

Rezime:

Često se postavlja pitanje opravdanosti investicija za unapređivanje sistema održavanja. Uvođenje strategija održavanja, kao što su RCM, TPM, održavanje prema stanju i sličnih, danas je svetski trend u usavršavanju sistema održavanja. Na primeru jednog modela taksi preduzeća, uz upotrebu metode simulacije, zasnovane na sistemskoj dinamici, izvršena je analiza efekata koje bi imalo uvođenje savremenih strategija održavanja u taj sistem. Došlo se do zaključaka koji su slični svetskim iskustvima. Najpre se mora izvršiti stabilizacija i pravilno dimenzioniranje sistema održavanja, da bi se zatim pristupilo usavršavanju sistema primenom odgovarajućih strategija. Uvođenje strategija održavanja odgovara prvenstveno sistemima kod kojih tehnička sredstva moraju neprestano da rade, odnosno imaju visok koeficijent eksploatacije. Prosečno, za svakih 10% smanjenja u broju otkaza, vremenu preventivnog održavanja i učestalosti preventivnih akcija, ukupan profit preduzeća raste oko 5%. Poboljšanja u domenu znanja održavaoca i kvaliteta rada donose narednih 5% povećanja profita.

Ključne reči: sistem održavanja, strategije održavanja, metode simulacije, sistemska dinamika, troškovi održavanja.

EFFECTS OF INTRODUCING MODERN MAINTENANCE STRATEGIES
AND THEIR ANALYSIS

Summary:

Investments in the improvement of maintenance systems are often brought into question as to whether they are justified or not. Introducing maintenance strategies, eg. RCM, TPM, on-condition maintenance, etc., is nowadays a worldwide tendency in the improvement of maintenance systems. The simulation method based on system dynamics has been applied to a model of a taxi business in order to analyze the effects of introducing modern maintenance strategies into that system. The obtained results show good accordance with experiences worldwide. The stabilization and adequate dimensioning of the maintenance system should precede the system improvement using adequate strategies. Bringing maintenance strategies into use predominantly suits the systems with a high duty factor, ie. the systems with continually operating elements. Every 10% of reduction in the number of failures, preventive maintenance time and frequency of preventive actions gives an average rise of about 5% to the overall profit of a business. Improvements in the field of knowledge and quality of work bring further 5% rise in profit.

Key words: system, maintenance, maintenance strategies, simulation methods, system dynamics, maintenance costs.

Uvod

Gotovo opšti trend u usavršavanju sistema održavanja danas se sastoji u primeni savremenih strategija održavanja,¹ kao što su RCM (Reliability Centred Maintenance), TPM (Total Productive Maintenance), CBM (Condition Based Maintenance), strategija sličnih prethodnim i u uvođenju CMMS (Computerised Maintenance Management System), odnosno informacionih sistema za podršku upravljanju održavanjem. Rezultati postignuti primenom ovih strategija značajni su a izveštaji govore da bi se mogli odrediti kao [1]: smanjenje broja radnih časova za preventivno održavanje za 87%; smanjenje ukupnog broja radnih časova za održavanje do 29%; smanjenje troškova materijala za održavanje do 64%; povećanje raspoloživosti opreme do 15%; povećanje pouzdanosti opreme do 100%; investicije se vraćaju za najmanje 3 puta; proizvodnja se u nekim slučajevima povećava i do 80%; zastoj zbog održavanja se skraćuje i preko 50%, itd.

Međutim, i pored značajnih rezultata koji se mogu postići primenom savremenih strategija održavanja, činjenica je da je za njihovo uvođenje potrebno najmanje 6 do 12 meseci, a da celokupan

¹ U domaćoj literaturi koristi se naziv koncept – koncepcije (tradicionalni su: preventivno, korektivno i kombinovano održavanje), u nemačkoj politika, u ruskoj sistem održavanja, a u englesko-američkoj – strategija. Pojam strategija održavanja, u relevantnoj literaturi, odnosi se na određivanje ili izbor akcija održavanja koje će biti sprovedene na nekoj opremi da bi se ona na najbolji način iskoristila, odnosno da bi se maksimalizirala njena raspoloživost i pouzdanost. Pojam akcije održavanja odnosi se na sve moguće preventivne i korektivne radnje (uključujući: preglede, negu opreme, zamene delova, modifikacije, itd.). Uobičajeno je da se pod strategijom podrazumeva izbor pravaca akcije, racionalna nabavka i alokacija resursa za postizanje ciljeva i da ona predstavlja integrativnu osnovu za svaku delatnost. U tom svetlu bi se pojam strategija mogao adekvatno primeniti, u smislu naše naučne terminologije, i na RCM, TPM i druge savremene načine – pristupe za određivanje povoljnog skupa akcija održavanja za neku opremu.

posao može da se produži i na 6 do 8 godina. U tom procesu potrebna su prilična početna ulaganja, veliko angažovanje ljudskih resursa i značajne konsultantske usluge. Nisu retki primeri da projekti uvođenja odgovarajućih strategija održavanja ne donesu očekivane rezultate. Zbog toga se obično u početku lansira „pilot“ projekat, koji ima za cilj da odredi moguće efekte uvođenja pojedinih strategija održavanja, kao što je to bio slučaj kod norveških železnica [2] ili u hemijskoj industriji Du Pont [3]. U dva slučaja za predviđanje mogućih efekata korišćena je metoda simulacije, i to kod već spomenute hemijske industrije Du Pont i u projektu uvođenja RCM u evropsku industriju papira (MELISSA project) [4]. Metoda simulacije je pogodna, jer omogućava kvantifikaciju mogućih efekata za različite varijante rešenja.

Neki autori [5, 6] ističu da pre uvođenja strategija održavanja treba usavršiti sistem planiranja radnji održavanja, informacioni sistem, menadžment, pravilno dimenzionirati sistem, obučiti radnu snagu, uvesti sistem za ocenjivanje uspešnosti rada i druga poboljšanja na polju menadžmenta održavanjem, pa tek onda uvoditi nove strategije održavanja, jer one inače neće naići na pripremljeno tlo i mogu lako doživeti neuspeh.

Na primer, problem koji je uočen u kompaniji Du Pont ukoliko bi se mogao opisati na sledeći način: rukovodioci proizvodnje žele da ispune zacrtane planove proizvodnje, ali i da ih prebace. Zbog toga malo pažnje obraćaju na preventivno održavanje, jer ono zahteva planske zaštoje u proizvodnji. Međutim, mašine otkazuju, a šefovi pojačavaju pritisak da se izglubljeno vreme nadoknadi. To najčešće

rade opet na račun vremena za preventivno održavanje. Zbog neizvršavanja preventivnog održavanja situacija postaje još gora, jer mašine još više otkazuju, pa pritisak postaje sve veći. U takvom okruženju i zaposleni počinju manje da rade, jer ne mogu da prate tempo koji se od njih zahteva, a održavaoci sve više greše, jer su pod pritiskom, pa tako situacija postaje sve gora (slika 1).

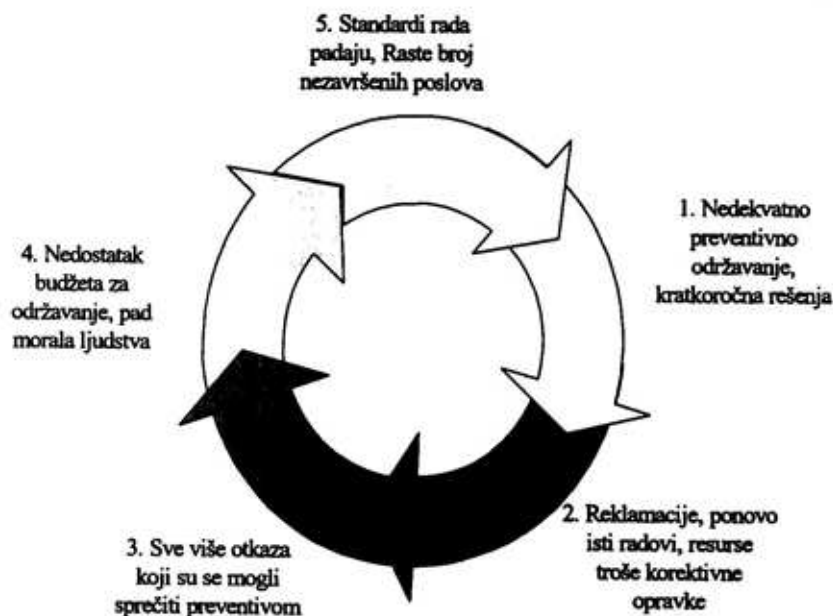
U slučaju hemijske industrije Du Pont korišćen je pristup zasnovan na System Dynamic (sistemska – industrijska dinamika) modelovanju i simulaciji. Simulirana je primena različitih strategija održavanja ili rešenja u menadžmentu održavanjem. Dobijeni rezultati sistematizovani su u tabeli [3]. Analiza ukazuje da sama poboljšanja u planiranju ili programiranju zadataka održavanja neće dati velike rezultate. Ukoliko se sva pažnja

skoncentriše samo na primenu preventivnog održavanja, iskorišćenje mašina opada. Kada se sve prve tri strategije poboljšanja primene, zbog sinergetskog efekta, vreme u radu (raspoloživost) raste za 5,1%. Tek kada se primeni tzv. eliminacija otkaza, koja predstavlja suštinu strategija RCM i TPM, efekti se naglo povećavaju i ukupno vreme u radu opreme dostiže 98,3%.

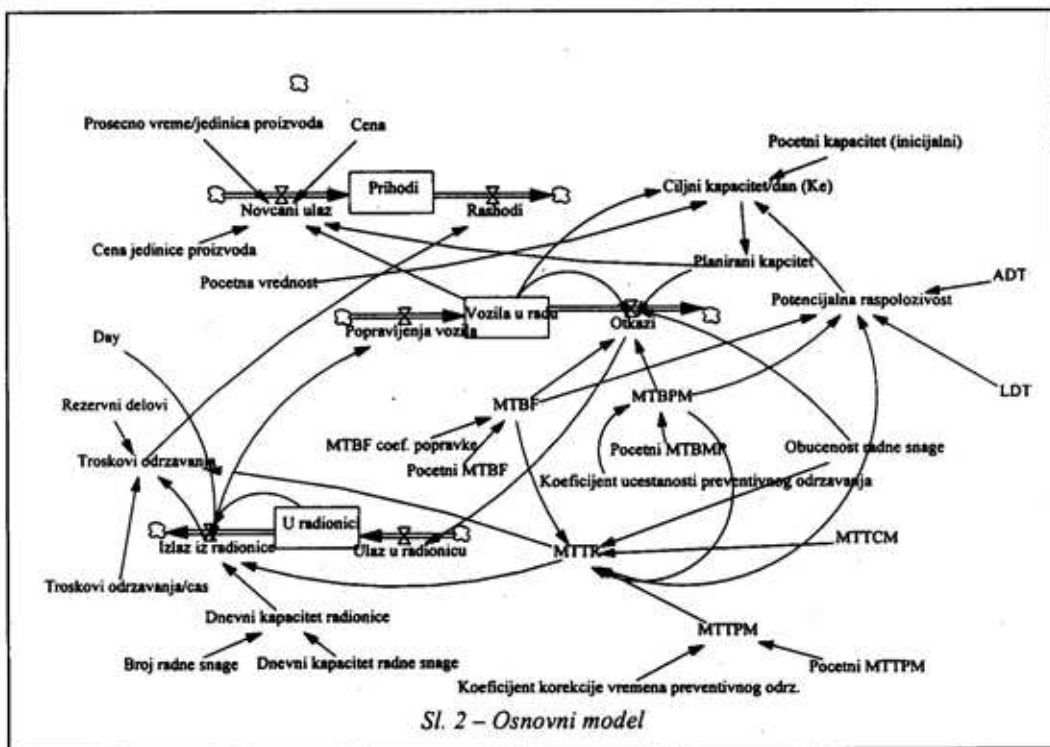
Rezultati primene pojedinih strategija održavanja u hemijskoj industriji Du Pont

Strategija	Veličina promene (%)	Vreme u radu (%)
Korektivna	-	83,5
Samo planiranje	+0,5	-
Samo raspoređivanje	+0,8	-
Preventivno/prediktivno	-2,4	-
Sve tri strategije	+5,1	88,6
Eliminacija otkaza	14,8	98,3

U slučaju projekta MELISSA, metoda simulacije je korišćena da se u pr-



Sl. 1 – Efekti neadekvatnog pristupa održavanju



Sl. 2 - Osnovni model

vom koraku odrede najvažnije mašine (preko stvaranja modela proizvodnog procesa) na kojima će biti sproveden RCM, a zatim da se odrede efekti primene nove strategije održavanja i njenih varijanti (npr. kada se menja učestanost ili trajanje preventivnih akcija održavanja). Najvažniji rezultat prvog koraka u simulacionom modelovanju bilo je određivanje maksimalnog vremena zastoja za pojedine mašine i ceo proces, a koje se može tolerisati, s tim što je to vreme kasnije korišćeno i kao kriterijum za ocenu pojedinih rešenja (postoji direktna zavisnost sa troškovima). Predviđa se i treći korak u simulacionom modelovanju koji bi poslužio za optimizaciju strategija održavanja sa stanovišta efekat/troškovi.

Efekti primene strategija održavanja sastoje se u eliminisanju preventivnih rad-

nji održavanja koje ne doprinose povećanju pouzdanosti opreme (napuštanje principa „što više održavanja to bolje“), uvođenju onih radnji preventivnog održavanja koje sprečavaju ili odlažu pojavu stanja u otkazu (efektivnih – odnosno, povećanje pouzdanosti ili MTBF – srednjeg vremena između otkaza), eliminaciji onih preventivnih radnji koje se ne isplate (veći su troškovi preventive od troškova iznenadnog zastoja), skraćivanju vremena izvođenja radnji preventivnog i korektivnog održavanja (primenom savremene tehnološke opreme ili skraćivanjem procedura), smanjivanju učestanosti izvođenja radnji preventivnog održavanja (posebno korišćenjem savremene dijagnostičke opreme i eliminacijom nepotrebnih radnji), itd. Ukratko, povećava se MTBF, a smanjuje učestanost preventivnog održavanja i trajanje radnji održavanja.

Problem i metodologija istraživanja

Određena su dva problema koji zahtevaju rešavanje. Prvi je ispitivanje mogućnosti i efektivnosti primene metode modelovanja i simulacije radi određivanja isplativosti primene strategija održavanja, a drugi ispitivanje isplativosti primene strategija održavanja na izabranom primeru.

Za osnovu metodologije izabran je System Dynamic pristup (već korišćen u slučaju Du Pont kompanije), koji omogućava relativno jednostavno modelovanje i simulaciju kompleksnih sistema, i ima široku primenu u svetu. Korišćen je adekvatni softverski paket VENSIM.PLE.

Osnovni model

Kreiran je primer zasnovan na realnim podacima i pokazateljima iz prakse. Za primer je poslužilo taksi preduzeće koje ima 100 vozila. Uzete su svetske vrednosti cena i troškova (izraženo u eurima), kako se ne bi pojavio problem neadekvatne cene radne snage i usluga, pa s tim u vezi i neadekvatni rezultati mogućih poboljšanja. Grafički prikaz modela formiran je u obliku koji zahteva primena System Dynamics (slika 2) – grafičko okruženje VENSIM.PLE. Podaci o učestanosti otkaza, frekvencija preventivnih radova održavanja, srednja vremena za izvođenje radnji održavanja, srednja vremena administrativnih i logističkih zastoja preuzeti su iz literature, a odnose se na putnička motorna vozila (npr. jedan otkaz na 6000 pređenih kilometara, jedan tehnički pregled godišnje,

itd.). Uzeto je da je učestanost otkaza i preventivnih radnji održavanja konstantna vrednost, a zavisi samo od intenziteta eksploatacije (od broja pređenih kilometara).

Scenario i model koji je simuliran je sledeći: taksisti žele da zarade prosečno 3000 eura mesečno. Poznati su podaci o prosečnom vremenu taksi usluge i ceni, kao i fiksni troškovi. Da bi zaradili tu sumu oni dnevno moraju da rade prosečno 6 do 7 časova (Initial capacity – inicijalni kapacitet). Zna se koliki je MTBF vozila, kao i učestanost preventivnog održavanja (MTBPM – srednje vreme između preventivnog održavanja). Poznata su i prosečna vremena administrativnog zastoja (ADT – 12 sati) i logističkog zastoja (LDT – 12 sati). Uzeto je da je vrednost funkcionalne podobnosti vozila jednaka 1. Zbog pojave zastoja taksisti moraju da rade više (Target capacity – ciljni kapacitet). Međutim, ne mogu da rade više od 12 časova dnevno u najgorem slučaju, pa ako se takva situacija javlja Planed capacity – planirani kapacitet nije jednak Target capacity već je ograničen na 12 časova rada dnevno. Nije moguće većim radom do beskonačnosti nadoknađivati efekte zastoja. Učestanost pojave zastoja u održavanju određuju MTBF i MTBPM, koji se određuju preko inicijalne – početne vrednosti (literatura) i koeficijenta popravke, čijim se promenama određuju ulazne veličine koje bi se postigle primenom odgovarajućih strategija održavanja.

Kada vozilo dođe u stanje otkaza (Brokedown – otkaz) za njegovu opravku je potrebno poznato prosečno vreme (Mean Time to Repair – srednje vreme opravke), koje, prema poznatim jednačinama, zavisi od prosečnog vremena za korektivne opravke (MTTCM), koje se

ne menja u modelu, prosečnog vremena za preventivno održavanje (MTTPM), koje se može varirati preko koeficijenta i poznate učestanosti preventivnih i korektivnih radova. Broj otkaza (reklamacije) povećava se zbog neadekvatne obučenosti kadra za održavanje (Trening – obuka, ocena 9 ili 90%), kao i vreme potrebno za održavanje. Kada se javi otkaz vozilo ide u radionicu na opravku (Input In Workshop – ulaz u radionicu). Početni resursi radionice su tri univerzalna radna mesta sa fiksnim kapacitetom (Maintenance Workshop Capacity – dnevni kapacitet radionice). Popravljenja vozila (Fixed machines – Maintenance Output) vraćaju se u rad, dodaju se trenutno ispravnim i čine ukupan dnevni kapacitet preduzeća u vozilima (Working machines – vozila u radu). Poznate su prosečne cene norma-sata za održavanje i rezervnih delova (približno 1:1), pa se lako mogu izračunati troškovi održavanja. Kada se od novčanog ulaza (Money input) oduzmu troškovi održavanja, dobija se ukupan prihod preduzeća (Money Income). Vremenska jedinica je dan, a ukupno vreme posmatranja godina.

Na grafičkom prikazu modela uočavaju se tri celine: mašine – vozila u radu, vozila u radionici i prihodi koji zavise od karakterističnih ulaznih i izlaznih tokova. Na ove tokove utiče veliki broj promenljivih koje su navedene (nazivi) na slici modela, čiji je međusobni uticaj prikazan odgovarajućim strelicama. Među promenljivima uspostavljen je odgovarajući sistem diferencijalnih jednačina (omogućeno korišćenjem softverskog paketa VENSIM.PLE), preko kojih se simuliraju procesi u vremenu.

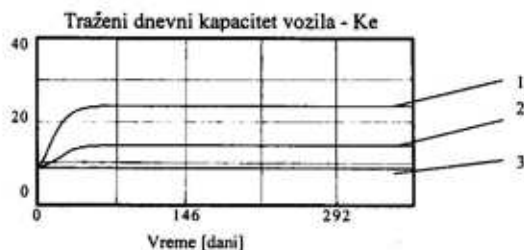
Prva grupa eksperimenata i rezultati

Eksperiment 1. Simuliran je rad sistema sa početnim vrednostima parametara i promenljivih (kao što je navedeno u prethodnom izlaganju). U tom slučaju, sistem je potpuno nefunkcionalan, jer ako radionica ima samo tri radna mesta, prosečno je ispravno oko 40 vozila, što se vidi na slici 3. Sa pet radnih mesta ispravno je prosečno 60 vozila, a sistem dobro funkcioniše tek kada radionica ima 6 radnih mesta i kada se postiže stabilan rad sistema (broj vozila u radionici je sveden na nužnu meru). Prihodi sistema povećavaju se skoro dvostruko (sa oko 2,5 na oko 5 miliona eura godišnje) u slučaju 6 radnih mesta. Znači prva mera u sistemima jeste da se mora postići stabilan i uravnotežen rad sistema održavanja, odnosno pravilno dimenzioniranje resursa i kapaciteta.

U ovom slučaju interesantno je sagledati traženi kapacitet vozila u slučaju nedostatka resursa i kapaciteta za održavanje, što je ilustrovano na slici 4. U slučaju nedostatka resursa vozila bi morala da rade više od 24 sata na dan, što je nemoguće.



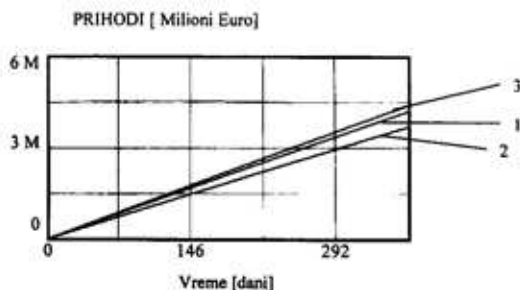
Sl. 3 – Broj ispravnih vozila u zavisnosti od kapaciteta radionice za održavanje:
1 – sa tri radna mesta; 2 – sa pet radnih mesta;
3 – sa šest radnih mesta



Sl. 4 – Traženi kapacitet vozila u slučaju prvog eksperimenta:
1 – sa tri radna mesta; 2 – sa pet radnih mesta;
3 – sa šest radnih mesta

Eksperiment 2. Uzeto je da radionica ima kapacitet od 6 radnih mesta (dovoljan). Smanjena je vrednost ADT i LDT na polovinu (sa 24 na 12 sati), a povećana je obučenost ljudstva za održavanje sa ocene 9 na 10. Najveći efekti u ovom slučaju postižu se podizanjem kvaliteta radne snage, kao što je prikazano na slici 5. Pri tome, prihodi rastu za oko 200 000 eura (oko 5%) a smanjenje ADT i LDT nema efekta, jer opada traženi kapacitet, odnosno može manje da se radi za iste prihode.

Eksperiment 3. Uzeto je da radionica ima kapacitet od 6 radnih mesta (dovoljan). Smanjivana je učestanost otkaza (MTBF) za 10, 20 i 30%, što znači da će



Sl. 5 – Rezultati eksperimenta sa promenom ADT, LDT i obučenosti kadra za održavanje:
1 – prihodi iz eksperimenta 1; 2 – smanjenje ADT i LDT; 3 – efekti obuke ljudstva

se otkazi događati na prosečno 6600, 7200 i 7800 pređenih kilometara. U ovom slučaju nema povećanja prihoda, i nešto se manje radi, za do jedan sat na dan. Rashodi za održavanje smanjuju se sa oko 4000 na oko 3000 eura na dan.

Eksperiment 4. Ulazni podaci su isti kao za prethodni eksperiment, samo što se vreme za izvođenje preventivnog održavanja (MTTPM) smanjuje za 10, 20 i 30%. Prihodi se uvećavaju za do 100 000 eura. Smanjenje rashoda za održavanje slično je kao u prethodnom eksperimentu.

Eksperiment 5. Ulazni podaci su isti kao za prethodni eksperiment, samo se menja učestanost preventivnog održavanja (MTBPM), odnosno smanjuje se za 10, 20 i 30%. U ovom slučaju prihodi se ne povećavaju, a ostali rezultati slični su sa prethodna dva eksperimenta.

Eksperiment 6. Menjana su sva tri parametra vezana za pokazatelje poboljšanja u domenu strategija održavanja, odnosno MTBF, MTBPM i MTTPM istovremeno, za 10, 20 i 30%. U stvarnosti oni se pri uvođenju novih strategija održavanja menjaju istovremeno. U ovom slučaju prihodi blago rastu za oko 50 000 do 100 000 eura. Prosečan broj vozila u radionici opada sa oko 8 na 4, prosečan broj vozila u otkazu se smanjuje sa oko 7 na 5. Željeni kapacitet vozila opada na 8 sati na dan, a troškovi održavanja opadaju za oko 1000 eura na dan.

Na osnovu prvih rezultata može se zaključiti da su najveće efekte dali dimenzioniranje resursa radionice za održavanje i obuka kadra za održavanje. Mora se konstatovati i da je variranje promenljivih, koje određuju poboljšanja koja bi se mogla postići primenom strate-

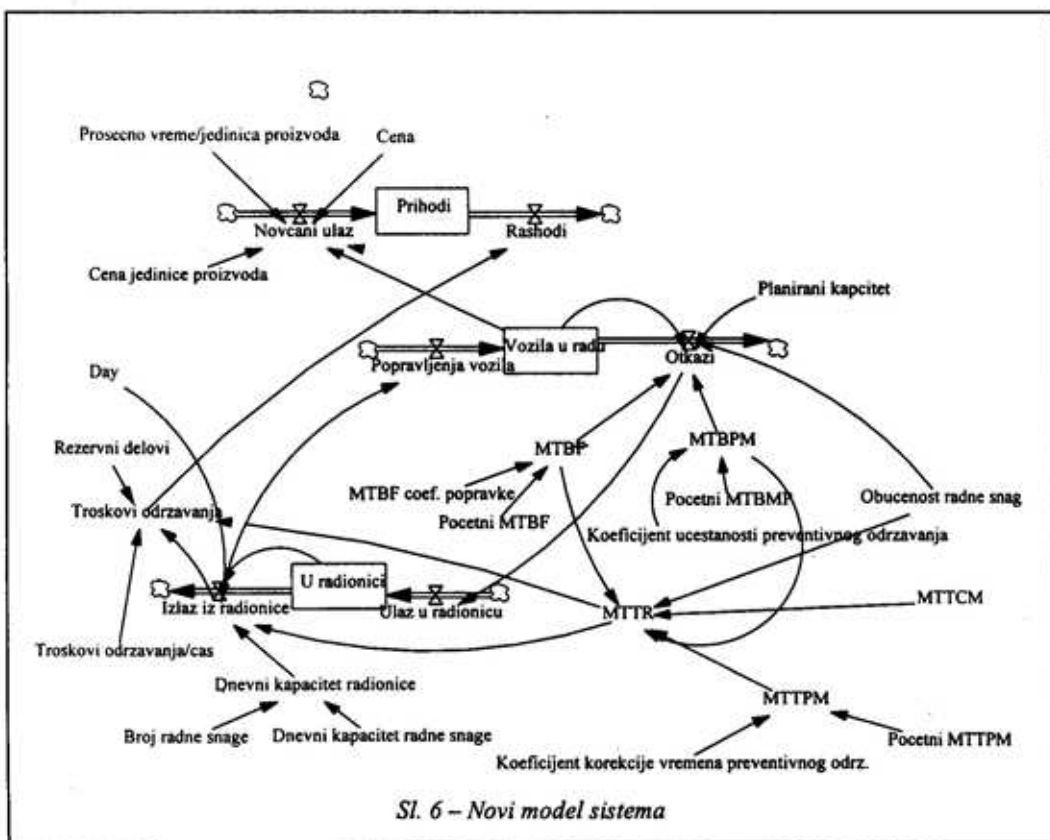
gija održavanja, znatno smanjilo troškove održavanja, ali nije povećalo prihode preduzeća. Ukoliko su kraći zastoji zbog održavanja, vozila moraju manje da rade (ukupno uzev manje se habaju) da bi se ostvarila ciljna zarada (što i jeste suština). Dakle, strategije održavanja su sigurno od koristi za smanjenje troškova održavanja.

Druga grupa eksperimenata i rezultati

Logička pitanja koja se nameću kao rezultat prvih eksperimenata su: šta se dešava ukoliko oprema treba da radi što duži (ili najmanje neki fiksni) period u

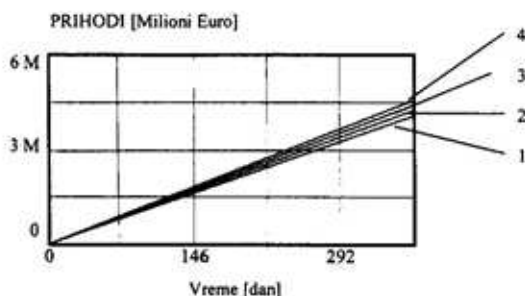
toku dana, kao što je slučaj sa elektranama, u procesnoj industriji, vojnim sistemima na dežurstvu, radarima, telefonskim centralama itd., i kakvi su tada efekti uvođenja strategija održavanja.

Da bi se odgovorilo na ova pitanja potrebno je izvršiti neke izmene na modelu. Prosečno potrebno vreme rada vozila na dan fiksirano je na 8,5 sati, odnosno to je optimalna vrednost iskorišćenja vozila, do čega se došlo analizom prethodnih rezultata (donosi traženi prihod). U ovom slučaju traženo vreme rada vozila na dan nije važno, jer se zahteva da vozila rade fiksni (planski) period vremena na dan. To dovodi do izvesnih izmena na modelu (novi model je prikazan na slici 6).



Sl. 6 - Novi model sistema

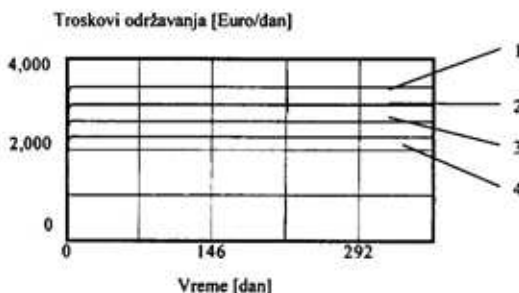
Eksperiment 7. Uzeto je da radionica ima kapacitet od 6 radnih mesta (dovoljan). Smanjivana je učestanost otkaza (MTBF) za 10, 20 i 30%. Prihodi se povećavaju za oko 200 000 eura. Promena svih ostalih parametara događa se na očekivani način.



Sl. 7 – Povećanje prihoda u eksperimentu 10:
1 – početno stanje; 2 – umanjjenje MTBF, MTBPM i MTTTPM za 10%; 3 – umanjjenje MTBF, MTBPM i MTTTPM za 20%; 4 – umanjjenje MTBF, MTBPM i MTTTPM za 30%

Eksperiment 8. Ulazni podaci su isti kao za prethodni eksperiment, s tim što se na isti način smanjuje vreme preventivnog održavanja. Povećanje prihoda iznosi oko 50 000 eura (posledica i ovako male učestanosti preventivnog održavanja).

Eksperiment 9. Ulazni podaci su isti kao za prethodni eksperiment, s tim što se



Sl. 8 – Smanjenje rashoda održavanja u eksperimentu 10:
1 – početno stanje; 2 – umanjjenje MTBF, MTBPM i MTTTPM za 10%; 3 – umanjjenje MTBF, MTBPM i MTTTPM za 20%; 4 – umanjjenje MTBF, MTBPM i MTTTPM za 30%

na isti način smanjuje učestanost preventivnog održavanja. Rezultati su gotovo identični sa prethodnim eksperimentom.

Eksperiment 10. Menjana su tri parametra vezana za pokazatelje poboljšanja u domenu strategija održavanja, odnosno MTBF, MTBPM i MTTTPM istovremeno, za 10, 20 i 30%. Kao što se moglo očekivati, sinergizam relevantnih faktora dao je najveće rezultate. Kao što se vidi sa slike 7 ukupno povećanje prihoda je za oko 500 000 eura ili 15%. Prosečno za svakih 10% smanjenja u broju otkaza, vremenu preventivnog održavanja i učestanosti preventivnih akcija ukupan profit preduzeća raste oko 5%. Broj vozila u radionici smanjuje se za 50%, a broj otkaza za oko 30 do 40%.

Troškovi održavanja smanjuju se za 30 do 40% (u ovom slučaju do 400 000 eura godišnje, uz dodatnu mogućnost smanjenja resursa), kao što je prikazano na slici 8. Ovi efekti mogli bi se svrstati u veoma značajne.

Zaključak

Modelovanje i simulacija predstavljaju adekvatnu metodu za istraživanje na polju primene strategija održavanja i kvantifikaciju efekata i troškova. Primena systemske dinamike ima određene prednosti, jer se njome grade jednostavniji modeli usmereni na rešavanje konkretnih problema. Za modelovanje, simulaciju, eksperimentisanje, analizu i obradu rezultata, korišćenjem navedene tehnike i softverskog paketa, u ovom slučaju bilo je potrebno tridesetak dana.

Nedvosmisleno se potvrđuje da adekvatna primena strategija održavanja znat-

no smanjuje troškove održavanja. Na taj način mogli bi se bolje iskoristiti ili smanjiti postojeći budžeti za održavanje. Primena ovih postupaka usavršavanja sistema održavanja kod velikih sistema, skupe i komplikovane opreme koja ima visok koeficijent eksploatacije je efektivnija nego kod malih sistema gde se može menjati koeficijent eksploatacije opreme. Potvrđeno je i mišljenje da pre uvođenja strategija održavanja treba da se izvrše određena poboljšanja na postojećem sistemu održavanja, u smislu njegovog pravilnog dimenzioniranja, uvođenja informatičke podrške, usavršavanja organizacione strukture, menadž-

menta, postupaka upravljanja i povećanja obučenosti kadra za održavanje.

Literatura:

- [1] Sandy Dunn: Re-inventing the Maintenance Process, Queensland Maintenance Conference, 1998.
- [2] Hans Svec, Hans Jorgen Saebo, Jorn Vatn: Estimating the potential benefit of introducing RCM on railway infrastructure, Safety and Reliability, Rotterdam, 1998.
- [3] Ledet: Manufacturing Game - <http://www.manufacturing-game.com/>, 1994.
- [4] BRITE EURAM III - CRAFT project MELISSA: The practical application of RCM and System Simulation in the sawmill industry. <http://laurel.datsi.fi/upm.es/crail/new/WP2/RCM-sawmills.thm>
- [5] Dave Army: Operational Reliability Maturity Continuum, Strategic Asset Management Inc., sami_01.htm.
- [6] Christer Idhammar: What constitutes world-class reliability and maintenance, Idcon Inc.