

# ODREĐIVANJE POUZDANOSTI GLAVNOG CILINDRA SISTEMA ZA KOČENJE MOTORNH VOZILA

## DETERMINATION OF RELIABILITY OF MOTOR VEHICLE'S MAIN BRAKE CYLINDER

dr Dobrivoje Čatić<sup>1)</sup>, dr Božidar Krstić<sup>2)</sup>

**Rezime:** U radu su dati rezultati ispitivanja za ocenu pouzdanosti glavnog cilindra sistema za kočenje motornog vozila. Ocena pouzdanosti glavnog cilindra izvršena je na osnovu rezultata skraćenih ispitivanja u eksploatacionim uslovima. Obrada rezultata ispitivanja izvršena je primenom računara i odgovarajućeg programa. U radu je pokazano da testiranje neparametarskih hipoteza daje kvantitativne pokazatelje čijim se upoređivanjem može doći do raspodele koja najbolje odslikava ponašanje slučajne promenljive. Na kraju rada ukazano je na opštost i značaj primenjenog postupka za određivanje optimalnog modela raspodele.

**Ključne reči:** pouzdanost, planiranje skraćenih ispitivanja, glavni cilindar, model raspodele.

**Abstract:** The results of the testing in order to estimate reliability of the brake system's main cylinder of motor vehicles are presented in the paper. Main brake cylinder's reliability estimate is based on the results of reduced research in exploitation conditions. Test results processing is done using the computer and corresponding software. In the paper is demonstrated that the testing of the nonpara-metric hypothesis gives the quantitative parameters as well, which comparison may obtain the best distribution that best describes behavior of the random variable. Finally, generality and importance of the applied procedure for determination of the optimal distribution model were pointed out.

**Key words:** reliability, planning of truncated tests, main brake cylinder, distribution model

### 1. UVOD

Sistemi za kočenje su tipičan primer složenih sistema kod motornih vozila, čija je struktura uslovljena složenom funkcijom cilja, određenom važećim međunarodnim i nacionalnim propisima o bezbednosti vozila u saobraćaju [1]. Na važnost sistema za kočenje ukazuje podatak da je ovaj sistem u najvećem broju slučajeva uzročnik saobraćajnih nesreća. Analizom načina, posledica i kritičnosti otkaza elemenata sistema za kočenje lakih privrednih vozila utvrđeno je da je sa aspekta pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja glavni cilindar jedna od najkritičnijih komponenti [2]. Prema kritičnosti, glavni cilindar se nalazi na drugom mestu iza obloga papuča kočnica.

Primena postupaka ubrzanih ispitivanja za ocenu pouzdanosti ima veliki značaj sa aspekta smanjenja troškova ispitivanja i skraćivanja vremena potrebnog za dobijanje tražene informacije o pouzdanosti. Za razliku od drugih postupaka ubrzanih ispitivanja, kod kojih se ubrzavanje postiže na račun forsiranja režima rada ili intenziviranja uticaja spoljašnje sredine, kod

planova skraćenih ispitivanja brže dolaženje do podataka postiže se na račun optimalnog planiranja ispitivanja u statističkom smislu [3].

Određivanja zakona raspodele slučajne promenljive vremena rada do otkaza predstavlja krajnji cilj obrade rezultata ispitivanja za ocenu pouzdanosti razmatranog objekta. To je ujedno i najviši nivo izlaznih informacija dobijenih na osnovu statističkog skupa podataka. Ovaj postupak ima veliki značaj na zaključke i odluke vezane za praktičnu primenu dobijenih rezultata.

### 2. GLAVNI CILINDAR, FUNKCIONISANJE I NAČINI OTKAZA

Glavni cilindar je jedna od osnovnih komponenti hidrauličnog prenosnog mehanizma radne kočnice sistema za kočenje motornih vozila.

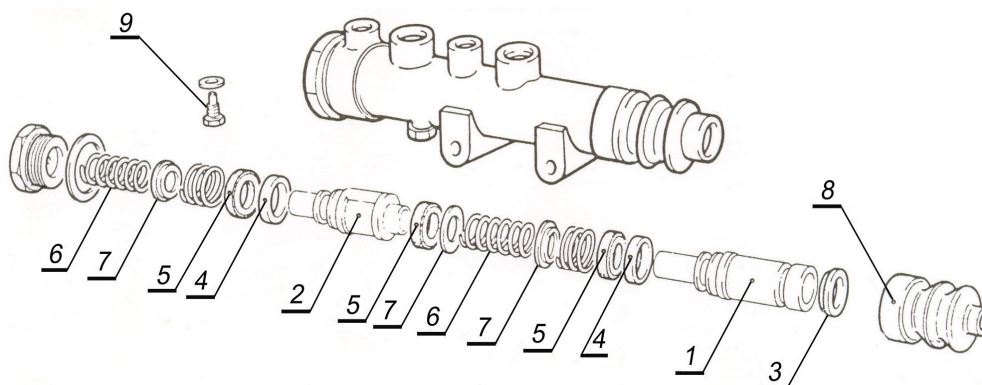
Danas su u upotrebi različita rešenja glavnog cilindra. Dvograna hidraulična instalacija diktira i konstrukcijsko rešenje glavnog kočnog cilindra. Šema tipičnog rešenja glavnog kočnog cilindra za dvograne instalacije prikazana je na slici 1 [4]. To je tzv. "tandem" - glavni cilindar, kod koga u

1) dr Dobrivoje Čatić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: caticd@kg.ac.yu

2) dr Božidar Krstić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: bkrstic@kg.ac.yu

cilindru pored klipa (1) postoji i međuklip (2), koji radni prostor cilindra deli na dva dela za nezavisno

napajanje kočnih cilindara prednjih i zadnjih točkova motornog vozila.



Slika 1. Glavni kočni cilindar za dvostrane hidraulične instalacije

Glavni kočni cilindar funkcioniše u principu na sledeći način. Sila, kojom se deluje na pedalu kočnice, prenosi se preko polužnog mehanizma neposredno na klip (1) glavnog kočnog cilindra. Klip (1) na svom zadnjem delu ima prstenastu zaptivku (3), koja sprečava isticanje fluida u spoljnu sredinu u fazi kočenja. Unutrašnje zaptivanje radnih prostora vrši se pomoću prstenastih zaptivki (4) i (5). Pomeranjem klipova, uz sabijanje povratnih opruga (6), povećava se pritisak, čime se otvaraju dvosmerni ventili i pritisak se cevima prenosi do servo-uređaja i vrši se njihovo aktiviranje. Pojačani pritisak u servo-uređaju, sistemom cevi odvodi se do kočnih cilindara na točkovima. Povratne opruge (6), osim što vraćaju klipove u početni položaj pri otpuštanju pedale kočnice, uz pomoć elastičnih pločica (7) obezbeđuju bolje naleganje gumenih zaptivki na čelo klipova. Zaptivna kapa (8) sprečava prodiranje korodivnih i abrazivnih primesa na kliznu površinu cilindra. Zavrtanj (9) služi za ispuštanje vazduha iz glavnog cilindra.

U najvećem broju slučajeva, gubitak radne sposobnosti glavnog cilindra sistema za kočenje motornih vozila nastaje usled nezaptivenosti unutrašnjeg radnog prostora.

### 3. SPROVOĐENJE ISPITIVANJA ZA OCENU POUZDANOSTI

U cilju određivanja zakona raspodele vremena rada do otkaza glavnog cilindra sistema za kočenje lakih privrednih vozila, sproveden je postupak ubrzanih eksploatacionih ispitivanja, shodno planovima skraćenih ispitivanja za ocenu pouzdanosti.

Planiranje ispitivanja se odvija u dve faze [3]

- izbor optimalnog plana ispitivanja i

- određivanje parametara optimalnog plana.

U konkretnom slučaju, ako se pretpostavi da se nakon otkaza vrši zamena objekta i krajnjeg cilja ispitivanja, prema [3], optimalni plan ispitivanja za ocenu pouzdanosti glavnog cilindra je plan  $[NRr]$ .

U oznaci plana  $N$  označava veličinu uzorka,  $R$  da se nakon otkaza vrši zamena objekata, a  $r$  broj potrebnih podataka o vremenu rada do otkaza, odnosno kriterijum prekida ispitivanja. Brojna vrednost  $r$  zavisi od relativne greške  $\delta$  i nivoa poverenja  $\gamma$  dobijenih rezultata. Prema informacionom pristupu za optimizaciju karakteristika tačnosti i nivoa poverenja, vrednosti  $\delta_{opt}$  i  $\gamma_{opt}$  zavise od modela hipotetičke raspodele, koeficijenta varijacije  $v$  slučajne promenljive i od usvojenih početnih vrednosti  $r$  i  $\delta_{apr}$ .

Za kvantitativno definisanje optimalnog plana ispitivanja neophodno je korišćenje izraza koji određuju zavisnost karakteristika tačnosti i verodostojnosti od rezultata ispitivanja. Za plan  $[NRr]$  i pretpostavljenu Vejbulovu raspodelu slučajne promenljive, parametar plana  $r$  određuje se iz izraza [5]:

$$(\delta + 1)^\beta = \frac{2r}{\chi_{1-\gamma, 2r}^2}, \quad (1)$$

gde je:

$\delta$  - granična relativna greška ocene pokazatelja pouzdanosti,

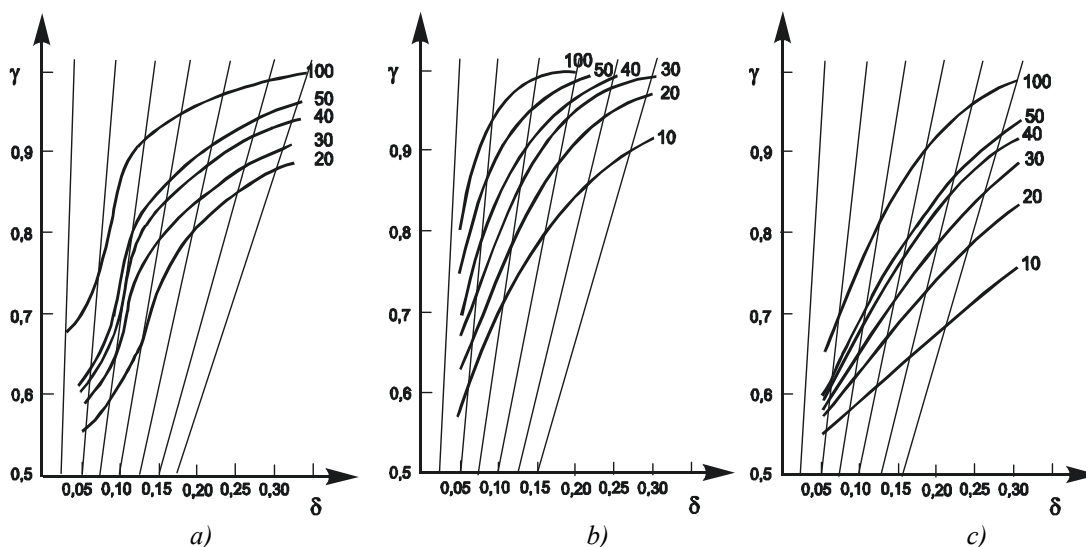
$\beta$  - parametar oblika Vejbulove raspodele,

$\chi_{1-\gamma, 2r}^2$  - kvantil hi-kvadrat raspodele sa  $2r$  stepeni slobode i odgovarajućom verovatnoćom  $1 - \gamma$ , a

$\gamma$  - nivo poverenja da će razmatrani pokazatelj da se nađe u intervalu definisanom relativnom greškom.

Pri određivanju optimalnog broja potrebnih podataka  $r$  usvojeno je da se vreme rada do otkaza glavnog cilindra pokorava Vejbulovoj raspodeli i da je koeficijent varijacije  $v = 0,5$ . Na osnovu opštih preporuka za izbor vrednosti za  $\delta$  i  $\gamma$  [6], za apriornu relativnu grešku ocene pokazatelja pouzdanosti usvojeno je  $\delta_{apr} = 0,05$ . Za početni broj potrebnih podataka usvojeno je  $r = 40$ . Na slici 2 dati su dijagrami za određivanje  $\delta_{opt}$  i  $\gamma_{opt}$  za plan  $[NUr]$  i za  $\beta$  jednako jedan, dva i tri. Ovi dijagrami mogu da se koriste i za plan  $[NRr]$ , pošto

jednačine za njihovo formiranje imaju isti oblik za planove  $[NUr]$  i  $[NRr]$  [3]. Vrednosti  $\beta = 2$  odgovara koeficijent varijacije  $v = 0,523$ , što je približno usvojenoj vrednosti. Na osnovu slike 4 b), za  $\beta = 2$ ,  $\delta_{apr} = 0,05$  i  $r = 40$ , optimalne vrednosti relativne greške i nivoa poverenja su  $\delta_{opt} = 0,075$  i  $\gamma_{opt} = 0,80$ . Zamenom dobijenih vrednosti u izraz (1) dobija se da je optimalna vrednost parametra plana ispitivanja  $r = 52$ .



Slika 2. Optimalne vrednosti tačnosti i nivoa poverenja ocene srednjeg vremena rada do otkaza za plan  $[NUr]$  i Vejbulovu raspodelu sa parametrom oblika: a)  $\beta = 1$ , b)  $\beta = 2$ , c)  $\beta = 3$ , (informac. kriterijum)

Prikupljanje podataka o vremenu rada do otkaza glavnog cilindra izvršeno je praćenjem

vozila u eksploataciji. Broj otkaza objekata grupisan po vremenskim intervalima dat je u tabeli 1.

Pređeni put $x$ [ $10^3$ km]	0÷26	26÷52	52÷78	78÷104	104÷130	130÷156	156÷182
Br. otkaza	9	14	11	7	5	4	2

Tabela 1. Broj otkaza glavnog cilindra sistema za kočenje po vremenskim intervalima

#### 4. ODREĐIVANJE TEORIJSKOG MODELA RASPODELE

Određivanje teorijskog modela raspodele vremena rada do otkaza glavnog cilindra sistema za kočenje izvršeno je korišćenjem programa za računar. Teorijska osnova za formiranje programa i primeri praktične primene dati su u knjizi [2]. Program omogućava izračunavanje procenjenih vrednosti pokazatelja ispravnog rada, određivanje parametara teorijskih aproksimativnih modela i testiranje dobijenih modela raspodele.

U konkretnom slučaju, početni deo izlazne liste programa sadrži sledeće podatke:

Naziv elementa: Glavni cilindar

Ukupan broj podataka:  $n = 52$

Obrada podataka vrši se korišćenjem postupka za veliki uzorak.

Minimalno vreme rada do otkaza:

$$t_{min} = 8.040,0$$

Maksimalno vreme rada do otkaza:

$$t_{max} = 181.460,0$$

Usvojena donja granica prvog intervala:

$$t_{d(1)} = 0,0$$

Izračunata širina intervala:

$$\Delta t = 25.922,857$$

Usvojena širina intervala:

$$\Delta t = 26.000,000$$

Izračunate brojne karakteristike statističkog skupa:

- srednja vrednost:  $t_{sr} = 67.500,000$
- standardno odstupanje:  $\sigma = 33.344,550$
- medijana:  $t_{50} = 59.090,910$
- moda:  $M_o = 42.250,000$
- koeficijent asimetrije:  $K_A = 0,644$
- koeficijent spljoštenosti:  $K_E = - 0,477$

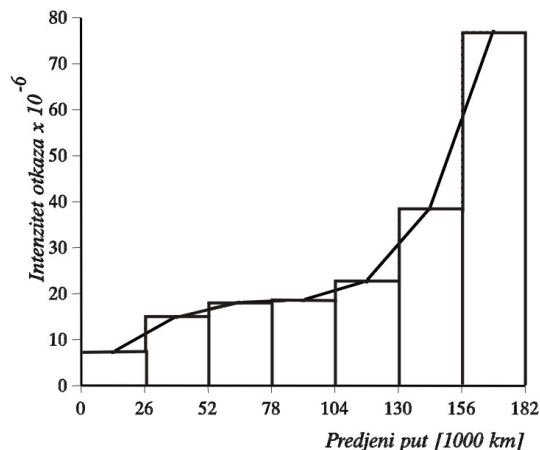
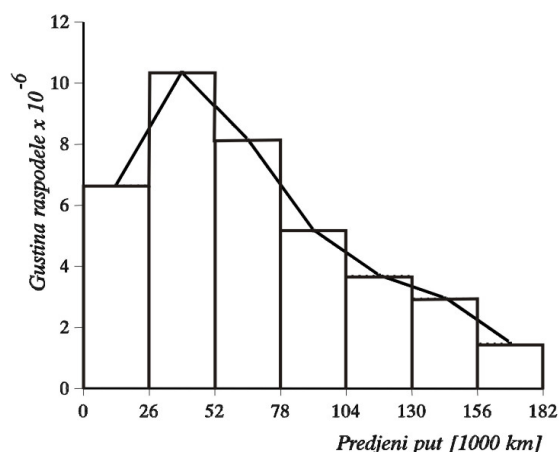
U nastavku rada programa, na osnovu postupka za procenu pokazatelja ispravnog rada za veliki uzorak, dobijene su procenjene vrednosti broja ispravnih objekata  $n(t)$ , pouzdanosti  $R(t)$ , nepouzdanosti  $F(t)$ , gustine vremena rada do otkaza  $f(t)$  i intenziteta otkaza  $h(t)$  glavnog cilindra sistema za kočenje za sredine vremenskih intervala, koje su date u tabeli 2.

i	ti	n(ti)	R(ti)	F(ti)	f(ti)	h(ti)
1	13000.00	47.5	.91346	.08654	.66568E-05	.72874E-05
2	39000.00	36.0	.69231	.30769	.10355E-04	.14957E-04
3	65000.00	23.5	.45192	.54808	.81361E-05	.18003E-04
4	91000.00	14.5	.27885	.72115	.51775E-05	.18568E-04
5	117000.00	8.5	.16346	.83654	.36982E-05	.22624E-04
6	143000.00	4.0	.07692	.92308	.29586E-05	.38462E-04
7	169000.00	1.0	.01923	.98077	.14793E-05	.76923E-04

**Tabela 2. Procenjene vrednosti pokazatelja ispravnog rada glavnog cilindra sistema za kočenje**

Ilustracije grafika procenjenih vrednosti gustine vremena rada do otkaza  $f(t)$  i intenziteta otkaza  $h(t)$  glavnog cilindra, u vidu poligona i

histograma, date su na slici 3. Pri grubom procenjivanju, ovi grafici mogu da posluže za određivanje hipotetičkih modela empirijske raspodele.



**Slika 3 – Grafički prikaz procenjenih vrednosti gustine i intenziteta otkaza glavnog cilindra**

Na osnovu grafika procenjenih vrednosti intenziteta otkaza glavnog cilindra sistema za kočenje lakih privrednih vozila, može da se zaključi da se radi o otkazima u periodu starenja razmatranog objekta. Grafik gustine empirijske raspodele i vrednost koeficijenta asimetrije  $K_A = 0,644$  govore o tome da se radi o empirijskoj raspodeli sa jako izraženom pozitivnom asimetrijom. To potvrđuje i odnos izračunatih vrednosti za  $t_{sr}$ , medijanu i modu.

Radi potpunijeg uvida u proceduru određivanja optimalnog modela vremena rada do otkaza razmatranog objekta i donošenja zaključka na

osnovu kvantitativnih pokazatelja, empirijska raspodela je aproksimirana sa četiri teorijska modela koji se najčešće koriste za modeliranje pouzdanosti u periodu starenja mašinskih elemenata. U tabeli 3 dati su parametri aproksimativnih modela i rezultati grafičkog testiranja za Weibulovu i normalnu raspodelu. Aproksimacijom empirijske raspodele Relejevom raspodelom dobija se vrednost parametra  $\sigma = 51.430 km$ , a aproksimacijom lognormalnom raspodelom, za matematičko očekivanje dobija se  $\mu = 10,785$ , a za standardno odstupanje  $\sigma = 0,792$ .

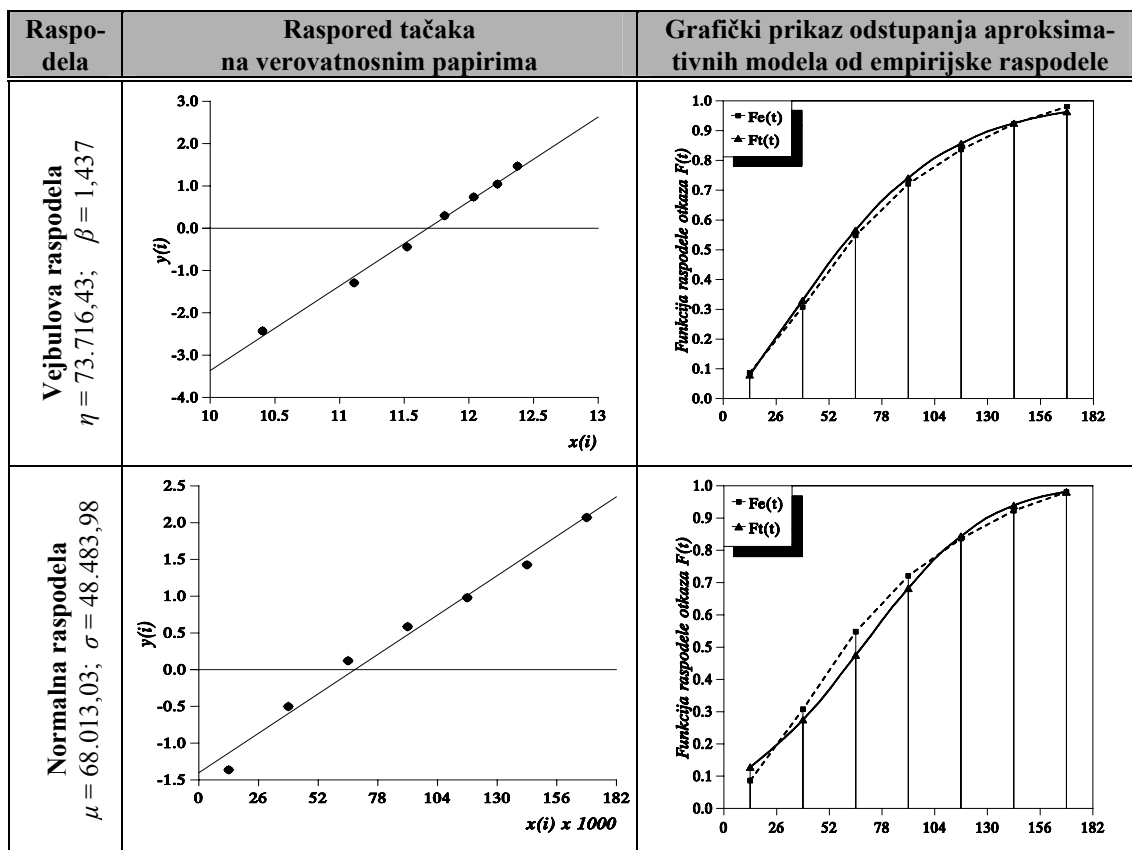


Tabela 3 – Uporedni prikaz rezultata grafičkog testiranja i odstupanja aproksimativnih modela od empirijske raspodele otkaza glavnog cilindra

Grafičko testiranje teorijskih aproksimativnih modela raspodela omogućava vizuelno poređenje odstupanja dva ili više teorijskih modela od empirijske raspodele. Neparаметarsko testiranje omogućava odbacivanje onih teorijskih modela koji ne zadovoljavaju kriterijume korišćenih statističkih testova. U praksi je potvrđeno da se puno puta javljaju situacije da više teorijskih modela raspodela zadovoljavaju usvojene kriterijume statističkih testova. Istovremeno, na osnovu grafičkih prikaza teško je dati prednost jednom od korišćenih modela. U takvim situacijama javlja se problem izbora teorijskog modela koji "najbolje" odslikava ponašanje slučajne promenljive.

Pri neparаметarskom testiranju hipotetičkih modela raspodela, dobija se veliki broj kvantitativnih pokazatelja odstupanja teorijskih modela od empirijske raspodele. Izračunata odstupanja mogu da se iskoriste, ne samo za potvrdu da li teorijski model zadovoljava određeni test za usvojeni nivo značajnosti, već i da se odredi teorijski model kod koga su sva ili većina odstupanja najmanja.

Za ilustraciju prethodnog tvrđenja, u tabeli 4 dati su kvantitativni pokazatelji odstupanja korišćenih teorijskih aproksimativnih modela od empirijske raspodele vremena rada do otkaza glavnog cilindra za testove Kolmogorova, Pirsona i Romanovskog.

Test	Test Kolmogorova: $D_n$	Test Pirsona: $\chi^2$	Test Romanovskog: $R_o$
Vejbulova dvopar. raspodela	0,0223	1,188	0,740
lognormalna raspodela	0,0982	5,323	0,948
normalna raspodela	0,0729	5,763	1,128
Relejeva raspodela	0,0882	10,741	2,383

Tabela 4 – Uporedni prikaz kvantitativnih pokazatelja odstupanja teorijskih modela raspodela od empirijske raspodele glavnog cilindra

Kolona za raspodele u tabeli 4 sadrži rangirane aproksimativne modele, prema vrednostima odstupanja od najmanjeg do najvećeg, za većinu korišćenih testova. Iako redosled teorijskih modela nije isti za sve korišćene statističke testove, uporedni prikaz ovih odstupanja daje dobru osnovu za izbor najboljeg rešenja. Osenčeno polje u tabeli označava ono odstupanje, odnosno teorijski model koji ne zadovoljava usvojeni kriterijum pojedinih testova. Kao što se iz tabele može videti, Relejeva raspodela ne zadovoljava kriterijum testa Pirsona. Vejbulova dvoparameterska, lognormalna i normalna raspodela zadovoljava usvojene kriterijume korišćenih testova. Teorijski, ukoliko bi se izvršilo pooštavanje kriterijuma svakog pojedinačnog testa, sa nivoom značajnosti sa kontinualnim nizom vrednosti, došlo bi se do one vrednosti nivoa značajnosti koju zadovoljava samo jedan teorijski model. Drugačije rečeno, teorijski model sa najmanjom vrednošću karakterističnog odstupanja za neki parametarski test, može da se usvoji sa najvišim nivoom značajnosti kao aproksimativni.

U konkretnom slučaju, na osnovu vrednosti datih u tabeli 4, Vejbulova raspodela je na prvom mestu sa ubedljivo najmanjim vrednostima odstupanja od empirijske raspodele prema svim testovima. Na osnovu dobijenih rezultata može da se zaključi da je optimalni teorijski model vremena rada do otkaza Vejbulova dvoparameterska raspodela sa parametrom oblika  $\beta = 1,437$  i parametrom razmere  $\eta = 73.716,43 \text{ km}$ . Izraz za verovatnoću ispravnog rada glavnog cilindra sistema za kočenje lakih privrednih vozila glasi:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{73.716,43}\right)^{1,437}} \quad (2)$$

Pri određivanju pouzdanosti glavnog cilindra i svih drugih pokazatelja ispravnog rada izvedenih iz izraza (2), vreme  $t$  izražava se u kilometrima pređenog puta.

## 5. ZAKLJUČAK

Primenom planova skraćenih ispitivanja za ocenu pouzdanosti postiže se ušteda u vremenu i novcu uz veliku verodostojnost dobijenih rezultata. U cilju maksimalnog korišćenja mogućnosti koje pružaju planovi skraćenih ispitivanja i usvajanja početnih vrednosti parametara koji se koriste za kvantitativno definisanje planova, neophodno je dobro poznavanje ispitivanog objekta sa stanovišta pojave otkaza.

Određivanje teorijskog modela raspodele, koji najbolje aproksimira empirijsku raspodelu slučajne promenljive, najefikasnije se sprovodi pomoću računara i odgovarajuće softverske podrške. Svaki drugi prilaz, odnosno neposredno računanje bez automatizacije, ne samo da traži mnogo više vremena, već u načelu daje manju tačnost i znatno teže uslove za izbor optimalnog rešenja.

Aproksimacijom empirijske raspodele većim brojem teorijskih modela raspodele i njihovim testiranjem, dobijaju se rezultati koji predstavljaju osnovu za izbor raspodele koja najbolje odslikava ponašanje slučajne promenljive

Prezentirani postupak određivanja optimalnog teorijskog modela empirijske raspodele je opšte važeći. Može se primeniti za matematičko modeliranje empirijske raspodele proizvoljne slučajne promenljive sa kontinualnom promenom.

Poznavanje zakona raspodele pouzdanosti mašinskih elemenata omogućava određivanje pouzdanosti čitavog sistema u funkciji od pouzdanosti sastavnih elemenata, planiranje mera održavanja, određivanje optimalnog garantnog perioda sastavnih celina ili čitavog sistema itd.

## LITERATURA

- [1] Todorović, J.: Kočenje motornih vozila, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1988.
- [2] Čatić, D.: Razvoj i primena metoda teorije pouzdanosti, Monografija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2005., 241 s.
- [3] Аронов И. З., Бурдасов Е. И.: Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний, Издательство стандартов, Москва, 1987., 184 с.
- [4] . . . : Dokumentacija, katalogi i servisna uputstva fabrike privrednih vozila "Zastava kamioni" iz Kragujevca.
- [5] Кубарев, А. И., Панфилов, Е. А., Хохлов, Б. И.: Надежность машин, оборудования и приборов бытового назначения, Легпром-бытиздат, Москва, 1987., 336 с.
- [6] Аронов, И. З.: Оценка показателей безотказности при планах испытаний с измерением наработки, В: Надежность и эффективность в технике, Т.6., Экспериментальная отработка и испытания, Издательство Машиностроение, Москва, 1989., с. 60-82.