

Dr Petar Stanojević,
major, dipl. inž.

Vladimir Bukvić,
major, dipl. inž.

Dr Vasilije Mišković,
pukovnik, dipl. inž.

Vojna akademija VJ, Odsek logistike,
Beograd

IZBOR I ANALIZA FAKTORA KOJI UTIČU NA SISTEM ODRŽAVANJA

– nastavak iz broja 4-5/2001 –

UDC: 62-7.001.57

Pristup istraživanju

Može se očekivati da će se efekti određenih unapređenja jasnije manifestovati kod „velikih“ SOd i da su oni radi toga povoljniji za istraživanje u vidu objekta za ovakav eksperiment. Međutim, merenje efekata je kod ovakvih sistema daleko teže. Zbog karakteristike SOd da se većina procesa koji se u njemu odigravaju može opisati slučajnim promenljivima, da ih često karakteriše nestacionarnost, veliki broj limitirajućih faktora, a da treba uvažavati specifična upravljačka rešenja, najbolji način za projektovanje SOd-a, a u vezi s tim i za potrebna izučavanja, jeste primena metoda matematičkog modelovanja i simulacije. Da bi se sagledala ukupnost pojedinih efekata karakteristični SOd mora se posmatrati kao celina. Njegov model u tom slučaju mora obuhvatiti sve karakteristične tokove (ljudi, tehnoloških elemenata, tehnoloških zahteva, materijala, r/d, informacija, ...). Modelovanje i simulacija može se obavljati za sve kombinacije konceptijskih, tehnoloških i organizacionih i drugih varijanti SOd-a. Kreirana varijantna rešenja SOd, zajedno sa sistemom kriterijuma, čine specifičan eksperimentalni okvir. Kvantifikacija pokazatelja uspešnosti i poređenje varijantnih rešenja prvenstveno se zasniva na metodo-

logiji modelovanja i simulacije kao, u ovom slučaju, najpogodnijih kvantitativnih metoda. Metodologija modelovanja i simulacije posebno je pogodna, jer omogućava da se nakon stvaranja osnovnog modela SOd izvedu četiri vrste eksperimenata: podešavanje odgovarajućih parametara i pokazatelja (tune existing parameters), analiza osetljivosti, strukturalni redizajn i procedure istraživanja „šta-ako“. Sve to se može povezati sa odgovarajućom analizom cost-benefit. U ovom slučaju ova metodologija je pogodna zbog mogućnosti izvođenja analiza osetljivosti i procedure istraživanja „šta-ako“.

Konkretno istraživanje izvršeno je u okviru projektovanja dva karakteristična sistema održavanja [19, 20]. I jedan i drugi spadaju u grupu višenivojskih (4 nivoa), prostorno razuđenih lokacija (u prvom slučaju 16 lokacija prvog nivoa, četiri drugog, jedan trećeg i jedan četvrtog nivoa, a u drugom 67 lokacija prvog nivoa, devet drugog, jedan trećeg i jedan četvrtog nivoa SOd) u kojima se održava veći broj složenih, skupih i važnih TS (u prvom slučaju 640, a u drugom 4 880). Broj karakterističnih vrsta postupaka održavanja je veliki i delimično različit u zavisnosti od TS. Potrebni resursi (elementi sistema) mnogobrojni su i složeni po strukturi i karakteru. U prvom slučaju se istraživalo na konceptijskim, tehnolo-

škim i organizacionim varijantama rešenja, dok se u drugom istraživalo samo na organizaciji (tehnologija i koncepcija su uzete kao nepromenljive). Ciljevi istraživanja bili su identični – stvoriti uspešnij konkretni SOD.

Istraživani realni SOD su po mnogo čemu specifični, pa se i rezultati dobijeni istraživanjem mogu smatrati, u formalnom smislu, pojedinačnim i specifičnim. Međutim, po primenjenoj metodologiji, broju relevantnih činilaca koji su uzeti u obzir, obimu modelovanih procesa, sličnosti dobijenih rezultata, itd., može se zaključiti da je njihova primenljivost znatno veća. Naime, istraživanje prvog SOD [19] prethodilo je drugom [20], pa su se jasnije mogli odrediti problemi koje treba izučavati i tendencije, a kroz međusobno poređenje rezultata brže doći do saznanja o mogućim zakonitostima i uzrocima razlika.

Rezultati eksperimenta

Eksperiment je organizovan u više celina:

- izbor najbolje tehnološke varijante rešenja (za prvi SOD);
- izbor najbolje varijante organizacione strukture (koja sadrži najbolju tehnološku varijantu);
- eksperiment sa određivanjem uticaja razmatranih faktora na pokazatelje uspešnosti sistema održavanja.

U okviru navedenih celina vršeno je provođenje kompletnih eksperimenata za dobijanje kriterijumskih vrednosti – pokazatelja uspešnosti i analiza rezultata dobijenih eksperimentisanjem.

Analiziran je uticaj gotovo svih merljivih faktora navedenih u tabeli 1 sem rizika iznenadnih otkaza i verovatnoće regeneracije i proizvodnje r/d . Veličine

ovih faktora moraju se meriti u samom realnom SOD i zavise od konkretnih karakteristika TS. Interval strpljivosti, kao relevantan faktor, već je ugrađen u model i njegov uticaj se ogleda u veličini gubitaka TS (broju neopsluženih zahteva za održavanje), tako da ga ne treba posebno razmatrati. Uticaj logističkog vremena zastoja može se na osnovu dobijenih rezultata i posredno utvrditi, a uticaj ostalih faktora izučavan je na primeru bar jednog od modelovanih SOD, a za većinu i na oba slučaja. Analizom uticaja pojedinih faktora na oba slučaja modelovanih SOD dobija se mogućnost međusobnog poređenja, ali i mogućnost nalaženja uzroka pri ispoljenim razlikama. Dobijeni rezultati time dobijaju na opštosti. Uz osnovne rezultate dobijeni su i prateći koji će, takođe, biti prikazani, jer govore o karakteru nekih pojava i karakterističnih rešenja u SOD.

Eksperimenti su sprovedeni na „četiri nivoa“ u skladu sa nivoima SOD, tj. od nivoa modularne jedinice podržavanog sistema, preko višeg, srednjeg do najvišeg projektovanog nivoa ili celine SOD-a. Ovde će, međutim, biti prikazani rezultati vezani, uglavnom, za nivo celine SOD uz neophodne komentare ostalih rezultata po nižim celinama. Koraci variranja vrednosti istraživanih faktora uzimani su tako da ilustruju ravnosmernost promene, a raspon variranja zadavan je prema logičkoj analizi posmatranih faktora ili prema upoređenju sa do sada objavljenim podacima u literaturi.

Za eksperimentalnu osnovu uzeto je najpovoljnije organizaciono-tehnološko rešenje projektovanog SOD-a (i u jednom i u drugom slučaju), identični eksperimentalni okvir i „scenario“, kao i za lošije varijante. Ono predstavlja referentnu tačku eksperimenata. Najpovoljnije

rešenje podrazumeva izvođenje radnji održavanja i ešeloniranje r/d na nivou modularnih jedinica i svim ostalim nivoima, kao i matrično-funkcionalni tip organizacione strukture podržavanog sistema po pitanju održavanja. Veličine osnovnih parametara određene su na sledeći način: tačnost dijagnostike određena je kao verovatnoća tačne dijagnostike od 0,9, verovatnoća kvalitetnog održavanja (bez reklamacija) iznosi 0,9, verovatnoća zadovoljenja tražnje za r/d bez čekanja po nivoima sistema određena je prema trenutnim uslovima koji vladaju u realnim SOd (prosečno oko 0,5), dok je autonomija nivoa SOd (verovatnoća da se radnja održavanja može izvršiti na nivou koji je za to nadležan) određena inicijalno kao 0,75 za nivo modularne celine, 0,95 za viši i srednji nivo i 1 za najviši nivo SOd-a. Osnovna merodavna veličina za dimenzionisanje svih tehnoloških elemenata (TE) jeste verovatnoća opsluge od 0,95.

Eksperimenti su vršeni, uglavnom, smanjenjem vrednosti ulaznih veličina zbog toga što je „projektna godina“ izabrana u odnosu na ekstremno nepovoljne uslove za funkcionisanje SOd-a, odnosno ekstremno veliki broj zahteva za održavanjem (TZ).

Broj TZ (aktivnosti, postupaka) održavanja

Adekvatna preventiva doprinosi smanjenju rizika od iznenadnih otkaza i smanjenju broja otkaza. Ugradnjom samodijagnostičke opreme i primenom koncepta održavanja prema stanju, takođe, može se umanjiti potreba za preventivnim radnjama održavanja. Smanjenje broja otkaza može se postići i povećanjem pouzdanosti TS u procesu konstruisanja,

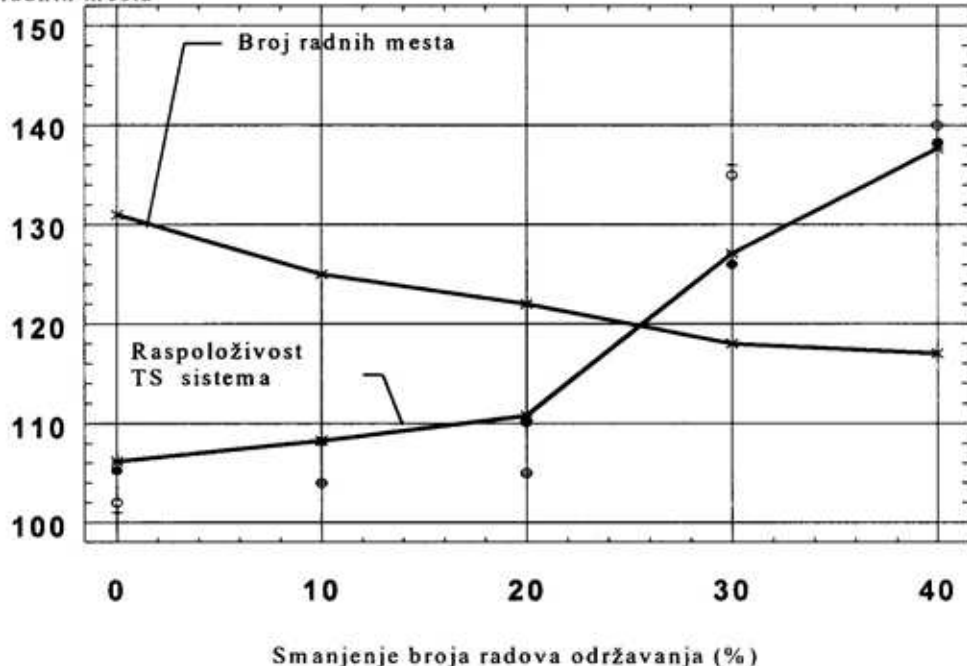
uz primenu koncepta integralne logističke podrške (ILS). Još jedna od mogućnosti smanjenja broja otkaza i preventivnih radnji jeste prenošenje dela poslova na korisnike, odnosno njihovo veće angažovanje na održavanju.

Za ilustraciju efekata koji bi se ostvarili eventualnim smanjenjem broja radova održavanja za 40%, kod prvog SOd, može poslužiti slika 1, na kojoj je prikazana zavisnost između smanjenja broja radova i dve izlazne promenljive: 1) gotovosti – raspoloživosti TS preko srednjeg broja TS u radu i 2) broja potrebnih radnih mesta na srednjem nivou SOd-a [19]. Sa slike se vidi da se raspoloživost, ukoliko se broj radova održavanja smanji za oko 40%, može povećati za oko 30% (odnosno – koliko je manje radnji održavanja toliko je veća gotovost), a broj radnih mesta u održavanju smanjiti i do 10%. Jasno je da se na taj način postiče veće iskorišćenje kapaciteta i smanjenje troškova, odnosno povećava se dobit.

Ediventna je i promena procenta izvršenih radova održavanja, koja raste, posebno na višem nivou sistema za do 5%. Uticaj merodavnih veličina za dimenzionisanje TE, nestacionarnosti i stohastičnosti TZ na zadržavanje iskorišćenja TE na približno nepromenjenom nivou, se manifestovao.

Promena zakonitosti pojave TZ u vremenu menja vrednosti pokazatelja raspoloživosti i gubitaka TS u slučaju prvog SOd. Ukoliko se po normalnoj raspodeli vremena između pojava generišu TZ, efekti na raspoloživost su minimalni (2 do 3%) uz, takođe, minimalne gubitke. Kada bi se TZ pojavljivali po eksponencijalnoj raspodeli, trebalo bi očekivati smanjenje pokazatelja raspoloživosti za oko 5 do 7%, ali i gotovo zanemarive gubitke. To se verovatno događa zbog

Broj ispravnih TS i radnih mesta



Sl. 1 – Zavisnost između smanjenja broja radova održavanja i izlaznih promenljivih gotovosti – raspoloživosti TS, preko srednjeg broja TS u radu, i broja potrebnih radnih mesta na jednom nivou SOd-a

toga što se, pri generisanju TZ po ovoj raspodeli, više njih pojavljuje za kraće vreme.

Promena strukture TZ („težine“ ot-kaza). Sa smanjenjem učešća kategorija radova čije je trajanje do 10 h (aktivnog vremena održavanja) smanjuju se i vrednosti pokazatelja raspoloživosti, u slučaju prvog modelovanog SOd. Situacija postaje krajnje alarmantna kada procenat radova do 10 h padne na 30% od ukupnog broja. Jasno se uočava prelomna tačka na nivou kada radovi do 10 h padnu ispod 60% u strukturi TZ. Posle ove vrednosti pokazatelji raspoloživosti naglo padaju. U organizaciono-tehnološkoj jedinici SOd-a na srednjem nivou evidentan je prirast srednjeg vremena zastoja zbog

održavanja, jer dolazi do nagomilavanja TS. Ni drastičnim povećanjem (za oko 150%) broja TE ne uspeva da se smanji prirast vremena zastoja. U isto vreme, na nižem nivou vremena zastoja ostaju gotovo nepromenjena, što se i moglo očekivati zbog karakteristične raspodele nadležnosti u izvođenju radova održavanja.

Povećanje vremena zastoja zbog održavanja prouzrokuje i drastičan pad procenta izvršenih radova održavanja na srednjem nivou sistema. Ovaj procenat na višem nivou pada, jer se menja količina radova za koju je nadležan taj nivo. Pri svemu tome iskorišćenje TE ostaje gotovo nepromenjeno, što je posledica nestacionarnosti TZ i mera za konačno dimenzionisanje. To ilustruje značaj logi-

stičkih i administrativnih vremena zastoja u projektovanju SOd-a, odnosno potrebu da se što više radova održavanja izvrši neposredno na mestu eksploatacije TS.

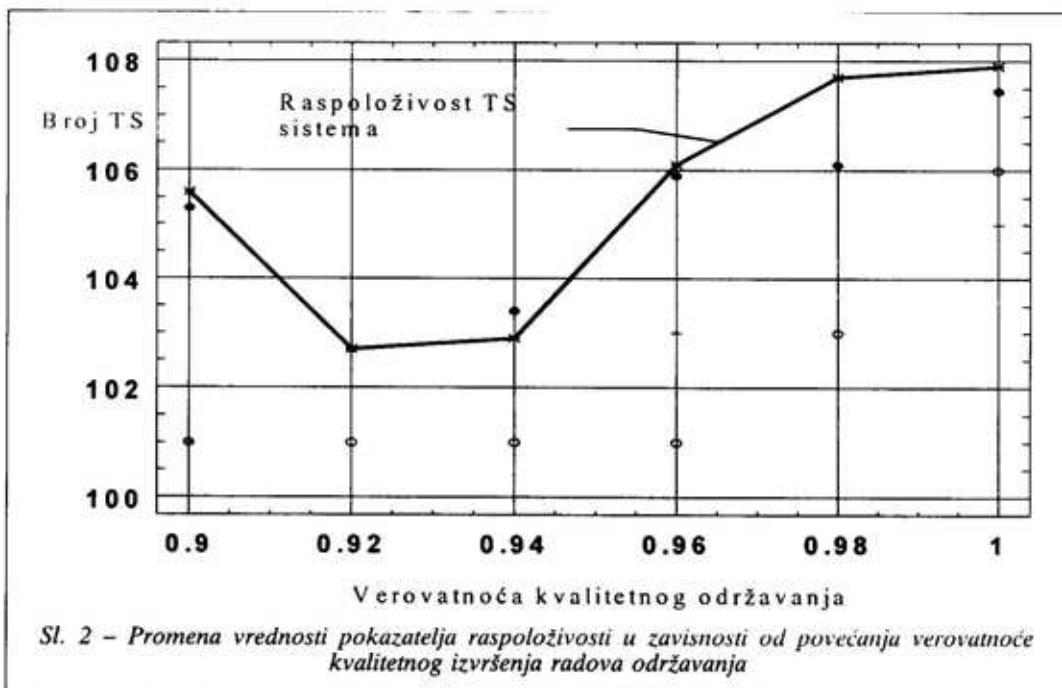
Povećanje (verovatnoće) kvaliteta izvršenja radova na održavanju, odnosno smanjenje broja reklamacija ima efekat od oko 2 do 3%, na povećanje vrednosti pokazatelja raspoloživosti, određene preko srednjeg broja TS u radu, u slučaju prvog SOd, što je ilustrovano na slici 2.

Nekih drugih efekata, sem smanjenja vremena zastoja zbog održavanja na srednjem nivou SOd za oko 15%, praktično i nema. Važno je obratiti pažnju na ove rezultate, jer je zadata veličina reklamacija bila svega 10%, odnosno 90% TZ će biti realizovano bez reklamacija (isto na svim nivoima SOd). To znači da je povećanje kvaliteta izvršenja radova na održavanju jedan od boljih puteva povećanja raspoloživosti bez većih troškova.

Skraćenje vremena realizacije TZ – aktivnog vremena održavanja

U slučaju prvog SOd eksperimentirano je sa smanjenjem vremena realizacije TZ za do 50% (linearno za sve radove održavanja), a u slučaju drugog SOd vreme realizacije je povećavano i smanjivano za do 50% (linearno za sve radove održavanja).

Iz rezultata za prvi SOd vidi se povećanje vrednosti parametara raspoloživosti u odnosu na početno stanje za do 5%. Broj radnih mesta na višem nivou ostaje nepromenjen, ali se zato na srednjem nivou održavanja smanjuje do 25%. Razlog tome treba potražiti u stohastičnosti i nestacionarnosti nastanaka TZ, uticaju merodavnih veličina za dimenzionisanje, ali i u uticaju vremena transporta koje nije menjano. Zbog toga promena potrebnog broja TE ne prati promenu skraćenja vremena realizacije TZ za poznatu

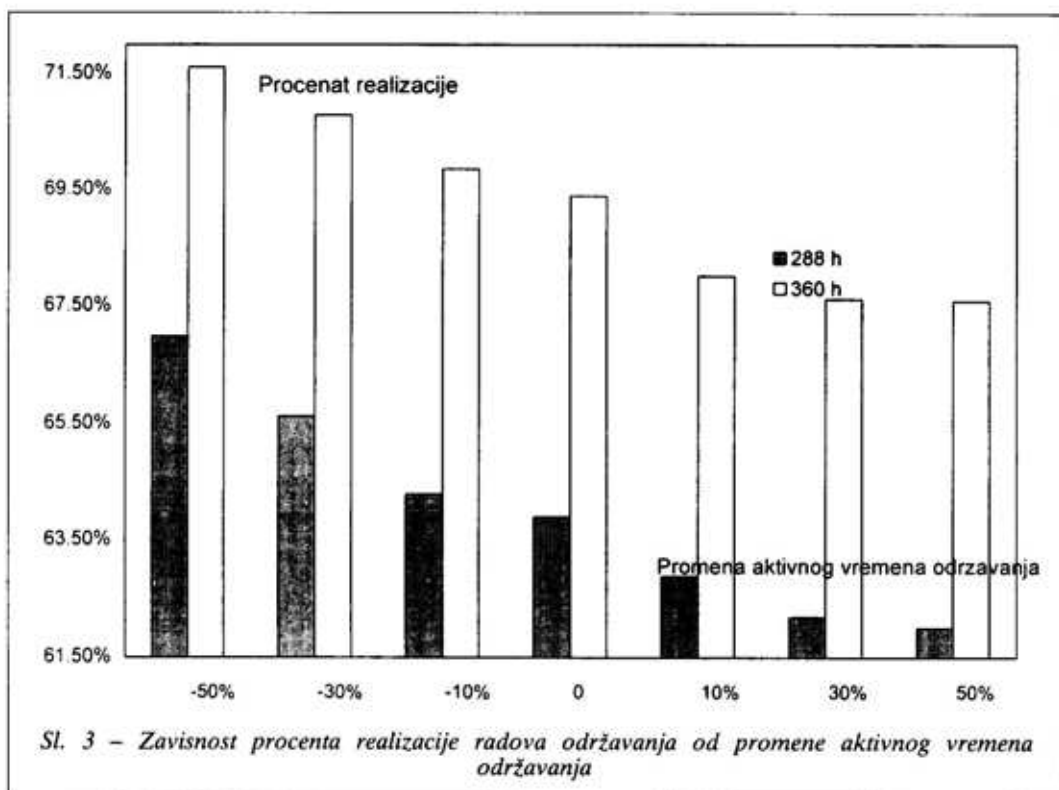


Sl. 2 – Promena vrednosti pokazatelja raspoloživosti u zavisnosti od povećanja verovatnoće kvalitetnog izvršenja radova održavanja

tehnologiju na nižem nivou. U ovom slučaju, procenat izvršenja radnji održavanja po nivoima raste – na višem za 15%, a na srednjem nivou za oko 3%. Uticaj merodavnih veličina za dimenzionisanje TE, nestacionarnosti i stohastičnosti TZ ogleda se i u zadržavanju iskorišćenja TE na približno nepromenjenom nivou. Očito je da samo smanjenje vremena realizacije uvođenjem novih ili atipičnih tehnologija neće dati dovoljno dobre efekte ukoliko ne bude praćeno skraćanjem logističkih vremena. Interesantno je da se pokazalo da vremena logističkih i administrativnih zastoja i mogućnost da se radi i noću (u pogodno vreme) presudno utiču na vreme zastoja zbog održavanja, sigurno više od aktivnog vremena održavanja, jer ukupno vreme zastoja i pored smanjenja aktivnog vremena od-

ržavanja za 50% opadne svega 2%. Identične su promene ovih pokazatelja na svim nivoima održavanja. Skraćenje vremena potrebnog za dijagnostiku, u okviru aktivnog vremena održavanja, nije dalo gotovo nikakve efekte na parametre izvršenja i uspešnosti funkcionisanja i to u slučaju skraćanja vremena dijagnostike za do 50%. Razlog ovakvom malom efektu jeste u tome što razmatrana TS spadaju u grupu mašinskih sredstava, za koja vreme dijagnostike predstavlja samo mali deo ukupnog aktivnog vremena održavanja (oko 10%).

U slučaju drugog modelovanog SOD uticaj smanjenja i povećanja aktivnog vremena održavanja je još manji. Pri smanjenju aktivnog vremena održavanja za do 50% gotovost (merena preko procenta ispravnih TS u odnosu na ukupan



broj, mereno u 288. i 360. simulacionom satu) raste za svega do 0,2%. Pri povećanju za oko 50% gotovost pada za do 0,5%. Razlog tome treba tražiti u razlikama u broju i karakteru TS koja se održavaju. U prvom slučaju se radi o malom broju veoma složenih TS čija su vremena održavanja duža. U drugom slučaju TS su veoma raznovrsna, razlike u vremenima održavanja su velike (i do 20 puta), a manje složenih sredstava je daleko više od složenih, pa tako aktivna vremena održavanja imaju manje značajnu ulogu. Uticaj ovog faktora na procenat od izvršenih zahtevanih radova održavanja (TZ), mereno u 288. i 360. simulacionom satu, pokazuje gotovo linearnu zavisnost što se može videti na slici 3. Povećanje procenta izvršenih radova, pri smanjenju aktivnog vremena održavanja za 50%, iznosi za oko 2 do 3%, a za smanjenje za 50% oko 2 do 3% (smanjenje broja izvršenih radova), ukupno na nivou razmatranog SOD.

Povećanje tačnosti dijagnostike

Ovim eksperimentom želi se istražiti koliko na funkcionisanje SOD-a utiču (indirektno mereni na ovaj način): dijagnostička oprema i postupci; obučenosť izvršilaca održavanja; sistem kvaliteta u SOD; postojanje kapaciteta za održavanje na najnižem nivou sistema, jer oni mogu dijagnostikovati otkaz.

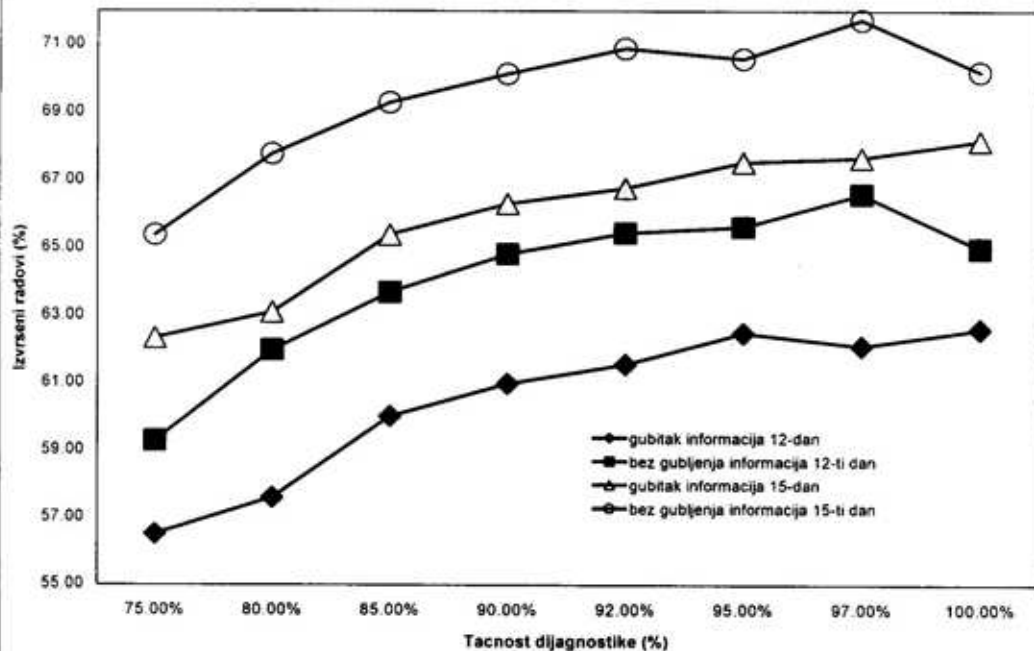
Ovaj faktor ima najveći efekat na ponašanje prvog izučavanog SOD-a. Promena pokazatelja raspoloživosti na nižem nivou je za 5 do 9%, a na nivou tog posmatranog sistema i do 15%. To je posebno važno kada se ima u vidu činjenica da je zadata verovatnoća greške dijagnostike svega 10%. Očito je da brže rastu pokazatelji raspoloživosti za celinu

sistema nego za niže nivoe, jer je to siguran način da se izbegne nepotrebno cirkulisanje TS i r/d između nivoa održavanja. Time se smanjuju gubici na vremenu transporta, logističkim i administrativnim vremenima. Uočava se da je promena broja potrebnih TE na srednjem nivou održavanja gotovo neznatna.

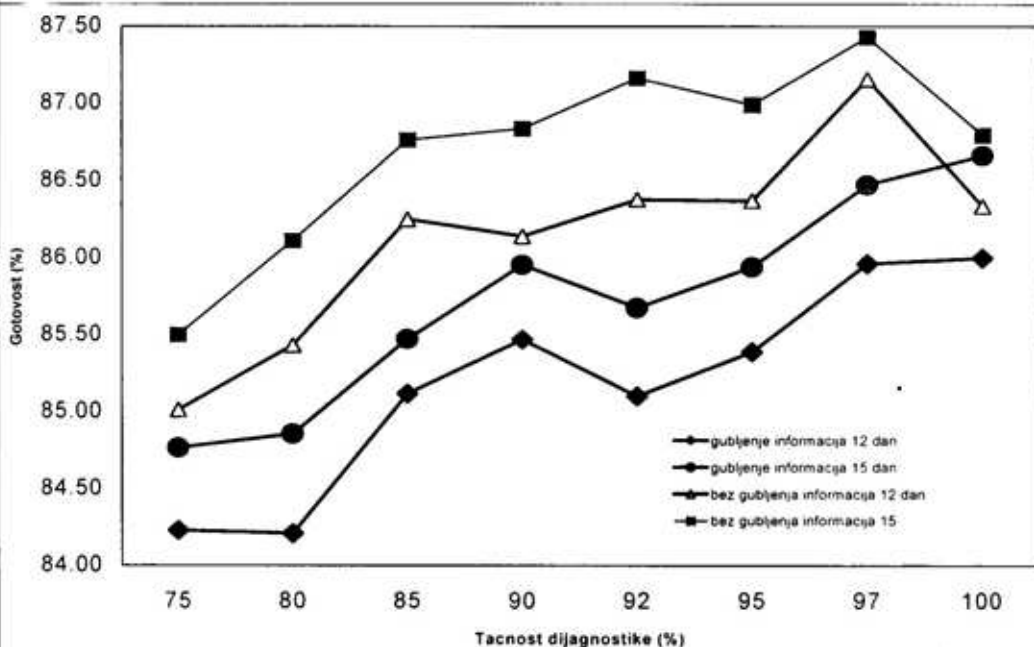
Promena procenta izvršenih radova održavanja je zbog toga veoma značajna. Ona se menja na svim posmatranim nivoima SOD-a, od 5% na nižim nivoima do 10% na višim. Promene iskorišćenja TE praktično nema, a nema ni značajnih promena ostalih posmatranih parametara. Neznatna je i promena srednjeg vremena zastoja zbog održavanja, što govori da tačnost dijagnostike ne utiče na vreme zastoja zbog održavanja, već na otklanjanje nepotrebnog multipliciranja radnji.

U slučaju drugog SOD uzet je nešto širi raspon variranja ulazne veličine, odnosno verovatnoća tačnosti dijagnostike se menja na sledeći način: 75%; 80%; 85%; 90%; 92%; 95%; 97% i 100%. Rezultati ovih eksperimenata prikazani su na slikama 4 i 5. Može se zaključiti da izlazni rezultati bitno reaguju na promenu ovog faktora. Za promenu tačnosti dijagnostike od 25% gotovost se povećava za 2 do 3%, a procenat izvršenih radova za 4 do 6% za celinu sistema, dok na gubitke ovaj faktor gotovo da ne utiče. Sa grafikona je jasno da bi poželjna vrednost ovog parametra-faktora bila 90 do 92%, jer se posle te veličine dalja ulaganja u povećanje tačnosti dijagnostike ne isplate.

Razlike između dva posmatrana SOD-a javljaju se zbog karaktera TS koja se održavaju. Ukoliko je potrebno više vremena za održavanje TS, odnosno TS je složenije, tačnost dijagnostike ima veći značaj.



Sl. 4 – Zavisnost gotovosti od tačnosti dijagnostike za slučaj gubljenja i bez gubljenja informacija, posmatrano u 288. i 360. simulacionom satu



Sl. 5 – Zavisnost procenta izvršenih radova od tačnosti dijagnostike za slučaj gubljenja i bez gubljenja informacija, posmatrano u 288. i 360. simulacionom satu

Na prethodnim slikama prikazan je i *uticaj mogućnosti gubljenja – zaturanja informacija*. Ovde su dati rezultati za jednu varijantu organizacione strukture. Kao što se vidi sa slika, slična je zavisnost u slučajevima kada se gube ili ne gube informacije. Praktično, što je veće zaturanje i gubljenje ili neke druge deformacije informacija to je gotovost, odnosno procenat izvršenih radova održavanja manji. Ovde treba imati u vidu da organizacione-upravljačke strukture sa više nivoa, više posrednika u prenosu i obradi informacija i složenijim procedurama obrade i odlučivanja imaju, same po sebi, veću verovatnoću da se zature, zagube i deformišu informacije i suprotno.

Vreme prenosa i obrade informacija (administrativno vreme zastoja). Sa ovim uticajnim faktorom direktno je eksperimentisano na modelu drugog SOd. Ovaj model je bio pogodniji, jer je, pored ostalog, direktno bio namenjen izboru najbolje od mogućih organizacionih struktura realnog SOd. U prvom koraku eksperiment je sproveden smanjivanjem i povećavanjem vremena za obradu i odlučivanje, linearno na svim nivoima i mestima u upravljačkoj strukturi za do 50%. Ovde se javila veoma interesantna pojava.

Smanjivanje vremena nije dovelo gotovo do nikakvog povećanja gotovosti niti procenta izvršenih radova. Međutim, povećanje vremena dovelo je do pojave tendencije naglog pada vrednosti ovih pokazatelja (oblici krivih zavisnosti su gotovo identični i za gotovost i za procenat izvršenih radova), što je dovelo do nastavka eksperimenta koji se sastojao u povećanju navedenih vremena, na isti način, do 150%. Oblik istraživane zavisnosti za gotovost prikazan je na slici 6. Povećanje vremena prenosa i obrade in-

formacija za do 150% dovodi do pada gotovosti (mereno u 288. i 360. simulacionom satu) za 3 do 3,5%, a procenta izvršenih radova za do 15%. Iz iznetog proističe da je to izuzetno važan faktor u kreiranju SOd.

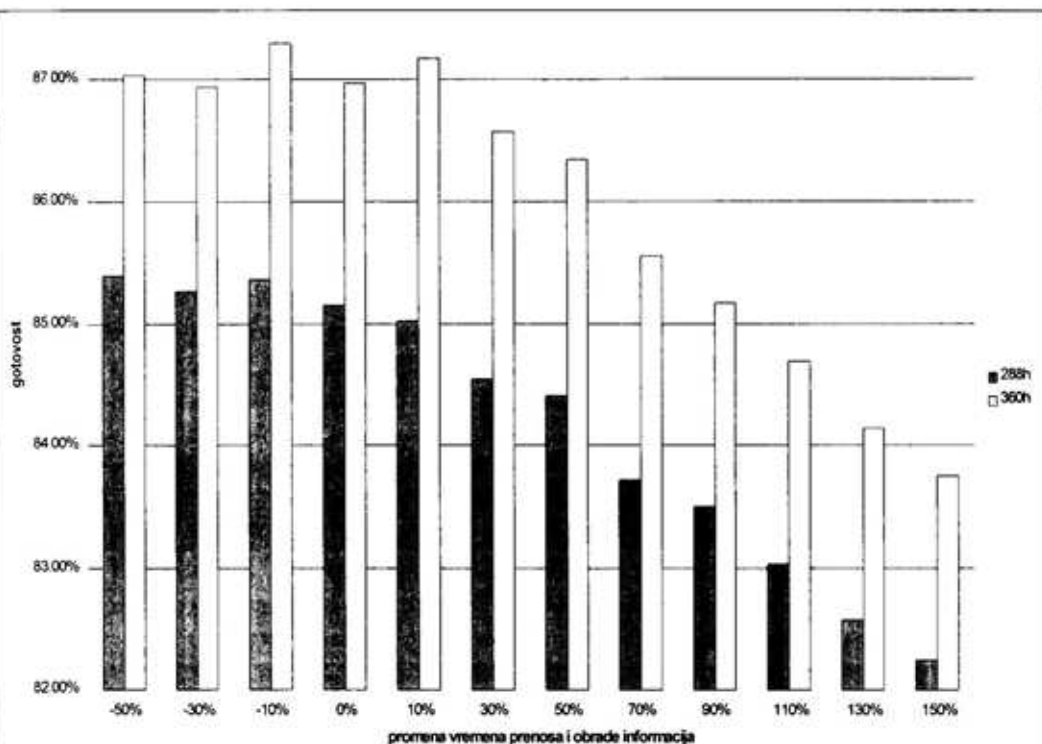
Rezultati bi se mogli tumačiti na sledeći način:

– pošto je 0% (slika 6) praktično pokazatelj gotovosti za najbolju varijantu upravljačko-organizacione strukture, koja je dobijena reprojektovanjem postojeće strukture i kombinacijom najuspešnijih rešenja od više predloženih varijantnih rešenja, dolazi se do zaključka da postoji neka „tačka zasićenja“ posle koje sva dalja usavršavanja upravljačke strukture i ubrzavanje prenosa i obrade informacija neće dati rezultate na poboljšanju opšteg funkcionisanja sistema. Posle ove „tačke“ neće se povećati rezultati ni ubrzavanjem proceduralne brzine prenosa i obrade informacija već se mora ići na ubrzavanje materijalnih i drugih tokova;

– povećanje vremena prenosa i obrade informacija je, praktično, ekvivalent sa organizacionim strukturama koje sadrže mnogo posrednika, štabski način odlučivanja, duge i komplikovane procedure donošenja odluka i zastarelu tehnologiju obrade i prenosa informacija. To se može tvrditi, jer su prethodni eksperimenti u [20] sa „lošijim“ tipovima strukture davali slične rezultate.

Kod prvog SOd nije vršen sličan eksperiment, ali su i tamo „lošije“ strukture davale slične rezultate u odnosu na „bolje“.

Eksperiment sa *brojem nivoa održavanja* povezan je sa eksperimentima sa *količinom resursa* za održavanje i *stepenom autonomije* po nivoima SOd. Eksperiment sa količinom resursa i stepenom autonomije identičan je sa istraživanjem



Sl. 6 – Zavisnost gotovosti od promene vremena prenosa i obrade informacija

uticaja broja i strukture radne snage i verovatnoće zadovoljenja tražnje za r/d bez čekanja.

Ovako je učinjeno zbog toga što se prema kreiranom modelu drugog SOd stepen autonomije, koji se iskazuje kroz verovatnoću da će dati nivo održavanja izvršiti radnju održavanja za koju je nadležan, praktično može poistovetiti sa veličinom potrebnih resursa za održavanje na datom nivou sistema. Na primer, ukoliko je stepen autonomije nekog nivoa 0 onda tog nivoa nema, a ako je 0,95 onda treba shvatiti da će 95% od svih zahteva za održavanje za koje je taj nivo nadležan biti izvršeni na tom nivou, odnosno da postoje za to odgovarajući resursi i kapaciteti radne snage, alata, opreme, prostora, itd.

Verovatnoća održavanja na najvišem nivou SOd (generalni remont) zadržana je kao konstanta od 100% u svim slučajevima, zbog toga što svi indikatori govore da ovaj nivo ne ispoljava presudan uticaj na pokazatelje uspešnosti SOd u slučaju konkretnog eksperimentalnog okvira. U početnom stanju autonomija nivoa modularne celine bila je 0,65, višeg i srednjeg nivoa 0,95, dok je verovatnoća zadovoljenja tražnje za r/d, po nivoima, prosečno bila 0,5.

Prvi je bio eksperiment sa mogućnošću gubitka dela kapaciteta za održavanje (ili promenom veličine kapaciteta za održavanje) koji se sastoji od dve celine:

- sa mogućnošću gubitka kapaciteta za održavanje na svim nivoima;
- sa promenom veličine kapaciteta

za održavanje na nivou modularne jedinice podržavanog sistema.

Teži se da se eksperimentom sa mogućnošću gubitka kapaciteta za održavanje na svim nivoima SOd odredi promena veličina pokazatelja uspešnosti SOd u slučaju kada je moguće da dođe do gubitka dela kapaciteta na svim nivoima SOd. To je realna situacija koja može nastupiti prilikom izvođenja borbenih dejstava kod vojnih SOd, ali je realna i u uslovima pojave raznih razloga odliva radne snage ili nepopunjavanja radnih mesta. Ovaj eksperiment je izveden tako što su verovatnoće održavanja (autonomije nivoa održavanja) na svim nivoima linearno menjane, odnosno umanjivane u odnosu na njihovu početnu vrednost, po sledećem: -0% (osnovno stanje); -10%; -20%; -30% i -40%.

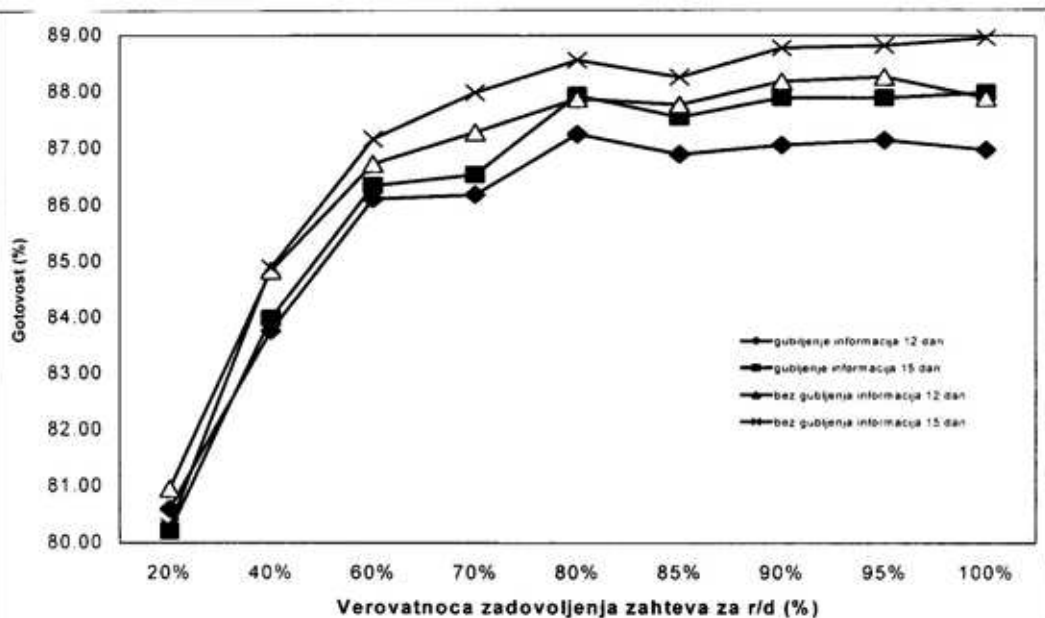
Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da izlazni rezultati manje reaguju na promenu ovog faktora. Za promenu veličine kapaciteta za -40% gotovost pada za do 1%, a procenat izvršenih radova za 3 do 4%, dok na gubitke ovaj faktor gotovo da ne utiče. Sličan je odnos u slučajevima da se gube ili se ne gube informacije.

Eksperiment sa promenom veličine kapaciteta za održavanje na nivou modularne jedinice podržavanog sistema sproveden je sa ciljem da se utvrdi kolika treba da bude verovatnoća održavanja (autonomija) na tom nivou. Veličina ove verovatnoće ima za direktnu posledicu veličinu potrebnih kapaciteta na tom nivou SOd, jer utiče na verovatnoću „na koju se vrši odsecanje“ pri dimenzionisanju konkretnih kapaciteta za održavanje. Ovaj eksperiment izveden je tako što su verovatnoće održavanja na višim nivoima ostale iste, kao kod osnovne varijante, dok je na nivou modularne jedinice ova

verovatnoća varirana po sledećem: 45%; 55%; 65%; 75%; 85% i 95%. Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da izlazni rezultati reaguju na promenu ovog faktora. Za promenu veličine kapaciteta za 50% gotovost pada do 55% autonomnosti, a povećava se posle 85%, a procenat izvršenih radova raste za 1 do 4%, dok na gubitke ovaj faktor gotovo da ne utiče. Za ostale pokazatelje sličan je odnos u slučajevima da se gube ili se ne gube informacije. Sa grafikona je jasno da bi poželjna vrednost ovog parametra – faktora bila 55 do 85%, jer se posle te veličine dalja ulaganja u povećanje kapaciteta na ovom nivou SOd ne isplate. Prema procentu izvršenih radova poželjna vrednost ovog parametra – faktora bila bi 75%.

Slični eksperimenti sprovedeni su za ostale nivoe SOd (viši i srednji). Varirana je autonomija posmatranog nivoa od 60% do 100%, dok je autonomija nivoa modularne celine podržavanog sistema bila fiksirana na 75%, najvišeg nivoa SOd na 100%, a verovatnoća zadovoljenja tražnje za r/d na svim nivoima na 95% (da bi se isključio uticaj veličine zaliha r/d), dok su ostale vrednosti bile iste kao početne. U slučaju višeg nivoa održavanja gotovost se promenila za 1%, a procenat izvršenih radova za do 1% kada je autonomija tog nivoa dostigla 100% u odnosu na početno stanje. Kod srednjeg nivoa održavanja gotovost se promenila za do 1,5%, a procenat izvršenih radova za do 2% kada je autonomija tog nivoa dostigla 100% u odnosu na početno stanje.

Kod eksperimenta sa promenom broja nivoa SOd autonomija nivoa koji se isključuje bila je određivana na 0%, kao i verovatnoća zadovoljenja tražnje za r/d na tom nivou, dok su ostali parametri na drugim nivoima menjani. Pokazalo se



Sl. 7 - Zavisnost gotovosti od verovatnoće zadovoljenja zahteva za r/d bez čekanja

da ukidanje nekog od nivoa (modularne celine, višeg ili srednjeg) utiče na promenu pokazatelja gotovosti svega od 1 do 2%, što je u ovom slučaju minimalna promena. Ovo ukazuje na to da ovakve analize nije moguće izvršiti korektno bez istovremenog sagledavanja uticaja ovakvih odluka na troškove, odnosno bez dimenzionisanja sistema. Ovo poslednje treba sagledati u svetlu činjenica da ukidanje jednog od nivoa SOd istovremeno znači promenu veličine administrativnih i logističkih vremena, kao i da nužno ne vodi smanjenju troškova, posmatrano kroz veličinu potrebnih resursa, jer se radovi održavanja ne gube iz sistema već se samo prelivaju sa nivoa na nivo.

Ekspiriment sa promenom verovatnoće trenutnog zadovoljenja zahteva za r/d po nivoima SOd vrši se sa ciljem da se utvrdi kako vrednost ove verovatnoće utiče na osnovne pokazatelje uspešnosti funkcionisanja SOd. Naime, američkim

vojnim standardom MIL-STD-1390A zahteva se da ova verovatnoća na svim nivoima SOd iznosi 95%. Zbog toga je eksperiment organizovan na taj način da verovatnoća trenutnog zadovoljenja zahteva da r/d bude ista na svim nivoima SOd, i da se menja prema vrednostima od 20% do 100% linearno i istovetno po svim nivoima održavanja u slučaju drugog SOd.

Rezultati ovih eksperimenata prikazani su na slici 7. Može se zaključiti da izlazni rezultati reaguju na promenu ovog faktora. Za promenu verovatnoće trenutnog zadovoljenja zahteva za r/d za 80%, gotovost se povećava za do 9%, a procenat izvršenih radova za oko 40%, dok na gubitke ovaj faktor gotovo da ne utiče. Sličan je odnos u slučajevima kada se gube ili se ne gube informacije. Sa grafikona je jasno da bi poželjna vrednost ovog parametra-faktora bila 60 do 80%, jer posle te veličine dalja ulaganja u

povećanje zaliha r/d se ne isplate (praktično na osnovu podatka o ovoj verovatnoći moguće je dimenzionisati potrebnu veličinu zaliha r/d). Veoma je važno uočiti da prikazana zavisnost praktično ima dva linearna dela: do verovatnoće od 60 do 80% i posle toga. Ove dve linearne zavisnosti razlikuju se po veličini prirasta za istu promenu nezavisno-promenljive.

Slični rezultati dobijeni su i kod eksperimenta na prvom SOd. I tamo je konstatovan linearni oblik zavisnosti između posmatrane verovatnoće i vrednosti gotovosti. Vrednost pokazatelja gotovosti stabilizuje se oko verovatnoće zadovoljenja potražnje od 0,9 i postaje skoro nepromenljiva. Dostizanjem te vrednosti verovatnoće zadovoljenja potražnje za r/d eliminiše se i mogućnost gubitaka TS.

Interesantno je napomenuti da se ovi rezultati slažu sa nekim podacima iz literature [25] gde se, takođe, kao pogodna vrednost verovatnoće navodi vrednost od 0,70 do 0,85. Iznad tih vrednosti troškovi zaliha naglo rastu.

Značajno je pomenuti i neke sekundarne rezultate do kojih se došlo analizom relevantnih faktora:

- najbolja rešenja SOd u odnosu na početna (trenutna u realnim SOd), prema pokazateljima uspešnosti, i do 30% su bolja, što znači da se reprojekovanjem SOd na osnovu spomenute metodologije [9] mogu postići izuzetno značajni rezultati. U ovom slučaju najveći uticaj na poboljšanje rešenja imalo je skraćenje ukupnog vremena realizacije tehnoloških zahteva (zastoja zbog održavanja);

- uz bolja organizaciona rešenja, i sa relativno manje efikasnom tehnologijom i manjim brojem TE, mogu se postići veće vrednosti pokazatelja funkcionisanja;

- isturanje kapaciteta za održavanje bliže mestu eksploatacije TS uvek daje pozitivne efekte;

- ešeloniranje r/d na tri nivoa (umesto četiri) dovodi do povećanja gotovosti za 2,1 do 4,1% i realizacije tehnoloških zahteva za 12 do 13%, odnosno daje veoma dobre efekte;

- potrebno je voditi računa o tome da je srednji nivo najopeterećeniji element u SOd;

- nikako ne treba narušavati, organizacionim i drugim preprekama, materijalne i informacione tokove od nastanka zahteva za održavanje do njegovog zadovoljenja. Strukture koje su na ovaj način koncipirane, odnosno one orijentisane prema procesima, uvek su se pokazale kao bolje;

- interesantno je, takođe, zapaziti da varijante SOd sa funkcionalnim organizacionim strukturama spadaju uvek u grupu boljih.

Zaključna razmatranja

Na osnovu iznetih rezultata može se izvršiti rangiranje razmatranih relevantnih faktora u odnosu na promenu pokazatelja uspešnosti funkcionisanja i mogućnosti primene u odnosu na potrebna ulaganja. Promenama u SOd ovakvim redosledom razvojnih koraka postigli bi se najveći efekti uz najmanja ulaganja. Ovaj redosled je, takođe, logičan, jer npr. bez uvođenja automatske obrade podataka i informacionog sistema nema efikasnog i efektivnog upravljanja zalihama r/d .

1. Može se tvrditi da je koncepcija – strategija održavanja ključni faktor uticaja na efektivnost i efikasnost sistema održavanja. Ovaj zaključak je i logički jasan, jer će opredeljenje za strategiju održavanja uticati na karakter, obim i učestanost radova održavanja koje treba izvršiti u konkretnom sistemu. Šire shvaćeno ovde treba uključiti i primenu koncepta ILS.

2. Od pojedinačnih faktora najveću pažnju treba obratiti na skraćivanje administrativnih vremena kroz izmene u tipu i obliku upravljačke-organizacione strukture i primenu savremene tehnologije za prenos i obradu informacija.

3. Naredni faktor jeste skraćivanje logističkih vremena, posebno kroz određivanje optimalnog nivoa, načina upravljanja i rasporeda zaliha r/d po nivoima i ubrzavanje za njih vezanih materijalnih i informacionih tokova.

4. Povećanje kvaliteta izvršenja radova održavanja više zahteva promene u ponašanju ljudi i organizaciji nego materijalna ulaganja.

5. Uvođenje i primena savremene dijagnostičke opreme svakako je i jedan od najznačajnijih svetskih trendova.

6. Uvođenje savremene remontne opreme.

7. Interesantno je da rezultati pokazuju da, ukoliko u sistemu nedostaju neki resursi, ne treba žuriti sa njihovom nabavkom – popunom, jer je njihov uticaj na uspešnost funkcionisanja mali. Time se mogu postići određene uštede na kraći period, ali treba imati u vidu da ovakvo stanje ne može potrajati u nedogled, jer će doći do nagomilavanja nedovršenih poslova do kritičnih razmera. Ovi rezultati ukazuju na potrebu za što tačnijim dimenzionisanjem izvršnih i upravnih elemenata SOd, jer je vrlo teško menjati broj ljudi, radnih mesta i druge opreme zbog toga što se dugo pribavljaju i uvode u rad, već je potrebno postojeće bolje iskoristiti.

Primena promena u SOd ovim redosledom imala bi veći efekat na sistem, jer bi se uvećavao sinergijski efekat. Usavršavanja se mogu izvršiti i kombinacijom nekih navedenih koraka. Ovakav redosled logičan je i za jednu i drugu navedenu grupu SOd, s tim što su prva dva koraka sigurno mnogo značajnija za prvu grupu, posebno „velikih“ SOd.

Literatura:

- [1] Salvendy, G.: Handbook of Industrial Engineering, A. Wiley-Interscience Publication, 1982.
- [2] Wolswagen, Priručnik Servisne organizacije, Export izdanje, 1998.
- [3] Killbrew, R.: Learning from War Games: a Status Report, Parameters, US Army War College Quarterly, pp. 122-135, 1998.
- [4] Naim, M. M., Lewis, J.C.: Benchmarking of aftermarket supply chains, Production planning & control, vol. 6., No. 3., 258-269, 1996.
- [5] Davenport, T. H., Process Innovation: Re-engineering Work Through Information Technology (Harvard Business School Press), 1993.
- [6] Harrington, H. J.: Business Process Improvement, The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity and Competitiveness, McGraw-Hill, New York, 1991.
- [7] Evans, G. N., Towill, D. R., Naim, M. M.: Business process re-engineering the supply chain, Production planning & control, vol. 6., No. 3., 227-237, 1995.
- [8] Hammer, M., and Champy, J.: Re-engineering The Corporation: A Manifesto for Business Revolution, Nicholas Brealey publishing, London, 1993.
- [9] Petar Stanojević, Vasilije Mišković, Vladimir Bukvić: Maintenance Systems Organizational Structure Designing Methodology based on Modeling and Simulation, ESM'2000, Simulation Congres, Ghent, 2000.
- [10] Woodward, J.: Industrial Organisation – Theory and Practice, Oxford University Press, Amen House, London E.C.4., 1965.
- [11] Burlat, P., Campagne, J. P., Neubert, G.: Modeling organizational structure; a new challenge for simulation, EURO-SIM '98, Simulation Congres, Helsinki, 1998.
- [12] Crostach, H. A., Becker M., Sall, M.: Process Networks engineering: controlloop-based modeling of decentralized factories, EUROSIM '98, Simulation Congres, Helsinki, 1998.
- [13] Adamović, Ž.: Logistički sistem održavanja, Privredni pregled, Beograd, 1989.
- [14] Adamović, Ž.: Upravljanje održavanjem tehničkih sistema, OMO, Beograd, 1986.
- [15] Maslov, N. N.: Organizacija kapitaljnog remonta avtomobila, Tehnika, Kijev, 1977.
- [16] Jevtić, M.: Održavanje alatnih mašina, Beograd, 1984.
- [17] Električeskie stanciji, Energoatomizdat br. 5, Moskva 1994.
- [18] Grothus H.: Planiranje troškova održavanja, OMO, Beograd, 1977.
- [19] Stanojević P.: Uticaj tehničkih faktora na organizacionu strukturu sistema održavanja, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1997.
- [20] Grupa autora: Projekat: Primena logističkog pristupa u organizovanju Vojske Jugoslavije, projektni materijali, Beograd, 1998-2000.
- [21] Larman, C.: Applying UML and Patterns, Prentice Hall PTR, 1998.
- [22] Vukićević, S.: Skladišta, Preving, Beograd, 1995.
- [23] Mintzberg, H.: The Structuring of Organizations. A Syntesis of the Research, New York, Prentice-Hall, Inc. Engelwood Cliffs, 1979.
- [24] Conger, S.: The New Software Engineering, Woodsworth Publishing Company, International Tomson Publishing, 1994.
- [25] Kodžopeljić J. i dr.: Osnove Integralne logističke podrške tehničkih sredstava i sistema, JUSK, Beograd, 1989.