J)LT.DELT(XC)DELTA(XC=DELTA(X(J)
0116      5600 CONTINUE
0117      C      *****
0118      C
0119      C      KORAK P=V
0120      C
0121      5605 DO 5610 J=1,N
0122      M=J
0123      IF(LPLUS1(J)EQ.0)GO TO 5610
0124      AP=XTEK(M)+1
0125      STEZ(J)=DELTA(F(AP,M)*((1-ALFA)*DELTA(XC+ALFA*DELTA(X(J))
0126      5610 CONTINUE
0127      SM=-1E10
0128      DO 5620 J=1,N
0129      IF(LPLUS1(J)EQ.0)GO TO 5620
0130      IF(STEZ(J)GT.SM)GO TO 5615
0131      GO TO 5620
0132      5615 SM=STEZ(J)
0133      M=J
0134      5620 CONTINUE
0135      C      *****
0136      C
0137      C      KORAK P=VI
0138      C
0139      XTEK(M)=XTEK(M)+1
0140      IF(XTEK(M)EQ.XGORE(M))LPLUS(M)=0
0141      GO TO 5525
0142      6000 WRITE(3,6100)
0143      6100 FORMAT(//////10X,'DOBIJENO RESENJE, OPTIMALNO SA STANOVISIA
0144      S  POUZDANOSTI,'/10X,'TEHNICKI, FINANSIJSKI I TEHNOLOSKI
0145      S  NE ZADOVOLJAVA'/10X,'DATE USLOVE OGRANICENJA')
0146      STOP
0147      END
    
```

COMMON BLOCKS

```

011(+14153)
COLE  +0      XGORE  +62      R      +144     UCINAK  +2114     CENA    +4064
      +6034     T      +6200     N      +6262     CSN      +6263     CRS     +10233
CD     +12203
    
```

PROGRAMS CALLED

LTAC DELTAF DELTAG AMIN1.

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "?" NOT REFERENCED ]

LPLUS1	1	*COGRI	63	AP	64	*DELTA(XC	65	*K	66
	67	*KK1	70	XTEK	71	*INDIK	72	ALFA	73
	74	*SM	75	*M	76	*J	77	.S0007	100
S0006	101	*KK	102	.S0005	103	.S0004	104	.S0003	105
	106	.S0002	334	.S0001	335	.S0000	336	STEZ	337

IND 421 .S0016 503 .S0015 504 .S0014 505 .S0013 506  
.S0012 507 .S0011 510 DELTAX 511 .S0010 573 .I0001 574  
\*COGR 575 LPLUS 576 .I0000 577 \*1 600 BI 001

TEMPORARIES

.A0016 642

COMCC [ NO ERRORS DETECTED ]

```
1012 3015 FORMAT(/) BRUJ VARIJANTINIH ELEMENATA JET', J1, '
1013 3016 WRITE(3,3020) J1, R1(J,1)
1014 3020 FORMAT(/) POZDANOST ELEMENATA', J1, ' JE: ', J12, '
1015 3021 WRITE(3,3030) J1, UCINAK(J,1)
1016 3030 FORMAT(/) REZULTAT RADA ELEMENATA', J1, ' JE: ', J10, '
1017 3031 WRITE(3,3040) J1, CENAK(J,1)
1018 3040 FORMAT(/) PRORAUNA CENA RADA ELEMENATA', J1, ' JE: ', J15, '
1019 3041 WRITE(3,3050) J1, CENAK(J,1)
1020 3050 FORMAT(/) TRZADNYI OSUMENOSIVYI K ELEMENATU', J1, ' SU: ', J16, '
1021 3051 WRITE(3,3060) J1, CENAK(J,1)
1022 3060 FORMAT(/) CENA RAZNE BRAGE IZ ALUMINIJA', J1, ' JE: ', J18, '
1023 3061 WRITE(3,3070) J1, R1(J,1)
1024 3070 FORMAT(/) PLANIRANA RETIJA I DOKAZ ZA ELEMENAT', J1, ' JE: ',
1025 3071 J19, '
1026 3072 CONTINUE
1027 3073 WRITE(3,3080) J1, R1(J,1)
1028 3080 FORMAT(/) ODEKIVANI REZULTATI RADA SUSTEMA: ', J10, '
1029 3081 WRITE(3,3090) J1, J1
1030 3090 FORMAT(/) RAZ, DOPUNJE I REZULTAT RADA SUSTEMA: ', J10, '
1031 3091 RETURN
1032 3092 END
```

PROGRAM BLOCKS

1012-1013	1014-1015	1016-1017	1018-1019	1020-1021	1022-1023	1024-1025	1026-1027	1028-1029	1030-1031
1012	1014	1016	1018	1020	1022	1024	1026	1028	1030
1013	1015	1017	1019	1021	1023	1025	1027	1029	1031

PROGRAMS CALLED

CHARS AND ALWAYS 1 "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "0" NOT REFERENCED

1 .S0001 2 .S0002 3 .S0003

TEMPORARIES

.A016 100

COMCC [ NO ERRORS DETECTED ]

```

0001 C *****
0002 C
0003 SUBROUTINE POD1(J)
0004 C STAMPANJE ULAZNIH PODATAKA ZA PODSISTEM TIP 1
0005 COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
0006 REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2),CSN(50,20),
0007 SCRS(50,20),RID(50,20)
0008 INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
0009 WRITE(3,3010)
0010 3010 FORMAT(///' PODSISTEM JE SERIJSKI VEZAN JEDAN ELEMENT - TIP1')
0011 WRITE(3,3015)XGORE(J)
0012 3015 FORMAT(//' BROJ VARIJANTNIH ELEMENATA JE:',I3)
0013 DO 3100 I=1,XGORE(J)
0014 WRITE(3,3020)I,R(J,I)
0015 3020 FORMAT(///' POUZDANOST ELEMENTA',I2,' JE:',F10.5)
0016 WRITE(3,3030)I,UCINAK(J,I)
0017 3030 FORMAT(//' REZULTAT RADA ELEMENTA',I2,' JE:',F10.2)
0018 WRITE(3,3040)I,CENA(J,I)
0019 3040 FORMAT(//' PRODAJNA CENA RADA ELEMENTA',I2,' JE:',F10.2)
0020 WRITE(3,3050)I,CSN(J,I)
0021 3050 FORMAT(//' TROSKOVI OSNOSREDSTVA ZA ELEMENT',I2,' SU:',F10.2)
0022 WRITE(3,3060)I,CRS(J,I)
0023 3060 FORMAT(//' CENA RADNE SNAGE ZA ELEMENT',I2,' JE:',F10.2)
0024 WRITE(3,3070)I,RID(J,I)
0025 3070 FORMAT(//' PLANIRANA REZIJA I DOBIT ZA ELEMENT',I2,' JE:',
0026 SF10.2)
0027 3100 CONTINUE
0028 WRITE(3,3080)B(J,1)
0029 3080 FORMAT(///' OCEKIVANI REZULTAT RADA PODSISTEMA:',F10.2)
0030 WRITE(3,3090)B(J,2)
0031 3090 FORMAT(//' MAX.DOPUSTENI REZULTAT RADA PODSISTEMA:',F10.2)
0032 RETURN
0033 END

```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)									
XDOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
RID	+12203								

SUBPROGRAMS CALLED

SCALARS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "?" NOT REFERENCED ]

0 1 .S0000 2 \*I 3

TEMPORARIES

A, A0016 160

1001 [ NO ERRORS DETECTED ]



```

0001 C      *****
0002 C
0003      SUBROUTINE POD2(J)
0004 C      STAMPANJE ULAZNIH PODATAKA ZA PODSISTEM TIP 2
0005      COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
0006      REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2),CSN(50,20),
0007      SCRS(50,20),RID(50,20)
0008      INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
0009      WRITE(3,4010)
0010      4010 FORMAT(////'    PODSISTEM JE TIPA (K,N)-VRUCA REZERVA - TIP2')
0011      WRITE(3,4040)XDOLE(J)
0012      4040 FORMAT(////'    MIN.BROJ ELEMENATA U VRUCOJ (K,N) VEZI:',I4)
0013      WRITE(3,4050)XGORE(J)
0014      4050 FORMAT(//'    MAX.BROJ ELEMENATA U VRUCOJ (K,N) VEZI:',I4)
0015      WRITE(3,4020)R(J,1)
0016      4020 FCRMAT(////'    POUZDANOST JEDNOG ELEMENTA JE:',F10.5)
0017      WRITE(3,4030)UCINAK(J,1)
0018      4030 FORMAT(//'    REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA JE:',F10.2)
0019      WRITE(3,4060)CENA(J,1)
0020      4060 FCRMAT(//'    PRODAJNA CENA RADA JEDNOG ELEMENTA JE:',F10.2)
0021      WRITE(3,4070)CSN(J,1)
0022      4070 FORMAT(//'    TROSKOVI OSNOSREDSIVA ZA JEDAN ELEMENT:',F10.2)
0023      WRITE(3,4075)CRS(J,1)
0024      4075 FCRMAT(//'    CENA RADNE SNAGE ZA JEDAN ELEMENT JE:',F10.2)
0025      WRITE(3,4080)RID(J,1)
0026      4080 FCRMAT(//'    PLANIRANA REZIJA I DOBIT ZA JEDAN ELEMENT:',F10.2)
0027      WRITE(3,4085)B(J,1)
0028      4085 FCRMAT(////'    OCEKIVANI REZULTAT RADA PODSISTEMA JE:',F10.2)
0029      WRITE(3,4090)B(J,2)
0030      4090 FCRMAT(//'    MAX.DOPUSTENI REZULTAT RADA PODSISTEMA JE:',F10.2)
0031      RETURN
0032      END

```

COMMON BLOCKS

DOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
ID	+12203								

BERCGRAMS CALLED

PARAMETERS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

1

TEMPORARIES

AA0016 173

POD2 [ NO ERRORS DETECTED ]

```

0001 C      *****
0002 C
0003      SUBROUTINE POD3(J)
0004 C      STAMPANJE ULAZNIH PODATAKA ZA PODSISTEM TIP 3
0005      COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
0006      REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2),CSN(50,20),
0007      SCRS(50,20),RID(50,20)
0008      INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
0009      WRITE(3,5010)
0010      5010 FORMAT(////'      PODSISTEM JE TIPA (K,N)-HLADNA REZERVA - TIP3')
0011      WRITE(3,5040)XDOLE(J)
0012      5040 FORMAT(////'      MIN.BROJ ELEMENATA U HLADNOJ (K,N) VEZI:',14)
0013      WRITE(3,5050)XGORE(J)
0014      5050 FORMAT(//'      MAX.BROJ ELEMENATA U HLADNOJ (K,N) VEZI:',14)
0015      WRITE(3,5020)R(J,1)
0016      5020 FORMAT(////'      POUZDANOST JEDNOG ELEMENTA JE:',F10.5)
0017      WRITE(3,5030)UCINAK(J,1)
0018      5030 FORMAT(//'      REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA JE:',F10.2)
0019      WRITE(3,5060)CENA(J,1)
0020      5060 FORMAT(//'      PRODAJNA CENA RADA JEDNOG ELEMENTA JE:',F10.2)
0021      WRITE(3,5070)CSN(J,1)
0022      5070 FORMAT(//'      TROSKOVI OSNOSREDSTIVA ZA JEDAN ELEMENT:',F10.2)
0023      WRITE(3,5075)CRS(J,1)
0024      5075 FORMAT(//'      CENA RADNE SNAGE ZA JEDAN ELEMENT JE:',F10.2)
0025      WRITE(3,5080)RID(J,1)
0026      5080 FORMAT(//'      PLANIRANA REZIJA I DOBIT ZA JEDAN ELEMENT:',F10.2)
0027      WRITE(3,5085)B(J,1)
0028      5085 FORMAT(////'      OCEKIVANI REZULTAT RADA PODSISTEMA JE:',F10.2)
0029      WRITE(3,5090)B(J,2)
0030      5090 FORMAT(//'      MAX.DOPUSTENI REZULTAT RADA PODSISTEMA JE:',F10.2)
0031      RETURN
0032      END

```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)									
XDOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
RID	+12203								

SUBPROGRAMS CALLED

SYMBOLS AND APRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

1

TEMPORARIES

ADDRESS 174

END [ NO ERRORS DETECTED ]

```

0001 C            *****
0002 C
0003            SUBROUTINE TIP1(J)
0004 C            ULAZNI PODACI ZA VEZU TIP 10
0005            COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
0006            REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
0007            S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20),K1
0008            INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
0009 C            WRITE(5,90)J
0010 C            90 FORMAT(///' UCITAVANJE ULAZNIH PODATAKA ZA PODSISTEM (J):',I4)
0011 C            WRITE(5,100)
0012 C            100 FORMAT(//' UNESI BROJ VARIJANTE ZA SERIJSKU VEZU:',S)
0013            READ(5,*)XGORE(J)
0014            XDOLE(J)=1
0015            DO 104 L=1,XGORE(J)
0016 C            WRITE(5,101)L
0017 C            101 FORMAT(//' UNESI POUZDANOST ZA VARIJANTU:',I4)
0018            READ(5,*)R(J,L)
0019 C            WRITE(5,102)L
0020 C            102 FORMAT('/' UNESI REZULTAT RADA ZA VARIJANTU:',I4)
0021            READ(5,*)UCINAK(J,L)
0022 C            WRITE(5,103)L
0023 C            103 FORMAT('/' UNESI PRODAJNU CENU ZA VARIJANTU:',I4)
0024            READ(5,*)CENA(J,L)
0025 C            WRITE(5,1001)L
0026 C1001            1001 FORMAT('/' UNESI TROSKOVE OSN.SREDSTVA ZA VARIJANTU:',I4)
0027            READ(5,*)CSN(J,L)
0028 C            WRITE(5,1004)L
0029 C1004            1004 FORMAT('/' UNESI CENU RADNE SNAGE ZA VARIJANTU:',I4)
0030            READ(5,*)CRS(J,L)
0031 C            WRITE(5,1008)L
0032 C1008            1008 FORMAT('/' UNESI PLAN.SR. ZA REZIJU I DOHODAK ZA VARIJANTU:',I4)
0033            READ(5,*)RID(J,L)
0034            104 CONTINUE
0035 C            WRITE(5,105)J
0036 C            105 FORMAT(///' UNESI OCEKIVANI REZULTAT RADA ZA PODSISTEM (J):',I4)
0037            READ(5,*)B(J,1)
0038 C            WRITE(5,106)J
0039 C            106 FORMAT('/' UNESI K1 ZA MAX.DOPUSTENI UP ZA PODSIS. (J):',I4)
0040            READ(5,*)K1
0041            B(J,2)=P(J,1)*K1
0042            RETURN
0043            END

```

COMMON BLOCKS

A/(+14153)

DOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
D	+12203								

PROGRAMS CALLED

LOCALS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

KIP1 1 \*J 2 .S0000 3 \*L 4

TEMPORARIES

A0016 5

KIP1 [ NO ERRORS DETECTED ]

```

C 101 FORMAT(// 'UNESI MAX. BROJ ELEMENTA U VREDN. (M, N) = 1000', 1)
C 102 READ(5, *) M, N
C 103 WRITE(5, 103)
C 104 FORMAT(// 'UNESI MAX. BROJ ELEMENTA U VREDN. (M, N) VETI:', 1)
C 105 READ(5, *) M, N
C 106 WRITE(5, 106)
C 107 FORMAT(// 'UNESI PODJEDINICE VREDNE ELEMENTA U PODJEDINICAMA', 1)
C 108 READ(5, *) M, N
C 109 WRITE(5, 109)
C 110 FORMAT(// 'UNESI REZULTAT PRAVA NEKOG ELEMENTA U PODJEDINICI', 1)
C 111 READ(5, *) M, N
C 112 WRITE(5, 112)
C 113 FORMAT(// 'UNESI LINEARNE VREDNE ELEMENTA U PODJEDINICI', 1)
C 114 READ(5, *) M, N
C 115 WRITE(5, 115)
C 116 FORMAT(// 'UNESI PROSJEK VREDNOSTI NEKOG ELEM. ZA SVAKO', 1)
C 117 READ(5, *) M, N
C 118 WRITE(5, 118)
C 119 FORMAT(// 'UNESI LINEARNE VREDNE ELEMENTE ZA SVAKO I PODJEDINICE', 1)
C 120 READ(5, *) M, N
C 121 WRITE(5, 121)
C 122 FORMAT(// 'UNESI PLANOVANE ZA SVAKO I PODJEDINICE', 1)
C 123 READ(5, *) M, N
C 124 WRITE(5, 124)
C 125 FORMAT(// 'UNESI K2 ZA VREDNOSTI NEKOG ELEM. ZA SVAKO', 1)
C 126 READ(5, *) M, N
C 127 WRITE(5, 127)
C 128 WRITE(5, 128)
C 129 END

```

FOR BLOCKS

LINE	TEXT	ADDR	LEN	CHAR	CODE	CRN
1	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

PROGRAMS CALLED

```

00001 C      *****
00002 C
00003      SUBROUTINE TIP2(J)
00004 C      ULAZNI PODACI ZA VEZU TIP 2
00005      COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
00006      REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
00007      S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20),K2
00008      INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
00009 C      WRITE(5,120)J
00010 C 120      FORMAT(///' UCITAVANJE ULAZNIH PODATAKA ZA PODSISTEM (J):',14)
00011 C      WRITE(5,121)
00012 C 121      FORMAT(//' UNESI MIN.BROJ ELEMENATA U VRUCOJ (K,N) VEZI:',5)
00013      READ(5,*)XDOLE(J)
00014 C      WRITE(5,122)
00015 C 122      FORMAT(//' UNESI MAX.BROJ ELEMENATA U VRUCOJ (K,N) VEZI:',5)
00016      READ(5,*)XGORE(J)
00017 C      WRITE(5,123)J
00018 C 123      FORMAT(//' UNESI POUZDANOST JEDNOG ELEMENTA U PODSISTEMU (J):',14)
00019      READ(5,*)R(J,1)
00020 C      WRITE(5,124)J
00021 C 124      FORMAT(//' UNESI REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA U PODSIS. (J):',14)
00022      READ(5,*)UCINAK(J,1)
00023 C      WRITE(5,125)J
00024 C 125      FORMAT(//' UNESI CENU JEDNOG ELEMENTA U PODSISTEMU J:',14)
00025      READ(5,*)CENA(J,1)
00026 C      WRITE(5,126)J
00027 C1010      FORMAT(//' UNESI TROSKOVE OSN.SREDSTIVA JEDNOG EL. ZA PODSIS.:',14)
00028      READ(5,*)CSN(J,1)
00029 C      WRITE(5,1015)J
00030 C1015      FORMAT(//' UNESI CENU RADNE SNAGE ZA JEDAN ELEM. PODSIST.:',14)
00031      READ(5,*)CRS(J,1)
00032 C      WRITE(5,1020)J
00033 C1020      FORMAT(//' UNESI PLAN@SRED. ZA REZIJU I DOBIT,1EL.PODSIS.:',14)
00034      READ(5,*)RID(J,1)
00035 C      WRITE(5,126)J
00036 C 126      FORMAT(//' UNESI OCEKIVANI REZULTAT RADA ZA PCDSIS. (J):',14)
00037      READ(5,*)B(J,1)
00038 C      WRITE(5,127)J
00039 C 127      FORMAT(//' UNESI K2 ZA MAX#DOPUSTENI UP ZA PODSIS. (J):',14)
00040      READ(5,*)K2
00041      B(J,2)=B(J,1)*K2
00042      RETURN
00043      END

```

COMMON BLOCKS

11/(+14153)									
XDOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
RD	+12203								

BBPROGRAMS CALLED

LOCALS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

LJ 1 K2 2  
 TEMPORARIES

..AGE16 3

TIP2 [ NO ERRORS DETECTED ]

```

12 C 131 FORMAT(//) UNESI MIN.BROJ ELEMANATA U HLENSU (K,N) VEŠIŠU
13 READ(5,*)NDOLU(1)
14 C WRITE(5,132)
15 C 132 FORMAT(//) UNESI MAX.BROJ ELEMANATA U HLENSU (K,N) VEŠIŠU
16 READ(5,*)XGORU(1)
17 C WRITE(5,133)
18 C 133 FORMAT(//) UNESI POUZDAROST JEDNOG ELEMANTA U PODSISTEMU (M,N)
19 READ(5,*)PI(1,1)
20 C WRITE(5,134)
21 C 134 FORMAT(//) UNESI NAZIVLJAK PAKA JEDNOG SUPREMA U PODSIS. (M,N), (N)
22 READ(5,*)UCINAK(1,1)
23 C WRITE(5,135)
24 C 135 FORMAT(//) UNESI CENU JEDNOG SLE PAKA U KUPACIJI+POLU. (M,N)
25 READ(5,*)CENA(1,1)
26 C WRITE(5,136)
27 C 136 FORMAT(//) UNESI CENU OSNOSNEBIVIA JED.ELEM. ZA PODSIS. (M,N)
28 READ(5,*)CEN(1,2)
29 C WRITE(5,137)
30 C 137 FORMAT(//) UNESI CENU PAKA SVEG JEDNOG SLE PAKA PODSIS. (M,N)
31 READ(5,*)CEN(1,1)
32 C WRITE(5,138)
33 C 138 FORMAT(//) UNESI PLAN SREDE ZA VEŠIJU I OŠBIT I.EB.PODSIS. (M,N)
34 READ(5,*)S(1,1)
35 CONJ,1)=CANN(1,2)
36 C WRITE(5,139)
37 C 139 FORMAT(//) UNESI OŠKIVANI PRILITIV WADA ZA PODSIS. (M,N)
38 READ(5,*)P(1,1)
39 C WRITE(5,140)
40 C 140 FORMAT(//) UNESI P3 ZA NAJ.PODSISTEMI UF ZA PODSIS. (M,N)
41 READ(5,*)P3
42 S(1,2)=S(1,1)*K3
43 RETURN
44 END
    
```

FOR BLOCKS

1-14153)									
14	40	SCORE	+02	H	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4461
			+6246	N	+6242	CSN	+6313	CRS	+16252
			+12281						

```

00001 C *****
00002 C
00003 SUBROUTINE TIP3(J)
00004 C ULAZNI PODACI ZA VEZU TIP 30
00005 COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
00006 REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
00007 S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20),K3
00008 INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
00009 C WRITE(5,130)J
00010 C 130 FORMAT(///' UCITAVANJE ULAZNIH PODATAKA ZA PODSISTEM (J):',14)
00011 C WRITE(5,131)
00012 C 131 FORMAT(///' UNESI MIN.BROJ ELEMENATA U HLADNOJ (K,N) VEZI:'S)
00013 READ(5,*)XDOLE(J)
00014 C WRITE(5,132)
00015 C 132 FORMAT(///' UNESI MAX.BROJ ELEMENATA U HLADNOJ (K,N) VEZI:'S)
00016 READ(5,*)XGORE(J)
00017 C WRITE(5,133)J
00018 C 133 FORMAT(///' UNESI POUZDANOST JEDNOG ELEMENTA U PODSISTEMU (J):',14)
00019 READ(5,*)R(J,1)
00020 C WRITE(5,134)J
00021 C 134 FORMAT(///' UNESI REZULTAT RADA JEDNOG ELEMENTA U PODSIS. (J):',14)
00022 READ(5,*)UCINAK(J,1)
00023 C WRITE(5,135)J
00024 C 135 FORMAT(///' UNESI CENU JEDNOG EL.KADA JE U FUNKCIJI=PODS. (J):',14)
00025 READ(5,*)CENA(J,1)
00026 C WRITE(5,136)J
00027 C 136 FORMAT(///' UNESI CENU OSNOSREDSTIVA JED.ELEM. ZA PODSIS.:',14)
00028 READ(5,*)CENA(J,2)
00029 C WRITE(5,137)J
00030 C 137 FORMAT(///' UNESI CENU RADNE SNAGE JEDNOG ELEM. ZA PODSIS.:',14)
00031 READ(5,*)CRS(J,1)
00032 C WRITE(5,138)J
00033 C 138 FORMAT(///' UNESI PLAN.SRED. ZA REZIJU I DOBIT 1.EL.PODSIS.:',14)
00034 READ(5,*)RID(J,1)
00035 CSN(J,1)=CENA(J,2)
00036 C WRITE(5,139)J
00037 C 139 FORMAT(///' UNESI OCEKIVANI REZULTAT RADA ZA PODSIS. (J):',14)
00038 READ(5,*)B(J,1)
00039 C WRITE(5,140)J
00040 C 140 FORMAT(///' UNESI K3 ZA MAX.DOPUSTIENI UP ZA PODSIS. (J):',14)
00041 READ(5,*)K3
00042 B(J,2)=B(J,1)*K3
00043 RETURN
00044 END
    
```

COMMON BLOCKS

11(+14153)									
DOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4064
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
RD	+12203								

SUBPROGRAMS CALLED

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "?" NOT REFERENCED ]

U 1 K3 2

TEMPORARIES

AB#16 3

IP3 [ NO ERRORS DETECTED ]

SUBPROGRAMS CALLED

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "?" NOT REFERENCED ]

TEMPORARIES

AB#16 3

IP3 [ NO ERRORS DETECTED ]



```

00001 C *****
00002 C
00003 REAL FUNCTION FAK(I)
00004 C FUNKCIJSKI POTPROGRAM ZA IZRACUNAVANJE FAKTORIJELA
00005 C I KONVERTOVANJE U REALAN BROJ
00006 K=1
00007 IF=1
00008 140 IF(I=K)142,142,141
00009 141 K=K+1
00010 IF=IF*K
00011 GO TO 140
00012 142 FAK=FLOAT(IF)
00013 RETURN
00014 END

```

LIBRARY GRAMS CALLED

LOAD.

SCALARS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "?" NOT REFERENCED ]

FAK	1	*IF	2	*K	3	*I	4
-----	---	-----	---	----	---	----	---

TEMPORARIES

.A0016 5 .A0022 6

MARK [ NO ERRORS DETECTED ]

```

00001 C      *****
00002 C
00003      REAL FUNCTION CENA1(IY,J)
00004 C      POTPROGRAM ZA IZRACUNAVANJE USLOVA OGRANICENJA PO CENI
00005 C      ZA POJEDINE PODSISTEME
00006      COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
00007      REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
00008      S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
00009      INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
00010      GO TO (151,152,153)T(J)
00011      151 CENA1=CENA(J,IY)
00012           RETURN
00013      152 CENA1=CENA(J,1)*IY
00014           RETURN
00015      153 CENA1=XDOLE(J)*CENA(J,1)+(IY-XDOLE(J))*CENA(J,2)
00016           RETURN
00017           END
    
```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)									
XDOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4064
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
RID	+12203								

SUBPROGRAMS CALLED

SCALARS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

0      1      \*IY      2      CENA1      3

TEMPORARIES CALLED

A,AC002 4

CENA1 [ NO ERRORS DETECTED ]

```

00001 C *****
00002 C
00003 REAL FUNCTION FUCIN(IY,J)
00004 C IZRACUNAVANJE USLOVA OGRANICENJA PO REZULTATIMA RADA
00005 COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
00006 REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
00007 S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
00008 INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
00009 GO TO (161,162,164)T(J)
00010 161 FUCIN=UCINAK(J,IY)*R(J,IY)
00011 RETURN
00012 162 S=0.
00013 DO 163 I=XDOLE(J),IY
00014 K=I
00015 IYK=IY-K
00016 A2=FAK(IY)/(FAK(K)*FAK(IYK))
00017 163 S=S+A2*R(J,1)**I*(1-R(J,1))**(IY-I)
00018 FUCIN=S*IY*UCINAK(J,1)
00019 RETURN
00020 164 S=0.
00021 DO 165 I=0,(IY-XDOLE(J))
00022 K=I
00023 165 S=S+R(J,1)**XDOLE(J)/FAK(K)*(-XDOLE(J)*ALOG(R(J,1)))**K
00024 FUCIN=S*XDOLE(J)*UCINAK(J,1)
00025 RETURN
00026 END
    
```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)									
COLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
ID	+12203								

SUBPROGRAMS CALLED

FAK ALOG

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "?" NOT REFERENCED ]

X	1	FUCIN	2	*A2	3	*S	4	*J	5
S	6	.S0000	7	*IYK	10	*IY	11	.I0000	12
I	13								

TEMPORARIES

A	.A0016	14	.A0002	15	.A0003	16	.A0004	17	.A0005	20
O	.O0000	22	.O0001	23	.O0002	24	.O0003	25		

FUCIN [ NO ERRORS DETECTED ]

```

00001 C      *****
00002 C
00003      REAL FUNCTION FPOUZD(IY,J)
00004 C      IZRACUNAVANJE FUNKCIJE CILJA PO PODSISTEMIMA
00005      COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
00006      REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
00007      S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
00008      INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50)
00009      GO TO (171,172,174)T(J)
00010      171 FPOUZD=ALOG(R(J,IY))
00011      RETURN
00012      172 S=0.
00013      DO 173 I=XDOLE(J),IY
00014      K=I
00015      IYK=IY-K
00016      A3=FAK(IY)/(FAK(K)*FAK(IYK))
00017      173 S=S+A3*R(J,1)**I*(1-R(J,1))**(IY-I)
00018      FPOUZD=ALOG(S)
00019      RETURN
00020      174 S=0.
00021      DO 175 I=0,(IY-XDOLE(J))
00022      K=I
00023      175 S=S+R(J,1)**XDOLE(J)/FAK(K)*(-XDOLE(J)*ALOG(R(J,1)))**K
00024      FPOUZD=ALOG(S)
00025      RETURN
00026      END
    
```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)					+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
DOLE +0	XGORE	+62	R	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233	
	+6034	T	+6200	N					
TD	+12203								

SUBPROGRAMS CALLED

FAK ALOG.

SCALARS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

X	1	*A3	2	*S	3	*J	4	.S0001	5
S0000	6	*IYK	7	*IY	10	.10000	11	*I	12
FPOUZD	13								

TEMPORARIES

A0016	14	.A0002	15	.A0003	16	.A0004	17	.A0005	20
O0000	22	.O0001	23	.O0002	24	.O0003	25		

FPOUZD [ NO ERRORS DETECTED ]

```

0001 C *****
0002 C
0003 REAL FUNCTION DELTAG(IY,J)
0004 C IZRACUNAVANJE PRIRASTAJA USLOVA OGRANICENJA
0005 C PO REZULTATIMA RADA
0006 COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
0007 REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
0008 S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
0009 INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50),AP
0010 IF(IY.EQ.XDOLE(J))180,190
0011 180 DELTAG=FUCIN(IY,J)
0012 RETURN
0013 190 AP=IY-1
0014 DELTAG=FUCIN(IY,J)-FUCIN(AP,J)
0015 RETURN
0016 END
    
```

COMMON BLOCKS

AA1/(+14153)									
XDOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
RID	+12203								

SUBPROGRAMS CALLED

FUCIN

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "?" NOT REFERENCED ]

AP 1 \*J 2 DELTAG 3 \*IY 4

TEMPORARIES

.A0016 5 .A0002 6

DELTAG [ NO ERRORS DETECTED ]

```

0001 C            *****
0002 C
0003            REAL FUNCTION DELTAC(IY,J)
0004 C            IZRACUNAVANJE PRIRASTAJA DELA USLOVA
0005 C            OGRANICENJA PO CENAMA
0006            COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
0007            REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
0008            S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
0009            INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50),AP
0010            IF(IY.EQ.XDOLE(J))200,210
0011            200 DELTAC=CENA1(IY,J)
0012            RETURN
0013            210 AP=IY-1
0014            DELTAC=CENA1(IY,J)-CENA1(AP,J)
0015            RETURN
0016            END
    
```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)									
DOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4064
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
ID	+12203								

SUBPROGRAMS CALLED

CENA1  
 SCALARS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

AP    1            \*J            2            DELTAC 3            \*IY            4

TEMPORARIES

A0016 5            .A0002 6

DELTAC ( NO ERRORS DETECTED )

```

0001 C *****
0002 C
0003 REAL FUNCTION DELTAF(IY,J)
0004 C IZRACUNAVANJE PRIRASTAJA DELA FUNKCIJE CILJA
0005 COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
0006 REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
0007 S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
0008 INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50),AP
0009 IF(IY.EQ.XDOLE(J))220,230
0010 220 DELTAF=FPOUZD(IY,J)
0011 RETURN
0012 230 AP=IY-1
0013 DELTAF=FPOUZD(IY,J)-FPOUZD(AP,J)
0014 RETURN
0015 END
    
```

COMMON BLOCKS

/A1/(+14153)									
XDOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
B	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10004
RID	+12203								+10233

SUBPROGRAMS CALLED

FPOUZD

SCALARS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

AP 1 \*J 2 DELTAF 3 \*IY 4

TEMPORARIES

.A0016 5 .A0022 6

DELTAF [ NO ERRORS DETECTED ]

```
00001 C      *****
00002 C
00003      SUBROUTINE TABELA(IBROJ,XTEK,ALFA,PENALI)
00004 C      POTPROGRAM ZA STAMPANJE REZULTATA
00005      COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
00006      COMMON/A2/ UPSIST,CJED,RS,ALFA1,CS,CODD,COSN
00007      REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
00008      S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
00009      INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50),XTEK(50)
00010      REAL UPSIST(14),CJED(14),RS(14),ALFA1(14),CS(14),CODD(14),COSN(14)
00011      WRITE(3,700)ALFA
00012 700      FORMAT('1'////'                      OPTIMALNO RESENJE ZA ALFA =',F7.4)
00013      WRITE(3,710)
00014 710      FORMAT(////'      J',9X,'X(J)OPT',9X,'R(J)',8X,'R(J)*UP(J)',12X,
00015      S'C(J)')
00016      WRITE(3,720)
00017 720      FORMAT(66(1H*)//)
00018      ALFA1(IBROJ)=ALFA
00019      COSN(IBROJ)=0.
00020      DO 722 J=1,N
00021      IF(T(J)EQ=1)COSN(IBROJ)=COSN(IBROJ)+CSN(J,XTEK(J))
00022      IF(T(J)EQ=1)GO TO 722
00023      COSN(IBROJ)=COSN(IBROJ)+CSN(J,1)*XTEK(J)
00024 722      CONTINUE
00025      UCRS=0.
00026      DO 724 J=1,N
00027      IF(T(J)EQ=1)UCRS=UCRS+CRS(J,XTEK(J))
00028      IF(T(J)EQ=1)GO TO 724
00029      UCRS=UCRS+CRS(J,1)*XTEK(J)
00030 724      CONTINUE
00031      URID=0.
00032      DO 726 J=1,N
00033      IF(T(J)EQ=1)URID=URID+RID(J,XTEK(J))
00034      IF(T(J)EQ=1)GO TO 726
00035      URID=URID+RID(J,1)*XTEK(J)
00036 726      CONTINUE
00037      CODD(IBROJ)=PENALI+UCRS+URID
00038      UPSIST(IBROJ)=1E10
00039      RS(IBROJ)=0.
00040      DO 750 J=1,N
00041      M=J
00042      RJ=FPOUZD(XTEK(M),M)
00043      PP=EXP(RJ)
00044      RJUPJ=FUCIN(XTEK(M),M)
00045      CJ=CENA1(XTEK(M),M)
00046      IF(RJUPJLT=UPSIST(IBROJ))UPSIST(IBROJ)=RJUPJ
00047      RS(IBROJ)=RS(IBROJ)+RJ
00048      WRITE(3,740)J,XTEK(J),PP,RJUPJ,CJ
00049 740      FORMAT(/I3,I16,F13.5,F18.2,F16.1)
00050 750      CONTINUE
00051      RS(IBROJ)=EXP(RS(IBROJ))
00052      S=0.
00053      DO 755 J=1,N
00054      M=J
00055 755      S=S+CENA1(XTEK(M),M)
00056      CS(IBROJ)=S
```



```

00057 CJED(IBROJ)=CS(IBROJ)/UPSIST(IBROJ)
00058 WRITE(3,760)RS(IBROJ)
00059 760 FORMAT(///// '      POUZDANOST SISTEMA (RS) =',F10.5)
00060 WRITE(3,770)UPSIST(IBROJ)
00061 770 FORMAT(/// '      STVARNI REZULTAT RADA SISTEMA (UPSIST) JE:'
00062 S,F10.2)
00063 WRITE(3,780)CS(IBROJ)
00064 780 FORMAT(/// '      PLAN.PRODAJNA CENA (CS) PO SVIM PODSISTEMIMA JE:'
00065 S,F10.2)
00066 WRITE(3,790)CJED(IBROJ)
00067 790 FCRMAT(///// ' CENA PO JEDINICI MERE REZULTATA RADA (CS/UPSIST):'
00068 S,F15.1)
00069 WRITE(3,792)COSN(IBROJ)
00070 792 FORMAT(///// ' UKUPNI TROSKOVI OSNOVNIH SREDSTAVA:',F15.1)
00071 WRITE(3,794)CDOD(IBROJ)
00072 794 FORMAT(/// ' UKUPNI DODATNI TROSKOVI USLED OTKAZA SISTEMA:',F15.1)
00073 RETURN
00074 END

```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)									
COLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
ID	+12203								
A2/(+142)									
UPSIST	+0	CJED	+16	RS	+34	ALFA1	+52	CS	+70
CDOD	+106	COSN	+124						

SUBPROGRAMS CALLED

UCIN EXP. FPOUZD CENA1

VARIABLES AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

EXTEK	1	*RJ	2	*ALFA	3	*S	4	*CJ	5
	6	*J	7	.S0004	10	.S0003	11	.S0002	12
S0001	13	.S0000	14	*IBROJ	15	*UCFS	16	*RJUPJ	17
IRID	20	*PENALI	21	*PP	22				

TEMPORARIES

A0016 173 .00000 174

A BELA [ NO ERRORS DETECTED ]

```

0001 C      *****
0002 C
0003      SUBROUTINE IZLAZ
0004 C      STAMPANJE KONACNOG OPTIMALNOG RESENJA
0005      COMMON/A1/ XDOLE,XGORE,R,UCINAK,CENA,B,T,N,CSN,CRS,RID
0006      COMMON/A2/ UPSIST,CJED,RS,ALFA1,CS,CDOD,COSN
0007      REAL R(50,20),UCINAK(50,20),CENA(50,20),B(50,2)
0008      S,CSN(50,20),CRS(50,20),RID(50,20)
0009      INTEGER XDOLE(50),XGORE(50),T(50),XTEK(50)
0010      REAL UPSIST(14),CJED(14),RS(14),ALFA1(14),CS(14),CDOD(14),CCSN(14)
0011      RSIST=0
0012      M=0
0013      DO 900 IBROJ=1,14
0014      IF (RS(IBROJ)GT,RSIST)GO TO 850
0015      GO TO 900
0016 850 M=IBROJ
0017      RSIST=RS(IBROJ)
0018 900 CONTINUE
0019      STCENA=RSIST*CS(M)+(1-RSIST)*(CDOD(M)+COSN(M))
0020      WRITE(3,950)ALFA1(M)
0021 950 FORMAT('1'////////'      USVOJENO JE OPTIMALNO RESENJE ZA ALFA ='
0022      S,F7.3)
0023      WRITE(3,960)RSIST
0024 960 FORMAT('////////'      OPTIMALNA VREDNOST POUZDANOSTI SISTEMA JE:'
0025      S,F10.5/66(1H*))
0026      WRITE(3,980)UPSIST(M)
0027 980 FORMAT('////////'      STVARNI REZULTAT RADA SISTEMA JE:',F10.2)
0028      WRITE(3,970)STCENA
0029 970 FORMAT('///'      STVARNA CENA RADA SISTEMA JE:',F15.2)
0030      CPJM=STCENA/UPSIST(M)
0031      WRITE(3,990)CPJM
0032 990 FCRMAT('////////'      SIVARNA CENA PC JELINICI MERE REZULTATA RADA:'
0033      S,F15.2)
0034      WRITE(3,1000)
0035 1000 FORMAT('//////////20X'IF YOU FIND THIS SOFTWARE USEFUL - CONTACT',
0036      S' ME')
0037      RETURN
0038      END

```

COMMON BLOCKS

A1/(+14153)									
XDOLE	+0	XGORE	+62	R	+144	UCINAK	+2114	CENA	+4004
	+6034	T	+6200	N	+6262	CSN	+6263	CRS	+10233
RID	+12203								
A2/(+142)									
UPSIST	+0	CJED	+16	RS	+34	ALFA1	+52	CS	+70
CDOD	+106	COSN	+124						

SUBPROGRAMS CALLED

LOCALS AND ARRAYS [ "\*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED ]

STCENA 1 \*CPJM 2 %XTEK \*M 3 \*RSIST 4  
SS000 5 \*IBROJ 6

TEMPORARIES

.AEB16 117

IZLAZ [ NO ERRORS DETECTED ]

...vanje kutine konstrukcijskog rešenja i ...  
...rešenja proizvodnog procesa koji je potreban  
...pri realizaciji investicionog projekta je osnovni  
...za važno preopterećenje, planiranje i organizaciju  
...proizvodnog sistema u građevinskom ...  
...sa se ...  
...i ...  
...raznolikim ...  
...za ...



Poznavanje suštine konstrukcijskog rešenja i varijantnih tehnoloških rešenja proizvodnog procesa kojeg je potrebno uspostaviti pri realizaciji investicionog projekta je osnovni preduslov za valjano projektovanje, planiranje i optimizaciju funkcije proizvodnog sistema u gradjevinarstvu. Time se obezbedjuju ne samo kvalitetni ulazni i izlazni podaci, nego i potpun osećaj mere za njihove veličine i razumevanje onoga što te veličine same za sebe uzajamno ukazuju.

B.N. Ivković

