

ODREĐIVANJE FUNKCIJE POUZDANOSTI MOTORNIH VOZILA KAO SLOŽENOG TEHNIČKOG SISTEMA

Potpukovnik sc Rade Guberinić, dipl. inž.,
major Ivan Milojević, dipl. inž.,
64. logistički bataljon

Rezime:

Kod motornih vozila se, kao posebno značajne promene stanja, posmatraju promene performansi vozila zavisno od njegove starosti, odnosno puta koje je prešlo. Pri razmatranju radnih opterećenja motornih vozila i njihovih sastavnih elemenata, obično se smatra da stvarna radna opterećenja mogu biti mehanička, toplotna i strukturna, što usmerava pažnju na uzroke promena stanja.

Polazni kriterijum za ocenu eksploatacionih pokazatelja pouzdanosti i gotovosti motornih vozila predstavlja frekvencija pojava stanja „u otkazu“. Svi ostali kriterijumi nastaju matematičkom transformacijom ovog kriterijuma.

Korišćenjem dobijenih podataka, primenom programskog paketa PROEFI, određeni su parametri za tri posmatrane raspodele: normalnu, eksponencijalnu i Vejbulovu. Nakon određivanja parametara pojedinih raspodela izvršen je izbor optimalne raspodele primenom testa Kolmogorov-Smirnova za stepen značajnosti od 0,20.

Ključne reči: motorno vozilo, funkcija pouzdanosti, održavanje motornog vozila, parametri normalne, eksponencijalne i Vejbulove raspodele.

DETERMINATION OF THE RELIABILITY FUNCTION OF MOTOR VEHICLES AS COMPLEX SYSTEMS

Summary:

Changes in vehicle performances represent important changes of the overall condition of a vehicle and are analysed regarding its life, ie. its mileage. Since real operational loads are generally considered to be mechanical, temperature-based and structural, the analysis of operational loads of motor vehicles and their elements focuses on the causes of condition changes.

The initial criterion for estimating the exploitation reliability and readiness factors of motor vehicles is the frequency of "in failure" condition occurrence. All other criteria result from the mathematical transformation of this criterion.

The obtained data and the PROEFI software package have been used for determining the parameters of three observed distributions: normal, exponential and Veibull. An optimal distribution has been chosen using the Kolmogorov-Smirnov test for a significance level of 0.20.

Key words: motor vehicle, reliability function, motor vehicle maintenance, parameters of normal, exponential and Veibull distribution.

Uvod

Specifičnost motornih vozila, kao složenih sistema, ogleda se u njihovoj strukturi sačinjenoj od niza različitih elemenata koji se međusobno nalaze u kompleksnim interakcijama i koji svoju funkciju, po pravilu, ne izvršavaju pojedinačno već u sklopu različitih funkcionalnih celina.

Motorno vozilo je tipičan primer složenog sistema koji je stvoren radi izvršavanja određene funkcije cilja. Svi elementi motornog vozila, kao i sve njihove veze i ustanovljene funkcionalne celine, imaju zadatak da izvrše zadatu misiju, odnosno funkciju kriterijuma koja mora da se nalazi unutar zadatih granica dozvoljenih odstupanja [3].

Sposobnost sistema da izvršava funkciju kriterijuma u okviru granica dozvoljenih odstupanja karakteriše se njegovim stanjem „u radu“. Stanje „u otkazu“ označava stanje nesposobnosti sistema da na pomenuti način izvršava zadatu funkciju. Kao prilog tome, održavanje ima zadatak da spreči, odnosno odloži nastanak stanja u otkazu. Ako je, međutim, ovo stanje već nastupilo, onda održavanje mora da obezbedi vraćanje sistema iz stanja „u otkazu“ u stanje „u radu“.

Na motornom vozilu se u toku korišćenja javljaju neispravnosti (otkazi), tj. stanja kada vozilo nije sposobno da izvršava zadatu funkciju unutar granica dozvoljenih odstupanja. Na vozilu otkazuju elementi ili njihove veze, što dovodi do otkaza viših funkcionalnih celina, pa konačno i do otkaza sistema, tj. celog vozila. U tome treba tražiti uzrok činjenice da se kod motornih vozila veoma retko događaju tzv. „potpuni“ otkazi sistema. Međutim, „delimični“ otkazi se javljaju veoma često, kao posledica potpunih ili delimičnih otkaza sastavnih elemenata.

Zbog svega toga, kod motornih vozila se, kao posebno značajne promene stanja, posmatraju promene performansi vozila zavisno od njegove starosti, odnosno puta koje je ono prešlo. Iz prakse je poznato da starija vozila nisu u stanju da obezbede iste performanse kao i nova vozila. Uostalom, danas je normalno da se na novoizgrađena vozila odnose oštriji (tzv. homologacijski) propisi, dok se na vozila iz eksploatacije (ili starija vozila) primenjuju blaži (tzv. saobraćajni) propisi [3].

Svi radni i prateći procesi koji se odvijaju u toku rada jednog motornog vozila dovode do toga da se, zavisno od njegove starosti, odnosno veličine pređenog puta, povećava verovatnoća pojave otkaza vozila ili njegovih pojedinih elemenata.

Pored toga što dolazi do opadanja vučno-dinamičkih karakteristika, posebno se pogoršavaju druge karakteristike vozila, a naročito one koje imaju uticaja na njegovu bezbednost. Negativne posledice ovog procesa mogu i moraju da se smanjuju, pa održavanje vozila i njegovih sastavnih elemenata ima veoma važnu ulogu.

Bez obzira na karakter, svi otkazi mogu da se objasne kao rezultat promena stanja sistema. U inženjerskoj praksi i raspoloživoj literaturi promene stanja motornog vozila pripisuju se veoma raznorodnim faktorima.

Uzroci otkaza tehničkih sistema mogu biti:

– ugrađene mane, tj. rezultat sopstvene slabosti sistema, koja može da bude prouzrokovana:

- greškama pri izradi sastavnih elemenata, ili
- greškama pri konstruisanju;
- pogrešna upotreba, na primer, u smislu da rukovalac dovodi sistem u uslove rada koji su oštriji od onih za koje je sistem projektovan;
- habanje, zamor ili starenje;
- primarni otkaz (tj. oni otkazi koji prvi nastaju) ili
- sekundarni otkazi, tj. oni otkazi koji nastaju kao posledica nekih drugih prethodno nastalih ili primarnih otkaza, i
- slučajni otkazi.

Moguće je, naravno, da se promene stanja sistema posmatraju kao normalna posledica njegovog rada i uticaja koji na njega imaju radni uslovi, tj. opterećenja sistema.

Pri razmatranju radnih opterećenja motornih vozila i njihovih sastavnih elemenata, obično se smatra da stvarna radna opterećenja mogu biti mehanička, toplotna i strukturna, što u velikom stepenu usmerava našu pažnju na uzroke promena stanja.

Kod svih složenih sistema, pa i kod motornih vozila, manifestuje se dejstvo tri grupe uticaja na stanja sistema, odnosno njegove otkaze[9]:

- sistematski uticaji, koji obično dovode do otkaza u periodu „dečjih bolesti“ sistema, odnosno u početku njegovog rada i u periodu uhodavanja sistema kada se, kod mnogih njegovih elemenata, javlja intenzivno trošenje;
- slučajni uticaji, koji su posledica dejstva veličina čija je pojava u toku normalnog rada sistema stohastičkog karaktera, i
- monotono-dejstvujući uticaji, čiji intenzitet raste sa dužinom rada sistema, kao što su habanje, nepodešenost, zamor materijala, starenje, korozija i slično.

Sa stanovišta analize stanja sistema značajno je da se ima u vidu da otkazi, po vrsti, mogu da budu *iznenadni*, odnosno *postepeni*, kao i *nezavisni*, odnosno *zavisni* [3]. Motorna vozila su složeni sistemi u kojima se odvijaju veoma različiti radni procesi, koji su u vezi sa pojavom različitih vidova energije (mehanička, toplotna, hemijska i dr.). Ovi procesi su uzrok trenutnih mehaničkih, toplotnih i strukturnih stanja sistema.

Najveći broj otkaza motornih vozila se pripisuje dejstvu mehanizma habanja, naročito kod pogonskog agregata-motora, glavnih komponenata sistema za prenos snage (mehanički, pogonski most, dopunski prenosnici) i frikcionih mehanizama.

U praksi je veoma teško sistematizovati sve moguće događaje u životnom veku vozila, izazvane habanjem ili korozijom, odnosno drugim mogućim uzrocima promena stanja.

Eksploataciono-tehničke karakteristike motornog vozila „TAM 110 T7 BV-4X4“

Vozilo TAM 110 strukturno obuhvata komponente prikazane u tabeli 1 [9]. Namenjeno je za prevoz ljudi i materijala. Vozilo se može kretati po putevima (korisna nosivost 2500 kg) i bespuću (korisna nosivost 1500 kg). U tu svrhu opremljeno je posebnim terenskim gumama u kojima se pritisak vazduha za vreme vožnje može menjati u rasponu od 0,7 do 3,5 bara.

Vozilo se može kretati u temperaturnom dijapazonu od -30°C do $+40^{\circ}\text{C}$. Dozvoljena dubina gaza vozila pri vožnji po vodi iznosi 1 m dubine. Najveća brzina vozila TAM 110 u vožnji putem iznosi 90 km/h, na terenu 48 km/h. Vozilo može da vuče prikolicu bruto težine 1800 kg.

Kod uključenog prvog stepena prenosa u menjaču i terenskog prenosa u razvodniku pogona vozilo pod punim opterećenjem (1500 kg) savlađuje uspon od 62%, a sa prikolicom uspon od oko 44% (tvrda podloga).

Vozilo pokreće 4-cilindrični, 4-taktni vazdušno hlađeni dizel motor F4L413 FR sa direktnim ubrizgavanjem goriva. Snaga motora iznosi 81 kW (110 KS) kod $2650 [\text{min}]^{-1}$ i prenosi se preko suve jednodemelaste spojnice, potpuno sinhronizovanog menjača sa pet stepeni prenosa, dvostepenog razvodnika pogona, kardanskih vratila i diferencijala sa prinudnim blokiranjem u prednjem i zadnjem pogonskom mostu na zadnje točkove, odnosno po želji na sva četiri točka. Menjač je po želji snabdeven dodatnim izvodom pogona, koji se može upotrebiti za razne pomoćne agregate.

Okvir vozila sastoji se od dva ravna uzdužna nosača profila U, koji su zakivcima i vijcima vezani za poprečne nosače.

Prednji i zadnji pogonski most obešeni su preko linearnih lisnatih gibnjeva i gumenih jastuka na šasiju vozila. Prednja i zadnja osovina opremljene su amortizerima, a elastičnost gibnjeva i okvira doprinosi u velikoj meri dobrom prilagođavanju vozila na svakom terenu.

Radni kočni sistem (nožna kočnica) radi na hidropneumatskom servo principu i ima radi sigurnosti dva radna kruga od kojih prvi deluje na prednje, a drugi na zadnje točkove. Ako otkáže pneumatski deo kočnog sistema može se kočiti i samo hidrauličnim delom.

Pomoćna ili parkirna (ručna) kočnica deluje na mehaničko-pneumatskom principu, te omogućava stajanje vozila na usponu od 60%. Vozilo je opremljeno i motornom kočnicom.

Hidraulični servo upravljač omogućava da vozač potpuno vlada vozilom i na teškom terenu. Fizički napor potreban za upravljanje vozilom je mali i dovoljan je za sigurnu vožnju. U slučaju da otkáže hidraulični deo upravljačkog sistema vozilom se može upravljati i mehaničkim delom, ali je potrebna mnogo veća snaga.

Na zadnjem delu vozila montirano je vitlo, koje služi za samoizvlačenje vozila, a njegova vučna sila iznosi min. 2500 kg.

Kabina je otvorenog tipa sa složljivim arnjevima i platnenim krovom. Bočni prozori mogu se skinuti, a vetrobransko staklo obarati unapred. Radi boljeg pristupa motoru kabinu možemo prevrnuti napred. Za grejanje kabine služi Jugo-Webasto grejač.

Tabela 1

Komponente m/v TAM -110 T7 BV 4x4

POZICIJA	N A Z I V
1	MOTOR
2	POGONSKI MOST
3	SPOJNICA
4	MENJAČ
5	RAZVODNIK POGONA
6	POGONSKI MOST
7	OKVIR VOZILA
8	VITLO
9	REZ. ZA VAZDUH
10	REZ. ZA GORIVO
11	SERVO UPRAVLJAČ

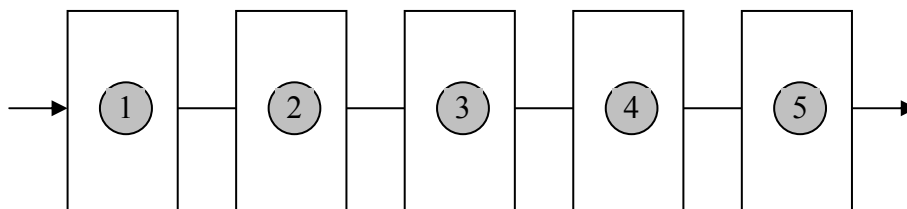
Tovarni sanduk je čelične konstrukcije sa dnom udubljenim po čita-voj dužini. Sa strane se nalaze klupe za prevoz ljudi. Bočne stranice su krute, a zadnja stranica ima sa spoljne strane dve lestve, pa se obara unazad. Sanduk je snabdeven arnjevima i ceradom.

Vozilo je snabdeveno rezervnim točkom, rezervnim kantama za gorivo, alatom za održavanje, pionirskim alatom i opremom za vitlo. Pored toga, vozilo ima radio-zaštitu.

Na osnovu izloženog vozilo TAM 110 može se svrstati u grupu savremenijih motornih vozila točkaša. To, pre svega, znači da vozilo kao transportno-vučno sredstvo raspolaže veoma dobrim eksploatacionim karakteristikama. Međutim, s druge strane, predmetno vozilo predstavlja veoma složenu strukturu, što može da rezultira povećanom učestalošću otkaza.

Struktura motornog vozila

Struktura motornog vozila TAM 110 predstavlja složeni tehnički sistem i definisana je na slici 1:



Slika 1 – Struktura motornog vozila

Kao što se sa sl. 1 vidi, motorno vozilo prikazano je blok-šemom sa rednom vezom. Pri tome, svaki od elemenata (blokova) predstavlja tačno određene sklopove vozila, i to:

- transmisiju
- električne uređaje i instalacije
- motor
- uređaj za kočenje
- ostalo (kabina, karoserija, uređaj za upravljanje, ram, elemente ovešenja, uređaj za centralnu regulaciju pritiska, točkove i pneumatike).

Relativno uprošćena blok-šema konstruisana je u skladu sa frekvencijom otkaza na sklopovima vozila i potrebama ove analize.

Istraživanje otkaza motornog vozila u „ranom“ periodu korišćenja

Koliko je poznato, na osnovu raspoložive literature, nisu vršena kompleksna ocenska istraživanja motornog vozila TAM 110, zasnovana na teoriji pouzdanosti.

U radu [9] sprovedena su istraživanja otkaza u ranom periodu korišćenja vozila TAM 110 (u garantnom roku), određena je pouzdanost pod sistema i vozila u celini. Period korišćenja u garantnom roku je po mnogo čemu specifičan u odnosu na ostale periode korišćenja vozila. U slučaju nepridržavanja korisnika propisanih normativa iz ugovora o garantnom roku vozilo se isključuje iz garancije. Svaki takav slučaj donosi ekonomske posledice korisniku i u pravilu iz straha od tih posledica korisnik se strogo pridržava propisanih normativa. U slučaju otkaza motornog vozila, korisnik nema pravo preduzeti mere opravki već je obavezan podneti reklamaciju, a otklanjanje neispravnosti vrše ovlašteni servisi (stručnjaci) proizvođača.

Zbog suprotnosti interesa, korisnik – proizvođač, podaci o otkazima u reklamacionim listama predstavljaju meritoran materijal.

Sprovedena istraživanja u radu [9] predstavljaju originalna rešenja u oblasti istraživanja pouzdanosti motornih vozila, koja se odnose na period „ranih otkaza“, sa sledećim karakteristikama [9]:

- reklamaciona lista, kao dokument, predstavlja nosioca tačnih podataka i najobjektivnije odslikava stanje motornog vozila u garantnom roku (u smislu otkaza);
- analiza takvih podataka daje objektivnu sliku o otkazima u garantnom roku (iako ne i detaljnu);
- sređivanjem podataka uz korišćenje statističkih metoda moguće je dobiti dovoljno objektivne pokazatelje o pouzdanosti pojedinih (kritičnih) sklopova, pa i motornog vozila u garantnom roku;
- prikupljanje podataka, na ovaj način, iziskuje relativno male troškove.

U procesu praćenja motornih vozila u eksploataciji prikupljane su reklamacione liste za period od 5000 pređenih kilometara. Pri tome nije uzimano u obzir

kalendarsko vreme, jer su prikupljene reklamacijske liste u okviru kalendarskog vremena važnosti garancije. Svakako, kod preciznijih istraživanja otkaza i pouzdanosti morao bi biti uzet u obzir faktor prirodnog starenja materijala.

Prikupljeni listovi garancije odnose se na 826 vozila posmatranih u periodu do 5000 kilometara, što predstavlja dovoljno veliki uzorak, koji obezbeđuje dobru statističku sigurnost za rešavanje problema istraživanja pouzdanosti.

Istraživanje otkaza motornog vozila u periodu „normalnog“ korišćenja i u periodu „poznih“ otkaza

Polazni kriterijum za ocenu eksploatacionih pokazatelja pouzdanosti i gotovosti motornih vozila predstavlja frekvencija pojava stanja „u otkazu“. Svi ostali kriterijumi nastaju matematičkom transformacijom ovog kriterijuma.

Eksperimentalni okvir istraživačkog postupka u ovom radu predstavlja istraživanje otkaza motornog vozila TAM 110 u periodu „normalnog“ korišćenja (II period u dijagramu intenziteta otkaza), i periodu „poznih“ otkaza (III period dijagrama).

Posmatra se uzorak od 45 motornih vozila TAM 110. Evidentirane su i sistematizovane frekvencije pojava stanja „u otkazu“ pojedinih pod sistema vozila, u funkciji od broja pređenih kilometara. Obuhvaćen je ograničeni period korišćenja svakog motornog vozila – do sistemskog remonta (revizije), koji se kreće 5 do 70×10^3 km.

Na osnovu radnih naloga o izvršenoj reviziji motornih vozila sistematizovani su otkazi pojedinih pod sistema (komponenti) vozila i za celo vozilo, radi određivanja njihovih karakteristika pouzdanosti.

Frekvencija otkaza vozila TAM-110, po pod sistemima, prikazana je u tabeli 2, a frekvencija otkaza po vremenskim intervalima do sistemskog remonta u tabeli 3. Otkazi transmisije, kao najkritičnijeg pod sistema sa najvećim brojem otkaza, prikazani su u tabeli 4.

Tabela 2

Frekvencija otkaza po pod sistemima vozila TAM-110 T7

FREKVENCIJA OTKAZA TAM - 110 T7 po pod sistemima vozila					
PODSISTEM	Broj elemenata	Broj otkaza	Otkaza po elementu	%	RANG kritičnosti
Transmisija	6	153	26	23	1
El. uređaj	4	43	10	6	5
Motor	8	149	19	21	4
Uređ. za kočenje	5	123	24	18	2
Ostali elementi	10	219	20	32	3
SVEGA OTKAZA	33	687	22	100	

Tabela 3

Frekvencija otkaza sistematizovana po vremenskim intervalima

Interval	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	40-45	50-55	65-70	70-75		x1000 km
T	35	64	7	19	2	7	6	8	4	4	156	
EU	10	23		4	1	2	1		2	1	45	
M	39	55	8	9	5	8	3	9	5	5	146	
UK	32	44	6	15	2	6	4	6	3	3	121	
O	53	78	11	29	5	12	8	13	3	7	219	
M/V	169	264	32	76	15	35	22	36	17	20	687	

Tabela 4

Otkazi transmisije motornog vozila TAM-110 T7

PODSISTEM		Broj otkaza		%	
SPOJNICA	disk	17	56	11	37
	potpisna ploča	20		13	
	mehanizam spojnice	19		12	
Menjač		33		22	
Reduktor		34		22	
Diferencijal		8		5	
Ostalo		22		14	
SVEGA		153		100	

Određivanje karakteristika pouzdanosti motornog vozila u periodu „normalne upotrebe“ vozila

Za određivanje karakteristika pouzdanosti u periodu „normalne“ upotrebe motornog vozila korišćen je programski paket „PROEFI“. Praktična primena predmetnog programskog paketa obuhvata:

- a) statističku obradu podataka (određivanje histograma, stepenastih dijagrama i poligona) iz formirane vremenske slike stanja rada i održavanja sklopova posmatranog motornog vozila;
- b) normalnu, eksponencijalnu i Vejbulovu raspodelu i „najbolju“ raspodelu primenom testa Kolmogorov-Smirnova za stepen značajnosti od 0,20;
- c) definiciju analitičkih oblika funkcije pouzdanosti i
- d) analitički oblik funkcije efektivnosti.

Obrada podataka izvršena je za sledeće sklopove motornog vozila: motor, električne uređaje, transmisiju, kočni sistem i „ostali“ sklopovi, a prikazana je za motor i kompletno vozilo (zbirno) u obliku histograma, stepenastih dijagrama i poligona, posebno za vreme rada, i posebno za vreme otkaza. Neophodno je naglasiti da su vremena rada i otkaza posmatranih i sklopova i motornog vozila izražena u kilometrima.

Za određivanje karakteristika pouzdanosti u periodu „normalne“ upotrebe motornog vozila korišćen je programski paket „PROEFI“. Praktična primena predmetnog programskog paketa obuhvata:

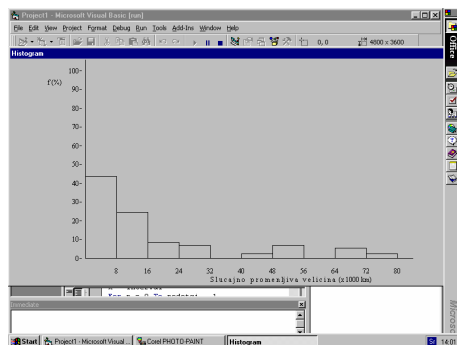
a) statističku obradu podataka (određivanje histograma, stepenastih dijagrama i poligona) iz formirane vremenske slike stanja rada i održavanja sklopova posmatranog motornog vozila;

b) normalnu, eksponencijalnu i Vejbulovu raspodelu i „najbolju“ raspodelu primenom testa Kolmogorov-Smirnova za stepen značajnosti od 0,20;

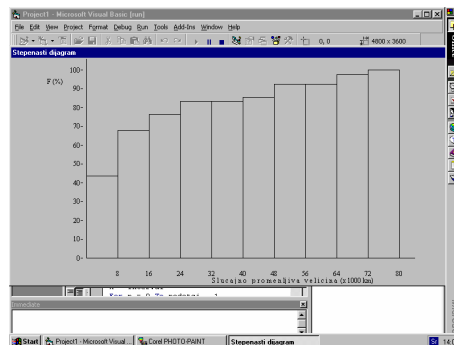
c) definiciju analitičkih oblika funkcije pouzdanosti i

d) analitički oblik funkcije efektivnosti.

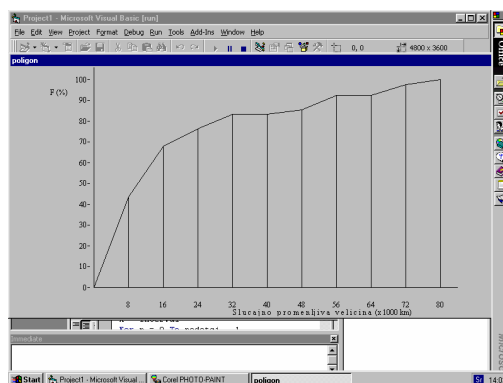
Obrada podataka izvršena je za sledeće sklopove motornog vozila: motor, električne uređaje, transmisiju, kočni sistem i „ostali“ sklopovi, a prikazana je za motor i kompletno vozilo (zbirno) u obliku histograma, stepenastih dijagrama i poligona, posebno za vreme rada, i posebno za vreme otkaza. Neophodno je naglasiti da su vremena rada i otkaza posmatranih i sklopova i motornog vozila izražena u kilometrima.



a) Histogram vremena rada motora

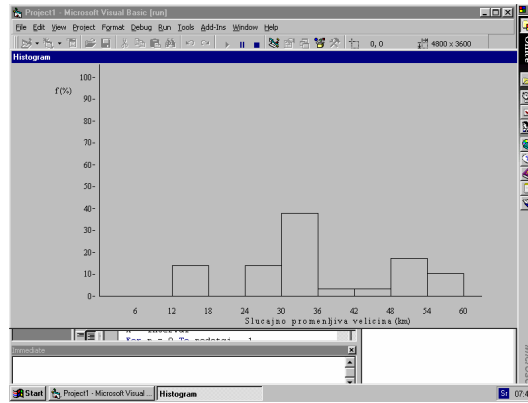


b) Stepenasti dijagram vremena rada motora

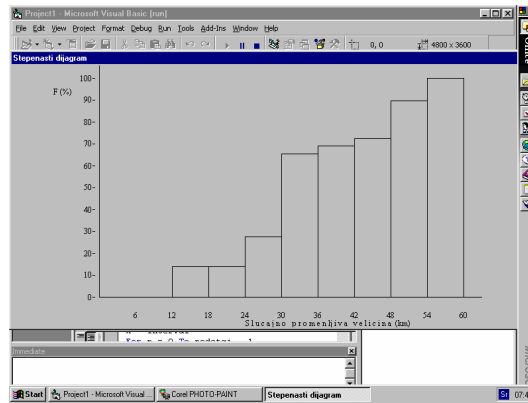


c) Poligon vremena rada motora

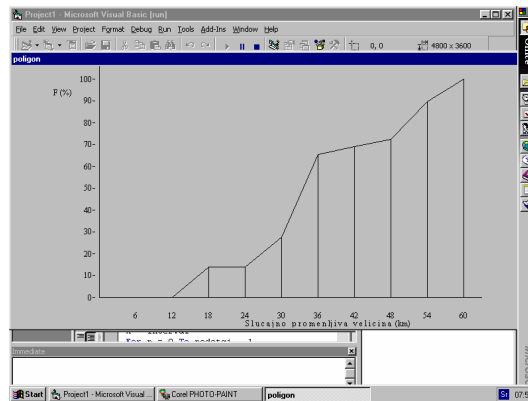
Slika 2 – Vremenske slike stanja rada motora



a) Histogram vremena otkaza motora

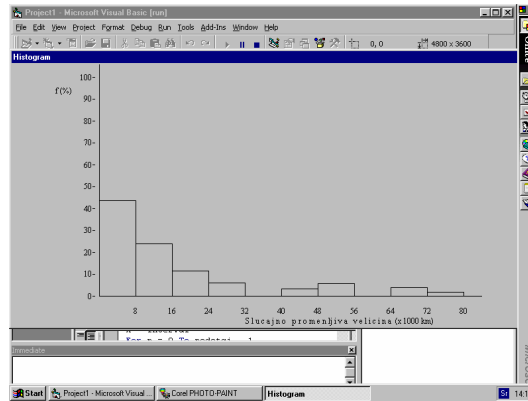


b) Stepenasti dijagram vremena otkaza motora

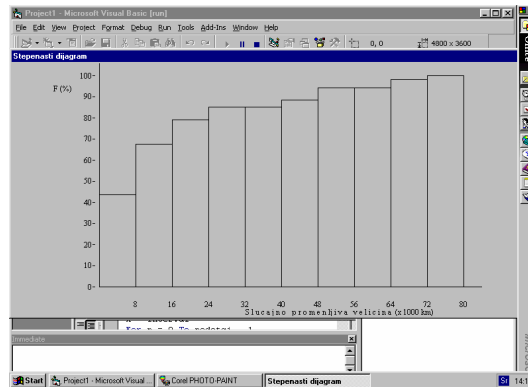


c) Poligon vremena otkaza motora

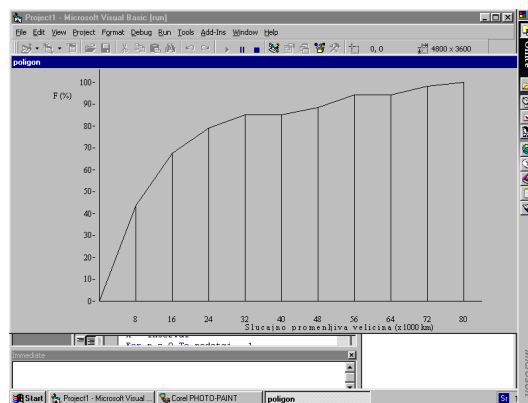
Slika 3 – Vremenske slike stanja otkaza motora



a) Histogram vremena rada tehničkog sistema

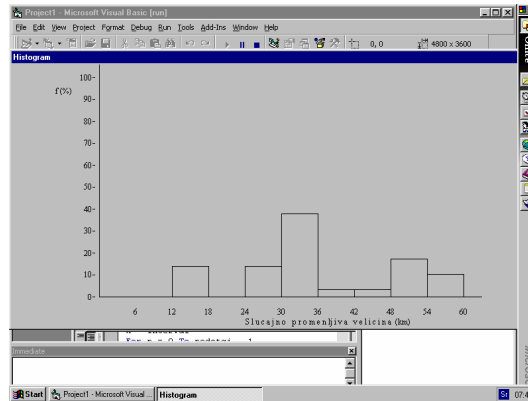


b) Stepenasti dijagram vremena rada tehničkog sistema

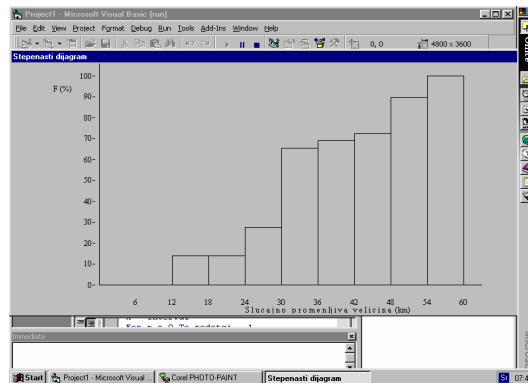


c) Poligon vremena rada tehničkog sistema

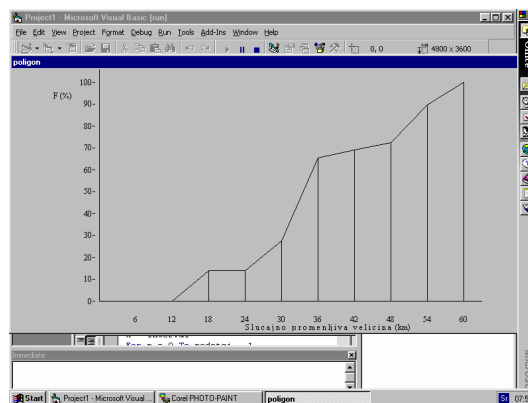
Slika 4 – Vremenske slike stanja rada celog tehničkog sistema



a) Histogram vremena otkaza tehničkog sistema



b) Stepenasti dijagram vremena otkaza tehničkog sistema

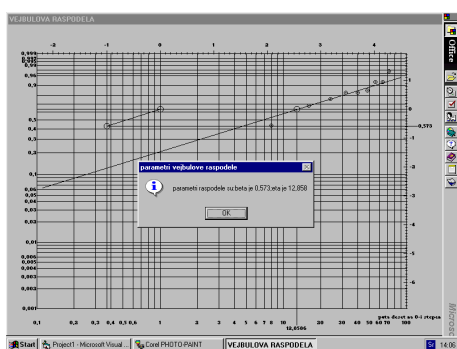


c) Poligon vremena otkaza tehničkog sistema

Slika 5 – Vremenske slike stanja otkaza celog tehničkog sistema

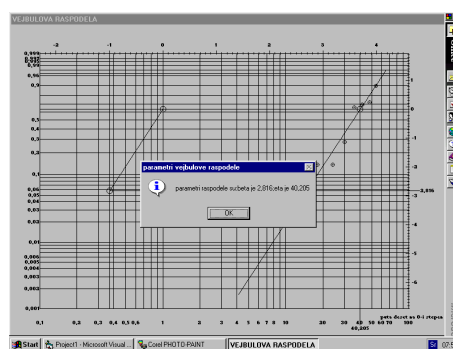
Izbor raspodele slučajno promenljive

Korišćenjem podataka dobijenih u prethodnom poglavlju, primenom programskog paketa „PROEFI“, određeni su parametri za tri posmatrane raspodele: normalnu, eksponencijalnu i Vejbulovu. Nakon određivanja parametara pojedinih raspodela izvršen je izbor „najbolje“ raspodele primenom testa Kolmogorov-Smirnova za stepen značajnosti od 0,20. Zbog obimnosti rezultata simulacije prikazana je samo „najbolja“ Vejbulova raspodela.



a) Vejbulova raspodela na osnovu vremena rada motora:

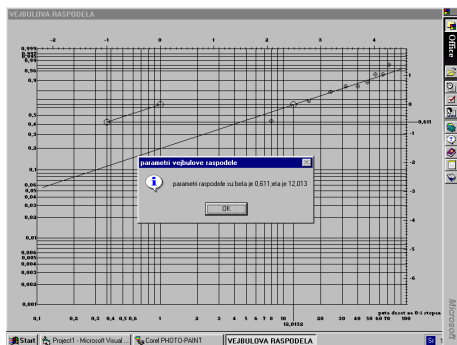
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t_r}{12,858}\right)^{0,573}}$$



b) Vejbulova raspodela na osnovu vremena otkaza motora:

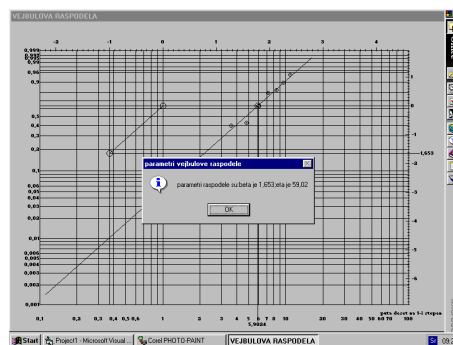
$$R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t_r}{40,205}\right)^{2,816}}$$

Slika 6 – Vejbulova raspodela na osnovu vremena rada i otkaza motora



a) Vejbulova raspodela na osnovu vremena rada tehničkog sistema:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t_r}{12,013}\right)^{0,611}}$$



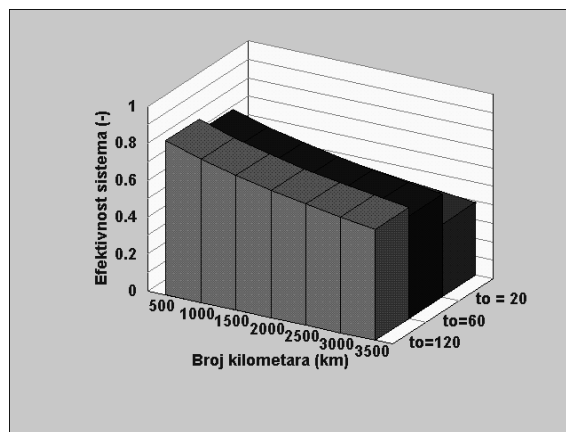
b) Vejbulova raspodela na osnovu vremena otkaza tehničkog sistema:

$$R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t_r}{59,02}\right)^{1,653}}$$

Slika 7 – Vejbulova raspodela na osnovu vremena rada i otkaza tehničkog sistema

Funkcija pouzdanosti motornog vozila TAM – 110 7T

Na osnovu rezultata prikazanih u prethodnim tačkama rada određena je funkcija pouzdanosti. Dobijeni rezultati prikazani su dijagramom na slici 7.



Slika 8 – Funkcija pouzdanosti motornog vozila TAM -110 7T

Zaključak

Na osnovu sprovedenog istraživanja funkcije pouzdanosti motornih vozila i realizovanog eksperimenta metodom simulacije posredstvom elektronskog računara, može se zaključiti:

- koristeći postavke matematičkog modela funkcije efektivnosti definisane su osnovne komponente funkcije efektivnosti – pouzdanost, gotovost i funkcionalna podobnost;
- obrada i analiza pokazatelja pouzdanosti sastavnih elemenata i motornog vozila u celini obuhvatila je: statističku obradu podataka, izbor optimalne raspodele i grafičku interpretaciju zavisnosti funkcije pouzdanosti od vrednosti slučajno promenljive veličine;
- svaki sastavni element složenog tehničkog sistema ima karakter individualne zakonitosti promene parametara stanja, pa su karakteristike pouzdanosti definisane parcijalno za pojedinačne elemente, odnosno podsisteme, i sistem u celini;
- za određivanje eksploatacionih karakteristika pouzdanosti i gotovosti rađen je odgovarajući algoritam na osnovu zakona raspodele slučajno promenljive, i algoritam za izračunavanje karakteristika pouzdanosti tehničkog sistema;
- za uzorak od 45 neborbenih motornih vozila TAM 110 sistematizovani su otkazi pojedinih sastavnih elemenata, i za vozilo u celini. Na osno-

vu prikupljenih podataka o otkazima iznađeni su analitički oblici pojedinih karakteristika efektivnosti. U okviru toga analizirana je i praktično definisana svaka od pojedinačnih karakteristika efektivnosti sistema, koje su predstavljale ulazne parametre za definisanje efektivnosti celog sistema;

– konstatovano je da se u početnom periodu korišćenja motornih vozila javlja veći broj otkaza kao posledica početnih slabosti ili propuštenih defekata u toku proizvodnje. Kasnije u periodu „normalne“ upotrebe nastaju otkazi kao posledica naprezanja koja prevazilaze ugrađenu otpornost sistema. To su tzv. „slučajni“ otkazi čiji se momenti nastajanja ne mogu predvideti, ali je utvrđeno da je njihova frekvencija javljanja konstantna. Starenjem tehničkog sistema javljaju se „pozni“ otkazi kao posledica istrošenja i drugih uticaja. U smislu pouzdanosti veoma je značajna činjenica da motornim vozilima često upravljaju nedovoljno stručna lica, što negativno utiče na njihovo rukovanje i održavanje. To ima za posledicu širok spektar mogućih opterećenja, a time i pojavu stanja u otkazu. Takođe, došlo se do zaključka da stepen eksploatacije neborbenih motornih vozila, u vojnom sistemu korišćenja, ima relativno nizak nivo vrednosti;

– funkcija efektivnosti motornih vozila je egzaktno definisana korišćenjem metode simulacije posredstvom univerzalnog programskog paketa „PROEFI“. U okviru praktične primene programskog paketa izvršena je statistička obrada podataka na osnovu vremenskih slika stanja sastavljenih elemenata motornih vozila i određene su raspodele slučajno promenljive, radi njihove dalje analize. U svim periodima eksploatacije raspodela otkaza sastavnih elemenata, i vozila u celini, pokorava se Vejbulovom zakonu raspodele;

– potvrđeno je stanje iz prakse da su otkazima najčešće podložni elementi transmisije vozila, i da je spojnica jedan od najkritičnijih elemenata u pogledu pouzdanosti i potrebe preventivnog održavanja. Pouzdanost motornog vozila kao celine kreće se u prihvatljivim granicama;

– dobijeni rezultati istraživanja imaju poseban značaj i za proizvođača i za korisnika motornih vozila, naročito sa aspekta usavršavanja proizvodnje i definisanja sistema održavanja. Raspoložive informacije, takođe, mogu poslužiti korisniku za doradu ili izmenu odgovarajućih normativnih akata kojima se reguliše režim eksploatacije, čuvanja i održavanja motornih vozila;

– kao osnovne smernice i preporuke za dalja istraživanja neophodno je razmotriti mogućnost organizacije sistemskog praćenja elemenata u eksploataciji, a zatim, na osnovu kvalitetnog informacionog sistema, organizovati eksperiment i pristupiti sprovođenju ubrzanih programskih ispitivanja u laboratorijskim uslovima.

Literatura

[1] Arsenić, Ž., Vasić, B., *Efikasnost tehničkih sistema – rešavanje karakterističnih problema primenom računara*, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.

[2] Barlow, R., Proschan, F., *Mathematical theory of reliability*, New York, 1965.

[3] Duboka, Č., *Tehnologije održavanja vozila I*, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.