Mr Ljubiša Brkić,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 3001 Beograd

MODEL OTKRIVANJA I ANALIZE NAJMANJE POUZDANIH DELOVA VOZILA

UDC: 623.437.4.004.64

Rezime:

Metoda analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza zasniva se na analizi potencijalnih otkaza sa aspekta funkcionisanja vozila kao sistema, i može se razgraničiti na konstrukcionu, proizvodnu i eksploatacionu analizu. U radu je prikazana primena metode analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza za vozilo i neke podsisteme i manje celine u toku eksploatacije. Kvantitativna analiza nije vršena zbog nepoznavanja intenziteta otkaza elemenata vozila. Izvršena je procena kritičnosti elemenata koji su najčešće otkazivali na osnovu podataka iz eksploatacije u periodu od pet godina. Na osnovu tako dobijenih rezultata sačinjena je rang-lista najkritičnijih elemenata vozila i navedene mere koje treba preduzeti radi smanjenja pojava otkaza.

Ključne reči: otkaz, kritičnost, posledice, analiza, eksploatacija.

MODEL OF FINDING AND ANALYZING THE LEAST RELIABLE PARTS OF VEHICLES

Summary:

The method of failure mode, effect and criticality analysis is based on the potential failure analysis, concerning vehicle functioning as a system, and it could be divided into constructional, productive and exploitational analysis. This work presents application of the method of failure mode, effect and criticality analysis to vehicles and some sub-systems and smaller entities in the period of operational service. The quantitative analysis was not done because the failure intensities of vehicle elements were unknown. The elements which have failed most frequently during the exploitation period of five years, have been critically evaluated. The ranking of the most critical vehicle elements was made and the measures which should be taken are given to decrease failure appearance.

Key words: failure, criticality, effects, analysis, exploitation.

Uvod

Motorna vozila su, sa aspekta pojave neispravnosti, veoma specifični tehnički sistemi. Posebno su značajne velike razlike u mogućim oblicima neispravnosti i u načinu njihovog otklanjanja, kao i u složenosti konstrukcije i prisustvu velikog broja elemenata, koji su vrlo raz-

ličiti po svojim zadacima, osobinama, principima rada i međusobnim vezama. Sve to usložava istraživanja pouzdanosti i povećava troškove njegove realizacije. Pored toga, sve kraći rokovi razvoja vozila onemogućavaju čekanje rezultata ispitivanja pouzdanosti u toku eksploatacije, jer je za to potrebno mnogo vremena.

Sagledavanje i predviđanje mogućih neispravnosti na motornim vozilima predstavlja veoma značajan i kompleksan zadatak. Primenom savremenih naučnih metoda i korišćenjem iskustava iz prakse moguće je, sa dovoljno tačnosti, predvideti i proceniti vozilo sa aspekta pojave neispravnosti, i preduzimanjem odgovarajućih akcija održavanja preduprediti pojavu otkaza, čime se povećava efektivnost vozila.

Postoji više metoda za analizu vozila sa aspekta pojave neispravnosti, a jedna od metoda je analiza oblika, posledica i kritičnosti otkaza (AOPKO) ili FMECA (Failure Mode, Effect and Criticality analysis) čija je jedna od mogućih varijanti primene prikazana u ovom radu.

Primena metode analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza na otkrivanje najmanje pouzdanih delova vozila

Metoda analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza zasniva se na analizi potencijalnih otkaza sa aspekta funkcionisanja vozila kao sistema, i može se razgraničiti na *konstrukcionu*, koja se primenjuje pri izradi idejnog rešenja, kao i u toku razvoja i projektovanja vozila, *procesnu*, koja se primenjuje pri analizi procesa montaže i kontrole kvaliteta i *eksploatacionu*, koja se primenjuje pri analizi eksploatacije.

Ovom metodom sistematski se analiziraju potencijalni otkazi i prezentiraju posledice na funkcionisanje vozila. Za analizu otkaza koriste se precizno sređeni podaci o elementima i sklopovima vozila, o procesu proizvodnje i montaže, kao i o mogućim otkazima koji mogu biti prouzrokovani brojnim faktorima, kao što su greške u materijalu, greške u konstrukci-

ji, tehnologiji izrade, održavanju i mnoge druge.

Koraci [3] navedene metode su:

1. Predviđanje i opisivanje svih mogućih oblika neispravnosti svakog sastavnog dela vozila.

2. Predviđanje i opisivanje posledica svakog oblika neispravnosti dela na rad i funkcionisanje sklopa, agregata, podсистema i vozila u celini.

3. Analiza kritičnosti otkaza prema verovatnoći pojavljivanja otkaza, težini uticaja na funkcionisanje vozila kao sistema (ozbiljnosti otkaza) i teškoći otkrivanja otkaza, na osnovu analize oblika i posledica otkaza.

4. Opisivanje uzroka otkaza, metoda i načina na koji se on uočava.

5. Tehnološka rešenja za akcije otklanjanja neispravnosti koja predlažu radnici za održavanje.

6. Klasifikacija svih oblika neispravnosti i njihovih posledica prema uticaju na funkcionisanje vozila, kao:

- katastrofalni otkaz, koji onemogućava funkcionisanje vozila i može izazvati katastrofalne posledice po bezbednost;

- težak otkaz, koji može prouzrokovati oštećenje vozila, prekid funkcionisanja ili opadanje njegovih performansi;

- lakši otkaz, koji može prouzrokovati manja oštećenja, prekid funkcionisanja ili opadanje performansi;

- neznatan otkaz, koji može prouzrokovati manje smetnje u funkcionisanju, ali ne izaziva prekid funkcionisanja vozila.

7. Formiranje rang-liste kritičnih delova, sklopova i podсистema prema njihovom uticaju na funkcionisanje vozila kao sistema.

Ovom metodom moguće je proceniti pouzdanost vozila u svim fazama njegovog životnog ciklusa. Analizu je moguće

otpočeti na bilo kom nivou raščlanjivanja vozila i usmeriti je ka nižim ili višim strukturnim nivoima vozila.

Analizom kritičnosti procenjuje se stepen kritičnosti sklopova i delova vozila, na osnovu podataka iz eksploatacije inženjerskog rasuđivanja i iskustva lica koja se duže bave eksploatacijom i održavanjem vozila. Pod kritičnošću se podrazumeva relativna mera oblika otkaza, učestalosti njegovog pojavljivanja, posledica na funkcionisanje vozila i teškoće otkrivanja i otklanjanja.

Analiza oblika, posledica i kritičnosti otkaza može se obavljati kvalitativno i kvantitativno. Kvalitativna analiza se vrši kada nisu poznati intenziteti otkaza sastavnih delova. Pri tome se procenjuje svaki potencijalno mogući otkaz na osnovu raspoloživih podataka iz eksploatacije i iskustva lica koje vrši procenu. Na osnovu procene dodeljuju se poeni od 1 do 10 za sledeće elemente:

- verovatnoću pojavljivanja otkaza (P), gde 1, 2 i 3 poena znači da se otkaz vrlo retko ili nikada ne pojavljuje, 4, 5 i 6 poena podrazumeva da se otkaz ponekad pojavljuje, 7 i 8 poena da se otkaz češće pojavljuje i 9 i 10 poena znači da se otkaz skoro sigurno pojavljuje;

- ozbiljnost pojavljivanja otkaza za funkcionisanje vozila (C), gde 1, 2 i 3 poena znači neznatan ili zanemarljiv otkaz, 4, 5 i 6 poena znači lakši otkaz koji izaziva zastoje vozila ili pogoršanje njegovih izlaznih parametara, 7 i 8 poena podrazumeva težak otkaz koji izaziva definitivni prekid eksploatacije vozila a 9 i 10 poena znači katastrofalan otkaz koji izaziva nesagledive posledice po sigurnost i bezbednost funkcionisanja vozila;

- teškoću otkrivanja otkaza (D), gde 1, 2 i 3 poena znači da rukovalac vrlo

lako otkriva otkaz, bez ikakve dijagnostičke opreme, 4, 5 i 6 poena podrazumeva da otkaz može otkriti dobro obučeni rukovalac ili stručni radnik iz održavanja bez ikakve dijagnostičke opreme, 7 i 8 poena znači da otkaz vrlo teško otkriva rukovalac i bez stručnog radnika i dijagnostičke opreme iz održavanja i 9 i 10 poena znači da se otkaz ne može otkriti bez stručnog radnika i bez posebne dijagnostičke opreme iz održavanja.

Proizvodom tako dobijenih vrednosti $P \cdot C \cdot D$ dobija se vrednost rizika ili kritičnosti otkaza (R).

Nakon analize usvaja se kriterijum kritičnosti i formira rang-lista najkritičnijih otkaza i najkritičnijih delova i sklopova koji mogu uticati na funkcionisanje vozila. Na osnovu podataka o kritičnosti daju se preporuke za sprovođenje akcija preventivnog održavanja koje bi mogle da eliminišu ili smanje kritičnost.

U toku razvoja i projektovanja vozila daju se preporuke za izmenu tehničkih rešenja najkritičnijih elemenata vozila.

Analiza vozila, kao sistema, vrši se najčešće tabelarno, a tabele se formiraju na osnovu prethodno navedenih koraka koje sadrži ova metoda. Svakom koraku se dodeljuje po jedna kolona dok se u prvu kolonu upisuju sastavni podsistemi, uređaji, mehanizmi, sklopovi i delovi koji se analiziraju. Analiziraju se svi oni podsistemi, uređaji, mehanizmi, sklopovi i delovi koji mogu predstavljati potencijalni uzrok otkaza vozila kao sistema. U ovom radu korišćene su tabele preuzete iz literature [1]. Vozilo kao sistem raščlanjeno je na sastavne podsisteme, a podsistemi na uređaje i mehanizme, uređaji i mehanizmi na sklopove, a sklopovi na delove.

Oblik otkaza, posledice, uzrok otkaza i način otklanjanja preuzet je iz uputstava „Opis, rukovanje, osnovno i

tehničko održavanje“, „Radioničko održavanje“ i TRD za vozilo TAM 110, kao i podaci iz višegodišnje eksploatacije i održavanja navedenog vozila.

Kritičnost otkaza procenjena je na osnovu podataka iz radioničke dokumentacije za održavanje, i iskustvenom (ekspertskom) procenom inženjera koji su godinama radili na održavanju vozila.

Podsistemi, mehanizmi, uređaji, sklopovi i delovi koji su analizirani u tabelama 1, 2, 3, 4, 5 i 6 takođe su dobijeni iz radioničke dokumentacije o održavanju, kao elementi koji su u razmatranom periodu najčešće ili bar jednom otkazali.

Zbog obima ovde nisu mogli biti obuhvaćeni svi razmatrani podsistemi, mehanizmi, uređaji, sklopovi i delovi, što je inače prikazano u literaturi [5]. U ovom radu razmatrani su najkritičniji elementi do kojih se došlo analizom višego-

dišnje radioničke dokumentacije o održavanju vozila. Prikazana je primena jedne od metoda analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza za vozilo, pojedine pod-sisteme i manje celine, bez kvantitativne analize zbog nepoznavanja intenziteta otkaza svih elemenata vozila.

Na osnovu praćenja velikog broja otkaza vozila iste vrste u periodu od pet godina, koja su prešla od 10 000 do 50 000 kilometara, dobijeni su empirijski podaci koji su uzeti iz dokumentacije o održavanju vozila u navedenom periodu. Na osnovu tako dobijenih empirijskih podataka iz eksploatacije i održavanja, za elemente koji su najčešće otkazivali i na osnovu iskustvene procene lica koja su se bavila eksploatacijom i održavanjem tih vozila, dobijeni su rezultati prikazani u tabelama 1, 2, 3, 4, 5 i 6.

Nakon izvršene analize usvojen je kriterijum kritičnosti (R) otkaza za fun-

Analiza oblika, posledica i kritičnosti otkaza vozila metodom AOPKO Tabela 1

Terenski automobil		P – verovatnoća otkaza C – ozbiljnost otkaza D – teškoća otkrivanja R = P · C · D – rizik – kritičnost					AOPKO I nivo	
Naziv podsistema	Oblik otkaza	Posledica	Kritičnost				Uzrok otkaza	Način otklanjanja
			P	C	D	R		
Motor	Prestanak rada	Nemogućnost pogona vozila	6	7	4	168	Otkaz jednog od uređaja	Opravka ili zamen
Podsistem za prenos snage	Prestanak prenošenja obrtnog momenta	Nemogućnost kretanja vozila	5	7	4	140	Otkaz jednog od uređaja	Opravka ili zamen
Hodni podsistem vozila	Prestanak kretanja i oslanjanje	Nemogućnost kretanja vozila	7	5	2	70	Otkaz jednog od uređaja	Opravka ili zamen
Podsistem za kočenje	Otkaz sistema za kočenje	Nemogućnost smanjenja brzine i zaustavljanja	6	9	3	162	Otkaz jednog od uređaja	Opravka ili zamen
Podsistem za upravljanje	Otkaz sistema za upravljanje	Nemogućnost održavanja pravca kretanja vozila	5	9	2	90	Otkaz jednog od uređaja	Opravka ili zamen
Podsistem elektroinstalacije	Prekid napajanja električnom energijom	Nemogućnost pokretanja motora, osvetljavanja, signalizacije i kontrole električnih instrumenata	8	5	3	120	Otkaz jednog od uređaja	Opravka ili zamen

Analiza oblika, posledica i kritičnosti otkaza motora metodom AOPKO

Motor		P – verovatnoća otkaza C – ozbiljnost otkaza D – teškoća otkrivanja R = P · C · D – rizik – kritičnost				AOPKO II nivo		
Naziv uređaja – mehanizma	Oblik otkaza	Posledica	Kritičnost				Uzrok otkaza	Način otklanjanja
			P	C	D	R		
Motorni mehanizam	Lupanje u motoru, nedovoljna kompresija, prekomerno trošenje ulja	Motor nema snagu i ne može da pokrene vozilo	3	8	2	48	Prevelika istrošenost ležećih i letećih ležaja radilice, čaure ležaja osovinice klipa i klipnih prstenova	Zamena istrošenih delova
Razvodni mehanizam	Izraženo lupanje u motoru čija se frekvencija menja sa promenom broja obrtaja	Motor nema snagu	3	6	3	54	Veliki zazor ventila, prevelika istrošenost bregova, podizača i klackalica	Regulisanje zazora ventila i zamenjena istrošenih delova
Uređaj za podmazivanje	Nagli pad pritiska ulja u motoru	Oštećenje ili zaribavanje ležaja motora	5	6	3	90	Neispravna pumpa za podmazivanje ili ventil za regulisanje pritiska ulja	Opravka ili zamena pumpe ili ventila
Uređaj za napajanje gorivom	Nema ubrizgavanja goriva u jednom ili više cilindara ili ni u jednom cilindru	Smanjena snaga ili potpuni prestanak rada motora	8	5	4	160	Prisustvo vazduha u cevovodu ili začepljenost prljavštinom, otkaz pumpe za dovod ili pumpe za ubrizgavanje ili brižaljki	Ozračivanje, čišćenje, opravka ili zamena neispravnih delova
Uređaj za hlađenje	Prestanak rada ventilatora za hlađenje	Pregrevanje motora i prestanak rada	4	8	3	96	Otkaz remena za pogon ventilatora ili termostata za uključivanje ventilatora	Zamena otkazanih delova
Uređaj za paljenje	Nemogućnost pokretanja motora	Nemogućnost rada motora	7	7	3	147	Otkaz prekidača za paljenje, elektromagnetnog prekidača ili elektropokretača	Opravka ili zamena neispravnih sklopova

kcionisanje vozila kao sistema. Usvojen je kriterijum da za vrednosti P, C i D od 8 poena i više R iznosi 512 poena, što predstavlja katastrofalan otkaz, 6 do 8 poena R iznosi 216 do 512 poena, što znači težak otkaz, 3 do 6 poena R iznosi 27 do 216 poena, što predstavlja lakši otkaz i 1 do 3 poena R iznosi 1 do 27 poena što predstavlja neznatan otkaz.

Svi rezultati do kojih se došlo u ovom radu procenjeni su na osnovu podataka dobijenih iz eksploatacije i na osnovu inženjerskog iskustva, pa su i

usvojeni kriterijumi dobijeni na osnovu procene. Usvojen je kriterijum da su:

– katastrofalni otkazi, koji onemogućavaju funkcionisanje vozila i mogu izazvati nesagledive posledice po bezbednost, svi oni otkazi čija kritičnost (R) prelazi 512 poena;

– teški otkazi, koji mogu prouzrokovati oštećenje vozila, prekid funkcionisanja ili opadanje njegovih performansi, svi oni otkazi čija kritičnost (R) iznosi od 216 do 512 poena;

Tabela 3

Analiza oblika, posledica i kritičnosti otkaza uređaja za napajanje gorivom metodom AOPKO

Uređaj za napajanje gorivom		P – verovatnoća otkaza C – ozbiljnost otkaza D – teškoća otkrivanja R = P · C · D – rizik – kritičnost				AOPKO III nivo		
Naziv sklopa	Oblik otkaza	Posledica	Kritičnost				Uzrok otkaza	Način otklanjanja
			P	C	D	R		
Pumpa visokog pritiska	Neravnomerno ubrizgavanje ili potpuni prekid ubrizgavanja	Neravnomeran rad ili prekid rada motora	5	8	4	160	Prisustvo vazduha ili prljavštine u instalaciji goriva, neispravnost pumpe niskog ili pumpe visokog pritiska	Ispuštanje vazduha, čišćenje instalacije ili opravka pumpi niskog ili visokog pritiska
Pumpa niskog pritiska	Prestanak dovođenja goriva	Prestanak ubrizgavanja goriva	4	5	4	80	Otkaz ventila, opruge ili klipa	Opraviti – zameniti neispravne elemente ili pumpu
Regulator pumpe visokog pritiska	Ne vrši regulaciju ubrizgane količine goriva	Nepravilan rad ili nemogućnost rada motora	2	8	3	48	Otkaz opruga ili ležaja regulatora	Zamena otkazalog dela
Brizgaljke	Nedovoljno raspršivanje goriva ili prestanak ubrizgavanja	Motor previše dimi i nepravilno radi ili potpuni prestanak rada	5	6	3	90	Otkaz opruga ili elemenata brizgaljke	Zamena opruge ili elemenata brizgaljke

Tabela 4

Analiza oblika, posledica i kritičnosti otkaza uređaja za paljenje metodom AOPKO

Uređaj za paljenje		P – verovatnoća otkaza C – ozbiljnost otkaza D – teškoća otkrivanja R = P · C · D – rizik – kritičnost				AOPKO III nivo		
Naziv sklopa	Oblik otkaza	Posledica	Kritičnost				Uzrok otkaza	Način otklanjanja
			P	C	D	R		
Prekidač za paljenje	Otkaz prekidača za paljenje	Nemogućnost pokretanja motora	4	5	4	80	Otkaz prekidača za paljenje	Zamena prekidača za paljenje
Elektromagnetni prekidač elektropokretača	Otkaz elektromagnetnog prekidača	Nemogućnost uključivanja elektropokretača	7	7	3	147	Otkaz prekidača	Zamena prekidača
Elektropokretač	Otkaz elektropokretača	Nemogućnost pokretanja motora	8	7	3	168	Otkaz četkice, ležaja, opruga, namotaja, zupčnika ili osovine sa ozubljenjem	Zamena otkazalog dela ili sklopa elektropokretača

Analiza oblika, posledica i kritičnosti otkaza pumpe visokog pritiska metodom AOPKO

Pumpa visokog pritiska		P – verovatnoća otkaza C – ozbiljnost otkaza D – teškoća otkrivanja R = P · C · D – rizik – kritičnost				AOPKO IV nivo		
Naziv podsklopa – dela	Oblik otkaza	Posledica	Kritičnost				Uzrok otkaza	Način otklanjanja
			P	C	D	R		
Element pumpe	Prestanak ubrizgavanja goriva	Cilindar ne radi	5	6	5	150	Zaribavanje elemenata pumpe	Zamena elemenata
Nazubljena letva	Zaglavljivanje letve	Nemogućnost povećanja i smanjenja snage motora	3	6	4	72	Nečistoća ili korozija	Čišćenje ili zamena
Podizač klipa elementa pumpe	Zaribao podizač	Cilindar ne radi	3	6	4	72	Nečistoća ili korozija	Zamena podizača
Opruga elementa pumpe	Pucanje opruge	Cilindar ne radi	4	5	6	120	Dotrajalost ili zamor	Zamena opruge
Potisni ventil	Nedovoljan pritisak ubrizgavanja	Cilindar ne radi	5	7	4	140	Oslabila ili pukla opruga ventila	Zamena opruge
Ležaj pumpe visokog pritiska	Zaribavanje ležaja	Nemogućnost funkcionisanja	5	6	5	150	Nečistoća ili dotrajalost	Zamena ležaja

Tabela 6

Analiza oblika, posledica i kritičnosti otkaza elektropokretača metodom AOPKO

Elektropokretač		P – verovatnoća otkaza C – ozbiljnost otkaza D – teškoća otkrivanja R = P · C · D – rizik – kritičnost				AOPKO IV nivo		
Naziv podsklopa – dela	Oblik otkaza	Posledica	Kritičnost				Uzrok otkaza	Način otklanjanja
			P	C	D	R		
Četkice elektropokretača	Istrošenost četkica	Nemogućnost pokretanja motora	8	6	4	192	Dotrajalost	Zamena četkica
Ležaj elektropokretača	Zaribavanje ležaja	Nemogućnost funkcionisanja elektropokretača	4	6	4	96	Preopterećenje ili nedostatak podmazivanja	Zamena ležaja
Opruga elektropokretača	Oslabile ili popucale	Nemogućnost izubljenja zupčanika elektropokretača	3	7	4	84	Dotrajalost ili zamor	Zamena opruga
Pobudni namotaj	Prekid ili kratki spoj	Nemogućnost funkcionisanja elektropokretača	3	7	3	63	Preopterećenje	Zamena namotaja
Namotaj rotora	Prekid ili kratki spoj	Nemogućnost funkcionisanja elektropokretača	3	7	3	63	Preopterećenje	Zamena namotaja
Zupčanik elektropokretača sa lamelastom spojnicom	Oštećenje zupčanika elektropokretača	Nemogućnost uzubljenja u venac zamajca	6	7	3	126	Otkaz lamelaste spojnice	Zamena lamelaste spojnice sa zupčanicom

– lakši otkazi, koji mogu prouzrokovati manja oštećenja, prekid funkcionisanja ili opadanje performansi, svi oni otkazi čija kritičnost (R) iznosi od 27 do 216 poena;

– neznatni otkazi, koji mogu prouzrokovati manje smetnje u funkcionisanju, ali ne izazivaju prekid funkcionisanja vozila, svi oni otkazi čija kritičnost (R) iznosi od 1 do 27 poena.

Iz podataka navedenih u tabelama može se zaključiti da na razmatranim vozilima ne postoji opasnost od katastrofalnih otkaza koji mogu izazvati nesagledive posledice, kao ni od teških otkaza koji mogu prouzrokovati teža oštećenja vozila.

Takođe, može se videti da postoji opasnost od lakših i neznatnih otkaza. Na osnovu tako dobijenih podataka sačinjena je rang-lista kritičnosti lakših otkaza, zatim rang-lista kritičnosti podsistema, uređaja, sklopova, agregata i delova vozila.

U okviru lakših otkaza usvojen je kriterijum da su kritični oni lakši otkazi čija kritičnost (R) prelazi 125 poena.

Rang-lista kritičnosti otkaza za funkcionisanje vozila:

1. Otkaz kočenja – 162 poena.
2. Otkaz dovoda goriva – 160 poena.
3. Otkaz paljenja – 147 poena.
4. Otkaz prenošenja obrtnog momenta – 140 poena.

Rang-lista kritičnosti otkaza podsistema vozila:

1. Otkaz motora – 168 poena.
2. Otkaz podsistema za kočenje – 162 poena.
3. Otkaz podsistema za prenos obrtnog momenta – 140 poena.

Rang-lista kritičnosti otkaza uređaja:

1. Otkaz uređaja za napajanje gorivom – 160 poena.

2. Otkaz uređaja za paljenje motora – 147 poena.

3. Otkaz uređaja kočnih doboša sa papučama i cilindrima – 144 poena.

Rang-lista kritičnosti otkaza sklopova:

1. Otkaz elektropokretača – 168 poena.
2. Otkaz pumpe visokog pritiska – 160 poena.
3. Otkaz frikcione spojnice – 140 poena.

Rang-lista kritičnosti otkaza podsklopova i delova:

1. Otkaz četkica elektropokretača – 192 poena.
2. Otkaz ležaja pumpe visokog pritiska – 150 poena.
3. Otkaz elementa pumpe visokog pritiska – 150 poena.
4. Otkaz elektromagnetnog prekidača elektropokretača – 147 poena.
5. Otkaz diska frikcione spojnice – 144 poena.
6. Otkaz potisnog ventila pumpe visokog pritiska – 140 poena.
7. Otkaz obloge papuče kočnice – 140 poena.
8. Otkaz zupčanika sa lamelastom spojnicom elektropokretača – 126 poena.

Iz navedenih rang-lista može se zaključiti koji su podsistemi, uređaji, sklopovi i delovi najkritičniji za funkcionisanje vozila. Na osnovu toga moguće je predvideti potrebne mere za smanjenje broja otkaza i time povećanje raspoloživosti i efektivnosti vozila. To se može postići povećanjem otpornosti delova na statičko opterećenje, zamor, habanje, koroziju, otklanjanjem uzroka zbog neodgovarajućeg materijala i neodgovarajuće izrade, poboljšanjem sistema održavanja i slično. Iz dobijenih rang-lista može se videti da nijedan otkaz, podsistem, ure-

đaj, sklop, podsklop i deo nije kritičan za katastrofalne otkaze niti za teške otkaze već samo za lakše i neznatne otkaze. To se slaže sa eksperimentalnim podacima dobijenim razmatranjem podataka iz održavanja velikog broja ovih vozila u periodu od nekoliko godina, što je prikazano u literaturi [5]. Takođe, to se slaže sa taktičko-tehničkim zahtevima za razvoj tehničkih materijalnih sredstava SNO 1096/85.

Dobijeni podaci o kritičnosti dobro se slažu sa podacima dobijenim analizom navedenih vozila metodom „stabla otkaza“ prikazanoj u literaturi [5]. U radu [5], na osnovu rezultata dobijenih metodom „analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza“ i metodom analize „stabla otkaza“ za navedeno vozilo, dobijen je podatak o tome koji su podsistemi, uređaji i sklopovi najkritičniji i za te elemente je izvršena optimizacija sistema održavanja.

Iz analize kritičnosti otkaza, podсистема, uređaja i sklopova može se zaključiti da su najkritičniji sklopovi elektropokretač, pumpa visokog pritiska i frikciona spojica, i da oni prouzrokuju kritičnost uređaja podсистема i otkaza vozila.

Kada se analizira rang-lista kritičnosti podsklopova i delova dolazi se do zaključka da je elektropokretač preopterećen i da bi trebalo vršiti konstrukcionu izmenu sa nešto jačim elektropokretačem, jer su njegovi najkritičniji delovi i sklopovi četkice, elektromagnetni prekiđač i zupčanik sa lamelastom spojnicom.

Analizom rang-liste kritičnosti podsklopova i delova pumpe visokog pritiska može se zaključiti da su najkritičniji podsklopovi i delovi ležaj, elemenat i potisni ventil pumpe, i da je najčešći uzrok otkaza prisustvo nečistoća i vode u gorivu.

Iz analize kritičnosti podsklopova i delova frikcione spojnice može se zaklju-

čiti da je uzrok otkaza nedovoljna stručnost i obučenost u rukovanju.

Na osnovu navedenih rezultata konstruktorima se mogu dati preporuke za izmenu tehničkih rešenja, za pravilnije rukovanje, kao i osnovno i preventivno održavanje, čime se može povećati raspoloživost vozila, a time i njegova ukupna efektivnost.

Zaključak

U radu je prikazana jedna od metoda primene analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza za neke elemente vozila, i izvršena je kvalitativna analiza sa procenom kritičnosti elemenata na osnovu podataka iz eksploatacije. Nije vršena kvantitativna analiza zbog nepoznavanja intenziteta otkaza svih elemenata vozila.

Primenom ove metode za analizu svih sastavnih delova vozila može se dobiti ukupna slika vozila sa svim kritičnim otkazima, podсистemima, uređajima, sklopovima i delovima.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da razmatrano vozilo zadovoljava taktičko-tehničke zahteve za razvoj tehničkih materijalnih sredstava SNO 1096/85, jer ima dobru pouzdanost i raspoloživost, pošto nije sklono katastrofalnim niti teškim otkazima.

Dobijeni rezultati mogu poslužiti inženjerima u razvoju, projektovanju i proizvodnji vozila radi izmene pojedinih tehničkih rešenja i povećanja njihove pouzdanosti.

Dobijeni rezultati mogu poslužiti i licima koja se bave eksploatacijom ovih vozila kako bi se obratila pažnja na najkritičnije elemente pri rukovanju i osnovnom održavanju, čime bi se povećala njihova raspoloživost.

Iz dobijenih rezultata mogu se dati preporuke radi preduzimanja preventivnog održavanja za najkritičnije elemente, kako bi se smanjila ukupna vremena u

otkazu i povećala vremena upotrebe, a time i raspoloživost. Na osnovu realizacije tih preporuka može se povećati ukupna efektivnost vozila kao sistema.

Literatura:

- [1] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
- [2] Ivanović, G., Stanivuković D.: Pouzdanost, analiza i projektovanje, TU SSNO, 1988.
- [3] Stojović, M.: Istraživanje karakteristika pouzdanosti asinhronih zglobnih prenosnika, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.

- [4] Krstić, B.: Eksploatacija motornih vozila i motora, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1997.
- [5] Brkić, Lj.: Optimizacija sistema održavanja motornih vozila specijalne namene, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1998.
- [6] Automobil TAM 110 T7, opis, rukovanje, osnovno i tehničko održavanje, SSNO, TU-I, 398, 1986.
- [7] Automobil TAM 110 T7, radioničko održavanje, SSNO, TU-II, 692, 1985.