

**Docent**  
**Dr Mijo Vrhovski,**  
pukovnik, dipl. inž.

## »Prilog analizi pouzdanosti vozila u eksploataciji«

### Uvod:

Pouzdanost motornih vozila u eksploataciji zavisi od: savršenosti konstrukcije, uslova eksploatacije i kvaliteta rukovanja i održavanja. Greške i nedostaci konstrukcije skupo se plaćaju brojnim teškoćama u proizvodnji, niskom pouzdanošću, skupim i čestim održavanjem, niskom efektivnošću i kratkim životnim vijekom.

Savremeni teretni automobil srednje klase sastoji se od 15 do 18 hiljada sastavnih dijelova, od kojih 7 do 9 hiljada mijenjaju svoja svojstva tokom eksploatacije.

Skup od 200 do 400 dijelova je kritičan po svojoj pouzdanosti, jer uzrokuje najveći broj zastoja i otkaza i visoke troškove održavanja. Prema [1], kod savremenih teretnih automobila na 2 do 3% nomenklature rezervnih dijelova otpada 40 do 50%, a na svega 8 do 10% dijelova 80 do 90% ukupnih troškova rezervnih dijelova u toku životnog ciklusa. Stoga je izuzetno važno imati pouzdane informacije o kritičnim dijelovima, njihovim intenzitetima otkaza i toku promjene pouzdanosti.

Za proizvodnju savremenog terenskog automobila srednje i veće nosivosti troši se oko 120 do 150 norma-sati, dok se u isto vrijeme, za opsluživanje

i remont, zavisno od intenziteta eksploatacije, troši prosječno 400 do 700 norma-sati [1].

### Uzroci promjene tehničkog stanja vozila u eksploataciji

Tokom rada u dijelovima i sklopovima motornog vozila javljaju se slijedeći procesi:

- trošenje radnih površina;
- korozija;
- zamor materijala, i
- pad mehaničkih osobina materijala.

Dijelovi motornog vozila izloženi su djelovanju čitavog niza različitih dinamičkih naprezanja. Često trenutna udarna opterećenja znatno nadilaze proračunska (statička) dozvoljena naprezanja i izazivaju iznenadne lomove i oštećenja. U nekim slučajevima, zbog pada čvrstoće pojedinih dijelova dolazi do raznih deformacija, kao što su: iskrivljenje, uvijanja, lomovi, itd.

Procentualni udio pojedinih uzroka pojava stanja u otkazu jednog teretnog vozila prema [1] je slijedeći:

- |                                    |         |     |
|------------------------------------|---------|-----|
| — trošenje                         | — — — — | 40% |
| — plastične deformacije            | —       | 26% |
| — lomovi zbog zamora               | —       | 18% |
| — kvarovi zbog temperatur. uticaja | — — — — | 12% |
| — drugi kvarovi                    | — — —   | 4%  |

U zavisnosti od uslova eksploatacije, mijenjaju se brzinski režimi i režimi opterećenja, kao i srednje vrijeme između otkaza, intenzitet otkaza, pouzdanost vozila i njegovih sastavnih dijelova.

Na ispravnost vozila i njegovih dijelova i sklopova u procesu eksploatacije utiču:

— putni, transportni i klimatski uvjeti,

— kvalitet rukovanja, održavanja i remonta,

— uvjeti čuvanja i skladištenja.

*Putni uvjeti* karakterizirani su kvalitetom putnog zastora, veličinom neravnina, uzdužnim profilom puta, otporom kretanja i srednjom brzinom motornog vozila. Pri kretanju po lošim putevima naglo se povećavaju sile koje djeluju na upravljački mehanizam i dijelove ovješena. Izmjena putnih uslova dovodi do izmjene režima i karaktera (amplitude i frekvencije) opterećenja.

Zbog vibracija rama vozila, kretanjem po neravnom putu, slabe zavareni spojevi, narušava se saosnost pojedinih sklopova i javljaju se dopunska opterećenja u tijelu vozila. To može biti uzrok ubrzanog trošenja i lomova dijelova. Vibracije vrlo naglašeno djeluju na radni vijek i pouzdanost hladnjaka, dijelova elektrouređaja, karoserije i elastičnih elemenata oslanjanja vozila.

Kretanjem vozila po lošim putevima, zbog izrazito promjenljivih režima rada, pogoršavaju se uvjeti podmazivanja, režim hlađenja, i sl.

*Klimatski uvjeti*, također, značajno djeluju na rad, izlazne performanse i učestalost pojava otkaza motornog vozila. Niske temperature izazivaju zgušnjavanje maziva u motoru i sklopovima transmisije. Viskoznije mazivo teže dopire do tarućih površina, te sklopovi i dijelovi duže rade u uvjetima graničnog, polusuhog ili suhog trenja.

Kondenzacija goriva na hladnim stijenkama cilindra izaziva ispiranje ulj-

nog filma i povećano trošenje stijenki cilindra, a kondenzacija vode u pojedinim mehanizmima i uređajima pogoršava uvjete podmazivanja i dovodi do intenzivne korozije. Pri niskim okolišnjim temperaturama otežan je start, zbog pada napona i kapaciteta akumulatorske baterije. Padom temperature elektrolita za jedan stupanj Kelvina smanjuje se napon akumulatora za 1 do 1,5 V. U isto vrijeme povećava se potrebna snaga za start hladnog motora.

Klipni prsteni koji dobro zaptivaju kada je motor zagrijan, nedovoljno zaptivaju kada je hladan, zbog nepravilnog nalijeganja prstena na površinu cilindra. To izaziva povećano propuštanje radnog medija iz komore izgaranja u korito za ulje, povećano koksiranje goriva u utorima klipnih prstena, brže starenje i gubitak mazivnih svojstava ulja.

Niske temperature okoline djeluju nepovoljno i na materijale dijelova motora, izazivajući pad mehaničkih svojstava. Pri temperaturi od  $-30^{\circ}\text{C}$  dijelovi od čelika, sa dodatkom silicija i mangana, postaju kruti, pa se povećava sklonost ka pojavi pukotina, dolazi do koncentracije naprezanja i lomova. Osobiti pad čvrstoće, pri niskim temperaturama, javlja se kod livenog željeza.

Pri visokim temperaturama okoline pojavljuje se nedovoljan intenzitet hlađenja, pregrijavaju se pojedini elementi i sklopovi, smanjuju se zazori među pokretnim dijelovima, povećava se trenje i trošenje. Pri tome, također, mogu nastati strukturne promjene u materijalu, a može doći i do smanjenja otpornosti na trošenje, pada mehaničke čvrstoće i povećane sklonosti ka pojavi otkaza.

### *Kvalitet rukovanja i opsluživanja vozila*

U zavisnosti od kvaliteta rukovanja i opsluživanja mijenjaju se režimi opterećenja, frekvencija i veličina na-

prezanja, opće stanje, brzina trošenja i životni vijek dijelova i sklopova. Na primjer pri naglom uključivanju spojnice (kvačila) ona u kratkom vremenu predaje veliki obrtni moment, stvarajući u dijelovima transmisije dinamičko opterećenje koje je 2 do 3 puta veće nego pri laganom uključivanju.

Usporedbom dvojice vozača istog teretnog vozila, a različitog nivoa osposobljenosti, dobiveni su podaci prikazani u tabeli 1.

ne treba otklanjati samo neispravnost, nego i uzrok njenog nastanka. Neblagovremeno provođenje preventivnog održavanja može dovesti do drastičnog pada pouzdanosti sklopova i elemenata, povećanja opsega radova održavanja, velikog vremena neispravnosti (neraspoloživosti) i velikih troškova održavanja. U mirnodopskim uvjetima intenzitet eksploatacije armijskih vozila je mali, a većina vozila nalazi se u režimu čuvanja. U uvjetima čuvanja vozila po-

Tabela 1

Vozač	Prosje. brz. [km/h]	Broj okret. [o/min]	Broj koč. [na 1 km]	Broj otk. [%]	Resurs sklop.
A	35,3	1780	1,7	100	100
B	33,6	2220	2,6	140	47—70

Iz tabele se vidi da je broj otkaza kod vozača »B« veći za 40%, uz istovremeno pogoršanje svih ostalih performansi.

Pravilno rukovanje i upravljanje vozilom osigurava povećanje međuremontnih resursa i do 60%, smanjuje potrošnju goriva do 30% i povećava srednju brzinu kretanja za 20%.

Od osposobljenosti vozača ne zavisi samo režim rada pojedinih sklopova i agregata, nego i mogućnost otklanjanja raznih neispravnosti koje se javljaju u eksploataciji.

Time se sprečava pojava većih oštećenja i smanjuje potreba za obimnijim radovima u održavanju.

### Kvalitet održavanja

Osnovu održavanja trebaju činiti preventivne akcije koje će spriječiti pojavu otkaza. Ako već dođe do otkaza

sebno je izraženo starenje kod gumenih, tekstilnih, kožnih i drugih nemetalnih dijelova. Otkazi ovih dijelova pokoravaju se različitim zakonima raspodjele. Najčešće su to otkazi sa rastućim intenzitetom. Na brzinu starenja nemetalnih dijelova značajno utiču uslovi čuvanja vozila. Visok stupanj relativne vlažnosti zraka, nagle promjene temperature okoline, djelovanje sunčevih zraka, soli i drugih kemijskih spojeva u zraku intenziviraju pojavu korozije, razgradnju nemetalnih dijelova i porast intenziteta otkaza.

### Relativna učestalost otkaza po sklopovima vozila

Kao statistički uzorak za analizu neispravnosti promatran je skup od 490 vozila TAM-5000. Na izabranom uzorku registrirano je 898 različitih otkaza, čija je raspodjela po sklopovima vozila prikazana u tabeli 2.

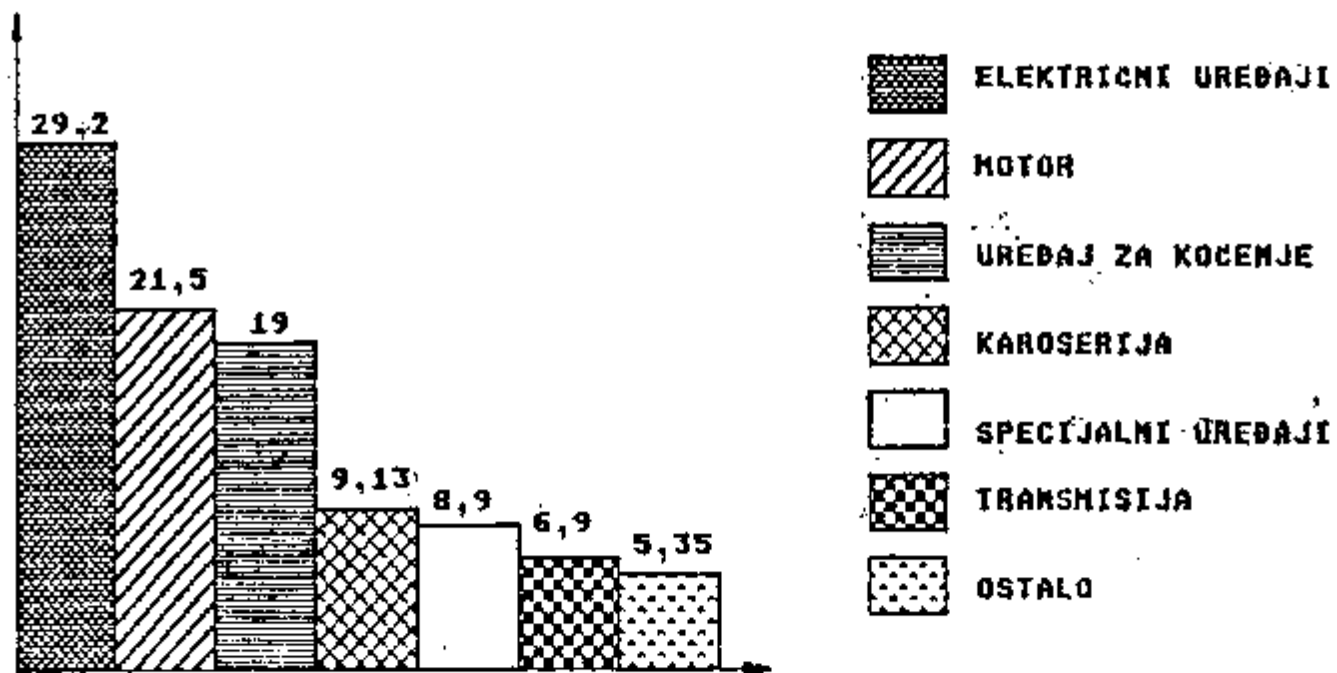
Sklop-uređaj	Motor	Transmisija	Karoserija	Elekt. uređ.	Uređ. za koč.	Spec. uređ.	Ost.	Ukupno
Broj otkaza	193	62	82	262	171	80	48	898
%	21,49	6,9	9,13	29,18	19,04	8,9	5,35	100

Na slici 1. prikazan je gantogram relativne učestalosti otkaza po sklopovima i dijelovima kod promatranog vozila.

Iz tabele 2 i gantograma vidi se da je najveća učestalost otkaza na električnim uređajima (29,18%), motoru (21,49%) i uređaju za kočenje (19%). Na ova tri podsistema otpada čak 70% svih otkaza vozila.

Najveću učestalost otkaza ima elektropokretač (29%), glavna svjetla (22,14%), pokazivači pravca (11,8%), sklopka akumulatora (8%) i generator (7,6%).

Motor je najsloženiji podsistem svakog vozila. Prema [2] kod sličnog teretnog vozila čak 23,9% ukupnog broja dijelova vozila otpada na motor.



Sl. 1 Gantogram relativne učestalosti otkaza

Kako se radi o teretnom vozilu kod kojeg su vrlo izražene vibracije svih dijelova i sklopova, posebno u eksploataciji van dobrih puteva, u uvjetima prašine, blata i velike vlažnosti, to je razumljiva velika učestalost kvarova na elektrouređajima. No, ipak se može zaključiti da elementi elektrouređaja ovih vozila imaju suviše nisku pouzdanost i predstavljaju kritične elemente promatranog vozila.

Dijelovi motora izloženi su tokom rada djelovanju visokih pritisaka i temperatura, impulsnim promjenama sila na elementima klipnog mehanizma, djelovanju vrlo aktivnih kemijskih supstanci u radnom mediju u cilindrima motora, hidrodinamičkim pojavama velikih amplituda u uređajima, itd. Najveću učestalost kod motora promatranog vozila imaju otkazi na uređaju za napajanje i podmazivanje. Neispravno-

sti ova dva uređaja čine više od polovine svih neispravnosti motora. Kritični elementi su prečistači, brizgaljke, zaptivači, uljni prsteni (semerinzi) i hladnjak za ulje. Neispravnosti hladnjaka za ulje čine čak 10% svih neispravnosti na motoru.

Na uređaju za kočenje najčešće neispravnosti su:

- nepodešenost ili istrošenost obloga kočnica,
- curenje tekućine i dotrajalost gumica,
- nepodešenost ručne kočnice,
- neispravnosti zračne instalacije uređaja.

Ovaj uređaj sadrži brojne nemetalne dijelove (gumice, zaptivače, frikcione elemente), koji s vremenom gube mehanička svojstva i podložni su intenzivnom trošenju. Zato je frekvencija otkaza ovog uređaja relativno velika.

Na šasiji, kabini i tovarnom sanduku neispravnosti su, najčešće, izazvane mehaničkim oštećenjima, koja su rezultat nepravilnog rukovanja vozilom ili uvjeta eksploatacije van puteva, i sl. Dominiraju oštećenja kvaka i brava, podizača stakala, oštećenja blatobrana, prednjeg branika, itd.

Premda kvarovi na transmisiji nemaju veliku relativnu učestalost, u sklopu identificiranih kvarova ipak se u ovom podsistemu zapažaju slijedeći otkazi:

od 62 kvara na transmisiji 80% otpada na slijedeće elemente:

- neispravnosti kvačila 31%;
- neispravnosti kardanskog vratila 21%;
- neispravnosti menjača 18%;
- neispravnost pogonskog vratila 10%.

Ima li se na umu da ovim vozilima upravljaju nedovoljno obučeni vozači, a ona se pretežno koriste van puteva, učestalost ove vrste otkaza je razumljiva.

### Proračun pouzdanosti

Za proračun pouzdanosti elektronskih sredstava razvijen je softverski paket »PREDICTOR«, koji kao ulazne podatke koristi standard MIL — HDB — 217 C i D. Međutim, za mehaničke sisteme još uvijek ne postoje dostupne banke podataka, već najčešće korisnici PREDICTOR-a i institucije koje se bave razvojem vozila kreiraju vlastite baze podataka koje nisu dostupne široj stručnoj javnosti. Kod nas je, na osnovu višegodišnjeg praćenja utroška rezervnih dijelova promatranog vozila, u različitim uvjetima eksploatacije, načinjen normativ rezervnih dijelova, sa podacima o intenzitetima otkaza za sve važnije dijelove. Stoga, ovaj normativ predstavlja dragocjenu banku podataka za proračun pouzdanosti dijelova i sklopova vozila, kao i za definiranje potrebnih zaliha rezervnih dijelova. Iz normativa su izdvojene vrijednosti intenziteta otkaza kritičnih elemenata i sklopova. Vozilo je razloženo na niže cjeline, funkcionalno i hijerarhijski povezane.

Tabela 3

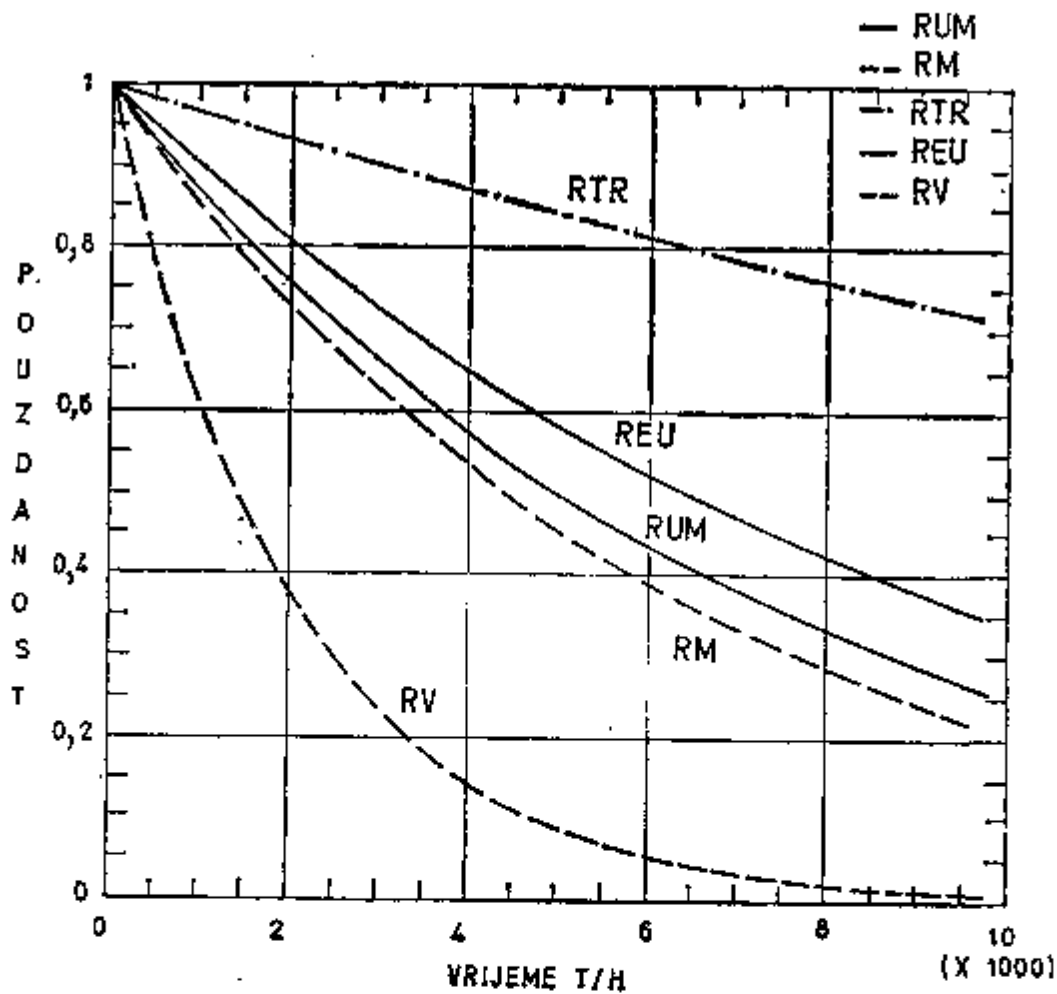
Naziv	Intenzitet otkaza $\lambda \cdot 10^{-6}$ [1/h]	Srednje vrijeme između otkaza $t_o$ [h]
<b>Motor — kompl.</b>	158,409	6312,8
Nepokret. dijel. mot.	6,21	161031
Pokret. dijel. mot.	8,41	118849
Razvodni mehanizam	5,1	196078
Uređaji na motoru	138,69	7210

<b>Šasija — kompl.</b>	242,9	4116
Transmisija	34,27	29175
Hodni dio	33,32	30012
Uprav. i kočenje	67,07	14910
Električ. uređ.	108,27	9236
<b>Karoseriya — kompl.</b>	87,02	11492
Kabina	84	11305
Blatobrani	1,52	657895
Tovarni sanduk	1,5	666660
<b>VOZILO — KOMPL.</b>	488,36	2047

Na temelju hijerarhijskog stabla otkaza formirana je ulazna datoteka za PREDICTOR. Iz listinga izlaznih rezultata iščitani su intenziteti otkaza i srednja vremena između otkaza po sklopovima vozila, kako je to prikazano u tabeli 3.

pajanje ( $\lambda_{un}=122$ ). Kritičan element uređaja za napajanje je brizgaljka.

Intenzitet otkaza električnih uređaja iznosi  $\lambda_{eu}=108,27$ . U ovom podskupu kritični elementi su: elektropokretač, dijelovi rasvjete i signalizacije, te brisači stakla.



Sl. 2 Pouzdanost sklopova i vozila u funkciji vremena

Najveći intenzitet otkaza ustanovljen je kod uređaja na motoru ( $\lambda_M=138,69$ ), posebno kod uređaja za na-

Proračun srednjeg vremena između otkaza i intenziteta otkaza primjenom PREDICTOR-a temelji se na pretpo-

## Rezultati proračuna pouzdanosti elemenata vozila

T	RUM	RM	RTR	REU	RV
0	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
200	0,97264120	0,96881460	0,99316940	0,97857870	0,90694630
400	0,94603090	0,93860170	0,98638550	0,95761640	0,82255170
600	0,92014870	0,90933110	0,97921350	0,93710310	0,74601020
800	0,89497450	0,88139980	0,97295640	0,91702910	0,67659120
1000	0,87048910	0,85349980	0,96631060	0,89738520	0,61363190
1200	0,84667360	0,82688310	0,95971010	0,87816210	0,55653120
1400	0,82350960	0,80109640	0,95315470	0,85935090	0,50474390
1600	0,80097440	0,77611390	0,94664420	0,84094250	0,45777570
1800	0,77906560	0,75191040	0,94017800	0,82292850	0,41517790
2000	0,75775130	0,72846190	0,93375610	0,80530030	0,37654410
2200	0,73702020	0,70574450	0,92737800	0,78804980	0,34150530
2400	0,71685620	0,68373560	0,92104350	0,77116880	0,30972700
2600	0,69724390	0,66241300	0,91475220	0,75464940	0,28090580
2800	0,67816820	0,64175540	0,90850400	0,73848390	0,25476640
3000	0,65961430	0,62174200	0,90229840	0,72266470	0,23105950
3200	0,64156810	0,60235270	0,89613520	0,70718430	0,20955850
3400	0,62401560	0,58356820	0,89001410	0,69203550	0,19005840
3600	0,60694320	0,56536940	0,88393480	0,67721120	0,17237270
3800	0,59033800	0,54773810	0,87789700	0,66270450	0,15633280
4000	0,57418710	0,53065670	0,87190040	0,64850860	0,14178550
4200	0,55847800	0,51410790	0,86594490	0,63461670	0,12859180
4400	0,54319880	0,49807530	0,86003000	0,62102250	0,11662590
4600	0,52833750	0,48254260	0,85415550	0,60771940	0,10577340
4800	0,51388280	0,46749430	0,84832110	0,59470130	0,09593080
5000	0,49982360	0,45291540	0,84252660	0,58196200	0,08700409
5200	0,48614900	0,43879100	0,83677170	0,56949570	0,07890804
5400	0,47284860	0,42510720	0,83105610	0,55729640	0,07156535
5600	0,45991210	0,41185000	0,82537950	0,54535840	0,06490593
5800	0,44732940	0,39900630	0,81974170	0,53367620	0,05886620
6000	0,43509100	0,38656320	0,81414240	0,52224420	0,05338848
6200	0,42318750	0,37450800	0,80858140	0,51105710	0,04842049
6400	0,41160960	0,36282890	0,80305830	0,50010960	0,04391479
6600	0,40034840	0,35151390	0,79757290	0,48939660	0,03982835
6800	0,38939540	0,34055180	0,79212500	0,47891320	0,03612218
7000	0,37874200	0,32993160	0,78671440	0,46865420	0,03276088
7200	0,36838010	0,31964250	0,78134070	0,45861510	0,02971236
7400	0,35830170	0,30967440	0,77600370	0,44879100	0,02694751
7600	0,34849900	0,30001700	0,77070310	0,43917730	0,02443995
7800	0,33896450	0,29066090	0,76543880	0,42976960	0,02216572
8000	0,32969080	0,28159650	0,76021040	0,42056340	0,02010312
8200	0,32067090	0,27281480	0,75501780	0,41155440	0,01823245
8400	0,31189770	0,26430700	0,74986050	0,40273840	0,01653585
8600	0,30336460	0,25606450	0,74473860	0,39411120	0,01499713
8800	0,29506490	0,24807900	0,73965160	0,38566890	0,01360159
9000	0,28699230	0,24034260	0,73459940	0,37740740	0,01233592
9200	0,27914050	0,23284740	0,72958170	0,36932290	0,01118801
9400	0,27150360	0,22558600	0,72459820	0,36141150	0,01014693
9600	0,26407550	0,21855100	0,71964880	0,35366960	0,00920272
9800	0,25685080	0,21173540	0,71473310	0,34609360	0,00834637

stavci o eksponencijalnoj distribuciji vremena između dva otkaza. Pretpostavka o eksponencijalnoj raspodjeli vremena između otkaza vozila nije uvijek ispunjena. Međutim, na ovaj način dobiva se polazna osnova za daljnju analizu pouzdanosti, kako pri projektiranju, tako i u eksploataciji vozila.

U tabeli 4 prikazani su rezultati proračuna pouzdanosti na osnovu poznatih intenziteta otkaza uređaja na motoru (RUM), kompletnog motora (RM), transmisije (RTR), elektrouređaja (REU) i kompletnog vozila (RV).

Na slici 2 prikazane su krivulje pouzdanosti u funkciji vremena za navedene sklopove i vozilo u cjelini.

### Zaključak

Poznavanje kvantitativnih vrijednosti za ocjenu pouzdanosti svakog slo-

ženog sredstva predstavlja ne samo teorijski, nego i veliki praktičan značaj. Na osnovu ovih podataka moguće je definirati periodiku i sadržaj preventivnog održavanja, utvrditi nivo, raspored i količinu potrebnih rezervnih dijelova, predvidjeti ponašanje vozila u predviđenom vremenu i predviđenim uslovima eksploatacije, racionalizirati postupke održavanja i smanjiti troškove životnog ciklusa.

Stoga je od neprocjenjivog značaja permanentno prikupljanje i ažuriranje podataka o intenzitetima otkaza i drugim parametrima pouzdanosti vozila, koja predstavljaju osnovu voznih parkova velikih funkcionalnih sistema. Na taj način stvaraju se uslovi za usavršavanje novih konstrukcionih rješenja, modifikaciju i poboljšanje postojećih i smanjenje troškova životnog ciklusa.

### Literatura:

- [1] J. Bara, J. Baranov i dr.: »Tehničkaskaja eksploatacija avtomobilej«, Moskva, 1983.
- [2] Chul Kim: »Analysis for Mission reliability of combat tank«, IEE Transportation reliability, Vol. 38 №2 1989.
- [3] M. Vrhovski: »Kvantitativna analiza parametara efektivnosti vozila u eksploataciji«, VTG br. 4, 1989.

- [4] M. Vrhovski: »Istraživanje utjecaja sistema održavanja na efektivnost motornih vozila primjenom metoda simulacije«, doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1988.