

Mogućnost primjene teorije repova čekanja i simulacija u optimiziranju veličine službe održavanja u industriji

Dalibor BENIĆ, dipl. ing.
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Zagreb

UDK 630* 83

Prispjelo: 14. studenog 1983.
Prihvaćeno: 3. siječnja 1984.

Stručni rad

Sažetak

U radu je prikazana mogućnost primjene nekih metoda operativnog istraživanja (teorija repova i simulacija) kod određivanja optimalnog broja izvršilaca u službi održavanja postrojenja u industrijskoj radnoj organizaciji. Na konkretnom primjeru iz drvne industrije prikazan je tok posla, a korišćenje elektroničkog računala olakšalo je rad i svelo ga na izradu modela i analizu rezultata.

U uvjetima borbe za sniženje troškova proizvodnje i težnji k uspješnijem i ekonomičnijem poslovanju, moguće je, primjenom iste teorijske osnove (koja je samo skicirana), optimirati i druge funkcije radne organizacije, naravno uz upotrebu odgovarajućih modela. Zbog mogućnosti primjene, simulacije imaju važno mjesto u rješavanju velikog broja praktičnih i svih pratećih sredstava i djelatnosti.

Ključne riječi: organizacija proizvodnje — održavanje strojeva i opreme — primjena teorije repova — primjena simulacija — operativno istraživanje.

QUEUEING THEORY AND SIMULATIONS IN OPTIMIZATION OF VOLUME OF MAINTAINANCE SERVICE IN INDUSTRY

Summary

This work demonstrates the possibility of applying some methods of operations research (queueing theory and simulations) for determination of optimal number of persons engaged in plant maintenance service. On a concrete example from timber industry a flow of work has been described, whilst the utilization of computers facilitated the job and led it to making of model and analysis of results.

In making efforts to reduce the production costs and aiming to achieve more successful and profitable business by applying the same theoretic base (only outlined), it would be possible to optimize other function of a work organization, but naturally using adequate models. Because of the possibility of application, the simulations play an important part in solving large number of practical problems in the area of organization of industrial production and all ancillary means and activities.

Key words: organization of production — maintenance of machines and equipment — application of queueing theory — application of simulations — operations research (A. M.)

0. UVOD

Ekonomično i rentabilno poslovanje industrijske radne organizacije zahtijeva, osim prikladne organizacije samog proizvodnog procesa, adekvatnu organizaciju svih pratećih sredstava i djelat-

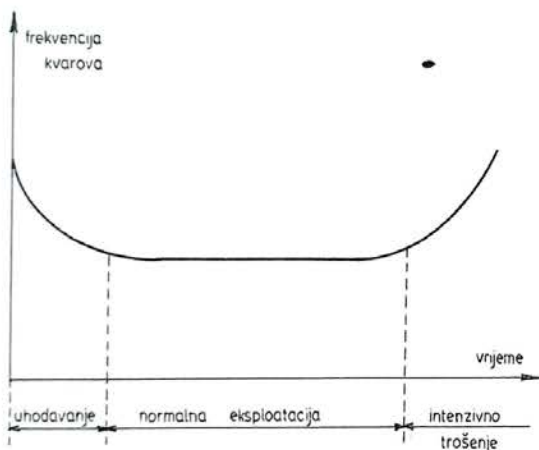
nosti. U tom smislu održavanje instalirane proizvodne opreme predstavlja djelatnost o kojoj neposredno ovisi funkcioniranje proizvodnog procesa. Ispravnost sredstava za rad utječe na produktivnost rada, jer svaki zastoj zbog kvarova na opremi povećava troškove proizvodnje, te tako u-

tječe na ekonomičnost poslovanja radne organizacije.

Tokom svog životnog vijeka, svaka, pa tako i industrijska oprema, podložna je kvarovima. Uzroci kvarova u praksi su mnogobrojni, ali uglavnom ovise o starosti opreme, odnosno o vremenu kada nastaju. Po tom kriteriju može ih se podijeliti na:

- kvarove uhadavanja opreme u početnom razdoblju njene eksploatacije,
- slučajne i prouzrokovane kvarove karakteristične za razdoblje normalne eksploatacije opreme,
- kvarove intenzivnog trošenja zbog tehničke do trajalosti opreme.

Njihova se učestalost u odnosu na razdoblje njihova nastanka može prikazati i dijagramski, kako je to učinjeno na slici 1.



Slika 1.

Za vrijeme eksploatacije opreme, radna organizacija je opterećena financijskim troškovima njena održavanja, te ima gubitke koji su posljedica zastoja u radu uzrokovanih kvarovima na instaliranoj opremi. Stoga se u službi održavanja mogu identificirati dvije međusobno suprotne i ekstremne tendencije:

1. Velika služba održavanja koja iziskuje visoke troškove njena uzdržavanja
2. Mala služba održavanja koja uzrokuje velike gubitke zbog zastoja u tehnološkom procesu proizvodnje

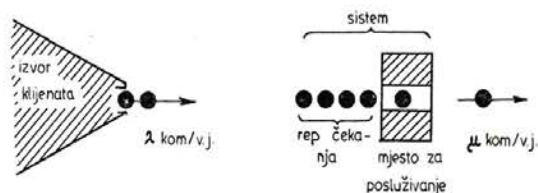
Problem se sastoji u tome da se pronađe takvo rješenje kod kojeg će ukupni troškovi održavanja (gubici radi čekanja opreme na popravak i troškovi rada službe održavanja) biti minimalni. Takvo će rješenje onda biti optimalno, te će radnoj organizaciji donijeti maksimalan ekonomski učinak.

1. METODIKA

1.1 Teorija repov čekanja

Postanak teorije repova vezan je uz A. K. Erlanga i njegovu knjigu »The Theory of Probabilities and Telephone Conversations«, objavljenoj 1909. godine. Od tada, a naročito od 1958., kada je Američko udruženje za operativno istraživanje (ORSA) preporučilo knjigu P. M. Morseja »Queues, Inventories and Maintenance«, nailazimo na njenu primjenu u organizaciji proizvodnje.

Rep čekanja može se definirati kao red klijenata koji svrstani čekaju na neku uslugu. Klijenti u sistem dolaze po nekoj zakonitosti, te u slučaju nedovoljnog kapaciteta mjesta za posluživanje ili (što je najčešće slučaj) neusklađenosti dolazaka i odlazaka klijenata, unatoč dovoljnom kapacitetu, formiranju rep čekanja. Jedan takav jednostruki sistem prikazan je na slici 2.



Slika 2.

Vidljivo je, dakle, da se u teoriji repova barata s dvije osnovne karakteristične veličine:

- kapacitetom izvora klijenata μ (klijenata/vrem. jedinici)
- kapacitetom mjesta za posluživanje λ (klijen./vrem. jedinici)

Omjer ovih veličina definira se kao stupanj opterećenja kapaciteta ρ , te se kreće: $0 \leq \rho \leq 1$. U slučajevima kada je ρ veći od 1 (tj. 100%), može se govoriti o zagušenju sistema.

Održavanje opreme je specifičan slučaj teorije repova. Ono predstavlja tipičan zatvoren sistem s ograničenim brojem klijenata (oprema) N koji se opslužuju. Problemi organizacije rada održavanja mogu se uspješno proučavati pomoću višestrukog zatvorenog sistema repova čekanja, gdje se kao podsistem može tretirati svako radno mjesto ili radnik u procesu održavanja opreme. Takav sistem može istovremeno posluživati najviše k klijenata, dok njihov broj u bilo kom trenutku može varirati $0 \leq m \leq k$. Broj klijenata u sistemu održavanja je manji od ukupnog mogućeg broja klijenata i iznosi n . Čitav sistem se matematički može formulirati relacijom: $0 \leq m \leq k \leq n \leq N$.

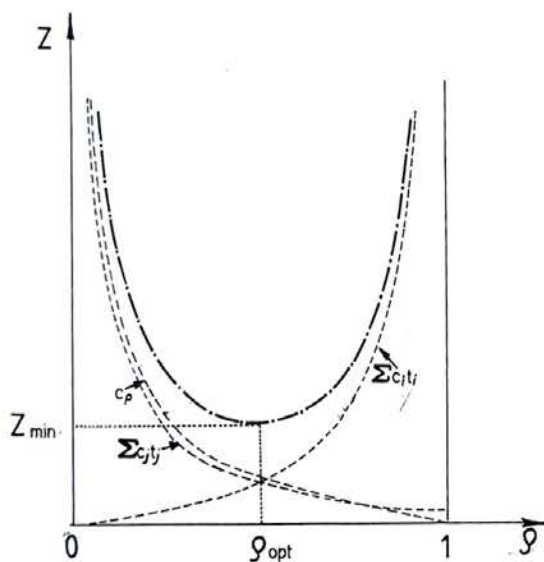
Održavanje opreme je prateća djelatnost koja ne donosi nikakav dohodak, ali ga omogućuje proizvodnji. Optimalna je pak služba održavanja ona

koja radnu organizaciju opterećuje minimalnim troškovima po kriteriju funkcije optimalnosti:

$$Z = \sum_{c=1}^r c_i t_i + \sum_{j=1}^s c_j t_j + c_p \rightarrow \min.$$

- c_i — gubitak zbog čekanja opreme na popravak (po jed. vrem.),
 t_i — vrijeme čekanja i -tog klijenta u repu,
 r — broj klijenata koji su u promatranom razdoblju čekali u repu na popravak,
 c_j — troškovi neiskorištenja poslužioaca (po jed. vrem.),
 t_j — radno vrijeme poslužioaca u promatranom razdoblju,
 s — broj poslužioaca,
 c_p — dodatni troškovi radi povećanja kapaciteta za promatrano razdoblje.

Na slici 3. prikazana je zavisnost troškova u odnosu na stupanj opterećenja kapaciteta.



Slika 3.

1.2 Simulacija održavanja i unapređenja proizvodnje

Simulacije se kao metoda operativnog istraživanja javljaju krajem četrdesetih godina, iako ideja o njima datira još iz vremena I svjetskog rata (Neumann, Ulam). Metropolis i Ulam su 1949. metodi dali naziv Monte Carlo.

Samu metodu može se definirati kao tehniku konstruiranja i provođenja modela realnog sistema u cilju proučavanja ponašanja tog sustava. Pri

tome se pod modelom podrazumjeva sistem koji se na osnovu snimanja stvarnog stanja kreira da bi se postiglo što potpunije razumijevanje strukture procesa. Bit metode se sastoji u tome da se pomoću slučajnih brojeva oponaša neki proces.

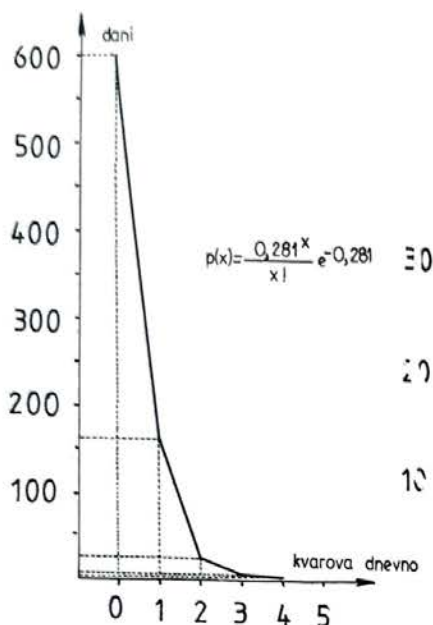
Nagli razvoj računarske tehnike omogućio je primjenu simulacija u rješavanju velikog broja različitih problema iz prakse. Za dobivanje vjerodostojne slike u procesu potrebno je, naime, generirati i obraditi velik broj slučajnih brojeva, a računari radi svoje brzine mnogostruko olakšavaju rad.

Da bi se pomoću metode dobile realne vrijednosti koje odgovaraju simuliranom procesu, neophodno je poznavati sve (ili barem najvažnije) utjecajne faktore i zakonitosti kojima se oni pokoravaju. To se postiže uzimanjem slučajnih uzoraka podataka u procesu i njihovom obradom, u čemu pomažu metode matematičke statistike i metode planiranja pokusa. Pri korišćenju metode u unapređenju proizvodnje i traženje optimalnog rješenja uvijek valja imati u vidu da svaki model daje samo jedno rješenje, te je stoga potrebno napraviti više različitih modela, ili više varijanti istog modela.

Održavanje opreme je specifičan problem. To je, prije svega, dinamički proces, jer se broj kvarova povećava sa vijekom korišćenja opreme. Osim broja, povećava se i ukupno vrijeme potrebno za njihovo otklanjanje. Zato je preporučljivo, da se, na temelju snimanja podataka tijekom više uzastopnih vremenskih perioda, pokuša izvršiti predviđanje za naredni period koji se potom može simulirati. Kao vremenski period koji daje reprezentativne podatke najpreporučljivija je jedna kalendarska godina, no, ovisno o situaciji, on može biti i kraći.

Simulacijski jezici za elektronička računala pojavili su se šezdesetih godina. Do danas su se, unatoč tome što ih je razvijen veoma veliki broj, u upotrebi održala samo tri jezika, od kojih je najpoznatiji i najrašireniji GPSS. On je i najpogodniji za problematiku održavanja opreme. To je istovremeno i jezik i program za računalo, orijentiran prema procesima koji se pomoću njega lako oponašaju. Njegove velike prednosti su, osim u jednostavnosti (lako ga je naučiti), i u tome što je u njega već ugrađena teorija repova čekanja. Nakon izvršene simulacije u izlistu se dobivaju sve statistike za sva definirana događanja u procesu, te preostaje samo određivanje najboljeg rješenja za praktičnu primjenu.

Općenito govoreći, GPSS se sastoji iz dinamičkih i statičkih komponenata. Dinamičke komponente nazivaju se transakcije i u modelu nisu ničim vidljivim predstavljene. One predstavljaju klijente i putuju kroz model. Statičke komponente su blokovi, a oni definiraju mjesta za posluživanje, re-



Slika 4.

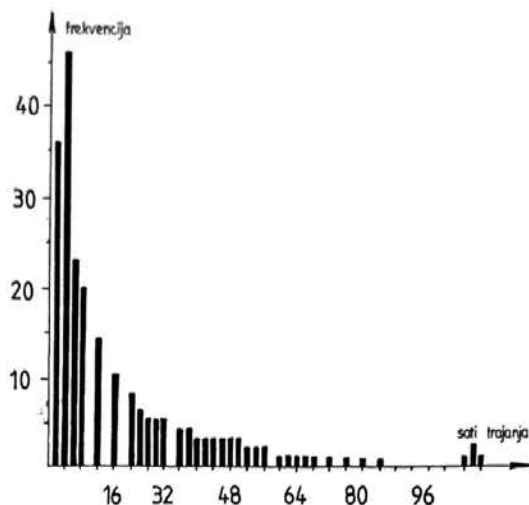
povećanja i sl. Pomoću njih se kreira model. Kontrolirano kretanje transakcija postiže se uz pomoć instrukcija koje definiraju njihovo nastajanje (pojava kvarova na opremi) i trajanje rada pojedinih segmenata održavanja. Nakon obavljenih aktivnosti, transakcije napuštaju model i nestaju. Tokom čitavog vremena simulacije vrši se kontrola redoslijeda kretanja transakcija i mjeri vrijeme. Pošto je posljednja transakcija napustila model, ili, ako je dostignuto vrijeme trajanja pokusa, simulacija završava!

2. OPTIMIZACIJA VELIČINE SLUŽBE ODRŽAVANJA

Primjenom teorije repova i simulacijom na elektroničkom računaru UNIVAC 1100 rješavan je problem optimizacije veličine službe održavanja u jednom OOUR-u drvene industrije. Sam postupak je izveden etapno, pri čemu su u pristupu korišćeni principi operativnog istraživanja.

2.1 Definiranje granica projekta

U primjeru iz prakse tražio se broj grupa mehaničara (svake sa po dva radnika) i broj ostalih radnika, sudionika procesa održavanja, koji izravno sudjeluju u otklanjanju mehaničkih kvarova na strojnom parku OOUR-a, te na poslovima izrade doknadnih dijelova za instaliranu opremu (zavarivači, tokari, glodači). Snimanjem su prikupljeni podaci za veće kvarove za čije je otklanjanje bilo potrebno više od oko dva radna sata.



Slika 5.

2.2 Snimanje i analiza rezultata

Tokom snimanja, na temelju sakupljenih podataka, utvrđene su:

- zakonitosti nastajanja kvarova na industrijskoj opremi,
- zakonitosti trajanja rada za sva definirana radna mjesta i aktivnosti.

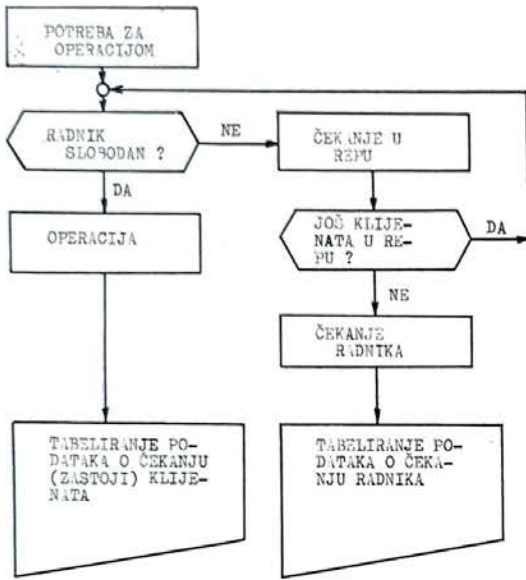
Na slici 4. prikazane su frekvencije pojava kvarova za razdoblje od tri uzastopne godine. Statističkim χ^2 testom je utvrđeno da se njihov postanak može identificirati s Poissonovim zakonom rijetkih događaja.

Na slici 5. prikazano je trajanje rada na demontaži, odnosno na montaži prilikom popravaka strojeva za razdoblje od tri godine. Primjena χ^2 testa pokazala je da se proces ne pokorava nijednoj pretpostavljenoj razdiobi, iako oblik ukazuje da bi to trebala biti eksponencijalna.

Za ostale operacije obuhvaćene modelom (zavarivanje, tokarenje, glodanje, toplinska obrada i brušenje) nisu radene statističke obrade podataka zbog premalenog uzorka koji onemogućuje dobivanje realnih podataka o pripadnosti nekoj zakonitosti.

2.3 Izrada modela za simulaciju

Da bi se pomoću elektroničkog računala mogla izvesti simulacija, potrebno je napraviti odgovarajući model. U tu svrhu su napravljena tri modela, od kojih su prva dva bila priprema za izradu trećeg, konačnog modela. On je obuhvaćao rad mehaničara na demontaži i montaži, kao i izradu doknadnih dijelova u radionama održavanja (operacije zavarivanja, tokarenja, glodanja, toplinske obrade i brušenja). Cijeli model se sastojao iz gotovo identičnih segmenata koji su predstavljali, svaki ponaosob, određenu operaciju (slika 6).



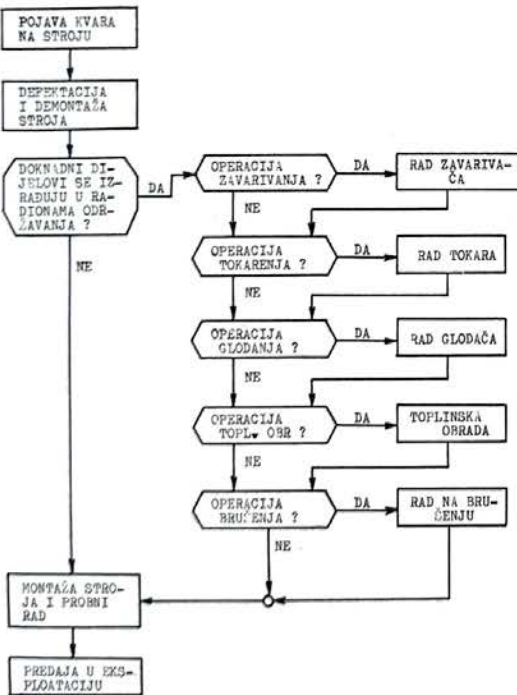
Slika 6.

efekte. Varijante su se međusobno razlikovale po broju grupa mehaničara koji je variran od jedne grupe do osam grupa. Svaka varijanta modela opnašana je za period od tri godine s podacima iz 1982. g., izuzev prve, gdje je simulacija prekidana nakon svake godine kako bi se vidjelo ponašanje modela u zadanim uvjetima. Iako se zakonitosti trajanja rada pojedinih segmenata održavanja nisu mogle identificirati ni s jednom statističkom razdiobom, instrukcije o održavanju transakcija u njima unesene su u model pomoću liste podataka. Kao vremenska jedinica simulacije upotrebljen je jedan radni sat. Na slici 8 prikazan je u programskom obliku u GPSS-u čitav model.

```

AAA  GENERATE 0 TIME(FN$KVAR)
      PRIORITY 1
      QUEUE Q(1)
      ENTER S(1),2
      ADVANCE GOTO(183:+1,+6)
      ASSIGN PVR, FN$USBRAD
      ADVANCE TIME(P PVR)
      LEAVE S(1),2
      PRIORITY PR$1+4
      ADVANCE GOTO(CCC)
      ASSIGN PVR, FN$USSRAD
      ADVANCE TIME(P$PVR)
      LEAVE S(1),2
      ADVANCE GOTO(BBB)
      ADVANCE GOTO(333:+1,+3)
      QUEUE Q(2)
      STORE S(2),2 TIME(FN$ZAVA)
      ADVANCE GOTO(66:+1,+3)
      QUEUE Q(3)
      STORE S(4),2 TIME(FN$TOKA)
      ADVANCE GOTO(199:+1,+3)
      QUEUE Q(4)
      STORE S(3),2 TIME(FN$GLODA)
      ADVANCE GOTO(933:+1,+3)
      QUEUE Q(5)
      HOLD TPLB, TIME(1)
      ADVANCE GOTO(933:+1,+3)
      QUEUE Q(6)
      HOLD BRUS, TIME(1)
      PRIORITY PR$1+9
      ADVANCE GOTO(CCC)
      QUEUE Q(7)
      STORE S(1),2 TIME(P$PVR)
      TERMINATE, R
      START, E
      CLEAR 246,6360,82,2120
S(1) CAPACITY 4
      START, E
      CLEAR 246,6360
S(1) CAPACITY 6
      START, E
      CLEAR 246,6360
S(1) CAPACITY 8
      START, E
      CLEAR 246,6360
S(1) CAPACITY 10
      START, E
      CLEAR 246,6360
S(1) CAPACITY 12
      START, E
      CLEAR 246,6360
S(1) CAPACITY 14
      START, E
      CLEAR 246,6360
S(1) CAPACITY 16
      START, E
      CLEAR 246,6360
  
```

Slika 8.



Slika 7.

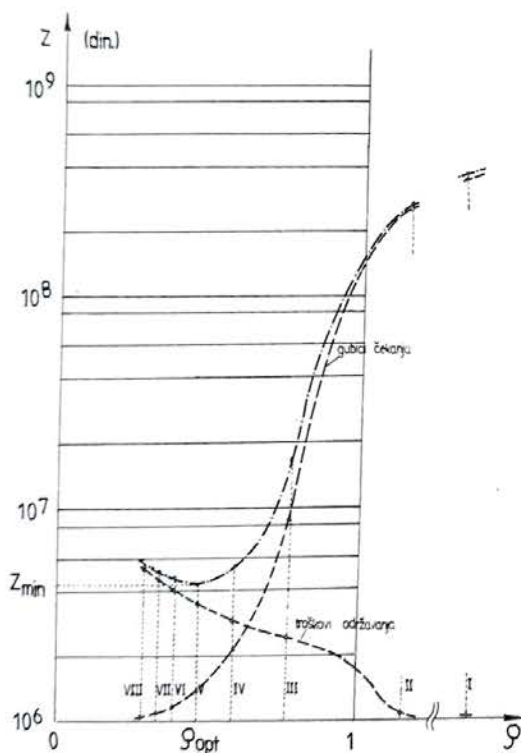
Čitav model je pojednostavljeno prikazan na slici 7.

Model je u sebi obuhvaćao osam varijanti, kako bi se, na osnovu funkcije optimalnosti, moglo pronaći rješenje koje donosi maksimalne ekonomske

2.4 Simulacija, testiranje i analiza rezultata

Nakon izvršene simulacije na elektroničkom računaru, rezultati dobiveni u izlistu su pomoću Studentovih t-testova provjereni da bi se utvrdila valjanost izvršene simulacije. Provjerena je hipoteza o pripadnosti prosječnih vremena dolazaka klijenata u model istom osnovnom skupu.

Analiza rezultata primjenom kriterija funkcije optimalnosti pokazala je da optimalno rješenje predstavlja varijanta broj pet (pet grupa mehaničara), jer za radnu organizaciju daje maksimalne učinke (slika 9).



Slika 9.

3. ZAKLJUČAK

Na kraju bi još bilo potrebno istaknuti prednosti ovakvog načina rješavanja problematike. One se sastoje u slijedećem:

— primjenom metode može se veoma točno utvrditi potreban broj radnika na održavanju opreme u službi održavanja;

- korišćenjem elektroničkog računala u veoma krakom roku se dobivaju traženi rezultati;
- primjenom principa operativnog istraživanja (svestranost, cjelovitost, novost, osnovanost, optimalnost i ispravnost) izbjegava se dobivanje suboptimalnog rješenja, odnosno rješenja koje ne doseže optimalno;
- simulacioni jezik GPSS nalazimo u svim većim računskim centrima u zemlji, što omogućuje njegovu dostupnost širokom broju korisnika;
- korišćenjem jedanput kreiranog modela može se za svaku godinu unaprijed izvršiti optimiranje, te tako dobiti optimalne rezultate primjenjive u praksi.

Nedostaci ove metode bili bi u tome što se pomoću nje može odrediti samo broj radnika koji izravno sudjeluju u procesu održavanja opreme. Broj ostalih radnika, čiji rad se ne može popuno pratiti jer u procesu sudjeluju posredno, ne može se utvrditi ovom metodom. Ipak, ocjenjujući prednosti i nedostatke, može se reći, da prednosti uvelike nadmašuju nedostatke, koji se mogu eliminirati komparacijom rezultata s npr. MAPI metodom ili pomoću iskustva.

Primjenjivost metode uvjetovana je vođenjem podataka o kvarovima i zastojevima u radu opreme. Vođenje podataka omogućuje pronalaženje zakonitosti nastajanja i trajanja rada na otklanjanju kvarova. Identifikacija zakonitosti i njihovo praćenje tokom nekoliko uzastopnih vremenskih razdoblja omogućuje njihovo predviđanje, te stalnu korekciju polaznih parametara na temelju podataka iz evidencije. Na taj način se za svaku iduću godinu mogu izvršiti predviđanja, te dobiti rezultati s minimalnim odstupanjima od stvarnog stanja.

LITERATURA

- [1] BeniĆ, D.: Diplomski rad na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Zagreb 1983.
- [2] Cvjetičanin M.: GPSS, Skripta za internu upotrebu. SRCE Zagreb 1975.
- [3] Đurašević, A.: Unapređenje proizvodnje. Skripta.
- [4] Gross, D., Hariss, C. M.: Fundamentals of Queueing Theory. J. Wiley and Sons, Inc. New York 1974.
- [5] Schriber, T. J.: Simulation Using GPSS, J. Wiley and Sons, Inc. New York 1974.
- [6] Taboršak, D., Šakić, N., Oluić, C.: Operativno istraživanje u organizaciji proizvodnje. Skripta. Inženjerski biro, Zagreb 1980.
- [7] Ziljak, V.: Simulacija računalom. Školska knjiga, Zagreb 1982.

Recenzirao: mr V. Golja dipl. ing