

PLANIRANJE SKRAĆENIH ISPITIVANJA ZA OCENU POUZDANOSTI I OBRADA REZULTATA ISPITIVANJA

Prof. dr Dobrivoje Čatić

Kategorizacija rada: ORIGINALNI NAUČNI RAD

Recenzent: Prof. dr Nenad Janićijević

Rad primljen: 6.03.2008.

Adresa:

Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6,
34000 Kragujevac

REZIME: Na primeru zgloba spona sistema za upravljanje lakih privrednih vozila u radu su prezentirani postupci planiranja skraćenih ispitivanja za ocenu pouzdanosti i obrade rezultata ispitivanja. Za izbor i kvantitativno definisanje optimalnog plana ispitivanja razmatranog objekta neophodno je detaljno poznavanje strukture, načina funkcionisanja, uzroka potencijalnih načina otkaza i mehanizama njihovog nastanka. Sprovedenjem ispitivanja u eksploatacionim uslovima dobijen je statistički skup podataka o vremenu rada do otkaza zgloba spona. Obrada rezultata ispitivanja izvršena je primenom računara i odgovarajućeg programa. Optimalni teorijski model raspodele slučajne promenljive vremena rada do otkaza zgloba spona određen je sagledavanjem svih relevantnih pokazatelja.

KLJUČNE REČI: planiranje skraćenih ispitivanja, sistem za upravljanje, zglob spona, model raspodele

1. UVOD

Sistem za upravljanje predstavlja jedan od vitalnih sistema složenog mašinskog sistema motornog vozila [1]. Zajedno sa sistemom za kočenje i pneumaticima ima presudan značaj na bezbednost motornog vozila i ljudi u saobraćaju. Zato se zahtevima koji se u pogledu pouzdanosti postavljaju pred sistem za upravljanje poklanja velika pažnja.

Analizom načina, posledica i kritičnosti otkaza elemenata sistema za upravljanje lakih privrednih vozila utvrđeno je da su sa aspekta pouzdanosti i sigurnosti funkcionisanja zglobovi spona najkritičniji elementi [2].

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. U literaturi se može naći opis većeg broja postupaka ubrzanih ispitivanja za ocenu pouzdanosti. Među njima posebno mesto zauzimaju planovi skraćenih ispitivanja [3]. Za razliku od drugih postupaka, gde se ubrzavanje ispitivanja 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.

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.

2. ZGLOB SPONE KAO SASTAVNI DEO SISTEMA ZA UPRAVLJANJE MOTORNIM VOZILA

Kod vozila na točkovima sistem za upravljanje se sastoji iz dva osnovna podsistema:

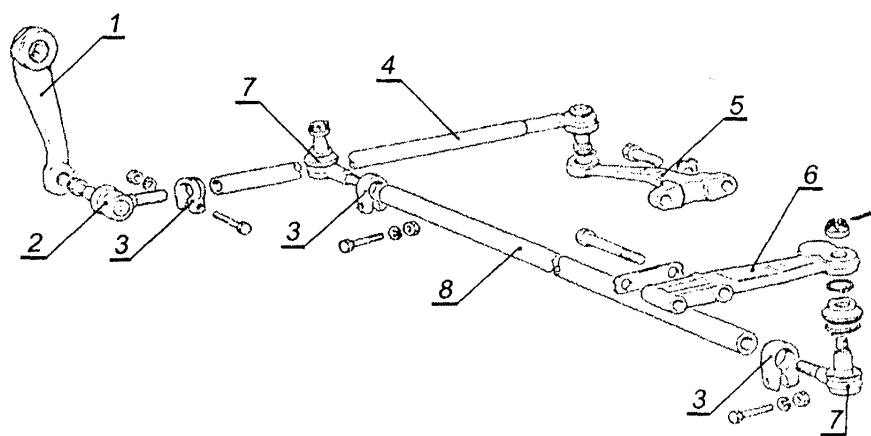
- mehanizma za upravljanje (grupa vratila upravljača) i

- prenosnog mehanizma (grupa spona i poluga).

Prenosni mehanizam, pored toga što ostvaruje vezu između mehanizma za upravljanje i upravljačkih točkova, ima veoma važan zadatak da obezbedi pravilnu kinematiku zaokretanja točkova. To znači da prenosni mehanizam mora biti u potpunosti usklađen sa sistemom oslanjanja upravljačkih točkova, tako da se relativno pomeranje točkova u odnosu na okvir vozila ne odražava na sigurnost samog upravljanja. Prethodno postavljeni zadatak ostvaruje se izvođenjem prenosnih mehanizama u obliku trapeza.

Na slici 1 [4] prikazan je prenosni mehanizam sistema za upravljanje lakih privrednih vozila sa

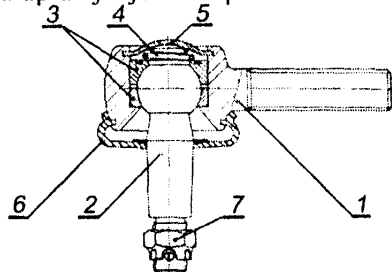
jednodelnom poprečnom sponom (pošto je prednji upravljački most sa zavisnim oslanjanjem).



Slika 1. Prenosni mehanizam sistema za upravljanje lakih privrednih vozila

Obrtni moment od izlaznog vratila glave upravljača, preko poluge na glavi upravljača (1) i uzdužne spone (sastoji se od zgloba spone (2), objumice (3) i poluge uzdužne spone sa zglobom (4)), prenosi se na prijemnu polugu (5) na prednjem levom točku. Poluga je zavrtnjima vezana za rukavac točka. Na donjoj strani rukavca levog točka nalazi se poluga (6), koja preko poprečne spone (sastoji se od zglobova (7), objumice (3) i cevi poprečne spone (8)), prenosi silu na istu takvu polugu na rukavcu desnog točka. Prednja osovina, poluge na točkovima (6) i poprečna spona čine trapez.

Da bi se ostvarila osnovna funkcija sistema za upravljanje, tj. zaokretanje točkova za željeni ugao, prenosni mehanizmi ni u kom slučaju ne mogu biti krute konstrukcije. Zbog vrlo složenog relativnog pomeranja elemenata prenosnog mehanizma pri upravljanju, sferni zglobovi predstavljaju najpogodniju vezu između elemenata. Na slici 2 prikazani su delovi zgloba poprečne spone, koji se koristi u sistemu za upravljanje lakih privrednih vozila.



Slika 2. Zglob spone: 1 - Telo zgloba, 2 - Jabučica, 3 - Šolja, 4 - Opruga, 5 - Poklopac, 6 - Zaptivna kapa, 7 - Navrtka.

Sferni zglobovi omogućavaju pokretljivost u sve tri ravni. Da bi se očuvala pravilna kinematika upravljanja, u zglobu spone ne sme doći do pojave zazora. Poništavanje zazora postiže se izvođenjem šolje iz dva dela, tako da gornji pokretni deo šolje, uz pomoć opruge, pritiska sferu jabučice.

Zbog neospornog značaja koji zglob spone ima na pouzdan i siguran rad sistema za upravljanje motornih vozila, izvršeno je ispitivanje i određivanje zakona raspodele vremena rada do otkaza zgloba spone sistema za upravljanje lakih privrednih vozila.

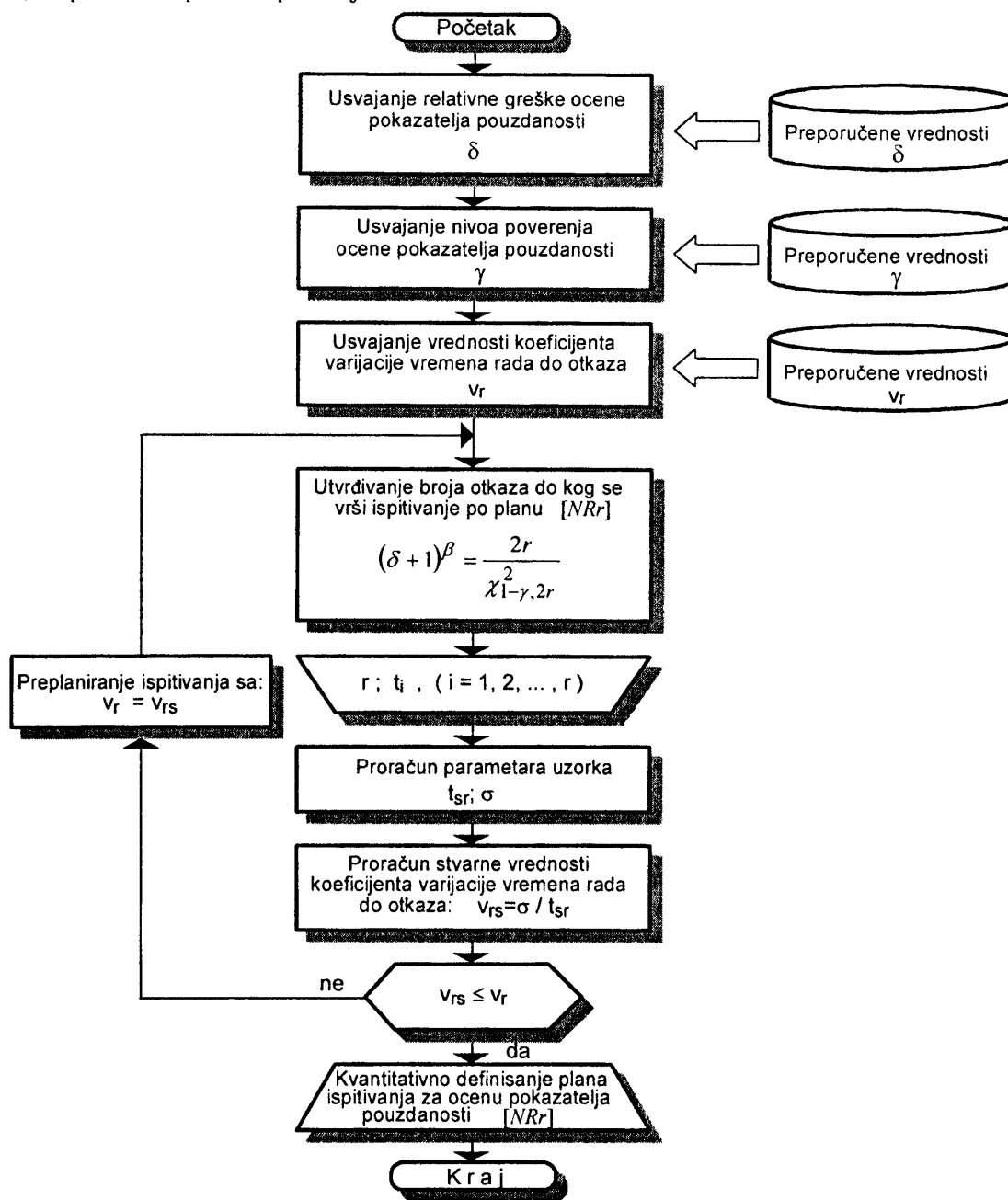
3. PLANIRANJE I SPROVOĐENJE SKRAĆENIH ISPITIVANJA ZA OCENU POUZDANOSTI

U cilju određivanja zakona raspodele vremena rada do otkaza zgloba poprečne spone sistema za upravljanje lakih privrednih vozila, sproveden je postupak ubrzanih eksploatacionih ispitivanja, shodno planovima skraćenih ispitivanja za ocenu pouzdanosti. Za kvantitativno definisanje optimalnog plana skraćenih ispitivanja korišćen je postupak planiranja ispitivanja otvorenog tipa. Dobijeni rezultat, nakon prvog kruga ispitivanja, mora da zadovolji unapred zadati uslov. Obično se uzima da tačkasta ocena koeficijenta varijacije slučajne promenljive mora da bude manja od usvojene vrednosti. Ukoliko zadati uslov nije zadovoljen, vrši se preplaniranje parametra plana i ispitivanje se nastavlja. Prikupljanje podataka o vremenu rada do otkaza zgloba poprečne spone izvršeno je praćenjem vozila u eksploataciji.

U pogledu mogućnosti obnavljanja radne sposobnosti nakon otkaza, zglob poprečne spone sistema za upravljanje motornih vozila spada u grupu nepopravljivih objekata. Nakon otkaza vrši se njegova zamena. Krajnji cilj ispitivanja za ocenu pouzdanosti je određivanje zakona raspodele vremena rada do otkaza zgloba spone. U konkretnom slučaju, na osnovu tipa objekta sa aspekta mogućnosti obnavljanja radne sposobnosti nakon otkaza i krajnjeg cilja ispitivanja, prema preporukama za izbor optimalnog plana skraćenih ispitivanja [5],

ukupan broj planova ispitivanja svodi se na planove [NRr] i [NRT]. Uslov za primenu [NRT] plana je istovremeni početak ispitivanja svih objekata. Pošto su vozila čije se komponente razmatraju različite starosti, optimalni plan ispitivanja za ocenu

pouzdanosti zgloba poprečne spine je plan [NRr]. Na slici 3 dat je algoritam postupka skraćenih ispitivanja otvorenog tipa za ocenu pouzdanosti prema navedenom planu [6].



Slika 3. Algoritam postupka skraćenih ispitivanja otvorenog tipa za ocenu pouzdanosti prema planu [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 δ i nivoa poverenja γ dobijenih rezultata. Prema informacionom pristupu za optimizaciju karakteristika tačnosti i nivoa poverenja, vrednosti δ_{opt} i γ_{opt} zavise od modela hipotetičke raspodele, koefici-

jenta varijacije v slučajne promenljive i od usvojenih početnih vrednosti r i δ_{apr} .

Za kvantitativno definisanje 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 [7]:

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

gde je:

δ - granična relativna greška ocene pokazatelja pouzdanosti,

β - parametar oblika Vejbulove raspodele,

$\chi_{1-\gamma, 2r}^2$ - kvantil hi-kvadrat raspodele sa $2r$ stepeni slobode i odgovarajućom verovatnoćom $1 - \gamma$, a γ - nivo poverenja da će razmatrani pokazatelj da se nađe u intervalu definisanom relativnom greškom.

Parametar oblika β Vejbulove raspodele jednoznačno je povezan sa koeficijentom varijacije slučajne promenljive preko izraza:

$$v = \frac{\sqrt{\Gamma(1 + 2/\beta) - [\Gamma(1 + 1/\beta)]^2}}{\Gamma(1 + 1/\beta)}, \quad (2)$$

gde je $\Gamma(\cdot)$ - gama-funkcija.

Izbor karakteristika δ i γ ne zavisi od mehanizma nastanka otkaza objekta. Za razliku od njih, koeficijent varijacije v je u potpunosti uslovljen oblikom raspodele vremena rada do otkaza.

Koeficijent varijacije zavisi od velikog broja faktora, od kojih su najvažniji nivo tehnologije izrade, veličina i promenljivost opterećenja i mehanizam nastanka otkaza. Povećanje nivoa tehnologije izrade dovodi do smanjenja koeficijenta varijacije vremena rada do otkaza. Koeficijent varijacije se uvećava sa smanjenjem opterećenja. Podaci dati u tabeli 1 ilustruju uticaj mehanizma nastanka otkaza na koeficijent varijacije [8].

Tabela 1. Preporučene vrednosti za izbor koeficijenta varijacije v

Zakon raspodele	Razmatrana slučajna promenljiva	Koeficijent varijacije v
Normalni	Vreme rada proizvoda do generalnog remonta	0,10 ÷ 0,20
	Vreme rada mašine do generalnog remonta	0,30
	Vreme rada sklopa do graničnog habanja	0,30
	Vreme rada sklopa do graničnog stanja izazvanog kombinacijom trenja, zamora i korozije	0,30
Lognormalni	Vreme rada do zamornog loma pri savijanju i uvijanju	0,40 ÷ 0,50
	Vreme rada do oštećenja konstrukcionih spojeva	0,70
	Vreme rada mašine između generalnih remonta	0,60 ÷ 0,80
Vejbulov	Vreme rada do oštećenja usled kontaktnog zamora	0,70
	Vreme rada do zamornog loma pri savijanju i uvijanju	0,30 ÷ 0,50
	Vreme rada do oštećenja konstrukcionih spojeva	0,80

Na osnovu podataka datih u radu [2], otkaz zgloba spone nastaje u približno 99% slučajeva usled pojave uvećanog zazora u zglobo, odnosno granične pohabanosti jabučice ili šolje zgloba. Prema tabeli 1, koeficijent varijacije vremena rada do otkaza za slučaj otkaza usled granične pohabano-sti, jednak je $v = 0,3$. Međutim, intenzitet habanja u konkretnom slučaju zavisi od velikog broja faktora stohastičke prirode, pa se može očekivati veće rasturanje podataka oko srednje vrednosti. Zbog toga je za

koeficijent varijacije usvojeno $v = 0,5$. Na osnovu izraza (2), za $v = 0,5$ parametar oblika Vejbulove raspodele je $\beta \approx 2,1$.

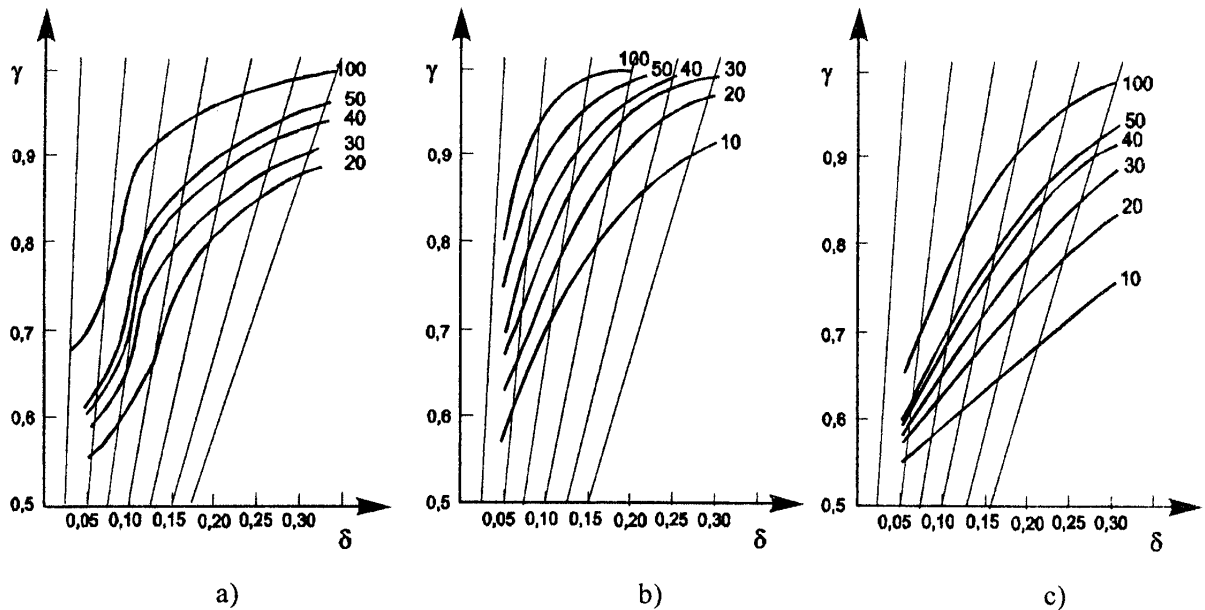
Za početni broj potrebnih podataka usvojeno je $r = 50$. Pošto je zglob spone sklop koji utiče na sigurnost funkcionisanja sistema za upravljanje, na osnovu opštih preporuka za izbor vrednosti za δ i γ datih u tabeli 2 [8], za apriornu relativnu grešku ocene usvojeno je $\delta_{apr} = 0,05$

Tabela 2. Preporučene vrednosti za izbor relativne greške δ i nivoa poverenja γ

Objekat ispitivanja	Relativna greška δ	Nivo poverenja γ
Proizvod u celini ili komponenta koja uslovljava spoljašnji oblik proizvoda, tj. njegovu prikladnost za upotrebu	0,15 ÷ 0,20	0,80 ÷ 0,90
Mašina ili osnovna komponenta	0,10 ÷ 0,15	0,90 ÷ 0,95
Mašine, sklopovi i elementi koji utiču na sigurnost	0,05	0,95 ÷ 0,99

Na slici 4 dati su dijagrami za određivanje δ_{opt} i γ_{opt} za plan $[NUr]$ i za β 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 $r = 50$, optimalne vrednosti relativne greške i nivoa poverenja su $\delta_{opt} = 0,08$ i $\gamma_{opt} = 0,87$. Na osnovu ovih vrednosti, korišćenjem izraza (1), dobija se da je optimalna vrednost parametra plana ispitivanja $r = 77$.



Slika 4. 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) $\beta = 3$, (informacioni kriterijum)

Prikupljanje podataka o vremenu rada do otkaza zgloba poprečne spone sistema za upravljanje lakih privrednih vozila izvršeno je praćenjem vozila u eksploataciji. Merenjem vremena rada do otkaza prvih 77 zglobova poprečne spone dobijen je statistički skup podataka. Brojne vrednosti slučajne promenljive naknadno su poređane u rastući varijacioni niz, kao što je prikazano u tabeli 3. Vreme rada do otkaza mereno je u kilometrima pređenog puta.

Na osnovu izračunate srednje vrednosti $t_{sr} = 106.298,7 \text{ km}$ i standardnog odstupanja $\sigma = 51.129,34 \text{ km}$ statističkog skupa podataka, koeficijent varijacije dobijenih rezultata $v = \sigma / t_{sr} = 0,481$ je manji od usvojene vrednosti $v = 0,5$. Time

je zadovoljen zadati uslov otvorene procedure skraćenih ispitivanja za ocenu pouzdanosti, pa se može pristupiti obradi podataka u cilju određivanja zakona raspodele vremena rada do otkaza razmatranog objekta.

Ukoliko je broj vrednosti slučajne promenljive veći od 30, za procenu pokazatelja pouzdanosti koristi se postupak za veliki uzorak. Broj intervala u kojima su grupisane vrednosti slučajne promenljive dobijen je na osnovu izraza:

$$z = 1 + 3,3 \cdot \log n, \quad (3)$$

gde je n – veličina uzorka.

Za $n = r = 77$, broj intervala zaokružen na ceo broj jednak je 7.

Tabela 3. Vremena rada do otkaza zgloba poprečne spine sistema za upravljanje lakih privrednih vozila

Redni broj otkaza	Pređeni put do otkaza [km]	Redni broj otkaza	Pređeni put do otkaza [km]	Redni broj otkaza	Pređeni put do otkaza [km]	Redni broj otkaza	Pređeni put do otkaza [km]	Redni broj otkaza	Pređeni put do otkaza [km]
1	16.051	17	53.912	33	102.676	49	117.552	65	151.800
2	27.100	18	62.837	34	102.676	50	118.582	66	155.929
3	27.987	19	63.500	35	103.041	51	118.685	67	163.628
4	31.606	20	69.522	36	103.041	52	121.110	68	173.670
5	32.151	21	69.522	37	103.649	53	121.110	69	176.720
6	35.810	22	69.530	38	103.649	54	124.920	70	185.841
7	36.005	23	80.329	39	103.908	55	129.860	71	187.225
8	40.120	24	82.302	40	104.018	56	129.960	72	188.695
9	40.216	25	85.491	41	104.018	57	134.880	73	202.940
10	40.715	26	85.902	42	109.584	58	134.880	74	204.790
11	46.116	27	90.278	43	114.090	59	138.627	75	218.182
12	47.910	28	90.278	44	114.253	60	139.543	76	241.174
13	49.356	29	93.416	45	114.370	61	142.517	77	247.327
14	50.866	30	94.101	46	115.080	62	147.512		
15	52.268	31	94.298	47	115.080	63	148.590		
16	53.652	32	98.753	48	117.201	64	148.590		

Za usvojene vrednosti broja intervala $z = 7$, donje granice prvog intervala $t_{d1} = 16.000 \text{ km}$ i

širine intervala $\Delta t = 34.000 \text{ km}$, broj otkaza objekata po vremenskim intervalima dat je u tabeli 4.

Tabela 4. Broj otkaza zgloba poprečne spine sistema za upravljanje po vremenskim intervalima

Pređeni put x [10 ³ km]	16÷50	50÷84	84÷118	118÷152	152÷186	186÷220	220÷254
Br. otkaza	13	11	25	16	5	5	2

4. ODREĐIVANJE TEORIJSKOG MODELA RASPODELE

Određivanje teorijskog modela raspodele vremena rada do otkaza zgloba poprečne spine sistema za upravljanje izvršeno je korišćenjem programa za računar. Teorijska osnova za formiranje programa i primeri praktične primene dati su u knjizi [6]. Program omogućava izračunavanje procenjenih vrednosti pokazatelja ispravnog rada, određivanje parametara teorijskih aproksimativnih modela i testiranje dobijenih modela raspodela.

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

Naziv elementa: Zglob poprečne spine

Ukupan broj podataka: $n = 77$

Obrada podataka vrši se korišćenjem postupka za veliki uzorak.

Minimalno vreme rada do otkaza:

$$t_{min} = 16.051,0$$

Maksimalno vreme rada do otkaza:

$$t_{max} = 247.327,0$$

Izračunati broj intervala: $z = 7,225$

Usvojeni broj intervala: $z = 7$

Usvojena donja granica prvog intervala:

$$t_{d(1)} = 16.000,0$$

Izračunata širina intervala: $\Delta t = 33.007,285$

Usvojena širina intervala: $\Delta t = 34.000,0$

Izračunate brojne karakteristike statističkog

skupa:

- srednja vrednost: $t_{sr} = 106.298,700$

- standardno odstupanje: $\sigma = 51.129,340$

- medijana: $t_{50} = 103.720,000$

- moda: $M_0 = 104.695,652$

- koeficijent asimetrije: $K_A = 0,467$

- koeficijent spljoštenosti: $K_E = - 0,129$

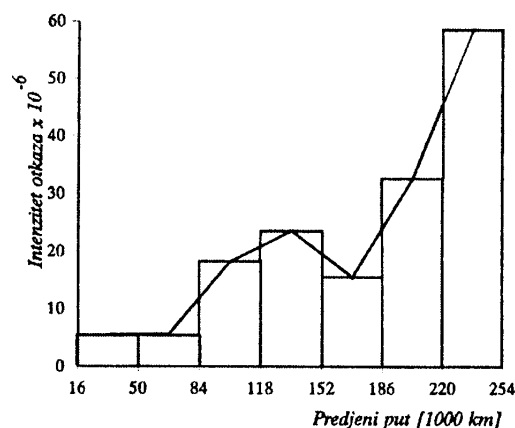
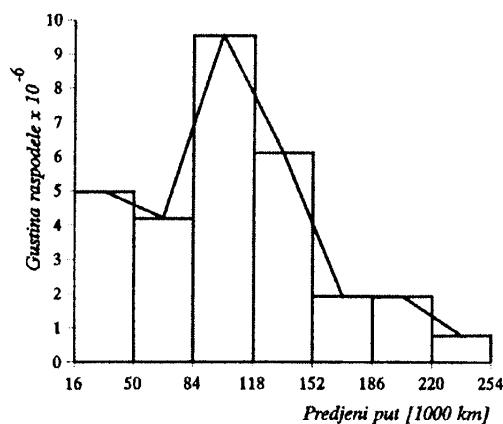
U nastavku rada programa, na osnovu postupka za procenu pokazatelja ispravnog rada za veliki uzorak, dobijene su procenjene vrednosti broja ispravnih objekata $n(t)$, pouzdanosti $R(t)$, nepouzdanosti $F(t)$, gustine vremena rada do otkaza $f(t)$ i intenziteta otkaza $h(t)$ zgloba poprečne spine za sredine vremenskih intervala, koje su date u tabeli 5.

Tabela 5. Procenjene vrednosti pokazatelja ispravnog rada zgloba poprečne spine sistema za upravljanje

i	t_i	$n(t_i)$	$R(t_i)$	$F(t_i)$	$f(t_i)$	$h(t_i)$
1	33000.00	70.5	.91558	.08442	.49656E-05	.54234E-05
2	67000.00	58.5	.75974	.24026	.42017E-05	.55304E-05
3	101000.00	40.5	.52597	.47403	.95493E-05	.18155E-04
4	135000.00	20.0	.25974	.74026	.61115E-05	.23529E-04
5	169000.00	9.5	.12338	.87662	.19099E-05	.15480E-04
6	203000.00	4.5	.05844	.94156	.19099E-05	.32680E-04
7	237000.00	1.0	.01299	.98701	.76394E-06	.58824E-04

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

histograma, date su na slici 5. Pri grubom procenjanju, ovi grafici mogu da posluže za određivanje hipotetičkih modela empirijske raspodele.



Slika 5. Grafički prikaz procenjenih vrednosti gustine i intenziteta otkaza zgloba poprečne spine

Na osnovu grafika procenjenih vrednosti intenziteta otkaza zgloba poprečne spine sistema za upravljanje lakih privrednih vozila, može da se zaključi da se radi o otkazima u periodu starenja razmatranog objekta.

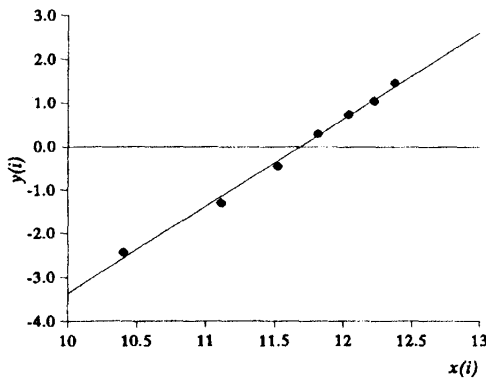
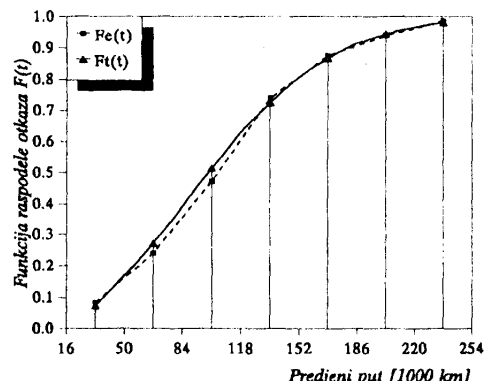
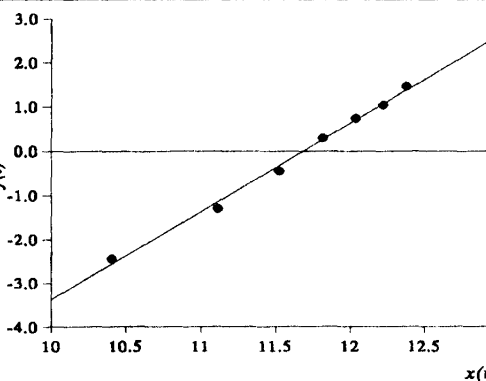
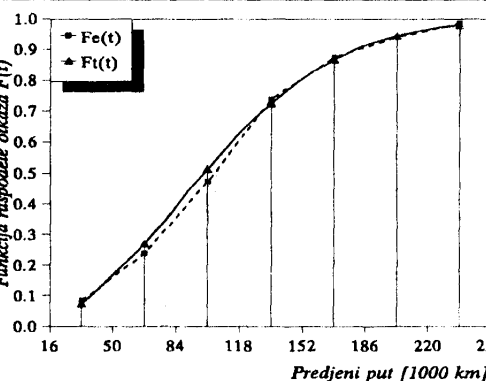
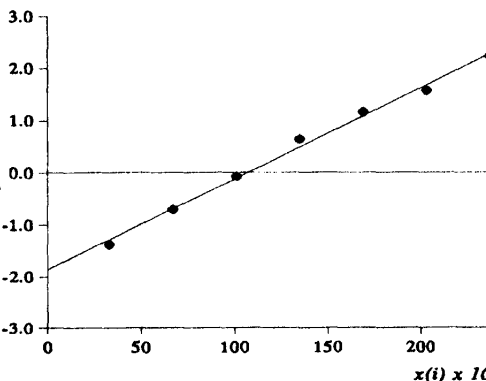
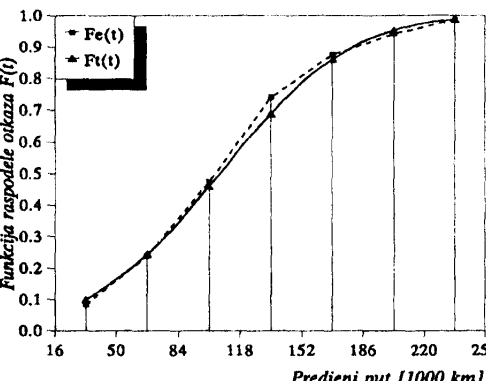
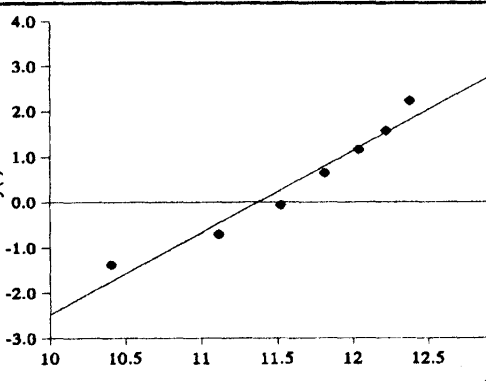
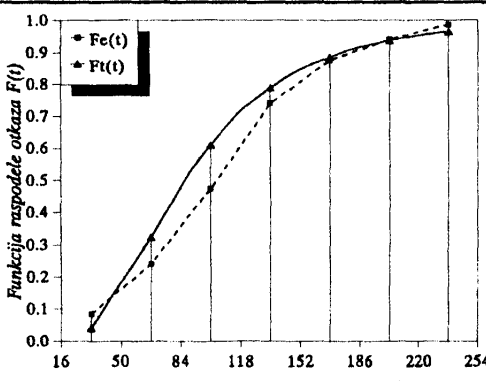
Pored toga, na osnovu izračunatih vrednosti statističkog skupa, koje reprezentuju centar rasturanja slučajne promenljive (srednja vrednost, medijana i moda) moglo bi da se zaključi da se radi o normalnoj raspodeli slučajne promenljive. Međutim, vrednost koeficijenta asimetrije i sam grafik gustine empirijske raspodele, koji je dat na slici 5, govore da se radi o pozitivno asimetričnoj raspodeli.

Na osnovu prethodnog, teško je postaviti jedinstvenu hipotezu o teorijskom modelu raspodele. Zbog toga je empirijska raspodela zgloba poprečne spine aproksimirana sa četiri teorijska modela, koji se najčešće koriste za modeliranje pouzdanosti u periodu starenja mašinskih elemenata. U tabeli 6 date su vrednosti parametara aproksimativnih modela i rezultati grafičkog testiranja za Vejbulovu, Relejevu, normalnu i lognormalnu raspodelu.

Grafičko testiranje teorijskih aproksimativnih modela raspodele omogućava vizuelno poređenje odstupanja dva ili više teorijskih modela od empirijske raspodele. Neparametarsko 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 raspodele 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" odlikava ponašanje slučajne promenljive.

Pri neparametarskom testiranju hipotetičkih modela raspodele, dobija se veliki broj kvantitativnih pokazatelja odstupanja teorijskih modela od empirijske raspodele. Predlog autora ovog rada je da se izračunata odstupanja iskoriste, ne samo za potvrdu da li teorijski model zadovoljava određeni test za usvojeni nivo značajnosti, već i da se odredi onaj teorijski model, kod koga su sva ili većina odstupanja najmanja. Za ilustraciju prethodnog

Tabela 6. Uporedni prikaz rezultata grafičkog testiranja i odstupanja aproksimativnih modela od empirijske raspodele otkaza zgloba poprečne spona

Raspo- dela	Raspored tačaka na verovatnosnim papirima	Grafički prikaz odstupanja aproksimativnih modela od empirijske raspodele
Veijbulova raspodela $\eta = 118.755,9; \beta = 1,998$		
Relejeva raspodela $\sigma = 83.970$		
Normalna raspodela $\mu = 106.691,4; \sigma = 57.418,2$		
Lognormalna raspodela $\mu = 11,367; \sigma = 0.555$		

tvrdjenja, u tabeli 7 dat je uporedni prikaz karakterističnih veličina za testove Kolmogorova, Pirsona

i Romanovskog, za četiri korišćena teorijska aproksimativna modela pouzdanosti zgloba spone.

Tabela 7. Uporedni prikaz kvantitativnih pokazatelja odstupanja teorijskih modela raspodela od empirijske raspodele zgloba spone

Test Raspodela	Test Kolmogorova: D_n	Test Pirsona: χ^2	Test Romanovskog: R_o
Relejeva raspodela	0,0409	7,588	1,268
Vejbulova dvopar. raspodela	0,0409	7,569	1,865
normalna raspodela	0,0513	9,459	2,637
lognormalna raspodela	0,1363	14,936	4,873

Kolona za raspodele u tabeli 7 sadrži rangirane aproksimativne modele, prema vrednosti 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. Osenčena polja u tabeli označavaju ona odstupanja, odnosno teorijske modele koji ne zadovoljavaju usvojene kriterijume pojedinih 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 7, najmanja odstupanja D_n prema testu Kolmogorova imaju Relejeva i Vejbulova raspodela. Ova odstupanja su jednaka, što se moglo i pretpostaviti na osnovu izračunate vrednosti parametra oblika Vejbulove raspodele ($\beta = 1,998 \approx 2$). Za test Pirsona, najmanju vrednost veličine χ^2 ima Vejbulova raspodela. Za test Romanovskog, uporedna veličina R_o je ubedljivo najmanja za Relejevu raspodelu.

Na osnovu dobijenih rezultata može da se zaključi da se za aproksimaciju vremena rada do otkaza može koristiti Relejeva ili Vejbulova raspodela. Ako se usvoji Vejbulova raspodela kao aproksimativni model, izraz za verovatnoću ispravnog rada zgloba spone sistema za upravljanje lakih privrednih vozila glasi:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{118.755,9}\right)^{1,998}} \quad (4)$$

Pri određivanju verovatnoće ispravnog rada zgloba poprečne spone i svih drugih funkcionalnih pokazatelja pouzdanosti izvedenih iz izraza (4), vreme t izražava se u kilometrima pređenog puta.

5. ZAKLJUČAK

Za razliku od postupaka ubrzanih ispitivanja, kod kojih se skraćenje vremena trajanja ispitivanja postiže na račun forsiranja režima rada ili intenziviranja uslova spoljašnje sredine, korišćenje planova skraćenih ispitivanja omogućava visok nivo verodostojnosti 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.

Ispitivanjem mašinskih elemenata i sistema za ocenu pouzdanosti u eksploatacionim uslovima dobija se realna slika njihovog ponašanja u pogledu gubitka radne sposobnosti. Naime, na ovaj način uzimaju se u obzir svi uticajni faktori na vek, koji su slučajnog karaktera i koje je teško proceniti i simulirati za potrebe laboratorijskog ispitivanja.

Određivanje teorijskog modela raspodele, koji najbolje aproksimira empirijsku raspodelu slučajne promenljive, zahteva relativno obimne računске operacije. Postupak izbora odgovarajuće raspodele najlakše i najefikasnije se sprovodi pomoću računara i odgovarajuće softverske podrške. Svaki drugi prilaz, ne samo da traži mnogo više vremena, već u načelu daje manju tačnost i znatno teže uslove za izbor optimalnog rešenja.

Neparametarsko testiranje hipotetičkih modela raspodela, pored toga što omogućava odbacivanje onih teorijskih modela koji znatno odstupaju od empirijske raspodele, daje kvantitativne pokazatelje čijim se upoređivanjem može doći do optimalnog zakona raspodele. Aproksimacijom empirijske raspodele većim brojem teorijskih modela raspodela i njihovim testiranjem, dobijaju se rezultati koji predstavljaju osnovu za izbor raspodele koja najbolje odlikava 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.

LITERATURA

- [1] Janićijević, N., Janković, D., Todorović, J.: Konstrukcija motornih vozila, Mašinski fakultet, Beograd, 1987., 597 s.
- [2] Ćatić, D.: Rangiranje elemenata sistema za upravljanje lakih privrednih vozila prema stepenu kritičnosti, Statističke metode i sertifikacija sistema kvaliteta (Red.: Lj. Papić i B. Vasić), OMO, Beograd, 1994., s. 115-130.
- [3] Аронов, И. З., Бурдасов, Е. И.: Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний, Издательство стандартов, Москва, 1987., 184 с.
- [4] . . .: Dokumentacija, katalozi i servisna uputstva fabrike privrednih vozila "Zastava kamioni" iz Kragujevca.
- [5] Судаков, Р. С., Тескин, О. И., редактори: Надежность и эффективность в технике, Справочник, Т.6, Экспериментальная обработка и испытания, Машиностроение, Москва, 1989., 376 с.
- [6] Ćatić, D.: Razvoj i primena metoda teorije pouzdanosti, Monografija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2005., 241 s.
- [7] Кубарев, А. И., Панфилов, Е. А., Хохлов, Б. И.: Надежность машин, оборудования и приборов бытового назначения, Легпромбытиздат, Москва, 1987., 336 с.
- [8] 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.

PLANNING OF TRUNCATED TESTS FOR RELIABILITY ASSESSMENT AND PROCESSING OF TEST RESULTS

ABSTRACT: *Procedures for planning of truncated tests for reliability assessment and processing of test results are presented in the paper, using the case of the tie-rod joint belonging to the steering system of light commercial vehicle. In order to select and quantify the optimal plan for testing the observed object, it is necessary to know in detail the structure, the way of operation, the causes of potential failure modes and mechanisms of their generation. Statistical data set related to the operation time until failure on tie-rod joint occurs is gained by conducting tests in exploitation conditions. Test results processing is done using the computer and corresponding software. Selection of optimal theoretical model of random variable distribution is conducted with taking into account all relevant identifiers.*

KEY WORDS: *planning of truncated tests, steering system, tie-rod joint, distribution model*